

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA



**DISEÑO DE UN MOLINO DE RODILLOS PARA LA
PRODUCCIÓN DE GRANO UNIFORME DE SAL DE CONSUMO
HUMANO EN LA REGIÓN LAMBAYEQUE**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO**

AUTOR

JUAN CARLOS HUAMAN HUAMBO

ASESOR

ALEJANDRO SEGUNDO VERA LÁZARO

<https://orcid.org/0000-0003-0198-338X>

Chiclayo, 2021

**DISEÑO DE UN MOLINO DE RODILLOS PARA LA
PRODUCCIÓN DE GRANO UNIFORME DE SAL DE
CONSUMO HUMANO EN LA REGIÓN LAMBAYEQUE**

PRESENTADA POR
JUAN CARLOS HUAMAN HUAMBO

A la Facultad de Ingeniería de la
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo
para optar el título de

INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO

APROBADA POR

Alexander Querevalú Morante
PRESIDENTE

Wilson Alejandro Jiménez Zuloeta
SECRETARIO

Alejandro Segundo Vera Lázaro
VOCAL

Dedicatoria

A todo aquel profesional, estudiante, o simple curioso que se sienta comprometido con mejorar personalmente y encuentre en este trabajo una utilidad.

Agradecimientos

A mi padre Carlos Huamán Suárez, por apoyarme en la iniciativa y desarrollo de la presente investigación. A mi madre Liliana Huambo Traversso, por su enorme apoyo incondicional.

Al docente y Ph.D. Hamid Khoshdast, por su singular apoyo en el diseño de tecnologías de rodillos para la molienda industrial. Así mismo, a la estadístico Sandra Loayza Chumacero, por su radical colaboración en el diagnóstico de producción de sal, necesario para dar contexto al trabajo realizado.

A todo docente de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica que se vio involucrado en la realización de este trabajo.

Índice

Resumen	12
Abstract.....	13
I. Introducción.....	14
1.1. Situación problemática.....	15
1.2. Formulación del problema	15
1.3. Justificación.....	15
1.4. Objetivos	16
1.4.1. Objetivo general.....	16
1.4.2. Objetivos específicos	16
II. Marco teórico	17
2.1. Estado del arte	17
2.1.1. Productos similares existentes	17
2.1.2. Problemática actual de los productos similares existentes	17
2.1.3. Planteamiento del problema.....	17
2.1.4. Requerimientos del diseño.....	17
2.2. Bases teóricas científicas.....	19
2.2.1. Molino de rodillos.....	20
2.2.2. Mecánica.....	28
2.2.3. Laboratorio virtual	33
2.3. Definición de términos básicos	38
III. Diseño	40
3.1. Metodología	40
3.2. Diagnóstico de la situación actual de las plantas de producción de sal en la región Lambayeque	41
3.2.1. Producción	47
3.2.2. Producto	51
3.2.3. Sistema de molienda	55
3.3. Diseño conceptual: selección de elementos que conforman el sistema de molienda.....	63
3.3.1. Estructura funcional del sistema de molienda por rodillos.....	63
3.3.2. Síntesis guiada de soluciones.....	65
3.3.3. Matriz morfológica	66
3.3.4. Diseño de esquemas preliminares.....	67
3.3.4.1. Concepto de solución N° 1.....	68

3.3.4.2.	Concepto de solución N° 2.....	69
3.3.4.3.	Concepto de solución N° 3.....	70
3.3.4.4.	Concepto de solución N° 4.....	72
3.3.4.5.	Concepto de solución N° 5.....	73
3.3.5.	Selección de la mejor alternativa	75
3.3.5.1.	Criterios de evaluación técnicos y económicos	75
3.3.5.2.	Desempeño relativo de concepto según criterio de evaluación.....	75
3.3.5.3.	Evaluación de las variantes de conceptos y selección de la mejor alternativa.....	76
3.4.	Diseño del sistema de molienda	78
3.4.1.	Relación de reducción.....	78
3.4.2.	Cantidad de pares de rodillos	79
3.4.3.	Densidad aparente	80
3.4.4.	Coefficiente de fricción.....	82
3.4.5.	Diámetro teórico de rodillos	82
3.4.6.	Diámetro, longitud y potencia requerida para cada par de rodillos	83
3.4.7.	Ángulo de compresión	86
3.4.8.	Capacidad de producción	87
3.4.9.	Velocidad de rodillos	87
3.4.10.	Coefficiente de fricción cinético.....	88
3.4.11.	Motorreductor	89
3.4.12.	Transmisión de potencia de motor a rodillos	89
3.4.13.	Eje de transmisión de potencia para primer rodillo.....	97
3.4.14.	Eje de transmisión de potencia para segundo rodillo.....	116
3.4.15.	Rodillos	127
3.4.16.	Mecanismo de molienda	129
3.4.17.	Mesa soporte	130
3.4.18.	Dosificador por tornillo.....	137
3.4.19.	Sistema de molienda	141
3.5.	Evaluación del beneficio económico.....	142
IV.	Conclusiones	144
V.	Recomendaciones	145
VI.	Referencias bibliográficas.....	146
VII.	Anexos	149

Lista de tablas

Tabla 1: Puntaje de relevancia y claridad de la encuesta obtenido por cada juez experto participante	41
Tabla 2: Resultados de la prueba de concordancia de Kendall	41
Tabla 3: Empresas de producción de sal en Lambayeque	43
Tabla 4: Número de trabajadores en la planta y en el proceso de molienda en cada empresa de producción de sal.....	48
Tabla 5: Número de horas en el que la planta y el molino operan por día en cada empresa de producción de sal.....	49
Tabla 6: Número de horas en el que la planta y el molino operan por mes en cada empresa de producción de sal.....	50
Tabla 7: Conceptos y número de soluciones asociados a las sub-funciones del molino de rodillos.....	65
Tabla 8: Matriz morfológica.....	66
Tabla 9: Esquema preliminar de diseño de molino de rodillos	67
Tabla 10: Criterios técnicos y económicos considerados.....	75
Tabla 11: Desempeño relativo.....	76
Tabla 12: Selección de la mejor variante de diseño conceptual.....	77
Tabla 13: Granulometría de sal en la entrada y salida para cada tipo de presentación de sal.....	80
Tabla 14: Densidad aparente de sal según el estado en el que se encuentra el material	80
Tabla 15: Densidades aparentes para cada estado del material	81
Tabla 16: Longitud y potencia requerida para determinado diámetros de rodillos	84
Tabla 17: Parámetros de molino de rodillos productor de 10 ton/h de sal de consumo humano	85
Tabla 18: Carta de tubos comerciales cédula 40 (SCH40).....	86
Tabla 19: Producción real de los distintos tipos de sal que se ofrece.....	88
Tabla 20: Determinación de cadena ANSI para diversos números de hileras.....	93
Tabla 21: Características generales de catarina menor y mayor	96
Tabla 22: Características generales de la cadena de rodillos.....	96
Tabla 23: Valores de pares torsores en cada punto del primer eje	99
Tabla 24: Valores de fuerzas cortantes y momentos flectores en cada punto del primer eje en el plano X-Z	105
Tabla 25: Valores de fuerzas cortantes y momentos flectores en cada punto del primer eje en el plano Y-Z	106
Tabla 26: Factores de concentración de esfuerzos para distintas discontinuidades geométricas.....	107
Tabla 27: Fuerzas cortantes y momentos flectores resultantes en cada punto del primer eje	111
Tabla 28: Fuerzas cortantes y momentos flectores resultantes en cada punto del primer eje	111
Tabla 29: Selección de diámetros en cada sección del primer eje.....	112
Tabla 30: Condiciones de carga en el rodamiento del punto B del primer eje.....	113
Tabla 31: Condiciones de carga en el rodamiento del punto F del primer eje	114
Tabla 32: Valores de pares torsores en cada punto del segundo eje.....	118

Tabla 33: Valores de fuerzas cortantes y momentos flectores en cada punto del segundo eje en el plano X-Z	120
Tabla 34: Valores de fuerzas cortantes y momentos flectores en cada punto del segundo eje en el plano Y-Z	121
Tabla 35: Fuerzas cortantes y momentos flectores resultantes en cada punto del segundo eje	122
Tabla 36: Fuerzas cortantes y momentos flectores resultantes en cada punto del segundo eje	122
Tabla 37: Selección de diámetros en cada sección del segundo eje.....	123
Tabla 38: Condiciones de carga en el rodamiento del punto B del segundo eje.....	124
Tabla 39: Condiciones de carga en el rodamiento del punto F del segundo eje.....	124
Tabla 40: Estimación de costo de fabricación y montaje local de un molino de rodillos	143

Lista de figuras

Figura 1: Esquema de bases teórico científicas	19
Figura 2: Molino de rodillos	20
Figura 3: Molino de rodillos a alta presión HPGR	21
Figura 4: Diagrama de principio de trabajo de molino de rodillos	22
Figura 5: Bosquejo de par de rodillos y sus principales parámetros	23
Figura 6: Efecto de la velocidad de rodillo y la fuerza específica de molienda en el ángulo de desplazamiento β	24
Figura 7: Efecto de la velocidad de rodillo y la fuerza específica de molienda en el desempeño específico m	25
Figura 8: Distribución de esfuerzos fluctuantes	29
Figura 9: Pieza simple sometida a carga axial	34
Figura 10: Diagrama de bloques de solución por FEM en SolidWorks	35
Figura 11: Seccionamiento arbitrario de pieza cilíndrica sometida a dos fuerzas en sus extremos	36
Figura 12: Tipos de elementos sólidos según su orden	37
Figura 13: Grados de libertad de elemento tetraédrico de segundo orden	38
Figura 14: Función global	64
Figura 15: Modelación funcional	64
Figura 16: Bosquejo de concepto de solución N° 1	69
Figura 17: Bosquejo de concepto de solución N° 2	70
Figura 18: Bosquejo de concepto de solución N° 3	72
Figura 19: Bosquejo de concepto de solución N° 4	73
Figura 20: Bosquejo de concepto de solución N° 5	75
Figura 21: Bosquejo del sistema de molienda seleccionado como mejor alternativa	78
Figura 22: Transmisión de potencia por cadena de rodillos	89
Figura 23: Factor de servicio para transmisión de potencia	90
Figura 24: Número de dientes de catarinas proporcionadas por Morse Chain Company	92
Figura 25: Factor de corrección de dientes K_1	92
Figura 26: Capacidad nominal de potencia para una cadena con catarina de 17 dientes	94
Figura 27: Dimensiones de cadenas de rodillos americanas	95
Figura 28: Bosquejo preliminar de disposición de primer eje de rodillo	97
Figura 29: Distribución de fuerzas y momentos a lo largo del primer eje	98
Figura 30: Par torsor a lo largo del primer eje	99
Figura 31: Fuerzas en el punto A del primer eje	100
Figura 32: Determinación de desempeño específico a través de data experimental	101
Figura 33: Determinación de ángulo de desplazamiento a través de data experimental	102
Figura 34: Reacciones en el punto C y D del primer eje en el plano X-Z	103
Figura 35: Reacciones en el punto C y D del primer eje en el plano Y-Z	103
Figura 36: Fuerzas en el punto G del primer eje	104
Figura 37: Diagrama de fuerzas cortantes y momentos flectores del primer eje en plano X-Z	105
Figura 38: Diagrama de fuerzas cortantes y momentos flectores del primer eje en plano Y-Z	106

Figura 39: Bosquejo preliminar de detalles de acabado en cada sección del primer eje	107
Figura 40: Propiedades de los aceros inoxidables	108
Figura 41: Factores de confiabilidad aproximados.....	109
Figura 42: Factor por tamaño	109
Figura 43: Resistencia a la fatiga en función a la resistencia a la tensión, para acero forjado con varias condiciones de superficie.....	110
Figura 44: Valores orientativos de la vida útil especificada de los diferentes tipos de máquinas.....	113
Figura 45: Curva de fatiga ASME-elíptica para acero inoxidable AISI grado 304	115
Figura 46: Diagrama del diseñador del primer eje	116
Figura 47: Bosquejo preliminar de disposición de segundo eje de rodillo.....	117
Figura 48: Distribución de fuerzas y momentos a lo largo del segundo eje.....	117
Figura 49: Par torsor a lo largo del segundo eje	118
Figura 50: Fuerzas en el punto A del segundo eje.....	119
Figura 51: Diagrama de fuerzas cortantes y momentos flectores del segundo eje en plano X-Z.....	120
Figura 52: Diagrama de fuerzas cortantes y momentos flectores del segundo eje en plano Y-Z.....	121
Figura 53: Diagrama del diseñador del segundo eje.....	126
Figura 54: Modelado de rodillo	127
Figura 55: Gráfico de distribución de esfuerzos von Mises en rodillo.....	128
Figura 56: Gráfico de distribución de factor de seguridad en rodillo.....	128
Figura 57: Calidad de malla en análisis estático de un rodillo	129
Figura 58: Modelado de mecanismo de molienda.....	129
Figura 59: Modelado de mesa soporte.....	130
Figura 60: Modelado de bastidor 1	131
Figura 61: Primer gráfico de distribución de esfuerzos von Mises en bastidor 1	131
Figura 62: Segundo gráfico de distribución de esfuerzos von Mises en bastidor 1	132
Figura 63: Calidad de malla en análisis estático de bastidor 1	132
Figura 64: Modelado de bastidor 2.....	133
Figura 65: Primer gráfico de distribución de esfuerzos von Mises en bastidor 2	133
Figura 66: Segundo gráfico de distribución de esfuerzos von Mises en bastidor 2	134
Figura 67: Calidad de malla en análisis estático de bastidor 2.....	134
Figura 68: Modelado de estructura.....	135
Figura 69: Gráfico de distribución de esfuerzos axiales combinados en estructura.....	135
Figura 70: Gráfico de distribución de factor de seguridad en estructura.....	136
Figura 71: Propiedad de malla en análisis estático de estructura	136
Figura 72: Tipo de materiales para transportadores por tornillo	137
Figura 73: Tipo de alimentador por tornillo	138
Figura 74: Capacidad y velocidad de alimentadores de tornillo	138
Figura 75: Capacidad de carga de alimentadores de tornillo.....	139
Figura 76: Factor K para determinación de la potencia del motor	140
Figura 77: Factor G para determinación de la potencia del motor	140
Figura 78: Modelado de sistema de molienda.....	141

Lista de gráficos

Gráfico 1: Comparativa porcentual entre empresas que participaron y las que estuvieron ausentes en el diagnóstico.....	45
Gráfico 2: Comparación entre N° de empresas de producción de sal en la región con las que participaron en el estudio, según el distrito	45
Gráfico 3: Comparación entre N° de empresas de producción de sal en la región con las que participaron en el estudio, según la provincia	46
Gráfico 4: Cantidad de empresas según la procedencia de la materia prima	46
Gráfico 5: Porcentaje de empresas según los canales de distribución de producto.....	47
Gráfico 6: Porcentaje de empresas según la proporción de trabajadores necesarios para el proceso de molienda con respecto al total de trabajadores en la planta	49
Gráfico 7: Porcentaje de empresas según la cantidad de sal producida por hora.....	51
Gráfico 8: Porcentaje de empresas según el tipo de sal que se ofrece al mercado.....	51
Gráfico 9: Tipos de sal que ofrece el 27% de las empresas que distribuyen otros productos	52
Gráfico 10: Tamaño de grano de sal de mesa (en mm) según las empresas que distribuyen este producto.....	52
Gráfico 11: Tamaño de grano de sal de cocina (en mm) según las empresas que distribuyen este producto.....	53
Gráfico 12: Tamaño de grano de sal de pesca (en mm) según las empresas que distribuyen este producto.....	53
Gráfico 13: Tamaño de grano de otros tipos de sal (en mm) que las empresas distribuyen	54
Gráfico 14: Tamaño de grano mínimo y máximo (en cm) según la procedencia de la materia prima de cada empresa	55
Gráfico 15: Porcentaje de empresas según el tipo de molino que usan.....	55
Gráfico 16: Porcentaje de empresas según el tipo de motor que usan para operar el molino.....	56
Gráfico 17: Cantidad de motores según el tipo de molino	56
Gráfico 18: Tipo de molino según la potencia de su motor de accionamiento	57
Gráfico 19: Porcentaje de empresas según el tipo de material que usan para que trabaje en contacto con la sal.....	57
Gráfico 20: Tipo de molino según su tiempo de vida.....	58
Gráfico 21: Porcentaje de empresas según el tipo de dosificación que realizan	58
Gráfico 22: Tipo de dosificación según la cantidad de dosificadores que se usan.....	59
Gráfico 23: Tipo de molino según tipo de dosificación	60
Gráfico 24: Porcentaje de empresas con dosificación mecánica según el tipo de máquina dosificadora	60
Gráfico 25: Tipo de máquina dosificadora según la potencia de su motor de accionamiento.....	61
Gráfico 26: Costo de adquisición del sistema de molienda.....	61
Gráfico 27: Porcentaje de empresas que cuentan con área de mantenimiento	62
Gráfico 28: Tipo de molino según costo mínimo aproximado de mantenimiento cada seis meses	63
Gráfico 29: Densidad aparente de la sal según su tamaño de grano.....	81

Lista de anexos

Anexo 1: Modelado de encuesta diagnóstico	149
Anexo 2: Evaluación de encuesta para su validación.....	152
Anexo 3: Toma de datos mediante encuestas.....	163
Anexo 4: Modelo sistemático de Pahl Y Beitz.....	196
Anexo 5: Ficha técnica de motorreductor de 22 kW	197
Anexo 6: Ficha técnica de chumacera SYR 3 11/16-3.....	198
Anexo 7: Ficha técnica de motorreductor de 0,746 kW	199
Anexo 8: Cotización de materiales y equipo	200
Anexo 9: Cotización de molino de rodillos modelo IMD 99, Modern Process Equipment	204
Anexo 10: Planos de fabricación y montaje de molino de rodillos	205

Resumen

Uno de los procesos de producción de sal de consumo humano más importantes, es la molienda de dicha materia prima.

Actualmente, más del 90% de las plantas de producción de sal en Lambayeque cuentan con molinos de martillos como parte del proceso de producción. Esta tecnología genera un producto cuya granulometría es, por lo general, inferior a la deseada; generando contaminación en el área de trabajo y en el producto final debido a los finos indeseados que posterior a la molienda se desfogan al ambiente exterior. Estos finos son generados debido a que los distintos martillos, al rotar con un elevado torque respecto a un mismo eje, hacen que gran parte del producto que ingresa a la cámara tenga contacto por impacto con estos en más de una ocasión.

Ante este problema, una solución es la utilización de la tecnología de rodillos en reemplazo a la de martillos, los cuales muelen la materia prima alcanzando una distribución uniforme del grano, cumpliendo así los requerimientos del producto que las empresas distribuyen al mercado nacional y evitando pérdidas de producción por finos que genera la tecnología de martillos cuando se trata de grandes producciones.

El propósito de esta tesis es diseñar un molino de rodillos para la producción de grano uniforme de sal de consumo humano en Lambayeque, Perú. Para alcanzar este objetivo, se ha realizado un diagnóstico de las características de producción y producto de sal, así como de la maquinaria para el proceso de molienda. En base a esto y siguiendo la metodología de Pahl y Beitz que involucra la selección ideal del sistema mediante una matriz morfológica, se ha realizado el diseño del sistema de molienda. Finalmente, se ha evaluado el beneficio económico de la implementación de este molino en la región, comparando su fabricación local con la adquisición de un equipo ya fabricado por una entidad extranjera.

Palabras clave: *Lambayeque, sal de consumo humano, molino de martillos, molino de rodillos, finos indeseados, matriz morfológica, sistema de molienda.*

Abstract

One of the most important salt production process is the grinding of this feedstock.

Today, over the 90% of the salt production plants from Lambayeque own hammer mills as part of the production process. This technology generates a product whose granulometry is, usually, less to the desire one; generating contamination in the work area and final product due to the unwanted fines which after grinding are released to the external environment. These fines are generated due that the hammers, when they rotate with a high torque with respect to the same axis, cause much of the product that enters the chamber to have contact by impact with them on more than one occasion.

Faced with this problem, one solution is the use of the roller technology to replace the hammers, which grind the raw material achieving a uniform grain distribution, meeting the product requirements that companies distribute to the national market and avoiding production losses due to fines generated by hammer technology when it comes to big production

The purpose of this thesis is to design a roller mill for the production of uniform grain of salt for human consumption in Lambayeque, Peru. To achieve the objective, a diagnostic of salt production and product, as well as the machinery for the grinding process, has been made. Based on this and following the Pahl and Beitz methodology that involves the ideal selection of the system through a morphological matrix, the design of the milling system has been carried out. Finally, the economic benefit of the implementation of this mill in the region has been evaluated, comparing its local manufacture with the acquisition of equipment already manufactured by a foreign entity.

Keywords: *Lambayeque, salt for human consumption, hammer mill, roller mill, unwanted fines, morphological matrix, milling system.*

I. Introducción

En la actualidad, la sal de consumo humano es considerada indispensable e imprescindible en la dieta de la mayoría de personas, esto debido a la importancia de sus funciones regulatorias de los líquidos del organismo y su rol en los procesos de transmisión nerviosa; además de servir como condimento de fácil adquisición. Estas exigencias hacen que la producción aumente y el mercado de productores se vuelva cada vez más competitivo. Ciertamente dicha realidad no es evidenciada en todo lugar debido a las diferentes culturas, costumbres, estilos de vida, salud, etc.

Para estar convencidos que el consumo de sal es una realidad con evidente presencia, la Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública afirma que, a nivel mundial, el consumo diario de sal varía de 9 a 12 *g*, cerca del doble de los 5 *g/día* recomendados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) [1].

El caso de Perú es particular, pues existen distintos patrones alimentarios que cambian según la región debido a los distintos estilos de vida y a la amplia lista de alimentos que aportan sal a la dieta; esto hace que Perú no cuente con indicadores de consumo de sal. Pero si algo es cierto, es que es insoslayable que la sal sea parte de nuestra cultura y un condimento muy utilizado. Debido a su importancia es que se puede afirmar que no hay necesidad de contar con dichos indicadores para estar seguros que la sal es un producto que difícilmente disminuirá su demanda y es por esto que es necesario mantener un producto de calidad, tanto en su proceso de producción como en su consumo en los hogares.

La región de Lambayeque, Perú; cuenta con un aproximado de veintidós plantas para la producción de sal destinada al consumo humano, las cuales adquieren la materia prima de diversas minas, siendo la más representativa la de Bayóvar en Piura. Para poder convertir la materia prima en sal para consumo humano (a parte de varios procesos indispensables), esta debe ser reducida a tamaños pequeños, esto es, reducir su granulometría a un tamaño específico aceptable y exigido por los clientes y/o consumidores. A las máquinas que logran este fin se les conoce como molinos; un molino para estos fines puede ser de martillos, rodillos o de bolas.

1.1. Situación problemática

Se conoce que la mayoría de las plantas de producción de sal en Lambayeque cuentan con molinos de martillos como parte de su proceso de producción; este, al trabajar por impacto, pulveriza excesivamente la sal, generando una distribución no uniforme del grano, alcanzando un producto final con granulometría igual o inferior a la que se necesita [2].

A la granulometría inferior a la necesaria se le conoce como “finos” o “finos indeseados”, estos están por debajo de los estándares requeridos y generan, además de pérdidas de producto, contaminación ambiental al desfogarse en el proceso de secado. Esto ocurre debido a que en el secado se usan altas temperaturas y estos finos, al ser volátiles, se desfogan al exterior, lo cual es contraproducente a la buena calidad del producto. Esto es un problema para los molinos en cuanto a la presentación de su producto, la salud de sus operarios y el deterioro de las instalaciones de la fábrica, pues se trata de un producto altamente oxidante.

Ante esta problemática surge la alternativa de hacer uso de molino de rodillos en reemplazo a los de martillos para su implementación en el proceso de molienda de las empresas productoras.

1.2. Formulación del problema

Se formula el problema de estudio: ¿será posible diseñar un molino de rodillos capaz de generar la producción de grano uniforme de sal de consumo humano requerida por el mercado y que, a su vez, resulte económicamente rentable implementarlo en la región Lambayeque?

1.3. Justificación

Los molinos de rodillos proporcionan una distribución de tamaño de partículas de sal uniforme, con hasta un 75% menos de finos no deseados en comparación con otras tecnologías de molienda [3]. Esta tecnología resulta novedosa en la región y su única forma de adquisición es mediante la importación extranjera o su construcción a base de la imitación de modelos no locales.

La implementación de un equipo con tecnología de rodillos, además de cumplir con los requerimientos de producción demandados por el mercado, ofrecerá una mejor condición de producto al público consumidor; mientras que en el área de trabajo de

molienda evitará daños de salud a los operarios y el deterioro de las instalaciones en la planta.

Diseñar y construir un molino de rodillos con tecnología y mano de obra local resultará siendo de mayor provecho económico que el realizar su importación, puesto que una maquinaria importada significa pago de impuestos de aduana y divisas que beneficia a manos extranjeras, entre otros.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Diseñar un molino de rodillos que permita la producción de grano uniforme de sal de consumo humano en la región Lambayeque, Perú.

1.4.2. Objetivos específicos

- Diagnosticar la producción de sal y características del producto en las plantas de la región Lambayeque.
- Seleccionar los elementos que conforman el molino de rodillos a través de una matriz morfológica.
- Diseñar los componentes electromecánicos que conforman el sistema de molienda de sal a través de rodillos, para que este cumpla con criterios de integridad y de producción requerida en la región Lambayeque.
- Evaluar el beneficio económico de la implementación del molino de rodillos en la región.

II. Marco teórico

2.1. Estado del arte

2.1.1. Productos similares existentes

Actualmente, las mejores empresas de producción de sal en el mundo suelen moler su producto con molino de rodillos, perteneciendo a países que distribuyen a la vez este tipo de equipos; tal como lo hace, por ejemplo, la empresa estadounidense Modern Process Equipment [3].

En Lambayeque, Perú, solo existe una empresa que posee un molino de rodillos frente a veintiún que usan los martillos; este se localiza en la empresa Súper Costeñita E.I.R.L., ubicada en el distrito de la Victoria.

2.1.2. Problemática actual de los productos similares existentes

En la región, la tecnología convencional para procesar el producto es el molino de martillos que, hasta el día de hoy, casi el 100% de las empresas lo poseen por el simple hecho de que adquirir un molino de rodillos implica importarlo de países como Estados Unidos o España, lo cual genera una gran cantidad de gastos que, para los dueños de las plantas, no justifica el reemplazo de la máquina.

2.1.3. Planteamiento del problema

¿Será posible diseñar un molino de rodillos capaz de generar la producción de grano uniforme de sal de consumo humano requerida por el mercado y que, a su vez, resulte viablemente económico implementarlo en la región Lambayeque?

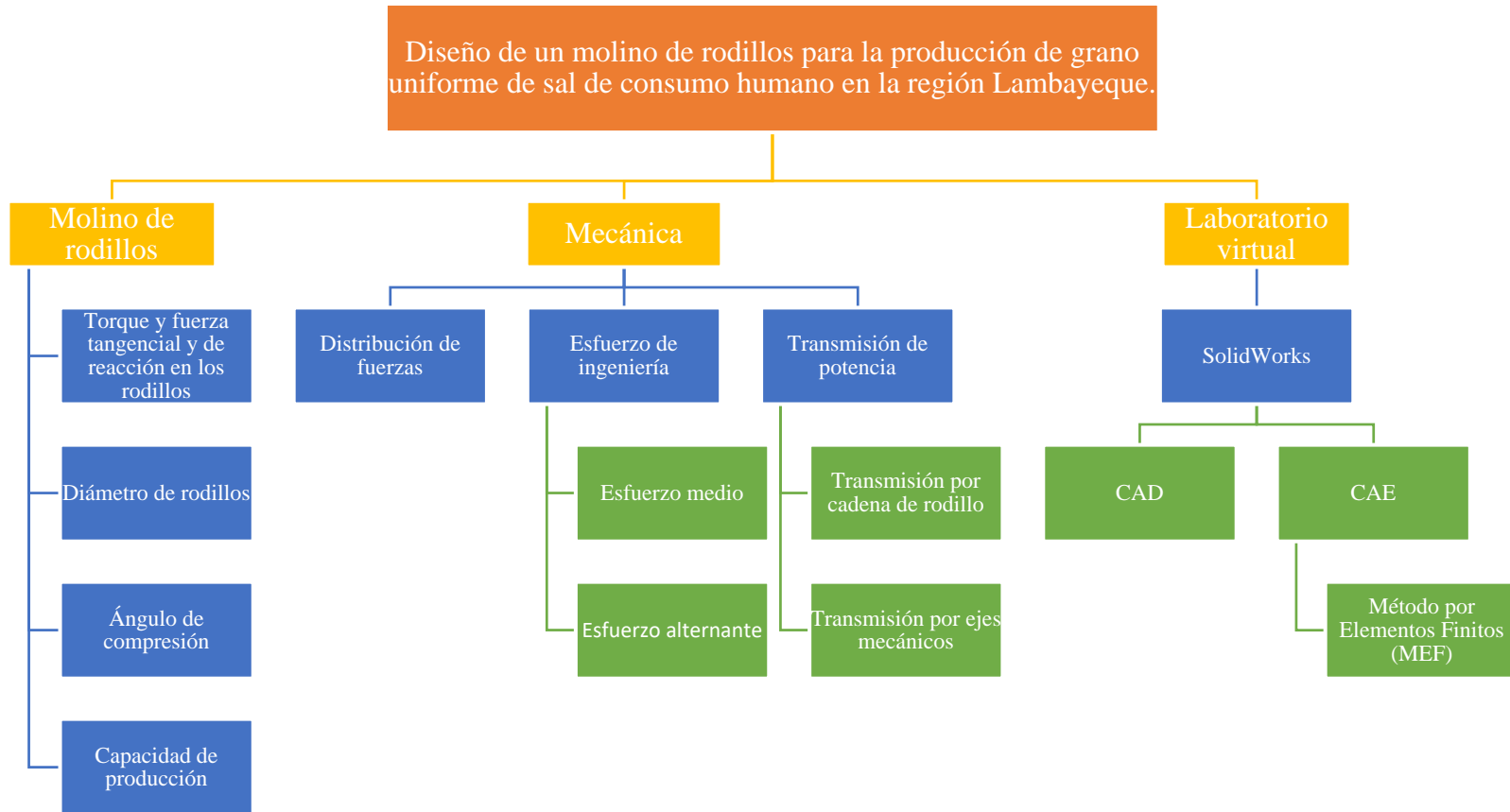
2.1.4. Requerimientos del diseño

- Data de registros sanitarios de productoras de sal por parte de la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA) del Ministerio de Salud del Perú.
- Encuestas para el diagnóstico de características de producción de sal para consumo humano en la región de Lambayeque, Perú.
- Gráficos estadísticos generados en Excel.
- Software de diseño y simulación: Tekla Structures, SolidWorks.

- Software para la generación de gráficos y tablas: Microsoft Excel.
- Metrado de mano de obra, materiales y equipos.

2.2. Bases teóricas científicas

Figura 1: Esquema de bases teórico científicas



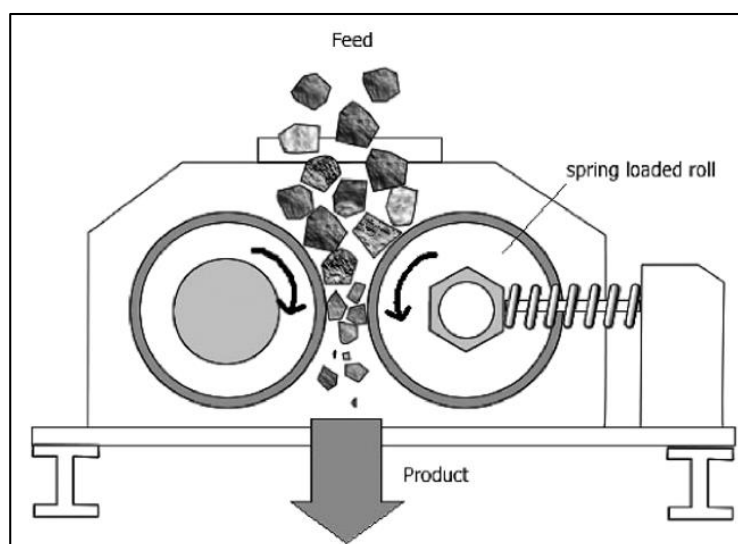
Elaboración propia

2.2.1. Molino de rodillos

El molino de rodillos es una máquina que consiste principalmente en dos rodillos cilíndricos del mismo diámetro y longitud, los cuales están uno frente a otros, cuyos ejes son paralelos y generalmente en posición horizontal. La dirección de rotación de los rodillos se da de forma que uno gire en sentido contrario que el otro, de modo que el material de alimentación sea “extraído” de la parte superior del par de rollos, se compacte y a la salida emerja con un grano en forma de polvo con una determinada granulometría (ver Figura 2) [4, p. 149].

Para controlar el tamaño de grano a la salida del molino, se instala un sistema de control en uno de los dos rodillos.

Figura 2: Molino de rodillos

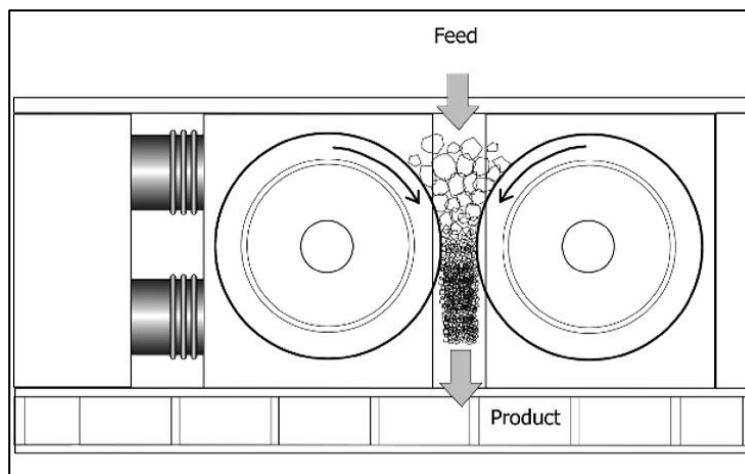


Fuente: [5, p. 170]

Estos mecanismos son muy usados cuando se quiere triturar rocas, carbón, yeso, sal y minerales de hierro suave. Cuando se trata de minerales como el oro o el cobre, la tendencia de ahora es reemplazar estas máquinas por molinos de rodillos de alta presión HPGR (siglas en inglés de High Pressure Grinding Rolls), pues estos presentan ventajas metalúrgicas al tener fuerzas elevadas de compresión. El mecanismo de presión de los HPGR es mediante pistones hidráulicos, que se

encuentran en uno de los dos rodillos que conforman el juego, mientras que ambos giran en sentidos opuestos (ver Figura 3) [5, p. 169].

Figura 3: Molino de rodillos a alta presión HPGR



Fuente: [5, p. 177]

Cuando el material ingresa a los rodillos, este hace contacto inicial en el plano A_1A_2 (según la Figura 4). El material es acelerado en dirección vertical, debido a la gravedad, hasta llegar al plano B_1B_2 . En este punto, la velocidad del material es igual a la velocidad lineal o tangencial de los rodillos. Finalmente, el material es comprimido hasta llegar al plano C_1C_2 , donde el tamaño de la partícula es mínima y la densidad aparente es máxima. Al salir del plano C_1C_2 , el tamaño del grano aumenta ligeramente, la presión disminuye y el material rebota en dirección horizontal hasta llegar al plano D_1D_2 , donde ya no existe presión [6, p. 2293].

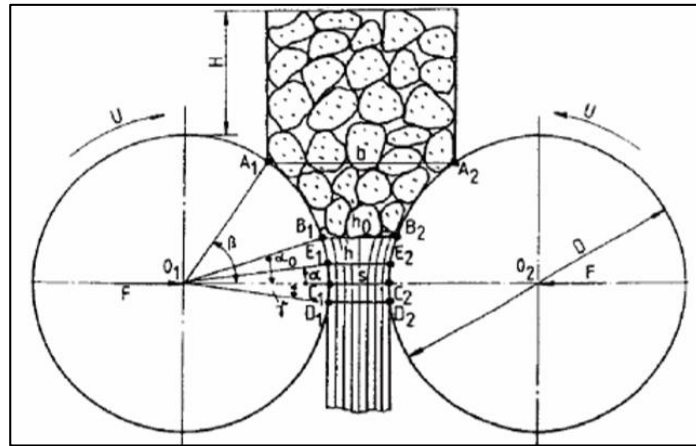
Por lo tanto, se puede dividir el proceso de molienda en tres zonas:

- Zona de aceleración: $A_1A_2 - B_1B_2$.
- Zona de compresión: $B_1B_2 - C_1C_2$.
- Zona de rebote: $C_1C_2 - D_1D_2$.

Por lo general, la mayoría de autores referentes a molinos de rodillos no consideran significativa la zona de rebote. Cabe resaltar que en dicha zona es en donde el material que viene de ser comprimido sufre una pequeña descompresión y su granulometría aumenta relativamente poco, por lo que, al momento de diseñar para una granulometría dada,

se debe considerar una tolerancia inferior con respecto al grano de salida deseado.

Figura 4: Diagrama de principio de trabajo de molino de rodillos



Fuente: [6, p. 2293]

En la Figura se muestra un bosquejo de un par de rodillos, en donde se observan los principales parámetros geométricos y de producción involucrados en el diseño. Estos son:

R radio de rodillo [m].

D diámetro de rodillo [m].

θ ángulo de compresión [$^\circ$].

d tamaño o diámetro de grano de entrada [mm].

s tamaño o diámetro de grano de salida [mm].

μ coeficiente de fricción entre material de rodillos y materia prima [$-$].

μ_k coeficiente de fricción cinético entre material de rodillos y materia prima [$-$]

T par torsor transmitido a los rodillos [$N \cdot m$].

F fuerza de molienda o reacción entre rodillo y grano [N/m].

F_μ fuerza de fricción entre rodillo y grano [N/m].

T_μ par torsor generado por la fricción [$N \cdot m$].

Q capacidad de producción de molino de rodillos [ton/h].

L longitud de rodillo [m].

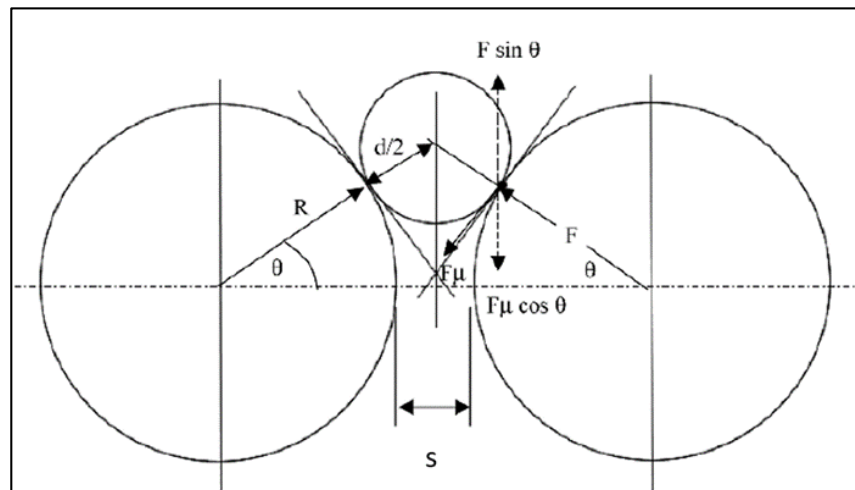
n velocidad de rodillo [rpm].

ω velocidad angular de rodillo [rad/s].

u velocidad tangencial en el rodillo [m/s].

ρ_{in} densidad aparente en la alimentación del juego de rodillos [ton/m^3].

Figura 5: Bosquejo de par de rodillos y sus principales parámetros



Fuente: [5, p. 171]

Torque y fuerza de reacción en los rodillos

Considerando que el par de rodillos operan a una potencia nominal H_{nom} [W] mientras giran a una velocidad angular ω , el torque transmitido a un rodillo viene a ser:

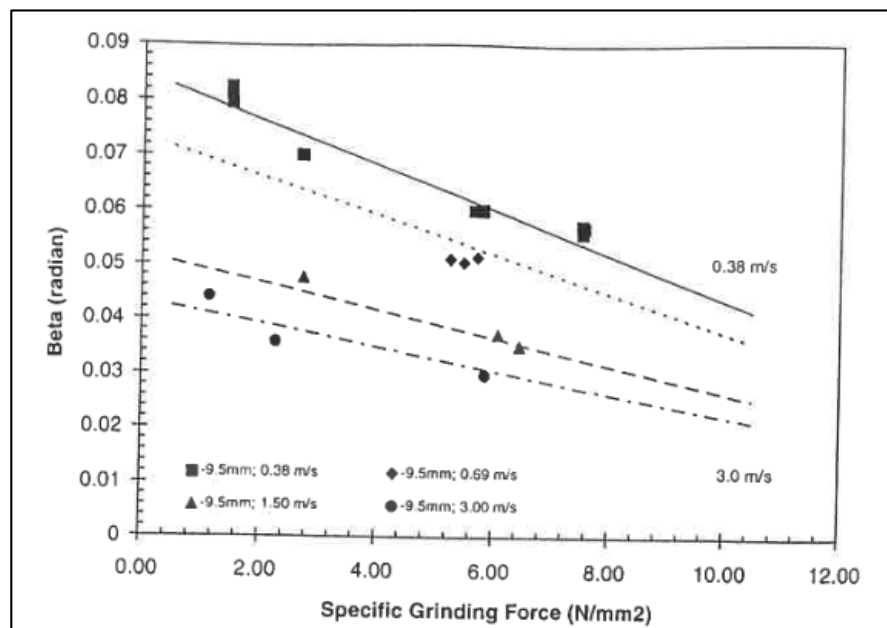
$$T = \frac{H_{nom} K_s n_d}{2\omega} \quad (Ec. 1)$$

Donde K_s es el factor de servicio y n_d un factor de diseño asumido por el diseñador. El torque es transmitido del motor al eje y del eje al rodillo; sin embargo, si se considera el instante de la compresión, esta no es la que genera el trabajo de molienda, sino la fuerza de reacción (o normal a la tangencial). Morrel et al [7] han establecido que la fuerza

de reacción es directamente proporcional al torque entregado a cada rodillo por un “coeficiente de desplazamiento” β que a su vez depende de variables como la velocidad, el tamaño del grano, la capacidad de producción, la misma fuerza específica aplicada a los rodillos, y otras propiedades del material que solo se pueden determinar por medio de la experimentación.

La constante β es determinada a partir de la fuerza específica F_{sp} (presión o fuerza ejercida en una unidad de rodillo con diámetro D y longitud L) y depende de la velocidad tangencial y tamaño de grano de entrada. Se cuenta con data experimental para un caso de molienda en específico.

Figura 6: Efecto de la velocidad de rodillo y la fuerza específica de molienda en el ángulo de desplazamiento β

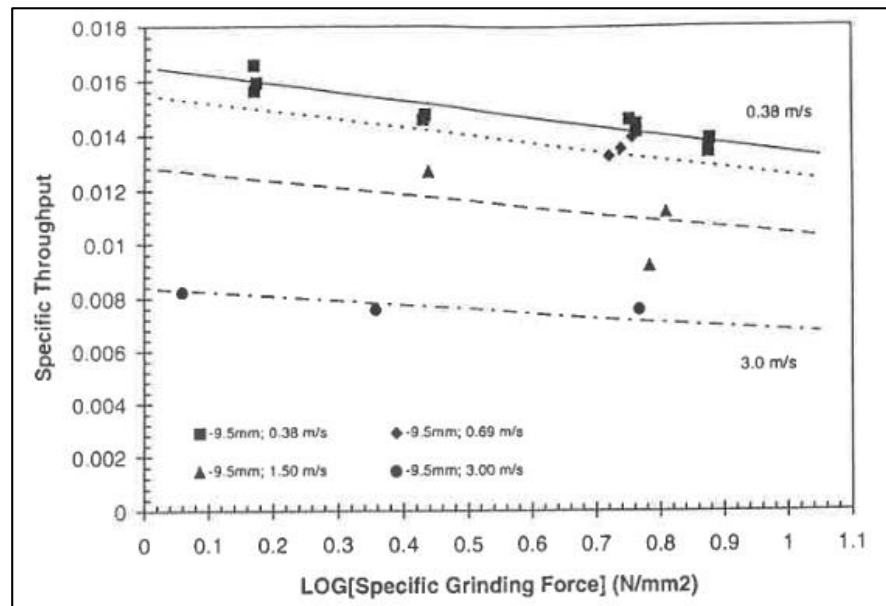


Se observa que el ángulo de desplazamiento presenta una relación lineal con la fuerza específica de molienda. Fuente: [7, p. 120]

A su vez, más estudios plantean la relación que existe entre la fuerza específica y un “desempeño específico” \dot{m} puede ser representado de la siguiente manera:

$$\dot{m} = \frac{Q}{\rho_{in} u L D} \quad (2)$$

Figura 7: Efecto de la velocidad de rodillo y la fuerza específica de molienda en el desempeño específico \dot{m}



El desempeño específico presenta una relación lineal con el logaritmo de la fuerza específica de molienda. Fuente: [7, p. 119]

Cabe resaltar que dichas relaciones que plantean Morrel et al son bajo el estudio de los molinos de rodillos a alta presión (HPRG), sin embargo, se pueden plantear las ecuaciones en términos de fuerza de molienda o reacción F en lugar de la fuerza horizontal de molienda F_H producto de la presión ejercida en los pistones.

$$T = \beta F_H D$$

$$F_H = F D L$$

Igualando ambas ecuaciones se obtiene que la fuerza de reacción en un rodillo se expresa en relación de la potencia, velocidad, geometría del rodillo y la constante experimental β :

$$F = \frac{H_{nom} K_s n_d}{2\beta D L n} \quad (Ec. 3)$$

Ángulo de compresión

Es el ángulo que forma el arco de los rodillos que se encuentran en la región o zona de compresión ($B_1B_2 - C_1C_2$).

Haciendo uso de la ecuación de equilibrio estático en el eje vertical de cualquier punto de la zona, se puede obtener una interesante relación entre el ángulo de compresión y el coeficiente de fricción:

$$\mu = \tan \theta$$

Por lo tanto, el ángulo que determina la zona de compresión es:

$$\theta = \tan^{-1} \mu \quad (\text{Ec. 4})$$

Diámetro de rodillos

Una vez calculado el ángulo de compresión, es fácil determinar el radio y/o diámetro que necesitan tener los rodillos para un determinado grano de entrada y de salida.

$$\cos \theta = \frac{\left(R + \frac{s}{2}\right)}{\left(R + \frac{d}{2}\right)}$$

$$R = \frac{s - d \cos \theta}{2(\cos \theta - 1)}$$

$$D = \frac{s - d \cos \theta}{(\cos \theta - 1)} \quad (\text{Ec. 5})$$

Capacidad de producción

La capacidad Q de un molino de rodillos es directamente proporcional al diámetro, longitud y velocidad de los rollos. Bajo condiciones de alimentación continua y estable, la capacidad está dada por:

$$Q = 60 \pi D L n s \rho_{in} \quad (\text{Ec. 6})$$

donde:

En la práctica, la capacidad puede ser tan pequeña como 25 % de la calculada Q . Esta corrección es requerida debido a los vacíos entre las partículas y el incremento de la densidad aparente de estas al pasar a

través de la cámara de triturado. Cuando el flujo de alimentación es irregular, la capacidad decrece [5, p. 175].

Por lo tanto, la ecuación corregida de capacidad o flujo de producción es:

$$\frac{Q}{\varepsilon} = 60 \pi D L n s \rho_{in} \quad (Ec. 7)$$

donde:

ε factor de eficiencia, el cual tiene un valor de entre 0,15 a 0,30.

Velocidad tangencial en rodillos

Esta se relaciona con la velocidad de giro y el diámetro de los rodillos:

$$u = nD \frac{\pi}{60} \quad (Ec. 8)$$

Coefficiente de fricción cinético

El coeficiente de fricción se ve reducido en el momento en el que los rodillos se encuentran en movimiento en condiciones de trabajo estable. Este depende de la velocidad de los rodillos y del coeficiente de fricción establecido entre los materiales [5, p. 172].

$$\mu_k = \left[\frac{(1 + 1,12n)}{(1 + 6n)} \mu \right] \quad (Ec. 9)$$

Fuerza de fricción en los rodillos

Cuando los rodillos se encuentran en condiciones estables de trabajo se presencia una fuerza de rozamiento opuesta al movimiento de estos, generada por la fricción entre las partículas y la máquina en cuestión. Se establece su relación:

$$F_{\mu} = F \mu_k \quad (Ec. 10)$$

Torque de fricción en los rodillos

La fuerza de fricción generada por el contacto entre la materia prima y los rodillos producen un torque relativo a su centro que es transmitido al eje mecánico y demás elementos.

$$T_{\mu} = F_{\mu} \frac{D}{2} L \quad (\text{Ec. 11})$$

2.2.2. Mecánica

Distribución de fuerzas: Muy conocido también como *carga distribuida*. Es un fenómeno de aplicación de capacidad física distribuida sobre toda la superficie de algún cuerpo; como la presión del viento sobre la superficie de una pared, la presión de algún líquido dentro de un tanque, por citar algunos ejemplos. En la ingeniería, el tipo más común de carga distribuida es una carga uniforme a lo largo de una viga.

Esfuerzo de ingeniería σ : Se define como la fuerza aplicada dividida entre el área transversal inicial del material (el área que tiene el material antes de aplicar la fuerza). El área transversal es el área perpendicular a la línea de acción de la fuerza. Se representa mediante la siguiente expresión:

$$\sigma = \frac{\text{Fuerza aplicada}}{\text{Área inicial del material}} = \frac{F}{A_0} \quad (\text{Ec. 12})$$

En el diseño de los sistemas mecánicos del molino del rodillo se hacen presente los esfuerzos fluctuantes, estos varían su valor y adoptan una forma sinusoidal (ver Figura 8) debido a la naturaleza de algunas máquinas rotatorias. Dependiendo de la ubicación del componente bajo estudio, es que se generan dos componentes del esfuerzo: el esfuerzo medio y el alternante. Las cuales se representan mediante las siguientes ecuaciones [8, p. 287]:

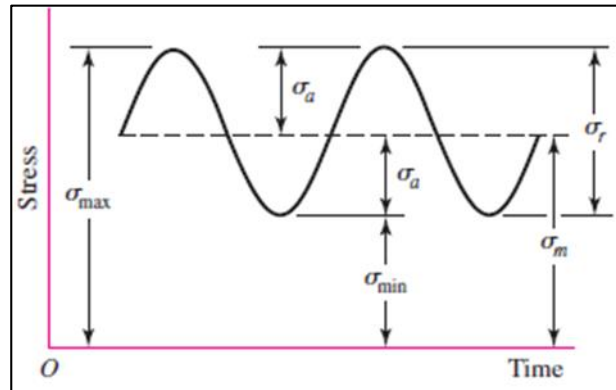
$$\sigma_m = \frac{\sigma_{m\acute{a}x} + \sigma_{m\acute{i}n}}{2} \quad (\text{Ec. 13})$$

$$\sigma_a = \left| \frac{\sigma_{m\acute{a}x} - \sigma_{m\acute{i}n}}{2} \right| \quad (\text{Ec. 14})$$

Para entenderlo mejor, suponer que se tiene un eje de cierto sistema mecánico de transmisión de potencia; este, en todo momento, se verá sometido a esfuerzos. El esfuerzo cortante generado por la torsión es un esfuerzo medio ya que en todo momento su valor será constante.

Mientras que el esfuerzo alternante será el causado por la flexión del eje pues, bajo ciertas cargas, en un momento un lado del eje se puede someter a flexión para luego pasar a compresión.

Figura 8: Distribución de esfuerzos fluctuantes



Fuente: [8, p. 287]

Para elementos que se someten a cargas axiales, flectoras y torsionales, el esfuerzo alternante y medio, respectivamente, están dados por las siguientes ecuaciones:

$$\sigma_a = \left[\left(\frac{32K_t M}{\pi d^3} \right)^2 \right]^{1/2} \text{ [psi]} \quad (\text{Ec. 15})$$

$$\sigma_m = \left[3 \left(\frac{16T}{\pi d^3} \right)^2 \right]^{1/2} \text{ [psi]} \quad (\text{Ec. 16})$$

donde K_t es un factor de concentración de esfuerzos, M [lb.in] es el momento flector máximo, T [lb.in] es el momento torsor máximo y d [in] es el diámetro del eje en caso sea pieza con sección circular, de lo contrario, es el diámetro efectivo.

Transmisión de potencia por cadena de rodillo:

Las siguientes ecuaciones fueron obtenidas a partir de [8, pp. 851-881].

La potencia de diseño se ve influenciada por el factor de servicio y un factor de diseño estimado por el diseñador

$$H_d = H_{nom} \times K_S \times n_d \quad (\text{Ec. 17})$$

donde H_{nom} es la potencia inscrita en la placa del motor.

La relación de transmisión es directamente proporcional a la relación entre los diámetros mayor y menor, e inversamente proporcional a la relación de velocidades mayor y menor.

$$m_g = \frac{D}{d} = \frac{n}{n_m} \quad (Ec. 18)$$

Cuando se trata de elementos de transmisión flexible, tanto las bandas como las cadenas poseen un límite de potencia a transmitir, esta se obtiene mediante sus correspondientes tablas y es alterada por dos factores condicionales. En la siguiente ecuación H_a es la potencia admisible en el elemento flexible y H_{tab} es la potencia tabulada.

$$H_a = H_{tab} \times K_1 \times K_2 \quad (Ec. 19)$$

El diámetro de paso es aquel diámetro efectivo de la polea o catarina, que va a determinar parámetros como la relación de transmisión o velocidad tangencial. Este se obtiene con el paso entre torones de la cadena en cuestión.

$$D = \frac{p}{\sin(180^\circ/N)} \quad (Ec. 20)$$

Para estimar la longitud de la cadena se tiene la siguiente relación entre longitud y paso.

$$\frac{L}{p} = \frac{2C}{p} + \frac{N_1 + N_2}{2} + \frac{(N_2 - N_1)^2}{4\pi^2 C/p} \quad (Ec. 21)$$

donde C es la distancia entre centros asumida en un inicio y N es el número de dientes de determinada catarina.

Asimismo, se puede generar un proceso iterativo con la relación L/p y la distancia entre centros calculada con la siguiente ecuación:

$$C = \frac{p}{4} \left[-A + \sqrt{A^2 - 8 \left(\frac{N_2 - N_1}{2\pi} \right)^2} \right] \quad (Ec. 22)$$

donde la constante A es:

$$A = \frac{N_1 + N_2}{2} - \frac{L}{p}$$

Transmisión de potencia por ejes mecánicos:

Las siguientes ecuaciones fueron obtenidas a partir de [9, pp. 532-625].

El diámetro mínimo para satisfacer los criterios de seguridad estática y por fatiga, según el criterio ASME – elíptica, es:

$$D = \left[\frac{32(N)}{\pi} \sqrt{\left[\frac{K_t M}{S'_n} \right]^2 + \frac{3}{4} \left[\frac{T}{S_y} \right]^2} \right]^{1/3} \quad [in] \quad (Ec. 23)$$

donde:

N es el factor de seguridad.

K_t es el factor de concentración de esfuerzos.

M es el momento flector [$lb. in$].

S'_n es el valor real de esfuerzo a la fatiga [psi].

T es el par torsor [$lb. in$].

S_y es la resistencia a la fluencia [psi].

El esfuerzo real a la fatiga es obtenido mediante:

$$S'_n = C_R C_s S_n \quad (Ec. 24)$$

donde:

C_r es el factor de confiabilidad.

C_s es el factor de tamaño.

S_n es la resistencia a la fatiga.

Dichos factores se encuentran en sus determinadas tablas.

El criterio de ASME-elíptica para la falla estática y por fatiga, se expresa en la siguiente ecuación:

$$\left(\frac{n_f \sigma_a}{S_n'}\right)^2 + \left(\frac{n_f \sigma_m}{S_y}\right)^2 = 1 \quad (\text{Ec. 25})$$

donde:

n_f es el factor de seguridad ante la falla por fatiga.

σ_a [psi] es el esfuerzo alternante.

σ_m [psi] es el esfuerzo medio.

Despejando la expresión anterior, se obtiene que el factor de seguridad que protege contra la fatiga es:

$$n_f = \sqrt{\frac{1}{\left(\frac{\sigma_a}{S_n'}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_m}{S_y}\right)^2}} \quad (\text{Ec. 26})$$

El factor de seguridad ante falla por fluencia se calcula haciendo uso de la ecuación de diseño de fluencia de primer ciclo de Langer, la cual es:

$$\sigma_a + \sigma_m = \frac{S_y}{n_y} \quad (\text{Ec. 27})$$

Despejando, se tiene el factor de seguridad ante falla por fluencia:

$$n_y = \frac{S_y}{\sigma_a + \sigma_m} \quad (\text{Ec. 28})$$

Finalmente, el diseño de cojinetes se basa en la carga dinámica básica y los ciclos de vida del elemento.

$$C = P_d \times (L_d/10^6)^{1/k} \text{ [lb]} \quad (\text{Ec. 29})$$

donde:

P_d es la carga de diseño [lb]. Esta es la fuerza cortante que se ejerce en determinado punto del eje.

L_d es la duración de diseño [revoluciones].

k es un factor que equivale a 3 para rodamiento de bolas y 3.33 para rodamiento de rodillos.

Las revoluciones de diseño L_d se calculan con la siguiente ecuación:

$$L_d = (h)(n)(60 \text{ min/h}) \text{ [rev]} \quad (\text{Ec. 30})$$

2.2.3. Laboratorio virtual

El laboratorio virtual es “un sistema informático que pretende simular el ambiente de un laboratorio real y que mediante simulaciones interactivas permite desarrollar las prácticas de laboratorio” [10].

SolidWorks: Es un software de diseño CAD 3D (diseño asistido por computadora) que permite modelar piezas, ensambles y planos. “Ofrece un abanico de soluciones para cubrir aspectos implicados en el proceso de desarrollo del producto. Los productos ofrecen la posibilidad de crear, diseñar, simular, fabricar, publicar y gestionar los datos del proceso de diseño” [11].

Para la simulación de las piezas, el software usa herramientas CAE (ingeniería asistida por computadora), entre estas: SolidWorks Simulation, Flow Simulation y Plastics. Este somete los diseños a condiciones idénticas a las que el modelo o ensamble experimentaría en la realidad.

La herramienta SolidWorks Simulation hace uso del FEM (método por elementos finitos), el cual es un método numérico que da soluciones a las ecuaciones diferenciales parciales muy complejas utilizadas en gran cantidad de problemas de ingeniería.

Método por elementos finitos (FEM)

Este método fue introducido hace aproximadamente sesenta años, sin embargo, su uso se ha extendido gracias al crecimiento de las computadoras que, con el pasar del tiempo, las velocidades iban en aumento. El método por elementos finitos implica la resolución de numerosas ecuaciones simultáneas en el cuerpo que está siendo estudiado. A continuación, se explica de manera simplificada las bases

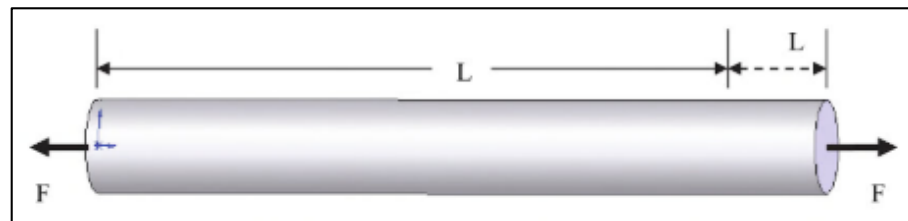
matemáticas de la solución de elementos finitos basada en un enfoque de rigidez.

Una vez asignado el material a la pieza o modelo, sus dimensiones y las fuerzas que este recibe; el software requiere que se le haga un mallado al modelo. Con el mallado realizado, SolidWorks resuelve la ecuación de desplazamiento. Esta es la primera en resolver debido a que todos los parámetros independientes, ya mencionados, son conocidos.

$$\Delta L = \frac{FL}{AE} \quad (\text{Ec. 31})$$

donde F es la carga a la que la pieza está sometida, L es la longitud antes de desplazarse, A es la sección transversal y E es el módulo de Young del material asignado.

Figura 9: Pieza simple sometida a carga axial



Fuente: [12, pp. I-1]

Una vez resuelta la ecuación de desplazamiento en el respectivo nodo, se resuelve la ecuación de deformación unitaria, que matemáticamente se expresa de la siguiente forma:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \quad (\text{Ec. 32})$$

Finalmente, se resuelve la ecuación de esfuerzo, que determinará el estado del cuerpo:

$$\sigma = E\varepsilon \quad (\text{Ec. 33})$$

La Ec. 33 es válida solo en la región elástica, donde el esfuerzo es directamente proporcional a la deformación. Esto quiere decir que la ecuación anterior solo es válida para materiales lineales y su análisis se conoce como de tensión lineal.

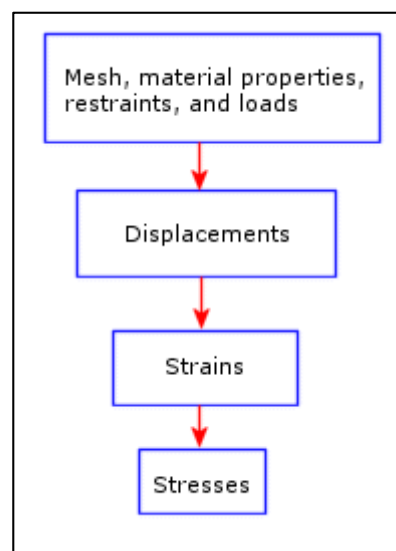
La mayoría de los componentes industriales son fabricados de metal, los cuales tienen un comportamiento lineal. A todo esto, el enfoque que se utilice dependerá de cuanto se quiera avanzar en el diseño:

- Si se quiere que el modelo vuelva a las condiciones iniciales una vez que se retire la carga, entonces se debe aplicar el análisis de tensión lineal, siempre que las rotaciones y desplazamientos sean pequeños en relación con la geometría. El objetivo de estudio de este tipo de análisis suele ser el factor de seguridad.
- Si el modelo no presenta un comportamiento lineal, es decir, no regresa a las mismas condiciones una vez retirada la carga, entonces se recomienda un análisis de tensión no lineal.

Debido a que este trabajo será desarrollado con materiales de comportamiento lineal, el método por elementos queda limitado al diagrama de bloques que se muestra en la Figura 10.

En resumen, el método por elementos finitos comienza con la asignación de material, malla, restricciones y cargas, para luego calcular el desplazamiento y con eso la deformación unitaria, para finalmente obtener el esfuerzo en cada nodo del modelo.

Figura 10: Diagrama de bloques de solución por FEM en SolidWorks



Fuente: [13]

Con respecto a los cálculos de tensiones, estos primero se calculan en puntos especiales, llamados puntos gaussianos o puntos de cuadratura,

ubicados dentro de cada elemento. El programa se encarga de calcular las tensiones en los nodos de cada elemento extrapolando los resultados que los puntos gaussianos disponen.

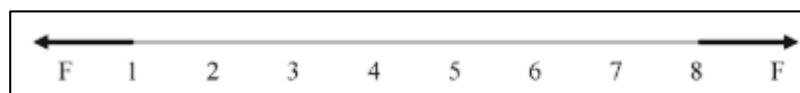
Los nodos que son comunes a dos o más elementos tienen múltiples resultados que por lo general no son idénticos debido a que el método por elementos finitos es un método aproximado. Si un nodo es común a más de un elemento, puede haber varios valores ligeramente diferentes para cada componente de tensión en ese nodo.

Al programa se le puede solicitar las tensiones por nodo o por elemento. Para estas últimas, se promedian los valores de tensiones de todos los nodos del respectivo elemento. Para calcular las tensiones nodales, el programa promedia los valores que corresponden a todos los elementos que comparten el mismo nodo.

Nodos, elementos y grados de libertad y ecuaciones

El método por elementos finitos requiere una simplificación del modelo en partes, la Figura 11 muestra la división arbitraria de una pieza cilíndrica ficticia, en donde se pueden distinguir los nodos y elementos.

Figura 11: Seccionamiento arbitrario de pieza cilíndrica sometida a dos fuerzas en sus extremos



Fuente: [12, pp. I-2]

Los elementos son aquellos pequeños espacios entre cada número, mientras que los nodos son aquellos que unen los elementos. En la figura se puede ver que existen ocho nodos y siete elementos. Es en los nodos donde se localizan los resultados de las ecuaciones que más adelante serán explicadas.

El caso anterior muestra un seccionamiento unidimensional, sin embargo, esto se hace con el fin de comprender los grados de libertad y el número de ecuaciones que resulta ejecutarse durante el análisis por elementos finitos. Si cada desplazamiento restringido en el eje X es considerado como un grado de libertad, entonces el modelo anterior presenta 14 grados de libertad.

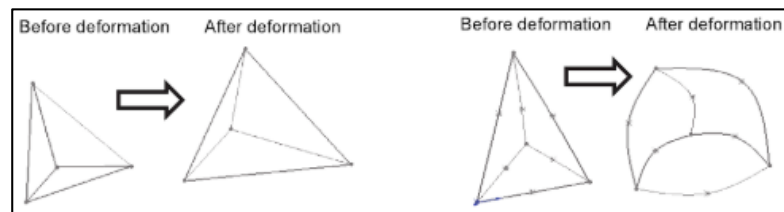
$$G.L. = \text{elementos} \times \frac{\text{nodos}}{\text{elemento}} \times \frac{\text{grados de libertad}}{\text{nodo}}$$

Los grados de libertad indican el número de desplazamiento por nodo, es decir, el juego de ecuaciones 31, 32 y 33 serán resueltas de manera simultánea tantas veces como grados de libertad tenga el modelo.

$$\# \text{ resolución de ecuaciones} = \# G.L. \text{ del modelo}$$

Como se mencionó, los componentes que van a ser analizados son, por lo general, sólidos, por lo que el tipo de elementos a usarse serán de tipo sólido.

Figura 12: Tipos de elementos sólidos según su orden



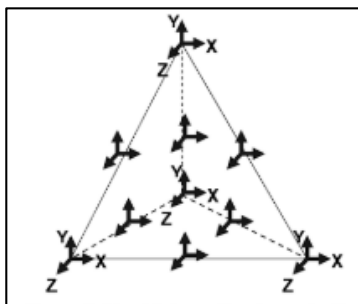
A la izquierda un elemento tetraédrico de primer orden que permanece con las aristas rectas después de la deformación. A la derecha un elemento tetraédrico de segundo orden cuyas aristas se flexionan después de la deformación debido a la mayor cantidad de nodos.

Fuente: [12, pp. I-3]

Debido a la mayor cantidad de nodos, los elementos de segundo orden presentarán mayor grado de libertad, es decir, su calidad será mejor ya que resolverá más ecuaciones y la aproximación de sus resultados serán muy cercanos a las reales.

Un solo elemento de segundo orden presenta 30 grados de libertad.

Figura 13: Grados de libertad de elemento tetraédrico de segundo orden



Fuente: [12, pp. I-4]

$$3 \frac{\text{grados de libertad}}{\text{nodo}} \times 10 \frac{\text{nodos}}{\text{elemento}} = 30 \frac{\text{grados de libertad}}{\text{elemento}}$$

Esto indica que se resolverán 30 “juegos de ecuaciones” en un elemento tetraédrico de segundo orden.

2.3. Definición de términos básicos

Diseño: Shigley [8] afirma que en ingeniería el diseño es un proceso innovador, altamente iterativo y de toma de decisiones con la finalidad de formular un plan para satisfacer una necesidad específica o resolver un problema en particular.

Sal de consumo humano: La Norma Técnica Peruana de Sal para Consumo Humano lo define como “el producto cristalino que contiene predominantemente cloruro de sodio (NaCl), la cual se emplea en la elaboración y aderezo de los alimentos para consumo humano, incluyendo la utilizada en la industria alimentaria como agente conservador, saborizante, y en general como aditivo en el procesamiento de la materia alimentaria” [14].

Granulometría: Según la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales; la granulometría es la “medida de las dimensiones y los porcentajes de partículas o granos de una sustancia granulosa cualquiera, que se aplica a los sedimentos detríticos no compactados” [15].

Densidad aparente

La densidad aparente (o muy conocida como *bulk density* por su traducción al inglés) de un material es la relación entre la masa y el volumen ocupado por el material incluyendo huecos y poros que contenga. Este es un término

que se emplea muy frecuentemente en geología cuando se refiere a polvos, componentes minerales, sustancias químicas, etc. [16].

Este concepto deja en claro que la densidad aparente del material varía según su granulometría; pues mientras aumenta su compactación, se reducen los vacíos entre granos, aumentando así la densidad

Finos indeseados: Son aquellas partículas cuya granulometría es inferior a la deseada en el proceso de producción debido a que, al exponerse al ambiente, generan daños que no son deseados ni en la planta de producción, ni en el aspecto social.

[4, p. 148] afirma que los molinos de rodillos ofrecen un producto libre de dichos finos indeseados que se generan en el proceso de triturado.

Sistemas electromecánicos: Son aquellos sistemas que combinan partes eléctricas y mecánicas para conformar un determinado mecanismo destinado a satisfacer alguna necesidad en específico.

III. Diseño

3.1. Metodología

Con la finalidad de conocer los parámetros para el diseño del molino de rodillos, fue necesario realizar un diagnóstico a las plantas de producción de sal en la región. Para esto, fue necesario elaborar una encuesta diagnóstico (ver Anexo 1) que fue evaluada por un grupo de cinco jueces expertos (ver Anexo 2) para su posterior validación [17], la cual se llevó a cabo mediante la prueba de concordancia de Kendall. Para el diagnóstico se tomaron en cuenta las empresas de producción de sal en la región Lambayeque que se ofrecieron a participar en el estudio. Además, estas debieron haber tenido un registro sanitario vigente en el momento de la realización de la encuesta, el cual fue consultado en el portal de DIGESA. En el Anexo 3 se adjunta la toma de datos a las empresas por medio de las encuestas ya elaboradas.

Para el diseño del equipo se aplica el modelo sistemático de diseño en ingeniería desarrollado en la década de 1970 por los profesores alemanes Pahl y Beitz [18] (ver Anexo 4). Este consta de cuatro etapas que conforman el proceso de diseño: clarificación de la tarea, diseño conceptual, diseño básico y diseño de detalle. En el primero se establecen las especificaciones de la tarea. En diseño conceptual se determina la estructura funcional del sistema para proponer principios de solución y su combinación en variantes de conceptos (expresados en una matriz morfológica) para finalmente evaluarlos mediante criterios técnicos y económicos establecidos por el diseñador, quien finalmente hace elección de la mejor alternativa. Esto último es la base del diseño básico, pues su consecuencia es la ejecución preliminar de la labor de diseño, donde se obtienen los esquemas preliminares y formas de diseño bajo ciertos criterios, se lleva a cabo el cálculo ingenieril, la optimización, corrección de errores, etc.; para finalmente proporcionar los detalles finales de la solución, expresados en planos y documentación. Esto es, diseño de detalle. Se debe tener en cuenta que, por lo general, esta y toda metodología de diseño requiere de constantes iteraciones y optimización en el proceso, para lograr una adecuada solución al problema.

3.2. Diagnóstico de la situación actual de las plantas de producción de sal en la región Lambayeque

Prueba de concordancia de Kendall

Se utilizó esta prueba para la validez de contenido de la encuesta, con la cual se midió el grado de concordancia entre un grupo de expertos ($K = 5$) y un conjunto de ítems (n).

La respuesta es ordinal. La hipótesis nula es que no hay concordancia ($W=0$) y la hipótesis alterna afirma la concordancia, es decir ($W > 0$). Este estadístico sigue una χ^2 con grados de libertad $n - 1$. Los puntajes obtenidos en relevancia y claridad de cada juez se muestran en la Tabla 1, mientras que en la Tabla 2 se observa el resultado de la prueba.

Tabla 1: Puntaje de relevancia y claridad de la encuesta obtenido por cada juez experto participante

	Rangos	
	Relevancia Rango promedio	Claridad Rango promedio
Juez 1	2.48	2.93
Juez 2	3.13	3.30
Juez 3	2.94	2.93
Juez 4	3.50	2.56
Juez 5	2.94	3.30

Tabla 2: Resultados de la prueba de concordancia de Kendall

Estadísticos de prueba	Relevancia	Claridad
N	27	27
W de Kendall^a	0.150	0.148
Chi-cuadrado	16.205	16.000
Grados de libertad	4	4
Sig. asintótica	0.003	0.003

a. Coeficiente de concordancia de Kendall

De acuerdo a los resultados obtenidos se acepta la hipótesis alterna, es decir, que existe concordancia entre las opiniones de los expertos y que este valor es significativo ($p < 0.05$) en coherencia y claridad. Con respecto a la relevancia, los jueces concordaron.

Empresas productoras partícipes en el diagnóstico

En la Tabla 3 se enlista a todas las empresas de la región, mientras que en el Gráfico 1 se indica una comparativa porcentual de aquellas que participaron y las que no estuvieron presentes para la evaluación. En los Gráficos 2 y 3 se muestra la comparación de la cantidad de empresas encuestadas con las existentes en la región, referentes a sus respectivos distritos y provincias.

Se observa que gran parte de las productoras se localizan en la provincia de Chiclayo, siendo más específicos, en los distritos de José Leonardo Ortiz (13), La Victoria (3) y en Chiclayo (2); seguido de 3 en la provincia de Lambayeque, Mórrope; mientras que en Ferreñafe no existen empresas dedicadas a este rubro.

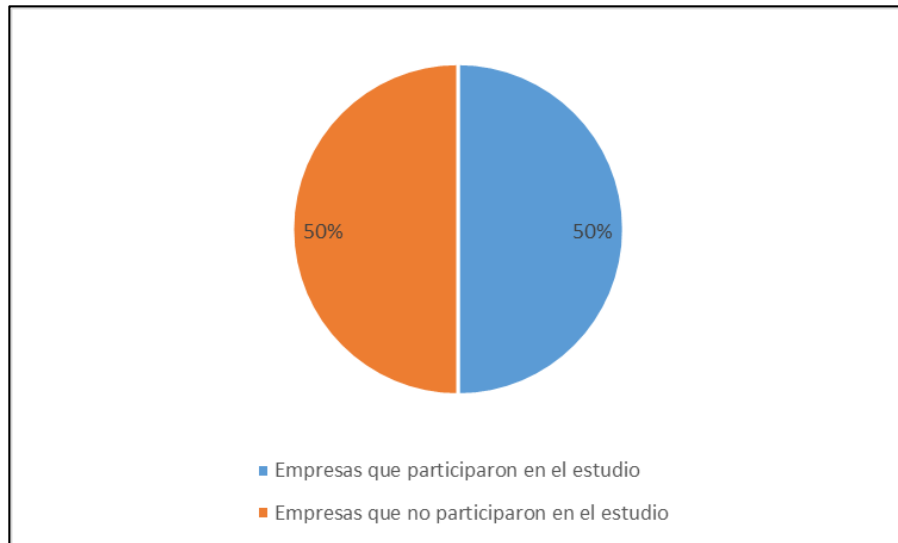
Se evidencia que, del total de las 22 empresas con registro sanitario vigente, solo el 50% decidieron ser partícipes en el estudio, mientras que el resto se abstuvo. De las participantes, 8 se localizan en la provincia Chiclayo mientras que en Lambayeque todas se hicieron presentes.

Tabla 3: Empresas de producción de sal en Lambayeque

	ÍTEM	Razón social	R.U.C.	Establecimiento	Distrito	Provincia
PARTICIPARON EN EL ESTUDIO	1	Procesadora MMG E.I.R.L.	20602375278	Av. Panamá 3723	J.L.O.	Chiclayo
	2	Grupo Esmi S.A.C.	20392874985	Av. Panamericana Norte km 820	Mórrope	Lambayeque
	3	Gemar Group E.I.R.L.	20600959892	Av. Panamericana Norte km 810	Mórrope	Lambayeque
	4	Cajusol Santisteban Herminio	10167449081	Av. Panamericana Norte km 816	Mórrope	Lambayeque
	5	D'oneyaju S.A.C.	20539025296	Cal. España N° 486 Urb. San Carlos	J.L.O.	Chiclayo
	6	Súper Costeñita E.I.R.L.	20480303785	N° 11 P.J. Chosica del Norte	La Victoria	Chiclayo
	7	Procesadora de Alimentos Luzadt S.C.R.L.	20480131631	Mza. SN Lote 6 Int. Sub7 Urb. Santa María	J.L.O.	Chiclayo
	8	Empresa Comercializadora de Sal E.I.R.L.	20601265835	La Esmeraldas Mza. W Lote 30 Urb. Carlos Stein	J.L.O.	Chiclayo
	9	Acosta Montenegro Ángel Custodio	10166509535	Av. México 3207 P.J. Nuevo San Lorenzo	J.L.O.	Chiclayo
	10	Luciano Sandoval Santamaría	10175676444	Cal. Lima Mza. X Lote 25 Urb. Miraflores	J.L.O.	Chiclayo

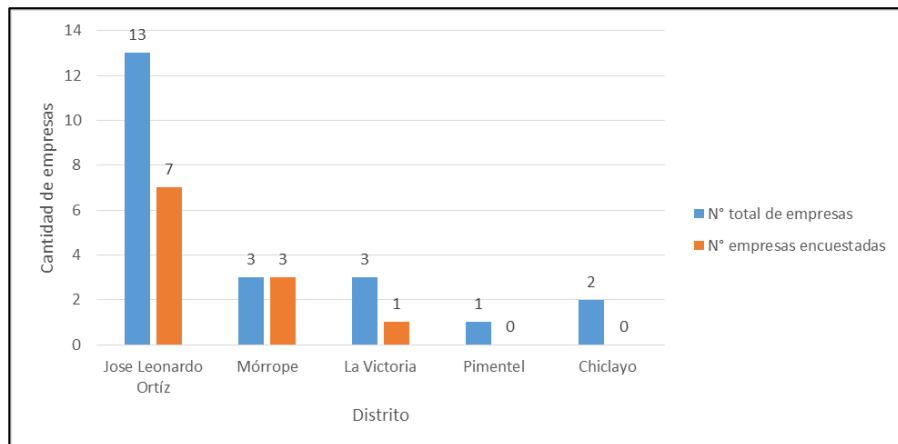
	11	Grupo Renic S.A.C.	20479821381	Cal. María Ignacio Goicochea Lote 19	J.L.O.	Chiclayo
NO PARTICIPARON EN EL ESTUDIO	12	Productos Lucerito E.I.R.L.	20480414005	Cal. Túpac Amaru Mza. 15 Lote. 3	La Victoria	Chiclayo
	13	Llauce Valdera José Edilberto	10406036729	Cal. Unión Mza. D1 Lote. 30 Urb. Popular Miraflores	J.L.O.	Chiclayo
	14	Empresa Procesadora Valnor S.A.C.	20487421902	Cal. Tacna Mza. B Lote. 1 C.P. Santa Ana	J.L.O.	Chiclayo
	15	Ruiz Flores Victor Alfonso	10436149901	Av. Mariano Cornejo 687	J.L.O.	Chiclayo
	16	Sales del Norte S.A.C.	20497419592	Carr. Chiclayo-San José km. 3.5 FND. El Higo	Pimentel	Chiclayo
	17	Zorisal E.I.R.L.	20600937686	Cal. Pariñas 738	Chiclayo	Chiclayo
	18	Cajusol Sandoval José Gilberto	10444843051	Cal. La Unión Mza. El Lote. 7	J.L.O.	Chiclayo
	19	Saladita S.A.C.	20479726982	Av. Hipólito Unánue 255	La Victoria	Chiclayo
	20	Oblitas Vásquez Adelina	10272533895	Mza. D Lote. 17 Urb. Ciudad del Chofer	Chiclayo	Chiclayo
	21	La Nueva Cocinera E.I.R.L.	20561142468	PJ. San Juan 100	J.L.O.	Chiclayo
	22	Briasal E.I.R.L.	20602349803	Av. Venezuela 3450	J.L.O.	Chiclayo
<i>Fuente: Portal DIGESA</i>						

Gráfico 1: Comparativa porcentual entre empresas que participaron y las que estuvieron ausentes en el diagnóstico



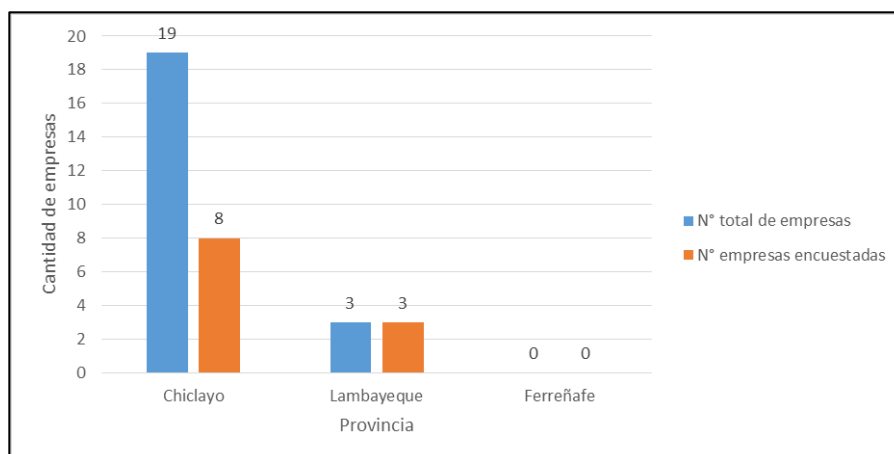
Elaboración propia

Gráfico 2: Comparación entre N° de empresas de producción de sal en la región con las que participaron en el estudio, según el distrito



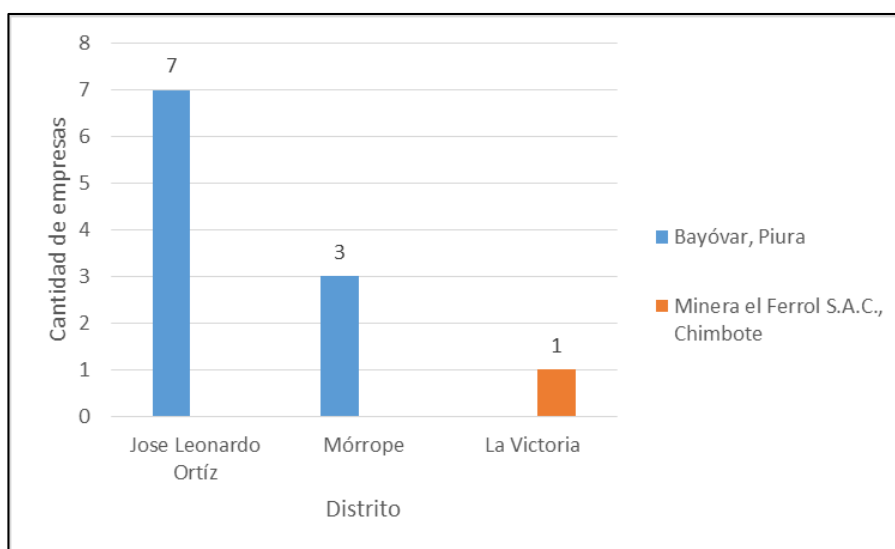
Elaboración propia

Gráfico 3: Comparación entre N° de empresas de producción de sal en la región con las que participaron en el estudio, según la provincia



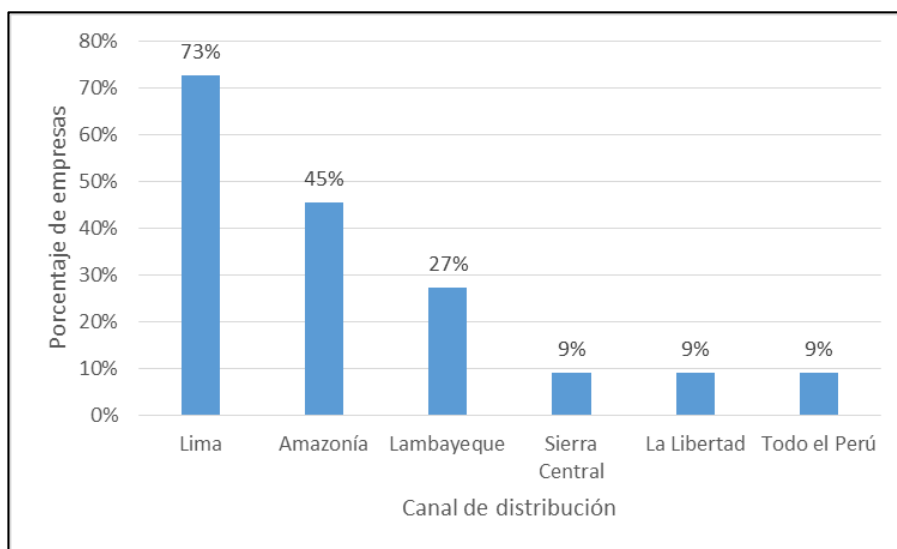
Elaboración propia

Gráfico 4: Cantidad de empresas según la procedencia de la materia prima



Elaboración propia

Gráfico 5: Porcentaje de empresas según los canales de distribución de producto



Elaboración propia

De las empresas productoras que participaron en el estudio, todas las que se establecen en el distrito de José Leonardo Ortiz y Mórrope obtienen su materia prima de la Mina Bayóvar, ubicada en la provincia de Sechura, departamento de Piura; mientras que la empresa ubicada en La Victoria, la adquiere de la Minera el Ferrol S.A.C., Chimbote, provincia de Santa, departamento de Áncash (ver Gráfico 4).

Por último, en el Gráfico 5 se muestra que, de las 11 empresas encuestadas, el 73% distribuye su producto al departamento de Lima; el 45% lo hace a las regiones pertenecientes al Nororiente del país; el 27% en la misma localidad y el 9% distribuye a la Sierra Central, La Libertad y a todo el Perú.

3.2.1. Producción

Trabajadores en el proceso de molienda

En la Tabla 4 se observa el número de trabajadores necesario para operar cada planta y, a su vez, se muestra el porcentaje del total de trabajadores necesario para operar el proceso de molienda. Junto al Gráfico 6, se puede concluir que el 36% de las plantas necesitan menos del 52% del personal para trabajar en dicho proceso, mientras que en el resto se necesita más del 52% de los trabajadores; siendo una en donde se necesita solo el 5% y tres en donde todo el personal de la planta se ve involucrado en la tarea de molienda de sal.

Es importante señalar que la única empresa que necesita menos porcentaje de personal coincide con la única que cuenta con molino de rodillos; pues de 19 trabajadores con los que cuenta dicha planta, solo se es necesario una persona para poder operar el sistema. Esto quiere decir que la adquisición de esta tecnología reduce en gran medida la cantidad de trabajadores en el área de molienda a comparación de las empresas que cuentan con molino de martillos.

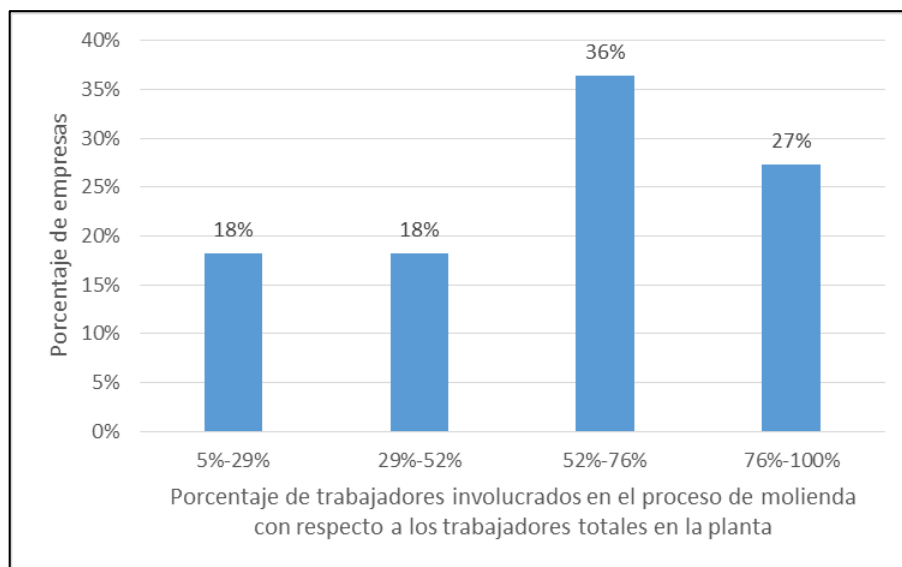
Tabla 4: Número de trabajadores en la planta y en el proceso de molienda en cada empresa de producción de sal

N° encuesta	N° trabajadores en la planta		N° trabajadores en el proceso de molienda	
	n	%	n	%*
1	9	100%	5	56%
2	13	100%	3	26%
3	15	100%	8	53%
4	5	100%	5	100%
5	15	100%	6	40%
6	19	100%	1	5%
7	9	100%	5	56%
8	6	100%	6	100%
9	9	100%	5	56%
10	7	100%	7	100%
11	15	100%	6	40%

** porcentaje con respecto al N° de trabajadores en la planta*

Elaboración propia

Gráfico 6: Porcentaje de empresas según la proporción de trabajadores necesarios para el proceso de molienda con respecto al total de trabajadores en la planta



Elaboración propia

Tiempo de producción por día y mes

En la Tabla 5 se evidencia que, casi en su totalidad, las plantas operan en un promedio de 8 horas por día, al igual que el área de molienda. Mientras tanto, en la Tabla 6 se puede ver que, por lo general, las plantas operan de 20 a 25 días por mes, lo que equivale a la cantidad de días de un mes promedio sin tomar en cuenta los feriados (a excepción de algunas que lo hacen en menos días por cuestiones internas). Nuevamente, los molinos operan todos los días hábiles del mes.

Tabla 5: Número de horas en el que la planta y el molino operan por día en cada empresa de producción de sal

N° encuesta	N° horas en el que la planta opera por día		N° horas en el que el molino opera por día	
	n	%	n	%*
1	8	100%	7	88%
2	8	100%	8	100%
3	8	100%	8	100%
4	5	100%	5	100%
5	8	100%	8	100%
6	8	100%	8	100%

7	8	100%	8	100%
8	8	100%	8	100%
9	8	100%	8	100%
10	8	100%	8	100%
11	8	100%	8	100%
<i>* porcentaje con respecto al N° de horas en el que la planta opera por día</i>				

Elaboración propia

Tabla 6: Número de horas en el que la planta y el molino operan por mes en cada empresa de producción de sal

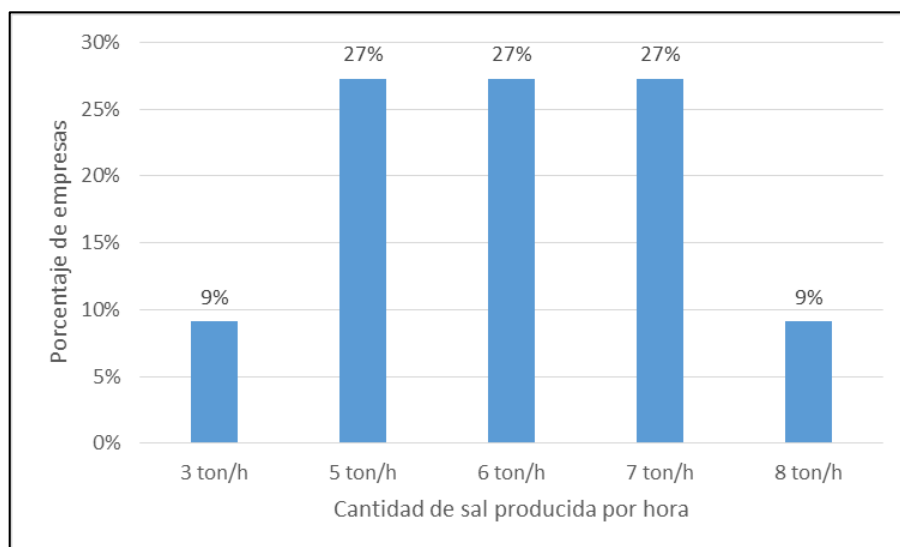
N° encuesta	N° horas en el que la planta opera por mes		N° horas en el que el molino opera por mes	
	n	%	n	%*
1	24	100%	24	88%
2	25	100%	25	100%
3	25	100%	25	100%
4	10	100%	10	100%
5	25	100%	25	100%
6	20	100%	20	100%
7	20	100%	20	100%
8	20	100%	20	100%
9	12	100%	12	100%
10	16	100%	16	100%
11	25	100%	20	80%
<i>* porcentaje con respecto al N° de horas en el que la planta opera por mes</i>				

Elaboración propia

Cantidad de sal producida por hora

En el Gráfico 7 se aprecia que la producción media de sal va desde las 5 hasta las 7 toneladas de producto por hora; por lo que se concluye que el requerimiento de producción de sal para el diseño del molino de rodillos será de, por lo menos, 7 ton/h.

Gráfico 7: Porcentaje de empresas según la cantidad de sal producida por hora



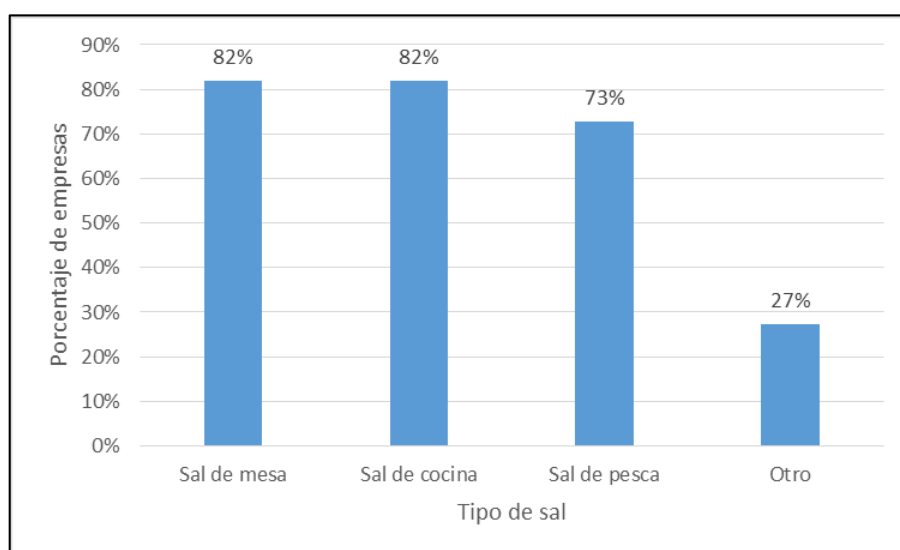
Elaboración propia

3.2.2. Producto

Tipo de sal

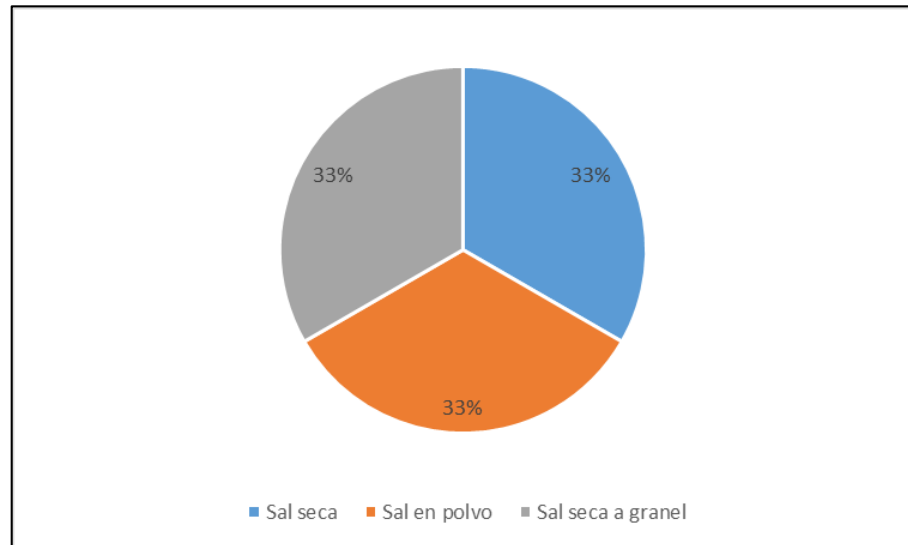
Según el Gráfico 8, el 82% de las empresas ofrecen de manera indistinta su producto como sal de mesa y sal de cocina, mientras que el 73% ofrece sal de pesca. Menos de la tercera parte de estas ofrecen productos pocos comunes de manera equitativa; tales como sal seca, a granel y en polvo (ver Gráfico 9).

Gráfico 8: Porcentaje de empresas según el tipo de sal que se ofrece al mercado.



Elaboración propia

Gráfico 9: Tipos de sal que ofrece el 27% de las empresas que distribuyen otros productos

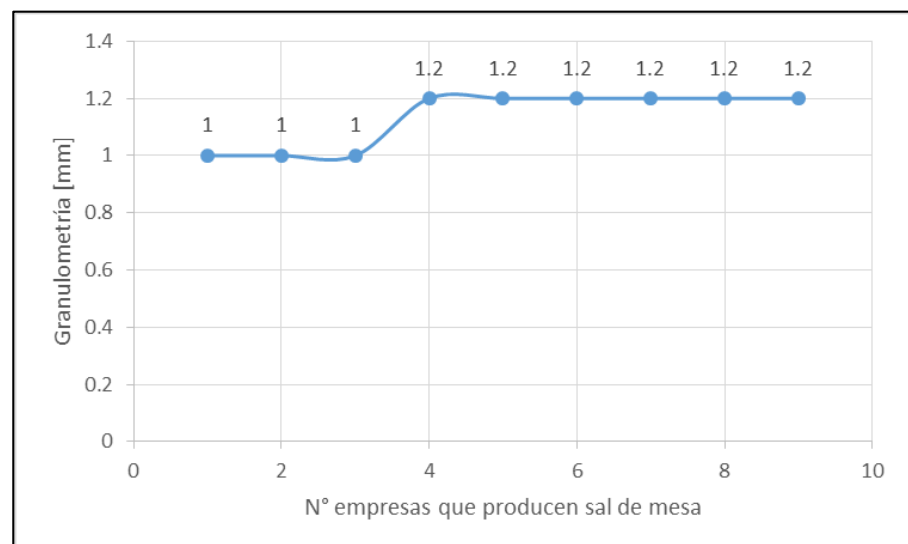


Elaboración propia

Granulometría

- Sal de mesa: se muestra un gráfico de dispersión del tamaño de grano de este tipo de sal de cada empresa que distribuye este producto. Por lo general, el grano de sal de mesa requerido es de 1.2 mm.

Gráfico 10: Tamaño de grano de sal de mesa (en mm) según las empresas que distribuyen este producto

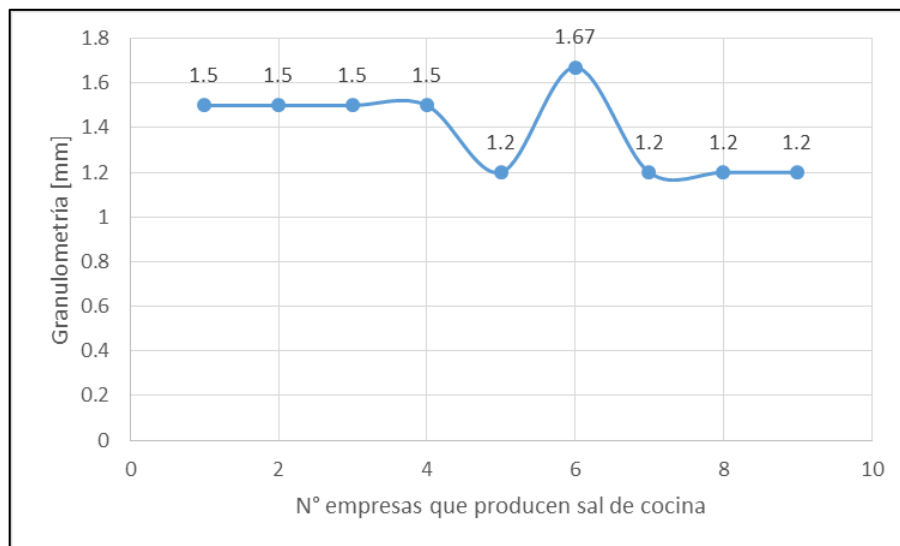


Elaboración propia

- Sal de cocina: en el Gráfico 11 se evidencia que el tamaño de grano de esta sal es ligeramente mayor a la anterior y, sabiendo que la granulometría de sal de cocina es más

grosera que la de mesa, se puede afirmar que su grano es, en promedio, 1.5 mm.

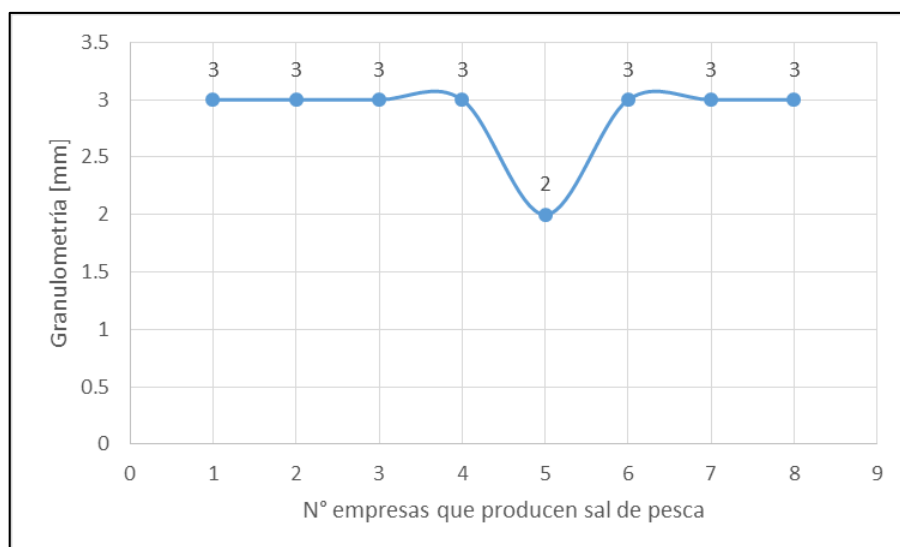
Gráfico 11: Tamaño de grano de sal de cocina (en mm) según las empresas que distribuyen este producto



Elaboración propia

- Sal de pesca: en este caso no existe mucha dispersión en los valores obtenidos en el diagnóstico (ver Gráfico 12), por lo que se puede asegurar que la granulometría para sal de pesca es de 3 mm.

Gráfico 12: Tamaño de grano de sal de pesca (en mm) según las empresas que distribuyen este producto

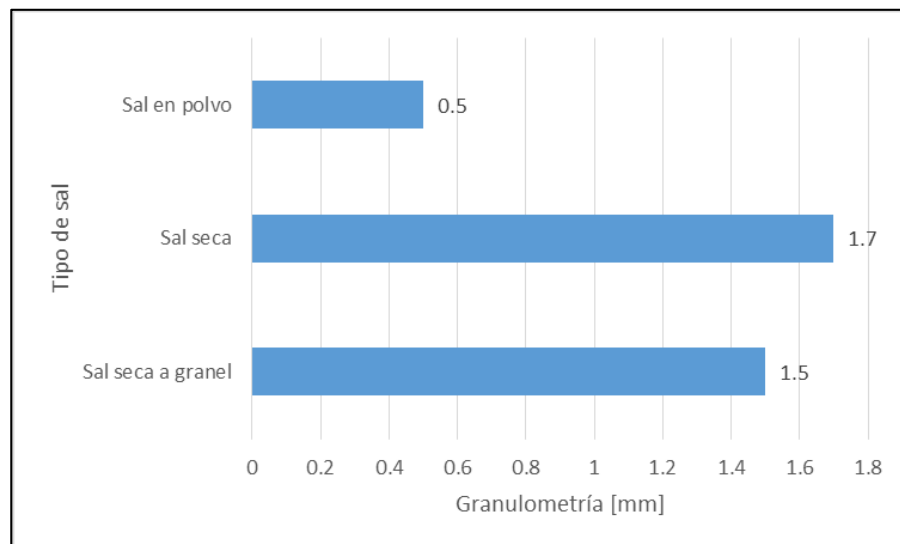


Elaboración propia

- Otros: entre los otros productos que las empresas distribuyen y que son pocos comunes en la región, se

encuentra la sal en polvo (0,5 mm), sal seca (1,7 mm) y sal seca a granel (1,5 mm).

Gráfico 13: Tamaño de grano de otros tipos de sal (en mm) que las empresas distribuyen



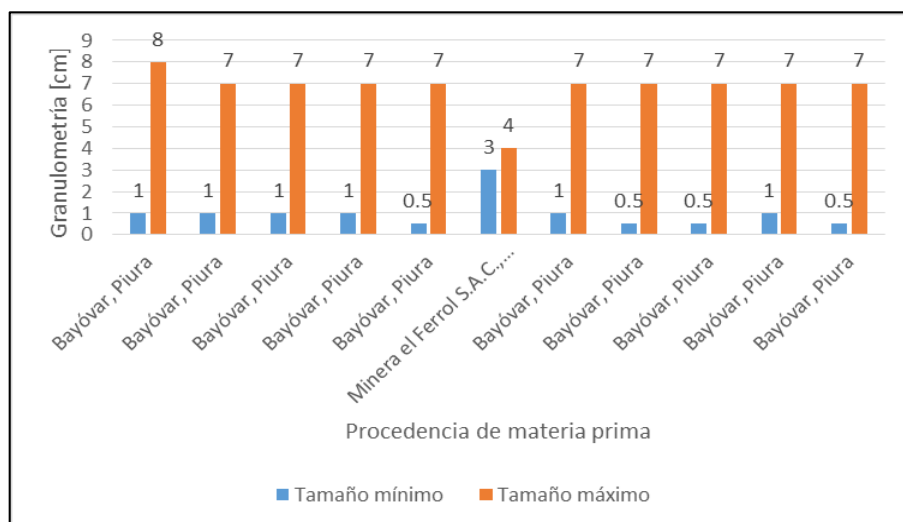
Elaboración propia

Se puede concluir que otro requerimiento para el diseño del molino es que los rodillos puedan reducir el grano a valores máximos de 3 mm (para la sal de pesca) y mínimos de hasta 0,5 mm (para la sal en polvo).

Tamaño de grano proveniente de la mina

En el Gráfico 14 se muestra que el tamaño de grano depende de la mina de donde este proviene, teniendo un rango de 1 a 7 cm para los provenientes de la Mina Bayóvar y de 3 a 4 cm para los de la Minera el Ferrol. Debido a que 10 de 11 empresas de la región obtienen su materia prima de Bayóvar, se considerará su respectivo rango de tamaño de grano como requerimiento del diseño.

Gráfico 14: Tamaño de grano mínimo y máximo (en cm) según la procedencia de la materia prima de cada empresa



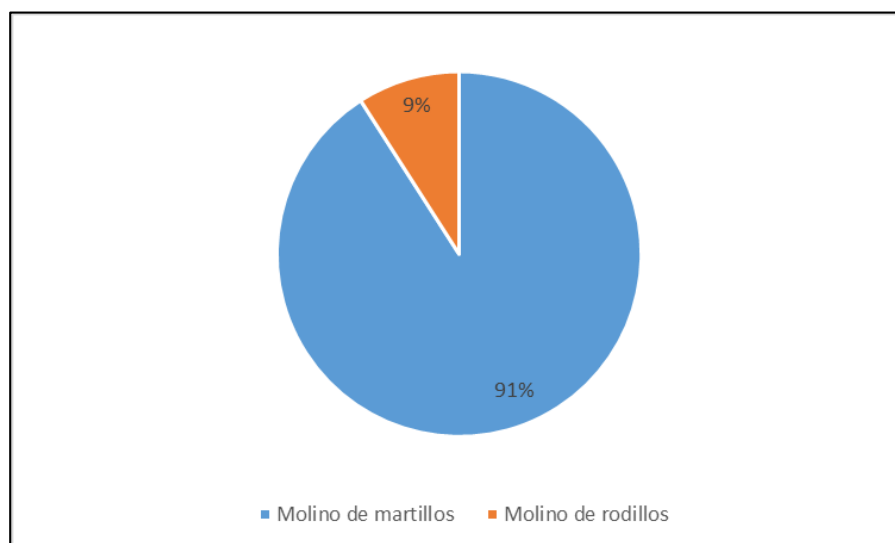
Elaboración propia

3.2.3. Sistema de molienda

Molienda

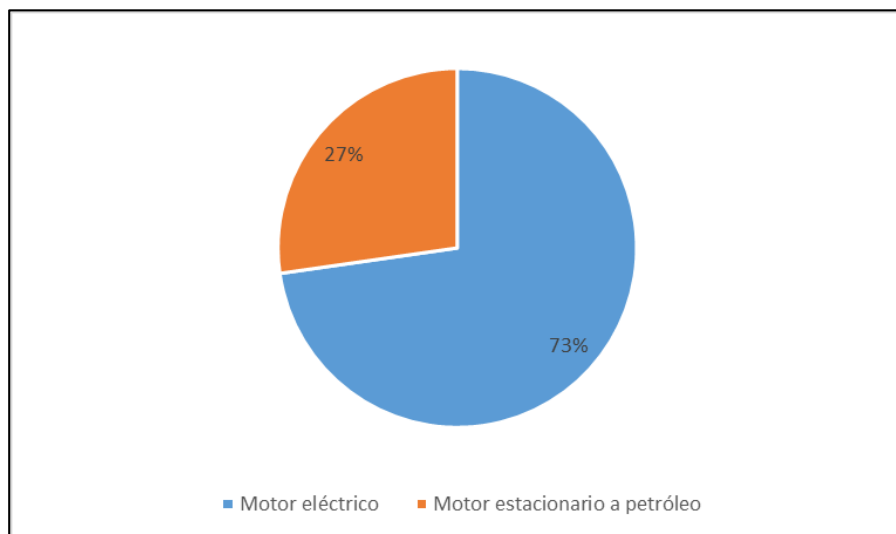
El Gráfico 15 muestra que el 91% de las empresas encuestadas cuentan con molino de martillos, mientras que solo el 9% cuenta con molino de rodillos. Asimismo, 73% de las productoras hacen uso de motor eléctrico y el 27% de motor estacionario a petróleo para operar el molino (ver Gráfico 16).

Gráfico 15: Porcentaje de empresas según el tipo de molino que usan



Elaboración propia

Gráfico 16: Porcentaje de empresas según el tipo de motor que usan para operar el molino

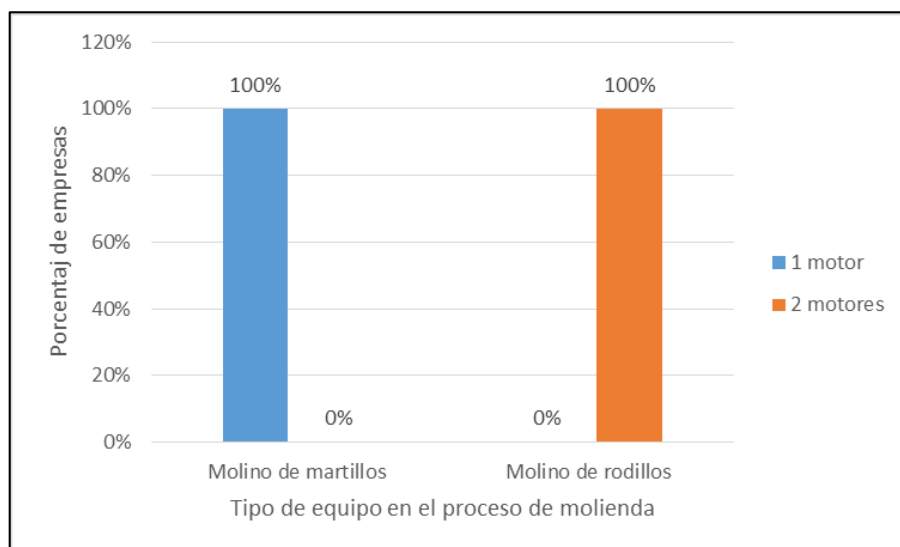


Elaboración propia

En el Gráfico 17 se evidencia que todas las plantas que hacen uso de molino de martillos utilizan solo un motor para su funcionamiento; mientras que la que usa molino de rodillos, hace uso de dos.

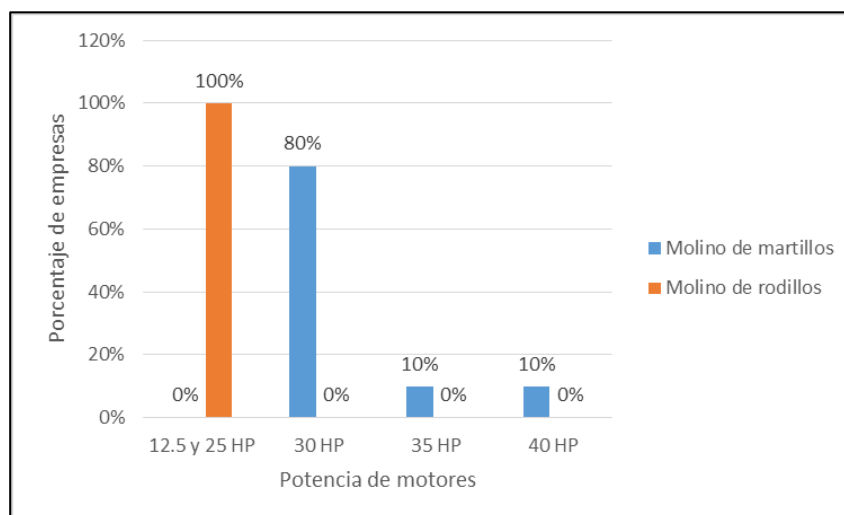
Por último, en la Gráfico 18 se observa que, por lo general, las plantas que muelen con molino de martillos hacen uso de un motor de por lo menos 30 HP; mientras que la que lo hace con molino de rodillos, usa un motor de 12,5 y otro de 25 HP.

Gráfico 17: Cantidad de motores según el tipo de molino



Elaboración propia

Gráfico 18: Tipo de molino según la potencia de su motor de accionamiento

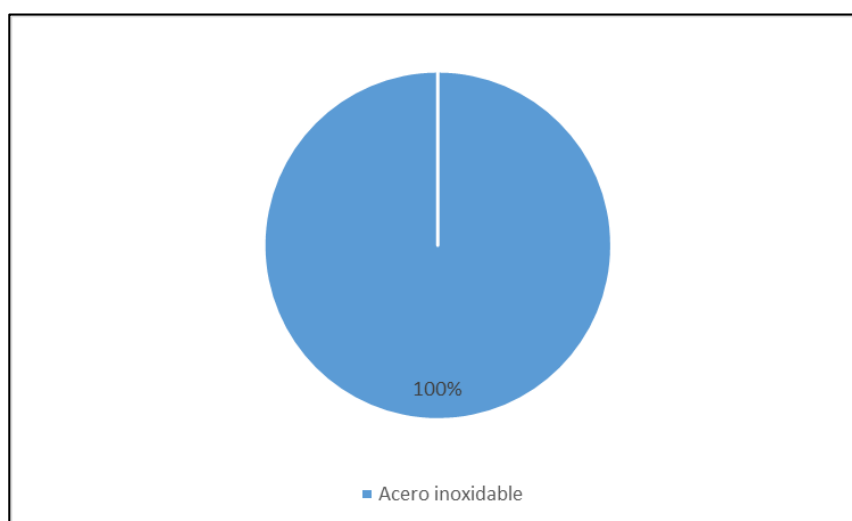


Elaboración propia

En síntesis, se debe considerar el uso de dos motores eléctricos para el diseño del molino de rodillos esperando que juntos consuman, de preferencia, menos de 30 HP.

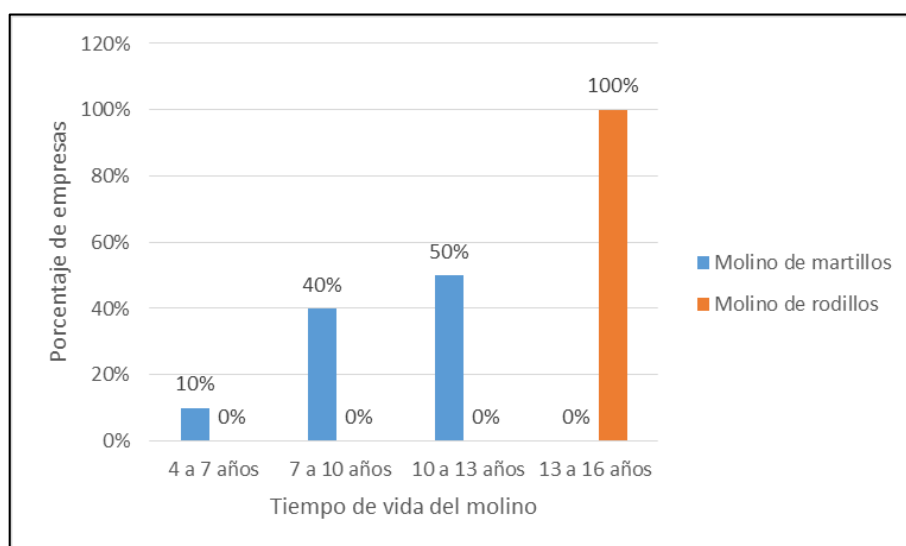
En el Gráfico 19 se muestra que el 100% de las empresas participantes en el estudio, hacen uso del acero inoxidable como material del molino. Según el Gráfico 20, los molinos de martillos tienen un tiempo de vida máximo que va desde los 10 a los 13 años; mientras que la única empresa que cuenta con molino de rodillos ha afirmado que este tiene un tiempo de vida más alto (15 años en promedio).

Gráfico 19: Porcentaje de empresas según el tipo de material que usan para que trabaje en contacto con la sal



Elaboración propia

Gráfico 20: Tipo de molino según su tiempo de vida

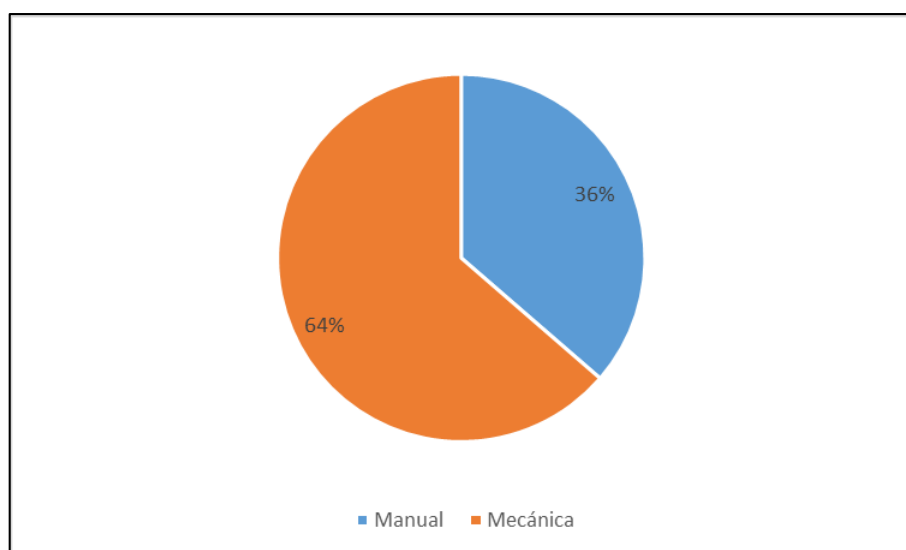


Elaboración propia

Dosificación

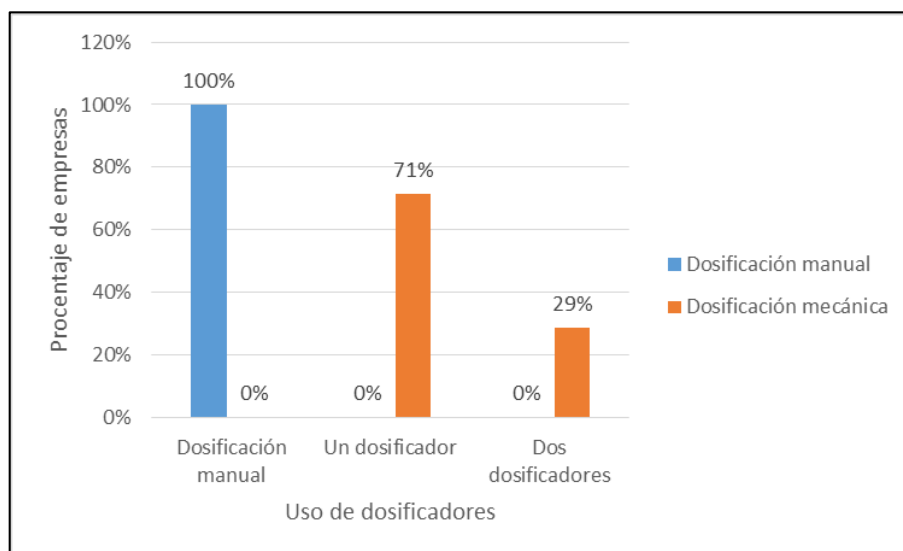
En el Gráfico 21 se evidencia que solo el 36% de las plantas productoras realizan la dosificación de su materia prima de manera manual, mientras que el 64% lo hace por medio de algún sistema mecánico. De esta cantidad, el 71% hacen uso de un dosificador, mientras que el 29% usan dos de estos (ver Gráfico 22).

Gráfico 21: Porcentaje de empresas según el tipo de dosificación que realizan



Elaboración propia

Gráfico 22: Tipo de dosificación según la cantidad de dosificadores que se usan

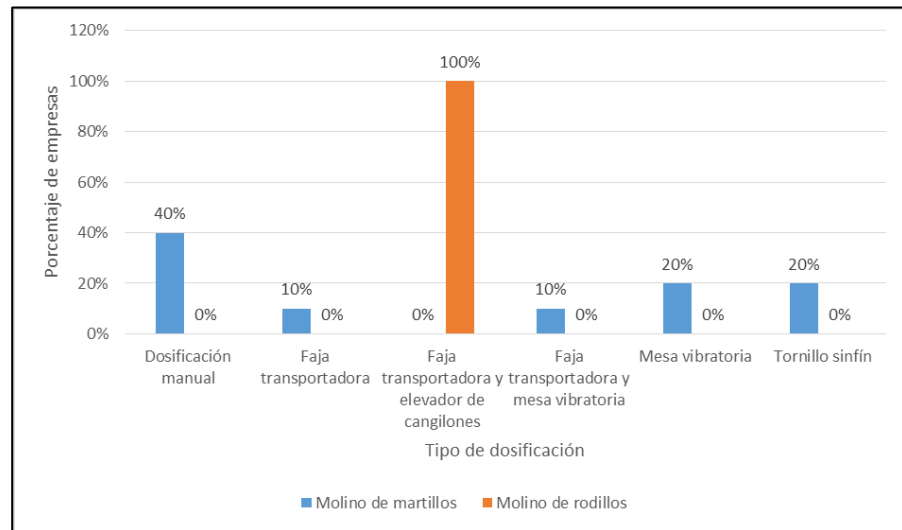


Elaboración propia

En el Gráfico 23 se evidencia que el 60% de las empresas que usan molino de martillos suelen usar sistemas de dosificación de forma variada, mientras que la empresa que usa molino de rodillos, hace uso de dos de estos sistemas, el cual consta de un elevador de cangilones y una faja transportadora. Esto último puede ser considerado para el diseño.

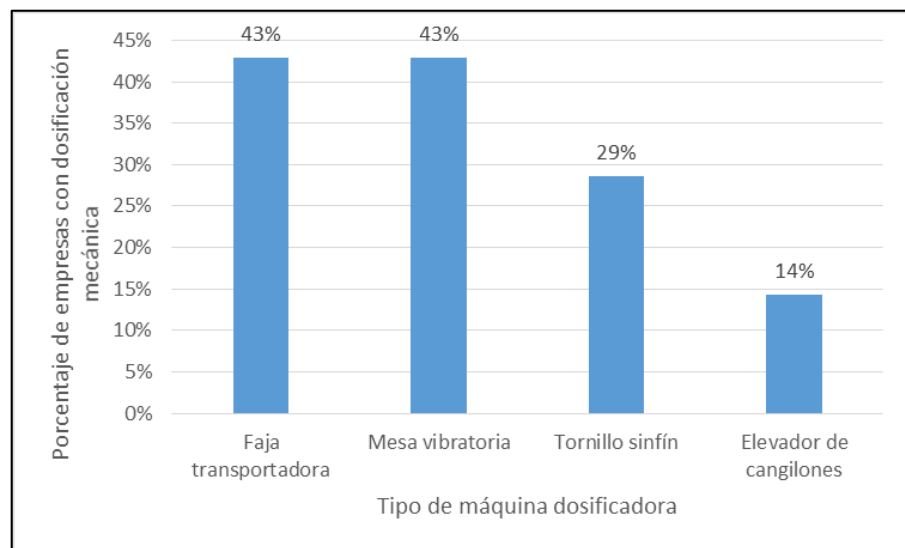
Del 64% de empresas que hacen la dosificación de forma mecánica; el 43% hace uso de faja transportadora y mesa vibratoria, indistintamente, como máquina para la labor de dosificación de la sal antes de entrar al molino; a su vez el 29% usa tornillo sinfín y el 14% elevador de cangilones (ver Gráfico 24). De las que usan faja transportadora, el 33% usa un motor de 1,5 HP y el 67% usa uno de 2 HP; todos los que usan mesa vibratoria utilizan un motor de 2 HP, los que usan tornillo sinfín uno de 3 HP y los de elevador de cangilones un motor de 5 HP (ver Gráfico 25).

Gráfico 23: Tipo de molino según tipo de dosificación



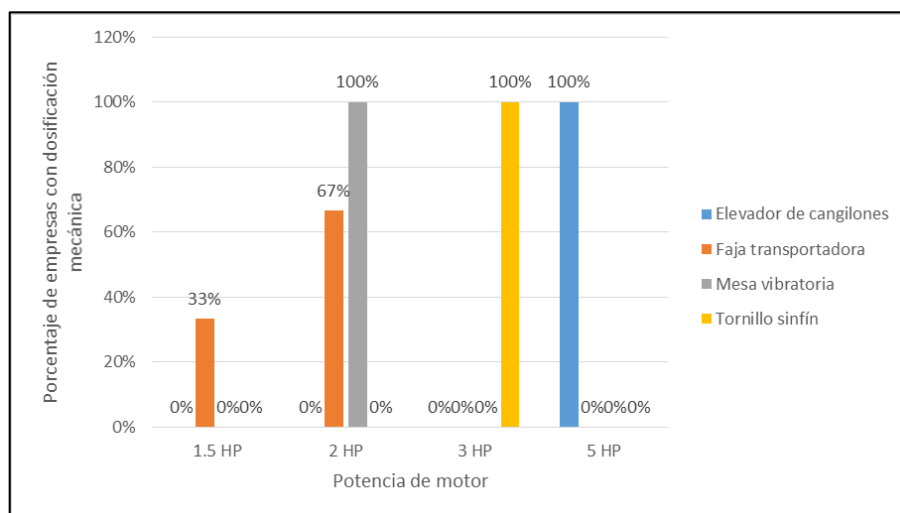
Elaboración propia

Gráfico 24: Porcentaje de empresas con dosificación mecánica según el tipo de máquina dosificadora



Elaboración propia

Gráfico 25: Tipo de máquina dosificadora según la potencia de su motor de accionamiento

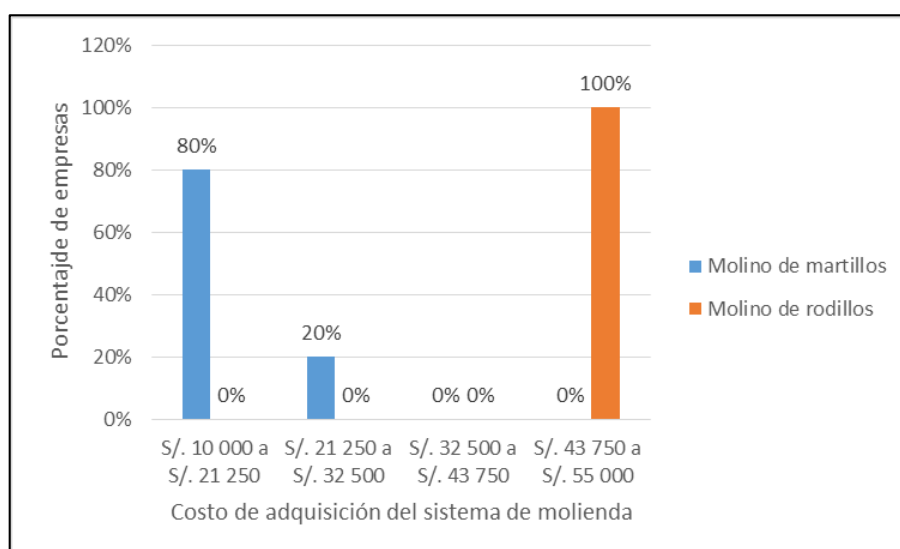


Elaboración propia

Costo de adquisición del sistema de molienda

En el Gráfico 26 se puede ver que gran parte de las empresas que cuentan con molino de martillos gastan un aproximado que va de entre los S/. 10 000 hasta los S/. 32 500 para la adquisición de todo el sistema. Para un sistema con molino de rodillos la adquisición es significativa a comparación de la otra, pues la única empresa en Lambayeque con este sistema gastó un aproximado de S/. 55 000.

Gráfico 26: Costo de adquisición del sistema de molienda

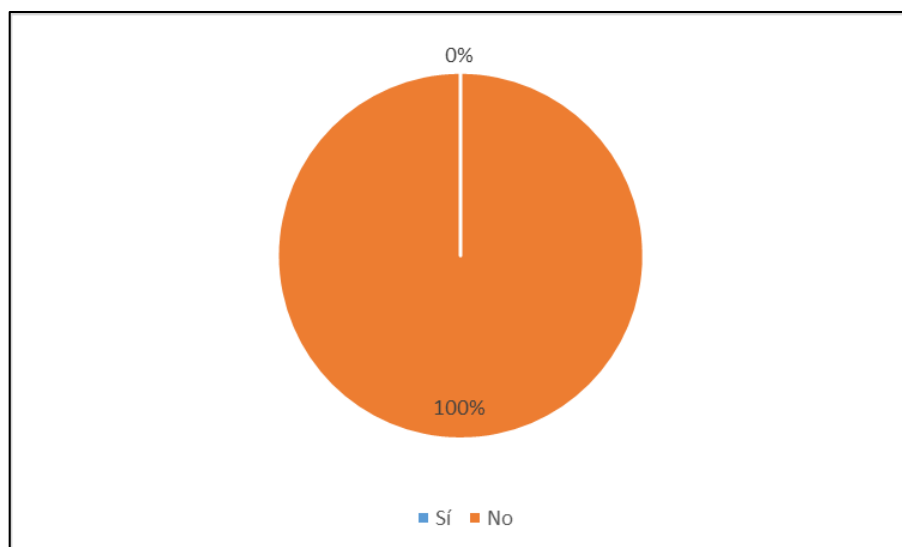


Elaboración propia

Mantenimiento

El 100% de las empresas encuestadas afirman no tener un área de mantenimiento (ver Gráfico 27).

Gráfico 27: Porcentaje de empresas que cuentan con área de mantenimiento

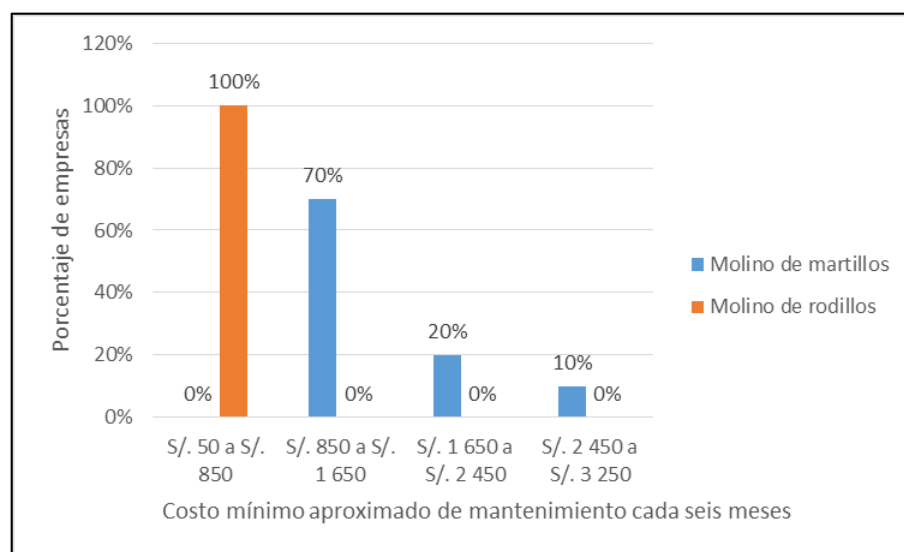


Elaboración propia

Con respecto a los costos por mantenimiento, se afirma que estos son muy bajos cuando se hace uso de un molino de rodillos, esto es debido a que no se necesita hacer cambios de martillos (lo cual es muy costoso y relativamente frecuente) y usa elementos de máquinas de mejor calidad. La empresa que usa molino de rodillos asegura que cada dos años hacen cambio de los rodamientos del molino, invirtiendo S/. 350.00 para esta labor; esta misma no dio detalles de otros gastos por mantenimiento, dando a entender que la mencionada es la más significativa. Por otro lado, las empresas que usan molino de martillos tienen como gasto representativo el cambio de sus martillos el cual lo realizan, por lo general, cada seis meses y cuyo costo aproximado es de S/. 1 000, además de otras actividades que acumuladas hacen que el gasto total de mantenimiento sea muy elevado con respecto a la otra tecnología. Para poder apreciar las diferencias de costos por mantenimiento entre las empresas con los dos distintos tipos de tecnología, se ha estimado el costo que estas gastarían en caso tuvieran que hacerlo de manera semestral; para esto se ha recopilado toda la información posible de las distintas actividades de mantenimiento junto

a sus frecuencias de trabajo (ver Anexo 3), estimando así su costo por semestre. En el Gráfico 28 se reafirma que las empresas con molino de rodillos equipados son las que gastan menos; mientras que el 70% de las que usan molino de martillos gastan cada seis meses entre S/. 850 y S/. 1 650, el 20% entre S/. 1 650 y S/. 2 450, y solo el 10% gasta entre S/. 2 450 y S/. 3 250.

Gráfico 28: Tipo de molino según costo mínimo aproximado de mantenimiento cada seis meses



Elaboración propia

3.3. Diseño conceptual: selección de elementos que conforman el sistema de molienda

3.3.1. Estructura funcional del sistema de molienda por rodillos

La función o tarea global del sistema es la “molienda de sal”, la cual puede ser establecida como una caja negra que relaciona a los flujos de entrada y de salida del sistema.

Como se observa en la Figura 14, los flujos de entrada a la caja negra son el grano de sal no uniforme, la energía eléctrica y el control por parte de los operarios; mientras que como flujos salientes se tiene sal con tamaño de grano uniforme, un flujo de energía térmica manifestado en calor y un flujo de señales de ruido.

Es necesario dividir la función global en sub-funciones y establecer sus relaciones entre ellas mediante sus respectivos flujos de entrada y salida, a esto se le conoce como modelación funcional.

El sistema de molienda por rodillos cuenta con cinco sub-funciones:

- Abastecer.
- Dosificar.
- Molienda.
- Transmisión de potencia a dosificador.
- Transmisión de potencia a molino.

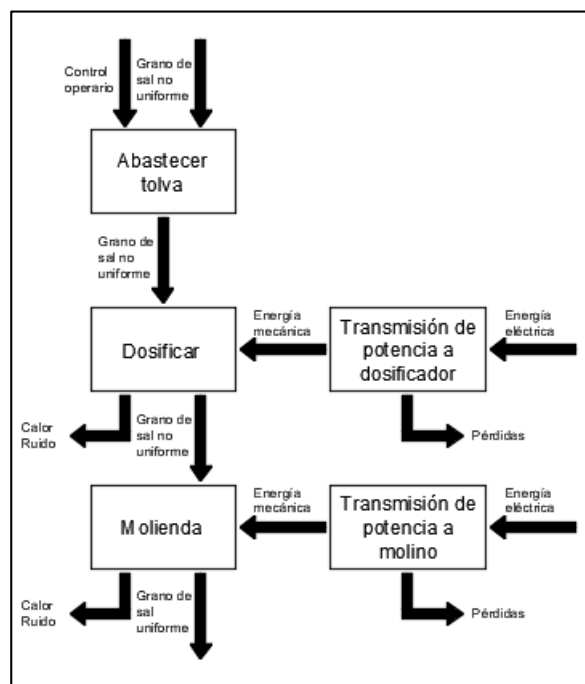
En la Figura 15 se observa un modelo integrado de las sub-funciones y sus interacciones por medio de flujos de entrada y salida.

Figura 14: Función global



Elaboración propia

Figura 15: Modelación funcional



Elaboración propia

3.3.2. Síntesis guiada de soluciones

La Tabla 7 muestra el número teórico de soluciones obtenido de cada concepto relacionado a las sub-funciones del sistema de molienda de sal.

Tabla 7: Conceptos y número de soluciones asociados a las sub-funciones del molino de rodillos

ÍTEM	Nombre de la sub-función	Número de conceptos	Nombre del concepto	Número de soluciones
1	Abastecer	2	Tolva	1
			Manual	1
2	Dosificar	2	Manual	1
			Mecánica	4
3	Molienda	1	Molino de rodillos	1
4	Transmisión de potencia a dosificador	2	Transmisión por banda o cadena	1
			Transmisión por caja reductora	1
5	Transmisión de potencia a molino	2	Transmisión por banda o cadena	1
			Transmisión por caja reductora	1





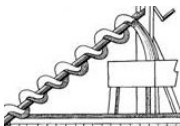
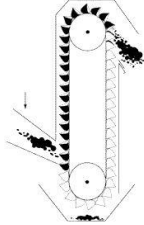

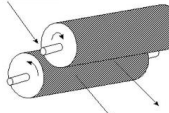




Elaboración propia

El número de soluciones global o tamaño de campo teórico de soluciones *TCS*, se obtiene multiplicando los principios de solución o números de soluciones de cada concepto.

$$TCS = (1 + 1) \times (4 + 1) \times (1 + 1) \times (1 + 1) = 40 \text{ soluciones}$$

3.3.3. Matriz morfológica




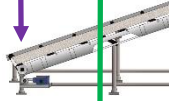
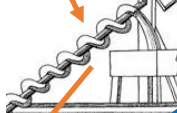
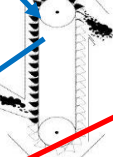
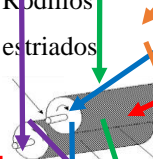

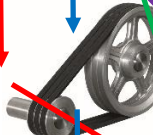

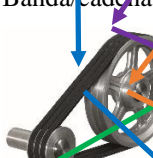

Tabla 8: Matriz morfológica

		Soluciones			
		1	2	3	4
Sub-funciones	Abastece	Tolva 	Manual 		
	Dosificar	Manual 			
		Faja transportadora 	Tornillo “sinfin” 	Elevador de cangilones 	Mesa vibratoria 
	Molienda	Rodillos estriados 			
	T. P. a dosificador	Banda/cadena 	Caja reductora 		
	T. P. a molino	Banda/cadena 	Caja reductora 		

Elaboración propia

3.3.4. Diseño de esquemas preliminares

Tabla 9: Esquema preliminar de diseño de molino de rodillos

		Soluciones			
		1	2	3	4
Sub-funciones	Abastece	Tolva 	Manual 		
	Dosificar	Manual 	Faja transportadora 	Tornillo "sin fin" 	Elevador de cangilones 
	Molienda	Rodillos estriados 			Mesa vibratoria 
	T. P. a dosificador	Banda cadena 	Caja reductora 		
	T. P. a molino	Banda cadena 	Caja reductora 		
	Concepto de solución N° 1	Concepto de solución N° 2	Concepto de solución N° 3	Concepto de solución N° 4	Concepto de solución N° 5

Elaboración propia

En la matriz morfológica se determinan de manera arbitraria los distintos “conceptos de soluciones” (ver Tabla 9), los cuales son una idea aproximada de la disposición final de las sub-funciones establecidas que satisfacen la función global.

3.3.4.1. Concepto de solución N° 1

El funcionamiento de esta propuesta es el más simple de todas, pues consiste en abastecer el producto por medio de un operario o estibador apoyado sobre una plataforma (de ser necesario) con la finalidad de alcanzar el nivel superior de la tolva del molino y echar el producto, que procede a ser triturado y dirigido al siguiente proceso. Cabe resaltar que dicha labor también puede ser ejecutada con el apoyo de un montacarga.

Este concepto de solución obvia el uso de un dosificador mecánico ya que esta labor la ejecuta el mismo operario con la condición que, al hacerlo, reparta la carga de manera uniforme y distribuida a lo largo de la longitud de los rodillos.

La transmisión de potencia del motor al molino se considera mediante una caja reductora de engranes para cada rodillo, por medio de un acople directo.

Ventajas:

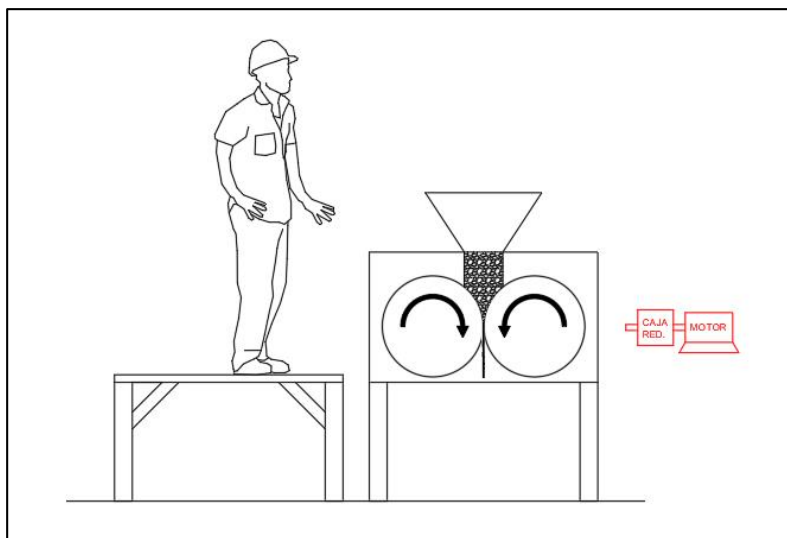
- Espacios reducidos.
- Bajo costo de fabricación y montaje en comparación a otras alternativas.
- Menos consumo de energía y ahorro en actividades de mantenimiento al no contar con equipo dosificador.

Desventajas:

- Presencia de personal estibador (es) para la labor de abastecimiento de carga al molino durante una completa jornada de trabajo.

- Probabilidad que, al echar la carga de manera brusca, el equipo sufra atoramiento, ocasionando paradas de planta.
- Al unirse al proceso precedente, se va a requerir del montaje de otro equipo transportador de carga, debido a que la tolva del molino se encuentra en altura.

Figura 16: Bosquejo de concepto de solución N° 1



Elaboración propia

3.3.4.2. Concepto de solución N° 2

El abastecimiento en esta alternativa es similar al anterior: uno o más estibadores se apoyan sobre una plataforma para suministrar la carga, la cual es ahora ingresada a una zaranda dosificadora que, por medio de vibraciones excéntricas generadas por movimientos rotacionales – longitudinales, desplazan el producto y lo dirigen hacia la tolva del molino de rodillos. Este último tritura el producto y lo deja en condiciones de continuar el proceso.

Se plantea la transmisión de potencia de la zaranda mediante fajas, pues los motores de los sistemas excéntricos suelen ser de potencias relativamente bajas.

La transmisión de potencia hacia los rodillos se sigue planteando con cajas reductoras de acoplamiento directos.

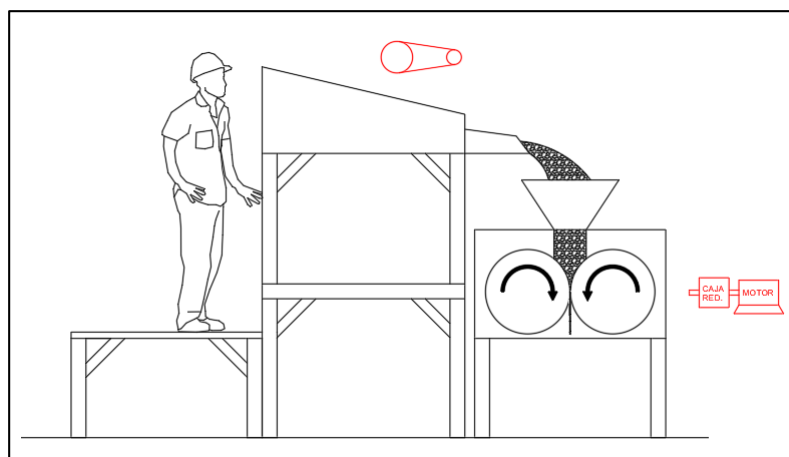
Ventajas:

- Espacios reducidos.
- Distribución de carga uniforme alrededor de los rodillos, sin riesgo a falla de motor por sobrecorrientes.

Desventajas:

- Presencia de personal estibador (es) para la labor de abastecimiento de carga a la zaranda durante una completa de trabajo con pequeñas pausas durante la labor.
- La adquisición y/o fabricación de la zaranda es costosa.
- Presencia de ruidos altos y vibraciones.
- Alto costo de mantenimiento.
- Al unirse al proceso precedente, se va a requerir del montaje de otro equipo transportador de carga, debido a que la recepción de la zaranda se encuentra en altura.

Figura 17: Bosquejo de concepto de solución N° 2



Elaboración propia

3.3.4.3. Concepto de solución N° 3

A diferencia de las dos propuestas anteriores, en este concepto no se contempla la intervención de estibador (es) para la labor de abastecimiento de carga, pues esto ya es competencia del proceso que le precede.

El producto es recibido por un chute inherente en el elevador de cangilones el cual, por medio de capachos, es ascendido hasta una determinada altura para luego caer por gravedad a la tolva superior del molino, el cual tritura el producto.

Se considera transmisión por faja entre motor y cabezal de elevador de cangilones; mientras que, para el molino de rodillos, se evaluará transmisión por faja o cadena.

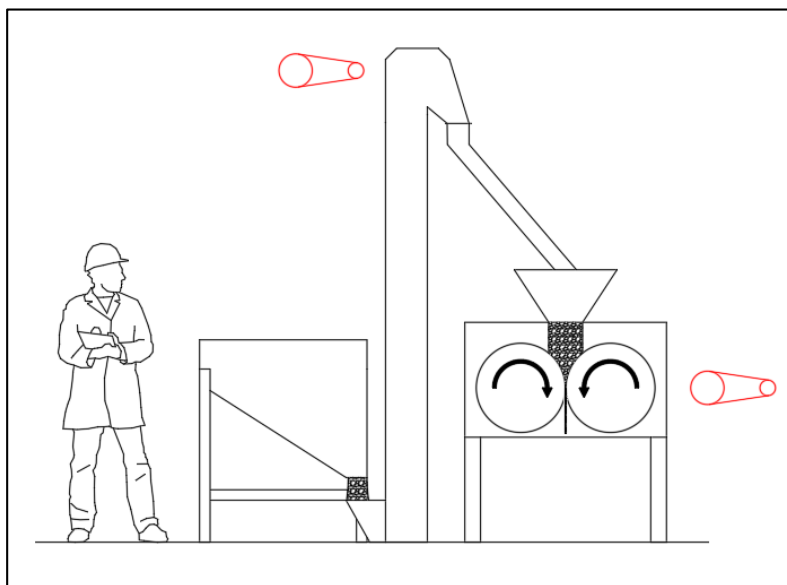
Ventajas:

- Espacios reducidos en el área de trabajo.
- Es posible garantizar una distribución de carga uniforme a lo largo de los rodillos.
- No se requiere de personal estibador (es) extra que apoye en la labor de abastecimiento de carga al sistema.
- Al unirse al proceso precedente, el elevador se va a ajustar fácilmente a la línea debido a que su tolva de recepción se localiza cerca al nivel del piso.

Desventajas:

- El elevador de cangilones presenta más probabilidad de falla en comparación a otro tipo de mecanismo distribuidor de carga.
- La adquisición y/o fabricación del elevador es costosa.
- Alto costo de mantenimiento.
- Probabilidad de tener que elevar el techo para que el cabezal del elevador no haga interferencia con este.

Figura 18: Bosquejo de concepto de solución N° 3



Elaboración propia

3.3.4.4. Concepto de solución N° 4

Este concepto de solución involucra un transportador por helicoides, o conocido también como tornillo “sinfin”. Dicho transportador, por medio de movimiento rotatorio de sus hélices, desplaza el producto en dirección axial. El tornillo se une al proceso existente que le precede y, debido a una inclinación con respecto a su eje longitudinal, gana altura para poder llegar a la parte superior de la tolva del molino que reduce la granulometría del producto.

Se plantea uso de una caja reductora con acople directo al árbol helicoidal para la transmisión de potencia al equipo dosificador, mientras que para el molino de rodillos se evaluará el uso de fajas o cadena de transmisión.

Ventajas:

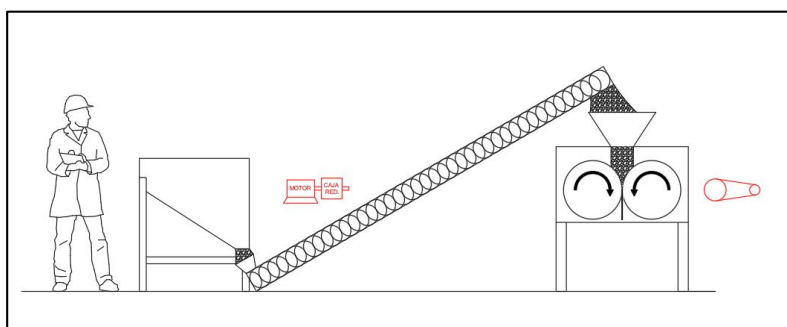
- Bajo costo de mantenimiento.
- La adquisición y/o fabricación de un tornillo “sinfin” es poco costosa en comparación con otros mecanismos dosificadores.

- El transportador presenta menos probabilidad de falla si se compara con otros mecanismos dosificadores.
- Es posible garantizar una distribución de carga uniforme a lo largo de los rodillos.
- No se requiere de personal estibador (es) extra que apoye en la labor de abastecimiento de carga al sistema.
- Al unirse al proceso precedente, el transportador “sinfín” se va a ajustar fácilmente a la línea debido a que su tolva de recepción se localiza cerca al nivel del piso.

Desventajas:

- Se requiere un área de trabajo más grande para la ubicación de los equipos.

Figura 19: Bosquejo de concepto de solución N° 4



Elaboración propia

3.3.4.5. Concepto de solución N° 5

La concepción de esta alternativa es muy parecida a la anterior, pues ambas presentan un dosificador que requiere de una pendiente para elevar el producto a la tolva superior del molino, con la única diferencia que en este caso se hace uso de una banda transportadora. El producto se muele debido al giro de los rodillos entre sí y se reduce la granulometría según lo solicitado, para luego continuar al proceso final en la línea.

La banda es accionada por una polea motriz acoplada a un motorreductor. La transmisión de potencia a los rodillos trituradores es por medio de faja o cadena de transmisión.

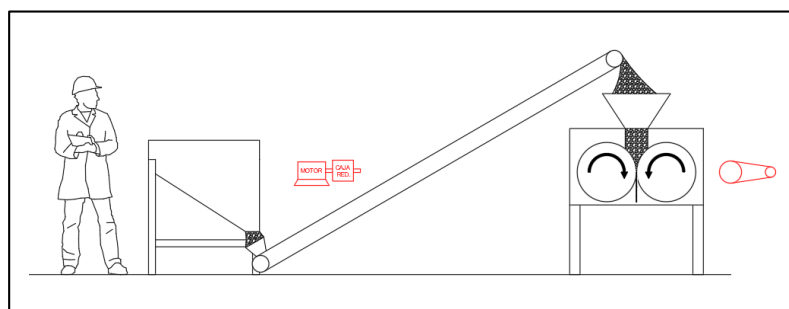
Ventajas:

- Bajo costo de mantenimiento.
- La adquisición y/o fabricación de una banda transportadora es poco costosa en comparación con otros mecanismos dosificadores.
- Es posible garantizar una distribución de carga uniforme a lo largo de los rodillos.
- No se requiere de personal estibador (es) extra que apoye en la labor de abastecimiento de carga al sistema.
- Al unirse al proceso precedente, el transportador “sinfín” se va a ajustar fácilmente a la línea debido a que su tolva de recepción se localiza cerca al nivel del piso.

Desventajas:

- Se requiere un área de trabajo más grande para la ubicación de los equipos.
- El transportador presenta más probabilidad de falla si se compara con otros mecanismos dosificadores, debido a la gran cantidad de componentes.
- Necesidad de añadir una cobertura a la banda transportadora para evitar que el producto se escape al exterior.

Figura 20: Bosquejo de concepto de solución N° 5



Elaboración propia

3.3.5. Selección de la mejor alternativa

3.3.5.1. Criterios de evaluación técnicos y económicos

En la Tabla 10 se muestran cuatro (4) criterios designados por el diseñador. En la primera columna se muestran los criterios mientras que en la segunda su porcentaje de incidencia o importancia para la funcionalidad.

Se ha considerado como primordial el mantenimiento, seguido de la funcionalidad y seguridad (traducidos como eficacia) y costo de adquisición y fabricación.

Tabla 10: Criterios técnicos y económicos considerados

Criterios de evaluación	% de incidencia
Mantenimiento	30%
Costo de adquisición y montaje	20%
Seguridad	25%
Funcionalidad	25%

Elaboración propia

3.3.5.2. Desempeño relativo de concepto según criterio de evaluación

Cada concepto deberá ser puntuado según los cuatro criterios establecidos con anterioridad. La Tabla 11 señala que la puntuación va desde la unidad (1) hasta cinco (5), donde

conforme aumenta el valor, el concepto se adecúa de manera idónea a la función.

Tabla 11: Desempeño relativo

Desempeño	Clasificación
Mucho peor que la referencia	1
Peor que la referencia	2
Igual que la referencia	3
Mejor que la referencia	4
Mucho mejor que la referencia	5

Fuente: [19, p. 40]

3.3.5.3. Evaluación de las variantes de conceptos y selección de la mejor alternativa

La Tabla 12 muestra las evaluaciones de las variantes de conceptos que se hicieron con el fin de seleccionar la mejor alternativa de diseño.

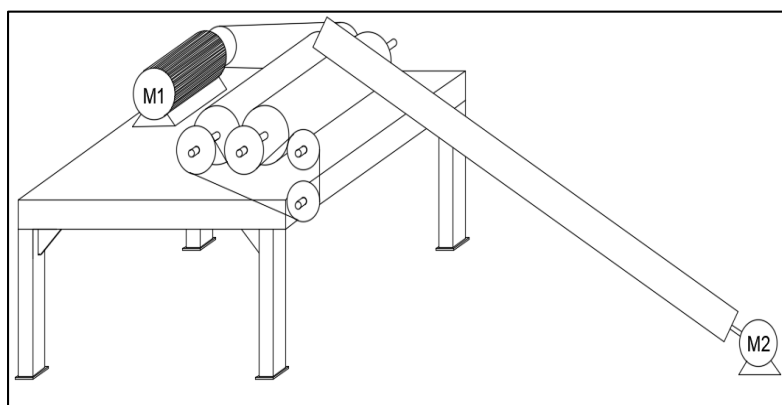
Tabla 12: Selección de la mejor variante de diseño conceptual

Soluciones Criterios		Concepto de solución N° 1		Concepto de solución N° 2		Concepto de solución N° 3		Concepto de solución N° 4		Concepto de solución N° 5	
		Clasificación	Puntuación ponderada	Clasificación	Puntuación ponderada	Clasificación	Puntuación ponderada	Clasificación	Puntuación ponderada	Clasificación	Puntuación ponderada
Mantenimiento	30%	5	0,45	3	0,45	1	0,45	4	0,45	1	0,15
Costo de adquisición y montaje	20%	5	0,45	1	0,30	2	0,45	3	0,30	3	0,30
Seguridad	25%	1	0,20	1	0,30	5	0,30	4	0,30	3	0,10
Funcionalidad	25%	1	0,20	5	0,60	4	0,60	4	0,60	3	0,40
TOTAL	100%	3,00		2,60		2,95		3,80		2,40	
MEJOR ALTERNATIVA		NO		NO		NO		SÍ		NO	

Elaboración propia

Dada la evaluación se concluye que la mejor alternativa, en términos técnicos y económicos, es la planteada como concepto de solución N° 3; la cual consiste en abastecimiento por tolva (nueva o preexistente), transporte o dosificación de carga por medio de un transportador “sinfín” con transmisión de potencia por medio de una caja reductora, y un molino de rodillos que recibe la potencia necesaria para triturar por medio de fajas o cadenas de transmisión. La Figura N° 21 muestra un bosquejo de la variante de diseño más adecuada.

Figura 21: Bosquejo del sistema de molienda seleccionado como mejor alternativa



Elaboración propia

3.4. Diseño del sistema de molienda

3.4.1. Relación de reducción

El portal 911 Metallurgist [20] menciona que se ha escrito y dicho mucho sobre las limitaciones de la trituración de los rodillos con respecto a su relación de reducción y, en base a la experimentación y en virtud del consenso general, se ha establecido que la proporción de reducción no debe exceder de 4:1, independientemente de las condiciones y características de triturado (material, geometría, etc.). A su vez, se expresa que para procesos de molienda fina la reducción depende de la capacidad de trabajo de la máquina y que es común que la relación sea de 7:1 a más. Esta última condición genera la libertad de adecuarse a una relación de reducción que convenga para el diseño.

3.4.2. Cantidad de pares de rodillos

Conocida la relación de reducción se determinan los pares de rodillos necesarios ideal para poder reducir el grano de sal desde el tamaño promedio proveniente de la mina, hasta el mínimo requerido (sal de mesa).

$$G_{m\acute{a}x} = 70 \text{ mm}$$

$$G_{m\acute{i}n} = 1,2 \text{ mm}$$

Para reducir semejante cantidad se necesita por lo menos dos pares o juegos de rodillos, lo cual haría que la maquinaria resulte muy robusta y costosa. La solución ideal sería adecuar la maquinaria para que esta trabaje con un solo juego; esto conduce a la idea de hacer uso de una premolienda para reducir el grano de entrada, por lo que el molino de martillos usado en la mayoría de molinos existentes puede ejercer dicha tarea.

Dada la relación de reducción, se necesita un grano de entrada no menor a aproximadamente $8,4 \text{ mm}$ para mantener al margen la relación de 7:1 establecido. Se solicita instalar una criba con agujeros de 10 mm en la salida del molino de martillos, por lo tanto:

$$G_{m\acute{a}x} = 10,0 \text{ mm}$$

$$G_{m\acute{i}n} = 1,2 \text{ mm}$$

Cabe resaltar que el hecho de modificar ligeramente la disposición de los molinos de martillos ya existentes, es una solicitud que se debe exigir al cliente en caso desee instalar el sistema de molienda por rodillos que se abarca en esta tesis. Por lo tanto, el diseño de la criba y su montaje quedan muy al margen de este estudio y solo se limita el establecer el requerimiento.

En la Tabla 13 se muestra la nueva relación de reducción para cada caso del producto haciendo uso de un solo par de rodillos. A su vez, se especifica el tamaño de grano de entrada y de salida para cada tipo de sal con el que se trate en la molienda.

Tabla 13: Granulometría de sal en la entrada y salida para cada tipo de presentación de sal

Cantidad de pares	Tipo de sal	Gin [mm]	Gout [mm]	Rred	Status
1 JUEGO	Sal de Pesca	10,0	3,0	3,33	Ok
	Sal de Cocina		1,5	6,67	Ok
	Sal de Mesa		1,2	8,33	Ok

Con la solicitud de la criba al cliente del molino se es necesario el uso de un solo par de juegos de rodillos. En las últimas columnas de la tabla se indica que en los tres casos la relación de reducción presenta valores aproximados a lo preestablecido

3.4.3. Densidad aparente

La empresa BinMaster, encargada de diseñar y fabricar contenedores, sensores e indicadores (entre otras cosas) para el almacenamiento de polvos industriales, detalla las densidades aparentes de distintos tipos de sal. Tomando dicha data, se han asociado los valores a una determinada granulometría en base al estudio estadístico realizado y criterio del diseñador.

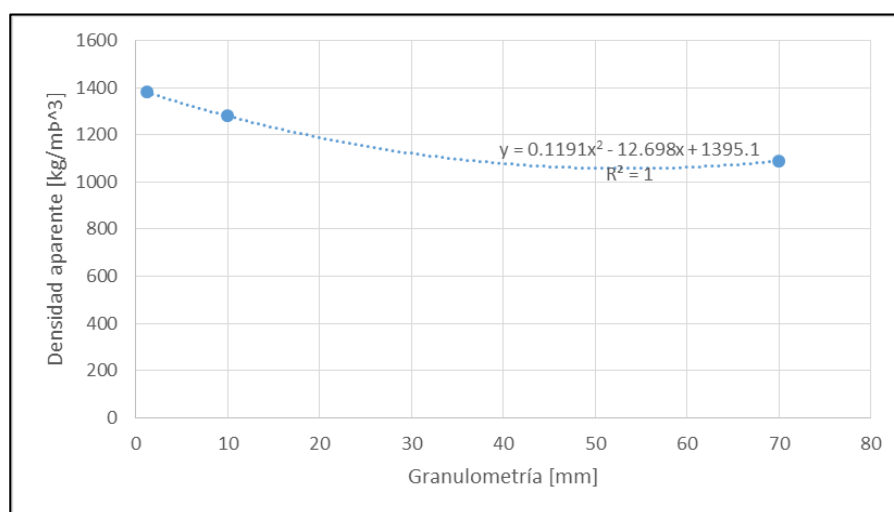
Tabla 14: Densidad aparente de sal según el estado en el que se encuentra el material

Tipo de material	Granulometría G [mm]	Densidad ρ [kg/m³]
Sal roca	70	1090
Sal granulada	10	1280
Sal de mesa (fina)	1.2	1380

Fuente: [21]

Es necesario conocer la densidad aparente para las granulometrías que se ofrecen tanto en la entrada como en la salida del juego de rodillos. Para esto, se predice el comportamiento de la densidad con respecto al tamaño de grano haciendo una regresión polinómica con los datos ofrecidos en la Tabla 14.

Gráfico 29: Densidad aparente de la sal según su tamaño de grano



Elaboración propia

Se ha usado regresión polinómica debido a que el R^2 es el ideal. Ciertamente el comportamiento real no es similar al que se muestra para el rango [20 mm – 70 mm], pero sí muy semejante para el rango [1.2 mm – 20 mm], que es donde están los valores de interés. Si se desea conocer una mejor aproximación para el rango superior de granulometría, se recomienda usar regresión potencial

Con la ecuación de regresión obtenida se determinan las densidades aparentes correspondientes a los distintos tamaños de grano que se presentan en el sistema de molienda conforme la materia es triturada.

Tabla 15: Densidades aparentes para cada estado del material

Estado del material	Granulometría G [mm]	Densidad ρ [kg/m ³]
Entrada	10,0	1280
Salida sal pesca	3,0	1350
Salida sal cocina	1,5	1376
Salida sal mesa	1,2	1380

Elaboración propia

3.4.4. Coeficiente de fricción

El coeficiente de fricción es el correspondiente al que existe entre el grano de sal y el material que poseen los rodillos (acero inoxidable). Por lo general, una estimación inicial es asignar un valor de entre 0,2 a 0,3; en [20] se afirma que este resultado es seguro para la mayoría de materiales siempre y cuando la velocidad de los rodillos no sea muy alta.

$$\mu = 0,30$$

3.4.5. Diámetro teórico de rodillos

El diseño geométrico del diámetro teórico se hará para cada situación de molienda de sal. Se puede predecir que los resultados serán diferentes para cada caso, por lo que se hará el cálculo para cada circunstancia y al finalizar se tomará una decisión con el fin de elegir el diámetro y longitud que satisfagan todas las necesidades de operación.

Sal de pesca: se tiene que el grano de entrada es de 10,0 mm y el de salida de 3,0 mm, por lo que, haciendo uso de la ecuación (4) se calcula el ángulo de compresión:

$$\theta = 16,70^\circ$$

Con la ecuación (5) se determinan el radio y diámetro teórico de este único juego de rodillos:

$$R_1 = 99,33 \text{ mm}$$

$$D_1 = 198,66 \text{ mm}$$

Sal de cocina: el grano de entrada es de 10,0 mm y el de salida de 1,5 mm.

El ángulo de presión es el mismo para toda situación.

Con la ecuación (5) se determinan el radio y diámetro teórico de este primer juego de rodillos:

$$R_2 = 95,77 \text{ mm}$$

$$D_2 = 191,55 \text{ mm}$$

Sal de mesa: el grano de entrada es de 4,5 mm y el de salida de 1.2 mm.

Con la ecuación (5) se determinan el radio y diámetro teórico de este primer juego de rodillos:

$$R_3 = 77,99 \text{ mm}$$

$$D_3 = 155,98 \text{ mm}$$

De momento se toma la decisión de continuar con aproximaciones teóricas para denotar limitaciones en el diseño. Por lo tanto, una **primera hipótesis** estaría basada en la elección del diámetro teórico de mayor valor, pues este estaría apto para operar en las tres distintas situaciones de materia primera requerida.

$$R = 100 \text{ mm} = 0,1 \text{ m}$$

$$D = 200 \text{ mm} = 0,2 \text{ m}$$

3.4.6. Diámetro, longitud y potencia requerida para cada par de rodillos

La Tabla 16 muestra una carta de valores obtenidos por la experiencia de los diseñadores de este tipo de maquinaria industrial que opera con distintos minerales; tales como el carbón, yeso, sal, etc. Se observa que los valores se disponen del diámetro o de la longitud de los rodillos y sirven para obtener la potencia requerida para accionar una determinada geometría de rollos y triturar la materia prima.

Se observa que en la práctica se suelen usar rodillos con diámetros mayores a 0,45 m; por lo el uso de rodillos de 0,2 m de diámetro no es manejado en el contexto industrial. Ante esta situación, una **segunda hipótesis** es aproximar los valores a su máximo superior de la tabla, lo que corresponde a la primera fila; esto es, rodillos de 0,45 m de diámetro; 0,82 m de largo y un motor de 22 kW (30 HP) que ejecuta la tarea de molienda.

Por otro lado, se cuenta con información del molino de rodillos que usa la empresa La Industrial Salinera S.A., ubicada en la provincia de Córdoba, Argentina. Estos parámetros se muestran en la Tabla 17. La ventaja de esta carta por sobre la primera es que los parámetros son

correspondientes a un molino de rodillos que trabaja específicamente para la producción de sal de consumo humano, siendo igual al caso en cuestión, mientras que la primera es para uso global. Por lo tanto, la **tercera hipótesis** consiste en rodillos de 0,4 m de diámetro; 1 m de largo y un motor de 30 HP para el correspondiente funcionamiento.

Tabla 16: Longitud y potencia requerida para determinado diámetros de rodillos

Diámetro [mm]	Largo [mm]	Potencia requerida [kW]
450	820	22
700	900	44
700	1200	60
1000	900	80
1000	1250	100
1250	1250	120
1250	1600	150
1600	1400	150
1600	1600	180
1600	1600	180
2250	2250	500

Tabla proporcionada por Hamid Khoshdast, Ph.D. afiliado a la División de Procesamiento de Minerales y Reciclaje, Departamento de Ingeniería Minera, Complejo de Educación Superior de Zarand, Irán.

Tabla 17: Parámetros de molino de rodillos productor de 10 ton/h de sal de consumo humano

Diámetro [mm]	Largo [mm]	Potencia requerida [HP]	Velocidad lineal máxima [m/s]	Producción [ton/h]
400	1000	30	2	10

Tabla proporcionada por Facundo Picat, socio de la empresa La Industrial Salinera S.A., Córdoba, Argentina

Es interesante observar cómo ambas cartas coinciden en la potencia requerida para geometrías muy similares, por lo que la elección de los parámetros se ve reducida a criterio de espacio y robustez, siendo la tercera hipótesis la más adecuada debido al menor volumen que tienen los rodillos al compararlos con los de la primera carta. La elección de la tercera hipótesis satisface las dos anteriores: con respecto a la primera hipótesis, un mayor diámetro reduce el ángulo de contacto, lo cual es aceptable ya que de ocurrir lo contrario se arriesgaría a entrar en condición de no desplazamiento entre rodillo y materia primera debido a que habría posibilidad de no alcanzar el coeficiente de fricción estático teniendo uno ya muy elevado.

$$D \approx 400 \text{ mm}$$

Puesto a que se utilizará recursos de construcción locales, se ha pensado en usar tubos estándar para el rodillo en lugar de fabricarlo por fundición. Lo último generaría más costos y sería menos eficaz contar con rodillos voluminosos. Establecido esto, se decide fabricar ambos rodillos de tubos comerciales: PIPE 16'' SCH40.

Tabla 18: Carta de tubos comerciales cédula 40 (SCH40)

Nominal size [inches]	Outside diameter [inches]	Outside diameter [mm]	Wall thickness [inches]	Wall thickness [mm]	Weight [lb/ft]	Weight [kg/m]
1/8" DN8	0.41	10.3	0.068	1.73	0.24	0.37
1/4" DN12	0.54	13.7	0.088	2.24	0.42	0.63
3/8" DN10	0.68	17.1	0.091	2.31	0.57	0.84
1/2" DN15	0.84	21.3	0.109	2.77	0.85	1.27
3/4" DN20	1.05	26.7	0.113	2.87	1.13	1.69
1" DN25	1.32	33.4	0.133	3.38	1.68	2.5
1 1/4" DN32	1.66	42.2	0.14	3.56	2.27	3.39
1 1/2" DN40	1.9	48.3	0.145	3.68	2.72	4.05
2" DN50	2.375	60.3	0.154	3.91	3.65	5.44
2 1/2" DN65	2.875	73.0	0.203	5.16	5.79	8.63
3" DN80	3.5	88.9	0.216	5.49	7.58	11.29
3 1/2"	4.0	101.6	0.226	5.74	9.11	13.57
4" DN100	4.5	114.3	0.237	6.02	10.79	16.07
5" DN125	5.563	141.3	0.258	6.55	14.62	21.77
6" DN150	6.625	168.3	0.28	7.11	18.97	28.26
8" DN200	8.625	219.1	0.322	8.18	28.55	42.55
10" DN250	10.75	273.0	0.365	9.27	40.48	60.31
12" DN300	12.75	323.8	0.406	10.31	53.52	79.73
14" DN350	14.0	355.6	0.375	11.13	54.57	94.55
16" DN400	16.0	406.4	0.5	12.7	82.77	123.3

Fuente: [22]

Además de esto, es sabido que las paredes externas de los rodillos deben tener un acabado estriado para facilitar el agarre de la materia prima. Puesto que la idea de maquinar un acabado superficial al tubo no es práctica, se piensa estriar una plancha de aproximadamente 10 mm para usarla como enchaquetadura. Se usará una plancha estándar de 3/8" previamente maquinada.

El diámetro externo de los rodillos, la longitud y la potencia necesaria para la molienda son finalmente establecidas:

$$D \approx 425,45 \text{ mm}$$

$$L = 1 \text{ m}$$

$$P = 22 \text{ kW} = 30 \text{ HP}$$

3.4.7. Ángulo de compresión

Establecidas las dimensiones del rodillo se calcula el ángulo de compresión en la condición de trabajo más representativa (sal de mesa).

$$\theta = 11,54^\circ$$

3.4.8. Capacidad de producción

Como se indicó, por lo general se considera un factor de eficiencia de 25 % de la capacidad de producción debido el aumento de la densidad aparente del material conforme disminuye su granulometría. Debido al estudio elaborado respecto a la variación de la densidad (ver Gráfico 28), se plantea usar las ecuaciones con los valores correspondientes a cada valor de grano, por lo que esto reemplazaría al uso del factor de eficiencia. Establecido esto, se puede mantener la ecuación (7) con un factor correspondiente a la unidad.

$$\varepsilon = 1$$

Usando la ecuación, se tiene que la capacidad en la entrada del par de rodillos se mantiene:

$$Q = 7 \text{ ton/h}$$

3.4.9. Velocidad de rodillos

Se determina la velocidad necesaria para cada requerimiento de materia prima.

Sal de pesca: haciendo uso de la ecuación (7) y (8) se obtienen las revoluciones por minuto y velocidad lineal, respectivamente, necesarios para producir al menos 7 ton/h de sal de pesca.

$$n = 22,73 \text{ rpm}$$

$$u = 0,51 \text{ m/s}$$

Sal de cocina: repitiendo el procedimiento anterior se obtiene:

$$n = 45,46 \text{ rpm}$$

$$u = 1,01 \text{ m/s}$$

Sal de mesa: por último, la velocidad necesaria para producir la cantidad requerida:

$$n = 56,83 \text{ rpm}$$

$$u = 1,27 \text{ m/s}$$

Se cuentan con tres distintas velocidades que van aumentando conforme disminuye el tamaño de grano requerido a la salida del set de rollos. Esto no significa que se deba hacer uso de un variador de frecuencia o

hacer un arreglo tedioso de reducción de velocidades, pues la solución más sensata es establecer una velocidad que satisfaga la producción de los tres distintos tipos de sal requerida en el mercado. Esta es la de mayor valor obtenido en los cálculos, por lo tanto se establece que la velocidad de giro de los rodillos es:

$$n = 60 \text{ rpm}$$

$$u = 1,34 \text{ m/s}$$

Cabe resaltar que en la Tabla 17 se evidencia que la velocidad de operación sugerida para los rollos no debe superar los 2 m/s, por lo que la elección de velocidad es aceptable.

Con la ecuación (6) se determina la producción real de los diferentes tipos de sal cuando se trabaja a la velocidad ya establecida.

Tabla 19: Producción real de los distintos tipos de sal que se ofrece

Tipo de sal	Velocidad [rpm]	Producción real [ton/h]	Status
Sal de pesca	60	18,48	Ok
Sal de cocina		9,24	Ok
Sal de mesa		7,39	Ok

La velocidad establecida satisface la necesidad de producción de los tres tipos de sal. Si se desea, por ejemplo, producir 7 ton de sal de pesca, el molino producirá dicha cantidad en menos de media hora, lo cual hace hincapié de manera implícita a la importancia de la labor del operario o los responsables de la producción.

3.4.10. Coeficiente de fricción cinético

Establecida ya la velocidad tangencial y conociendo el coeficiente de fricción entre los materiales, se hace uso de la ecuación (9) para determinar el coeficiente de fricción entre las partículas de sal y los rodillos en movimiento.

$$\mu_k = 0,0567$$

3.4.11. Motorreductor

La empresa proveedora elegida para la selección del motorreductor es SEW Eurodrive; la cual se dedica a fabricar motores, reductores, motorreductores, equipos de automatización y a brindar soluciones ingenieriles, entre otros servicios.

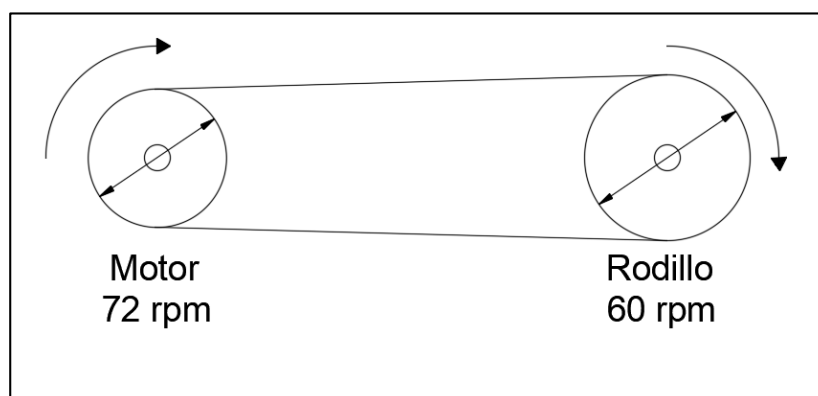
Se selecciona un motorreductor de 22 kW (30 HP) IE3 – Eficiencia Premium, con una velocidad de salida de 72 rpm. El reductor es por engranes helicoidales.

La ficha técnica del equipo se muestra en el Anexo 5.

3.4.12. Transmisión de potencia de motor a rodillos

La Figura 22 muestra un bosquejo de la transmisión de potencia del motorreductor al rodillo y sus principales parámetros que permitirán su diseño.

Figura 22: Transmisión de potencia por cadena de rodillos



Elaboración propia

Los datos conocidos para el diseño del sistema son los siguientes:

Distancia entre centros C :	40 pulg
Potencia nominal del motor H_{nom} :	30 HP
Maquinaria impulsada:	Molino de rodillos CLASE 2 (Motores con alto par de arranque)
Tipo de servicio:	Intermitente, 8 horas por día

En Figura 23 se enlista el factor de servicio de diversas máquinas según su clase, correspondiendo a los molinos en general un valor de 1,6; siendo este un valor conservador.

Figura 23: Factor de servicio para transmisión de potencia

MAQUINAS MOVIDAS	CLASE 1	CLASE 2
Agitadores de líquidos:	1,1	1,2
Agitadores de semilíquidos	1,2	1,3
Batidoras en la industria papelera	1,3	1,5
Bombas centrífugas	1,1	1,2
Bombas reciprocantes	1,3	1,5
Bombas rotativas de desplazamiento positivo	1,2*	1,3
Chancadoras de mandíbula de rodillos giratorios	1,4	1,6
Compresoras centrífugas	1,1	1,2
Compresoras reciprocantes	1,3	1,5
Cribas giratorias	1,3	1,5
Elevadores de cangilones	1,3	1,5
Excitadores	1,3	1,5
Extractores	1,1	1,2
Generadores	1,2	1,3
Lineas de ejes (ejes de transmisión)	1,2	1,3
Maquinaria de imprenta	1,2	1,3
Maquinarias de lavandería	1,2	1,3
Maquinaria para aserraderos	1,3	1,5
Maquinaria para fabricación de ladrillos	1,3	1,5
Maquinaria para fabricación de cauchos: calandrias, mezcladoras, extrusores	1,4	1,6
Maquinaria textil	1,3	1,5
Máquinas herramientas	1,2	1,3
Mezcladoras de masa en la industria panificadoras	1,2	1,3
Molino de barras, de bolas, de tubos	1,4	1,6
Molinos de martillos	1,3	1,5
Prensas punzadoras	1,2	1,3
Pulverizadores	1,3	1,5
Sopladores	1,1	1,2
Sopladores de desplazamiento positivo	1,3	1,5
Transportadores de artesas, de paletas, de tornillo	1,3	1,5
Transportadores de fajas para arenas granos, etc	1,2	1,3
Transportadores para trabajos livianos	1,1	1,2
Ventiladores hasta 10 HP	1,1	1,2
Ventiladores mayores de 10 HP	1,2	1,3
Winches, montacargas, elevadores	1,4	1,6
Zarandas vibratorias	1,2	1,3

Fuente: [23, p. 55]

Debido a que el servicio es intermitente, Alva sugiere que al factor se le disminuya la cantidad de 0,1 [23, p. 56], esto es; 1,5. El motorreductor elegido para la transmisión de potencia posee un factor de 1,45; el cual es muy cercano al que sugiere Alva siendo la tolerancia aceptable.

$$K_S = 1,45$$

Se asume un factor de diseño del 20 %.

$$n_d = 1,2$$

Usando la ecuación (17) se tiene que la potencia de diseño es:

$$H_d = 52,20 \text{ HP}$$

Conociendo la velocidad del motor y la velocidad a la que gira el rodillo, se calcula la relación de velocidad determinada por la ecuación (18):

$$m_g = 1,2: 1$$

Se estiman los diámetros de las catarinas con la finalidad de que satisfagan la relación. La Figura 24 indica el número de dientes de ruedas dentadas de catarinas de una sola hilera, con respecto al número de cadena ANSI.

Según [8, p. 910] es recomendable emplear una catarina impulsora con al menos 17 dientes y que, mientras más cantidad de estos, mejor es la esperanza de vida con menor ruido de la cadena; siendo lo contrario para ruedas con menos dientes. Asimismo, se afirma que debido a las limitaciones de espacios amplios o bajas velocidades se pueden emplear un menor número de dientes, sacrificando la esperanza de vida de la cadena.

Se debe tener en cuenta que los números de dientes son directamente proporcionales a los respectivos diámetros de sus ruedas e inversamente proporcionales a sus velocidades.

Según la figura, las catarinas que más se aproximan a la cantidad de 17 dientes y cumplen con una relación de velocidad de 1,2 son aquellas de 15 y 18 dientes, junto con otro juego de 20 y 24. Se desea evitar ocupar mucho espacio logrando que las ruedas sean poco robustas, por lo que se opta instalar una catarina impulsora y una impulsada con 15 y 18 dientes, respectivamente.

Figura 24: Número de dientes de catarinas proporcionadas por Morse Chain Company

No.	Available Sprocket Tooth Counts
25	8-30, 32, 34, 35, 36, 40, 42, 45, 48, 54, 60, 64, 65, 70, 72, 76, 80, 84, 90, 95, 96, 102, 112, 120
35	4-45, 48, 52, 54, 60, 64, 65, 68, 70, 72, 76, 80, 84, 90, 95, 96, 102, 112, 120
41	6-60, 64, 65, 68, 70, 72, 76, 80, 84, 90, 95, 96, 102, 112, 120
40	8-60, 64, 65, 68, 70, 72, 76, 80, 84, 90, 95, 96, 102, 112, 120
50	8-60, 64, 65, 68, 70, 72, 76, 80, 84, 90, 95, 96, 102, 112, 120
60	8-60, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 70, 72, 76, 80, 84, 90, 95, 96, 102, 112, 120
80	8-60, 64, 65, 68, 70, 72, 76, 78, 80, 84, 90, 95, 96, 102, 112, 120
100	8-60, 64, 65, 67, 68, 70, 72, 74, 76, 80, 84, 90, 95, 96, 102, 112, 120
120	9-45, 46, 48, 50, 52, 54, 55, 57, 60, 64, 65, 67, 68, 70, 72, 76, 80, 84, 90, 96, 102, 112, 120
140	9-28, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 39, 40, 42, 43, 45, 48, 54, 60, 64, 65, 68, 70, 72, 76, 80, 84, 96
160	8-30, 32-36, 38, 40, 45, 46, 50, 52, 53, 54, 56, 57, 60, 62, 63, 64, 65, 66, 68, 70, 72, 73, 80, 84, 96
180	13-25, 28, 35, 39, 40, 45, 54, 60
200	9-30, 32, 33, 35, 36, 39, 40, 42, 44, 45, 48, 50, 51, 54, 56, 58, 59, 60, 63, 64, 65, 68, 70, 72
240	9-30, 32, 35, 36, 40, 44, 45, 48, 52, 54, 60

*Morse Chain Company, Ithaca, NY, Type B hub sprockets.

Fuente: [8, p. 912]

Conocidas las características principales de cada rueda, se determina el factor de corrección de dientes K_1 según el número de dientes de la rueda conductora (ver Figura 20).

$$K_1 = 0,87$$

Figura 25: Factor de corrección de dientes K_1

Number of Teeth on Driving Sprocket	K_1 Pre-extreme Horsepower	K_1 Post-extreme Horsepower
11	0.62	0.52
12	0.69	0.59
13	0.75	0.67
14	0.81	0.75
15	0.87	0.83
16	0.94	0.91
17	1.00	1.00
18	1.06	1.09
19	1.13	1.18
20	1.19	1.28
N	$(N_1/17)^{1.08}$	$(N_1/17)^{1.5}$

Fuente: [8, p. 913]

Por ahora el número de hileras es desconocido, por lo que se busca la denominación ANSI adecuada que, junto con la cantidad cadenas,

puedan transmitir de manera eficiente toda la potencia del motor hacia los rodillos.

En la ecuación (19) se supone que la potencia admisible es igual a la de diseño. Se obtienen valores estimados de la potencia transmitida por banda según el número de hileras (ver Tabla 20) y, relacionando dichas cantidades con la tabla propuesta en la Figura 26, se determina el número de cadenas ANSI necesario para satisfacer lo requerido.

$$H_{tab} = \frac{60}{K_2} HP$$

Tabla 20: Determinación de cadena ANSI para diversos números de hileras

Número de hileras	60/K₂	Número de cadena ANSI	Tipo de lubricación
1	60	240	B
2	35,29	180	B
3	24	160	B

Elaboración propia

Figura 26: Capacidad nominal de potencia para una cadena con catarina de 17 dientes

Sprocket Speed, rev/min		ANSI Chain Number							
		80	100	120	140	160	180	200	240
50	Type A	2.88	5.52	9.33	14.4	20.9	28.9	38.4	61.8
100		5.38	10.3	17.4	26.9	39.1	54.0	71.6	115
150		7.75	14.8	25.1	38.8	56.3	77.7	103	166
200		10.0	19.2	32.5	50.3	72.9	101	134	215
300		14.5	27.7	46.8	72.4	105	145	193	310
400		18.7	35.9	60.6	93.8	136	188	249	359
500	Type B	22.9	43.9	74.1	115	166	204	222	0
600		27.0	51.7	87.3	127	141	155	169	
700		31.0	59.4	89.0	101	112	123	0	
800		35.0	63.0	72.8	82.4	91.7	101		
900		39.9	52.8	61.0	69.1	76.8	84.4		
1000		37.7	45.0	52.1	59.0	65.6	72.1		
1200		28.7	34.3	39.6	44.9	49.9	0		
1400		22.7	27.2	31.5	35.6	0			
1600		18.6	22.3	25.8	0				
1800		15.6	18.7	21.6					
2000		13.3	15.9	0					
2500		9.56	0.40						
3000		7.25	0						
Type C		Type C'							

Note: Type A—manual or drip lubrication; type B—bath or disk lubrication; type C—oil-stream lubrication; type C'—type C, but this is a galling region; submit design to manufacturer for evaluation.

Fuente: Fuente: [8, p. 912]

Por interpolación se obtuvo la potencia permitida por cadena N° 180.

$$H_a = 38,26 \text{ HP}$$

Se desea evitar poleas o catarinas de gran dimensión (cadenas robustas) y varias hileras, por lo que se decide hacer uso de dos cadenas ANSI 180.

Finalmente, con las ecuaciones (17) y (19) se hace cálculo del factor de seguridad en las cadenas, el cual resulta ser mayor al estimado sin necesidad de exagerar su valor, lo cual genera más confianza al sistema.

$$n_d = 1,76$$

Las dimensiones de las cadenas de rodillos se muestran en la Figura 27, la cual permite conocer el diámetro de las catarinas por la ecuación (20).

Figura 27: Dimensiones de cadenas de rodillos americanas

ANSI Chain Number	Pitch, In (mm)	Width, In (mm)	Minimum Tensile Strength, lbf (N)	Average Weight, lbf/ft (N/m)	Roller Diameter, In (mm)	Multiple-Strand Spacing, In (mm)
25	0.250 (6.35)	0.125 (3.18)	780 (3 470)	0.09 (1.31)	0.130 (3.30)	0.252 (6.40)
35	0.375 (9.52)	0.188 (4.76)	1 760 (7 830)	0.21 (3.06)	0.200 (5.08)	0.399 (10.13)
41	0.500 (12.70)	0.25 (6.35)	1 500 (6 670)	0.25 (3.65)	0.306 (7.77)	— —
40	0.500 (12.70)	0.312 (7.94)	3 130 (13 920)	0.42 (6.13)	0.312 (7.92)	0.566 (14.38)
50	0.625 (15.88)	0.375 (9.52)	4 880 (21 700)	0.69 (10.1)	0.400 (10.16)	0.713 (18.11)
60	0.750 (19.05)	0.500 (12.7)	7 030 (31 300)	1.00 (14.6)	0.469 (11.91)	0.897 (22.78)
80	1.000 (25.40)	0.625 (15.88)	12 500 (55 600)	1.71 (25.0)	0.625 (15.87)	1.153 (29.29)
100	1.250 (31.75)	0.750 (19.05)	19 500 (86 700)	2.58 (37.7)	0.750 (19.05)	1.409 (35.76)
120	1.500 (38.10)	1.000 (25.40)	28 000 (124 500)	3.87 (56.5)	0.875 (22.22)	1.789 (45.44)
140	1.750 (44.45)	1.000 (25.40)	38 000 (169 000)	4.95 (72.2)	1.000 (25.40)	1.924 (48.87)
160	2.000 (50.80)	1.250 (31.75)	50 000 (222 000)	6.61 (96.5)	1.125 (28.57)	2.305 (58.55)
180	2.250 (57.15)	1.406 (35.71)	63 000 (280 000)	9.06 (132.2)	1.406 (35.71)	2.592 (65.84)
200	2.500 (63.50)	1.500 (38.10)	78 000 (347 000)	10.96 (159.9)	1.562 (39.67)	2.817 (71.55)
240	3.00 (76.70)	1.875 (47.63)	112 000 (498 000)	16.4 (239)	1.875 (47.62)	3.458 (87.83)

Fuente: [8, p. 908]

Haciendo uso de las ecuaciones (21) y (22) se obtiene la longitud de la cadena y la distancia real entre los centros. Finalmente, en la Tabla 21 se indican las características de ambas catarinas, mientras que en la Tabla 22 las de la cadena.

Tabla 21: Características generales de catarina menor y mayor

	Catarina impulsora	Catarina impulsada
	Motor	Rodillo
Número de dientes N	15	18
Velocidad [rpm]	72	60
Cantidad	1	3
Diámetro de paso [pulg]	10,82	12,96
Ángulo cadena [°]	1,5324	-1,5324

Elaboración propia

Tabla 22: Características generales de la cadena de rodillos

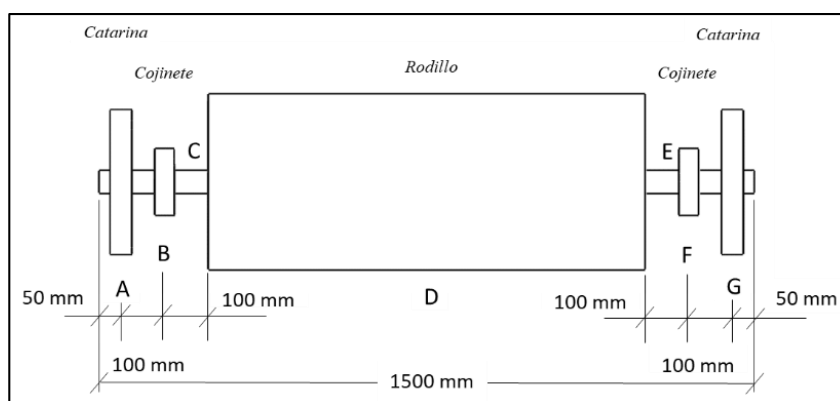
Número cadena ANSI	180	-
Paso	2,25	pulg
Ancho	1,406	pulg
Espaciamiento torones	2,592	pulg
Distancia aprox. Centros C'	40	pulg
C/p	17,78	-
Pasos aprox. Cadena L'/p	52,07	pasos
Pasos real cadena L/p	52	pasos
Longitud real cadena L	117,00	pulg
Distancia real entre centros C	39,92	pulg

Elaboración propia

3.4.13. Eje de transmisión de potencia para primer rodillo

Corresponde al eje que conecta directamente el motor al primer rodillo por medio de cadena de rodillos y recibe 30 HP. Los rodillos encargados de la molienda serán fabricados a partir de perfil tubular estándar y, sobre estos, se montará una enchaquetadura con estrías para facilitar el agarre y la direccionalidad de la materia prima. Los rodillos se sueldan al eje, rígidamente, mediante tapas en ambos extremos. Un bosquejo preliminar es mostrado en la Figura 28, donde se aprecia una disposición de elementos distribuidos de forma simétrica.

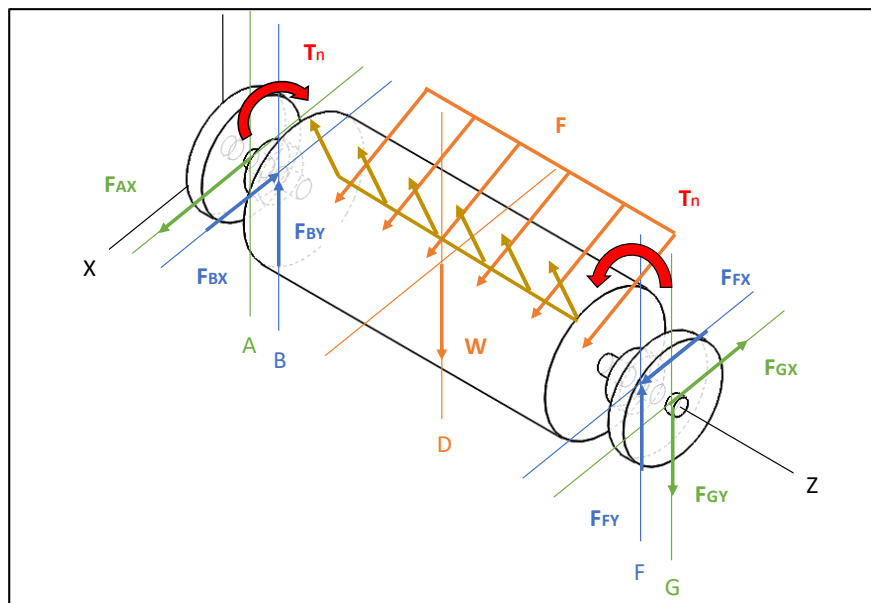
Figura 28: Bosquejo preliminar de disposición de primer eje de rodillo



Elaboración propia

Una vez bosquejada la disposición y haber establecido las dimensiones axiales del eje, se determinan los diámetros parciales de este. Esto se hace con las ecuaciones dispuestas por la norma ANSI B106.IM-1985 para diseño de ejes de transmisión de potencia.

Figura 29: Distribución de fuerzas y momentos a lo largo del primer eje



Elaboración propia

Para determinar los diámetros es necesario conocer cómo actúan las distintas fuerzas y torques a lo largo del elemento, por lo que en la Figura 29 se observan dichos vectores.

Se hace imprescindible determinar el par transmitido y los módulos de las fuerzas ejercidas en cada punto del eje.

Par torsor a lo largo del eje

Haciendo uso de la ecuación (1) se determina el valor del par recibido por el motor y el par consumido por el rodillo.

$$T_{30HP} = 5\,164,74 \text{ N.m} = 45\,711,77 \text{ lb.in}$$

$$T_{15HP} = 2\,582,34 \text{ N.m} = 22\,855,89 \text{ lb.in}$$

Cabe resaltar que se produce un torque a lo largo de la posición del rodillo generado por la fuerza de fricción, sin embargo, este no se toma en cuenta debido a que se asume que la potencia (en términos de torque) necesaria para la molienda de sal es aquella con valor neta, es decir, involucra en sus términos el torque negativo generado por la fricción.

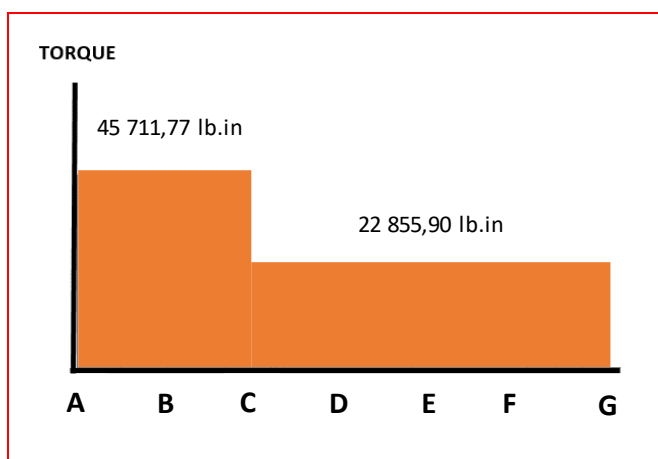
Tabla 23: Valores de pares torsores en cada punto del primer eje

PARES TORSORES		
T _A	45711.77	lb.in
T _B	45711.77	lb.in
T _C	22855.89	lb.in
T _D	22855.89	lb.in
T _E	22855.89	lb.in
T _F	22855.89	lb.in
T _G	22855.89	lb.in

Elaboración propia

En la Figura 30 se evidencia el diagrama de torque de los distintos puntos del primer eje.

Figura 30: Par torsor a lo largo del primer eje



Elaboración propia

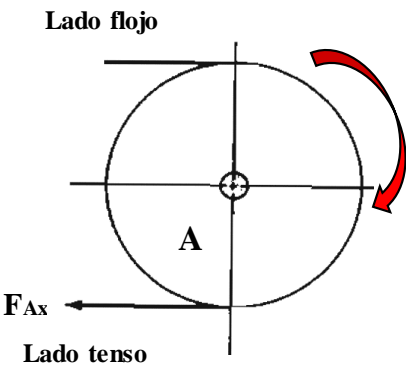
Fuerzas en el punto A

Corresponde a la catarina que transmite la potencia del motor por medio de una cadena de rodillo. Debido al giro del rodillo, la parte inferior de la cadena está en tensión y transmite la fuerza producto del par torsional a la catarina; mientras que el lado superior, o lado flojo, no ejerce ninguna fuerza.

Puesto que el ángulo de inclinación de la cadena con respecto a la horizontal es muy pequeño, se desprecia la componente Y en este punto, siendo así la fuerza A ejercida completamente en el eje X y determinada con la relación entre fuerza y torque.

$$F = \frac{2T}{D}$$

Figura 31: Fuerzas en el punto A del primer eje

PUNTO A (CATARINA ENTRADA)	
Díámetro D (pulg)	12.96
Fuerza neta F_{AX} (lb)	7054.29
DCL a catarina (punto A)	
	

Elaboración propia

Fuerzas en los puntos B y F

Puntos de localización de cojinetes. Los valores de sus componentes X e Y son determinados a partir de los diagramas de fuerzas cortantes.

Puntos C, D y E

Correspondientes a la localización relativa del comienzo, medio y final del rodillo.

En cada rodillo se ejerce una carga distribuida en componente tangencial F_{μ} y radial F producto de la fuerza de reacción producida por la transferencia de energía (manifestada en torque) necesaria para moler el grano de sal y en la proyección radial del ángulo de contacto relativo al segundo cuadrante de la vista frontal del rodillo. Esto quiere decir que ambas fuerzas se localizan en el punto proyectado del ángulo de compresión, tal como se mostró en la Figura 5.

Si se considera al eje como marco de referencia inercial, este recibe la carga del rodillo, que actúa como viga, por medio de las tapas soldadas en sus extremos, incluyendo el peso de este mismo.

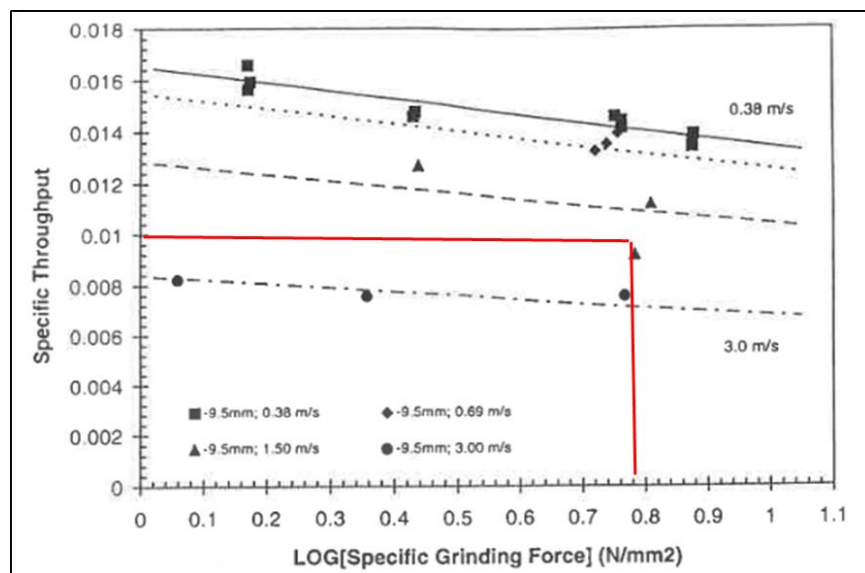
Para determinar la carga distribuida F ejercida en el rodillo primero se determina la fuerza específica que depende del desempeño específico \dot{m} . Usando la ecuación (2):

$$\dot{m} = 0,0096 \approx 0,01$$

Teniendo en cuenta que el grano de entrada es de 10 mm de diámetro y la velocidad tangencial es $1,34 \text{ m/s}$, se estima que el logaritmo de la fuerza específica tiene un valor de $0,78$ según la Figura 32. Por lo tanto, la fuerza específica es, aproximadamente:

$$F_{sp} = 6,03$$

Figura 32: Determinación de desempeño específico a través de data experimental

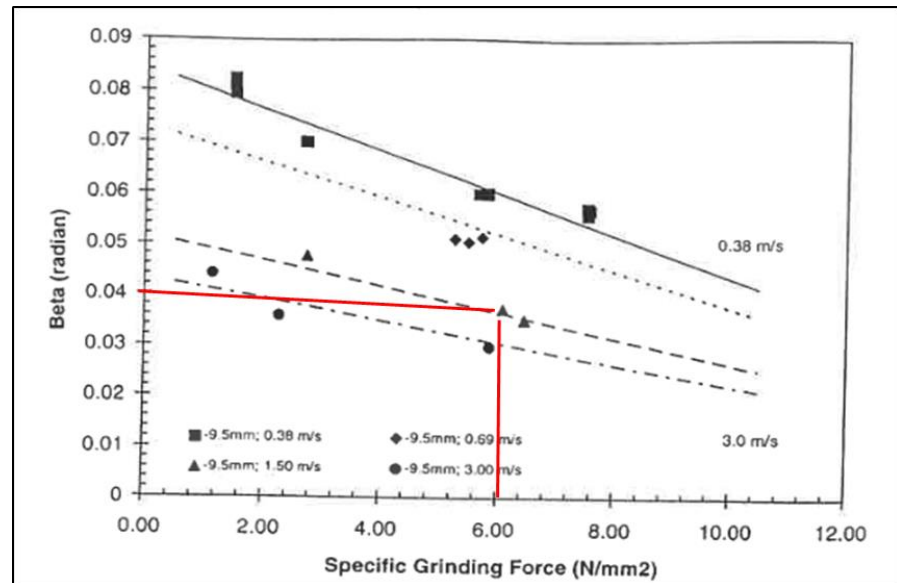


Fuente: [7, p. 119]

Se hace un procedimiento similar para determinar el ángulo de desplazamiento β .

$$\beta = 0,04$$

Figura 33: Determinación de ángulo de desplazamiento a través de data experimental



Fuente: [7, p. 120]

Conocido el factor β y empleando las ecuaciones (3) y (10) se obtiene, respectivamente, la fuerza de molienda y la fuerza de fricción:

$$F = 151\,743,36 \text{ N/m}$$

$$F_{\mu} = 8\,603,85 \text{ N/m}$$

Se estima un peso de rodillo en la dirección Y:

$$W = -8\,839,96 \text{ N}$$

Se determinan las cargas distribuidas transmitidas al plano X-Z y Y-Z:

$$F_X = F \cos \theta + F_{\mu} \sin \theta$$

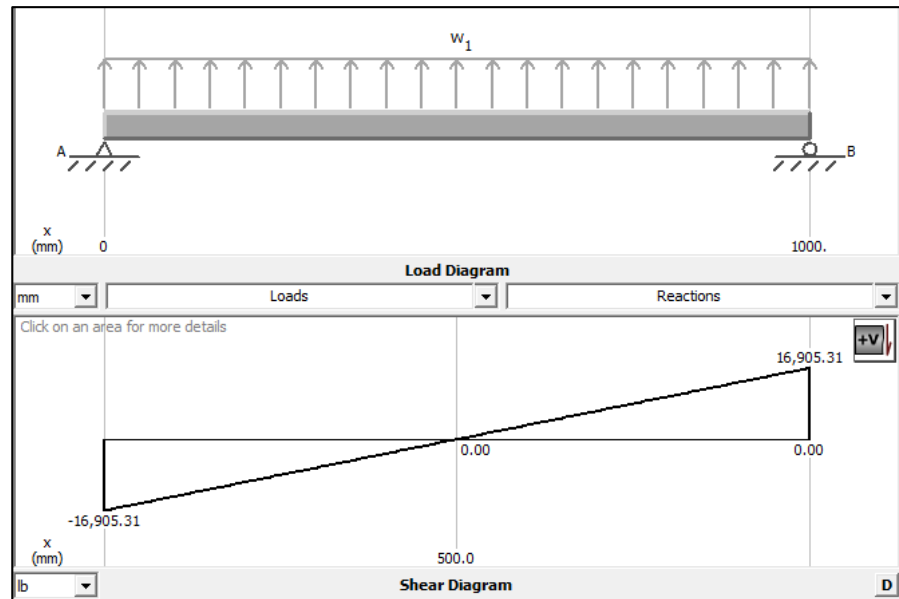
$$F_X = 150\,397,13 \text{ N/m}$$

$$F_Y = -F \sin \theta + F_{\mu} \cos \theta$$

$$F_Y = -21\,926,64 \text{ N/m}$$

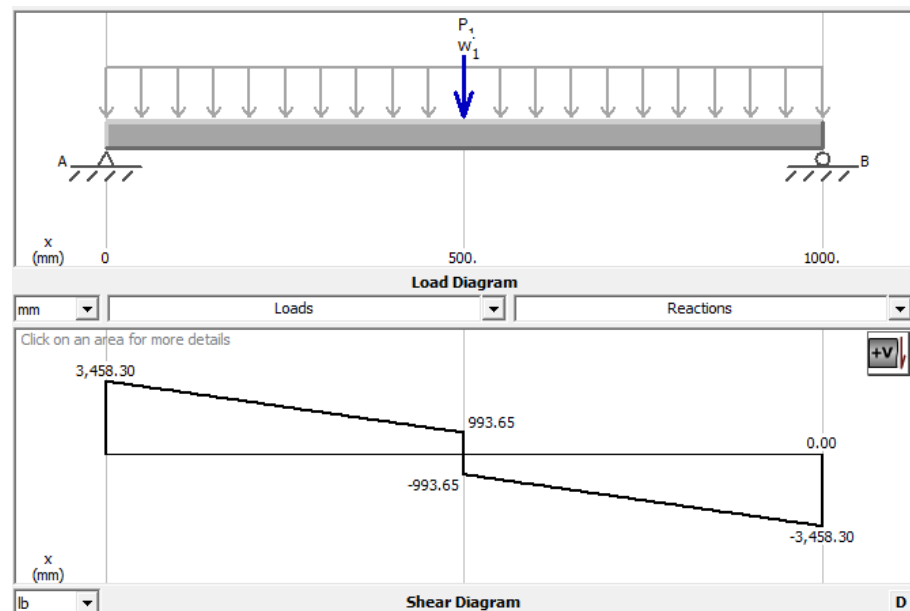
A continuación se muestran los diagramas de fuerzas cortantes (reacciones) y momentos flectantes transmitidos a los puntos C y E.

Figura 34: Reacciones en el punto C y D del primer eje en el plano X-Z



Elaborado en MDSolids

Figura 35: Reacciones en el punto C y D del primer eje en el plano Y-Z



Elaborado en MDSolids

$$F_{CX} = -16\,905,31 \text{ lb}$$

$$F_{CY} = 3\,458,30 \text{ lb}$$

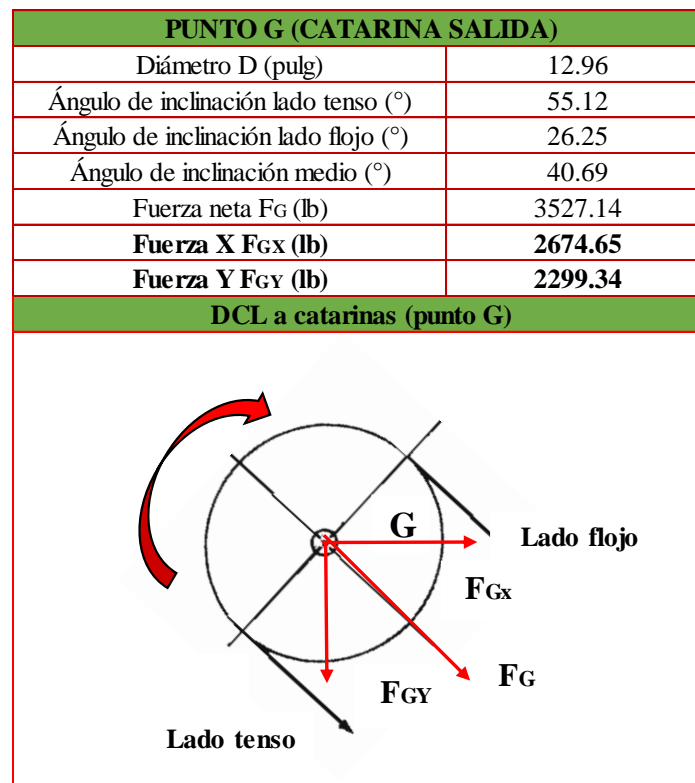
$$F_{EX} = 16\,905,31 \text{ lb}$$

$$F_{EY} = -3\,458,30 \text{ lb}$$

Punto G

En este punto se encuentra la catarina que transmite la potencia al segundo rodillo por medio de un juego de poleas. A diferencia del punto A, la carga en esta posición es distinta debido al ángulo de inclinación de la cadena que une a la catarina de entrada del segundo rodillo. En este caso, se tendrá una componente X y otra Y. La resultante es calculada de la misma forma que en la catarina de entrada.

Figura 36: Fuerzas en el punto G del primer eje



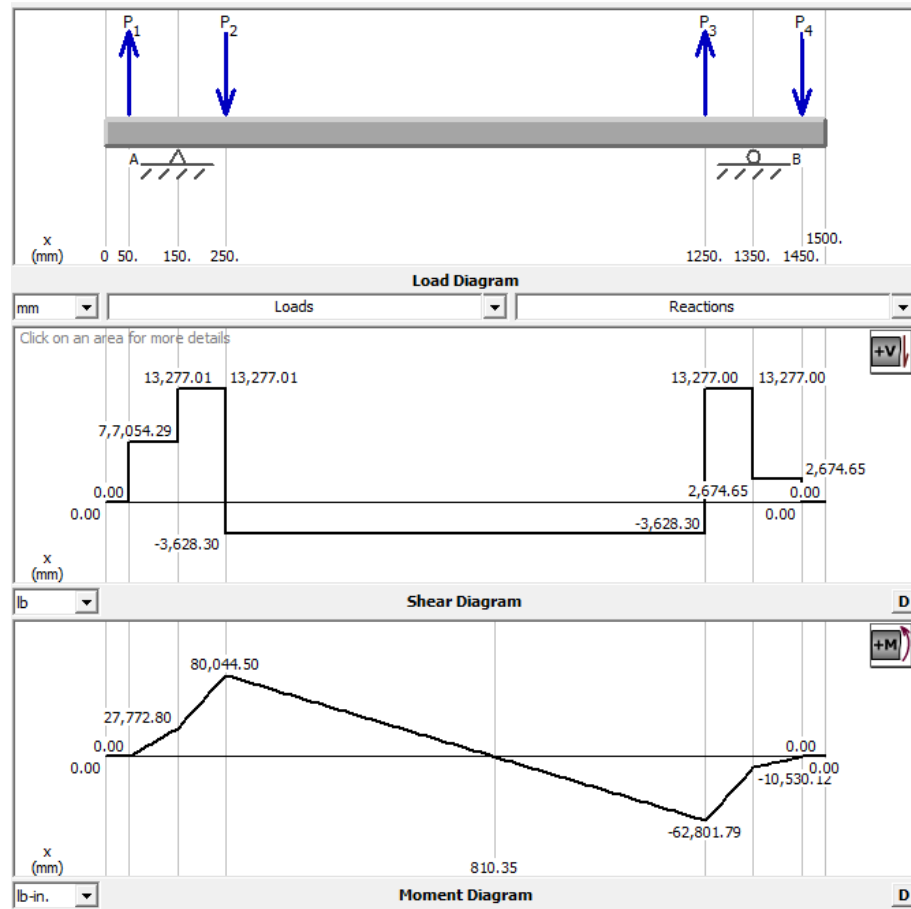
Elaboración propia

Diagramas de fuerzas cortantes y momentos flectores

Se generan los diagramas de fuerzas cortantes y momentos flectores tanto en el plano X-Z como en el Y-Z.

A continuación, se muestran dichos gráficos, así como una tabla resumen de los valores en cada punto del eje.

Figura 37: Diagrama de fuerzas cortantes y momentos flectores del primer eje en plano X-Z



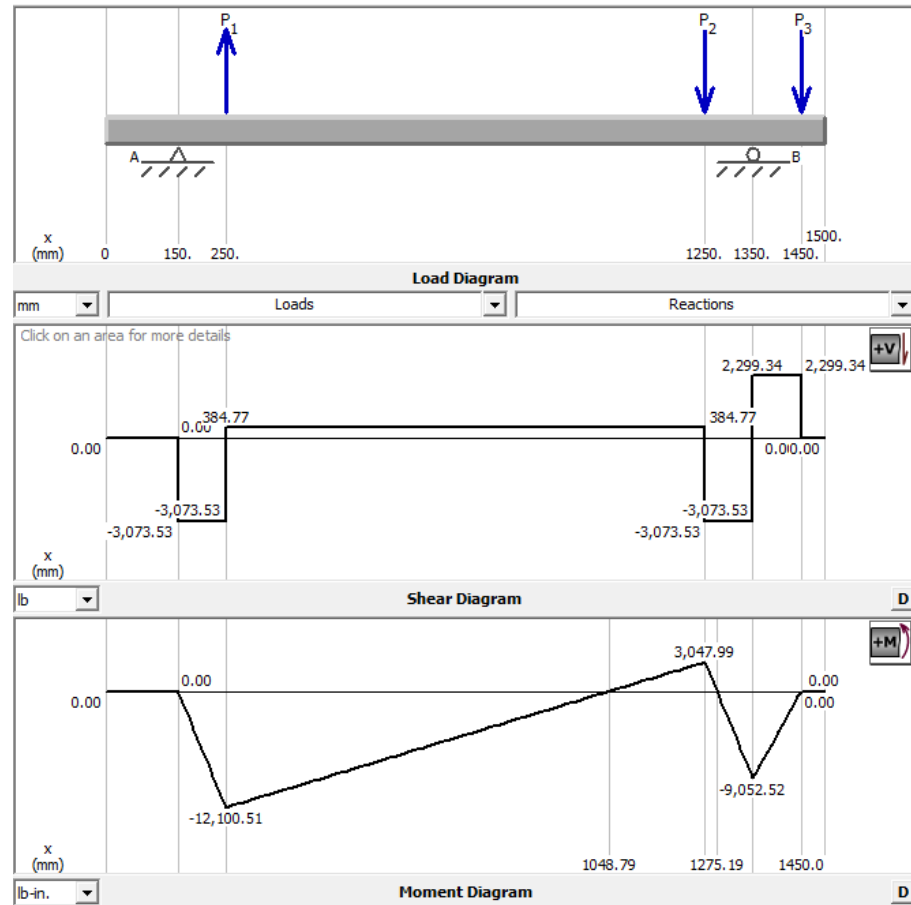
Elaborado en MDSolids

Tabla 24: Valores de fuerzas cortantes y momentos flectores en cada punto del primer eje en el plano X-Z

FUERZAS CORTANTES			MOMENTOS FLECTORES		
V _A	7054.29	lb	M _A	0.00	lb.pulg
V _B	13277.01	lb	M _B	27772.80	lb.pulg
V _C	-16905.31	lb	M _C	80044.50	lb.pulg
V _D	-3628.30	lb	M _D	0.00	lb.pulg
V _E	16905.31	lb	M _E	-62801.79	lb.pulg
V _F	-10602.35	lb	M _F	-10530.12	lb.pulg
V _G	2674.65	lb	M _G	0.00	lb.pulg

Elaboración propia

Figura 38: Diagrama de fuerzas cortantes y momentos flectores del primer eje en plano Y-Z



Elaborado en MDSolids

Tabla 25: Valores de fuerzas cortantes y momentos flectores en cada punto del primer eje en el plano Y-Z

FUERZAS CORTANTES			MOMENTOS FLECTORES		
V _A	0.00	lb	M _A	0.00	lb.pulg
V _B	-3073.53	lb	M _B	0.00	lb.pulg
V _C	3458.30	lb	M _C	-12100.51	lb.pulg
V _D	384.77	lb	M _D	-4526.26	lb.pulg
V _E	-3458.30	lb	M _E	3047.99	lb.pulg
V _F	5372.87	lb	M _F	-9052.52	lb.pulg
V _G	-2299.34	lb	M _G	0.00	lb.pulg

Elaboración propia

Factores de concentración de esfuerzos

Estos factores varían según la geometría que se impone en cada sección del eje; como chaflanes, cortes, etc. En la siguiente tabla se muestra una recopilación de los distintos factores según el acabado del eje.

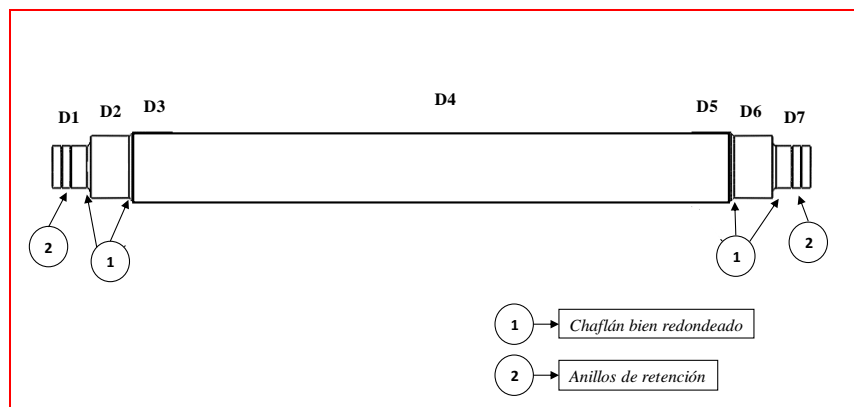
Tabla 26: Factores de concentración de esfuerzos para distintas discontinuidades geométricas

CHAVETA	Cuñero de perfil	2,0
	Cuñero en trineo	1,6
CHAFLÁN	Chaflán agudo	2,5
	Chaflán bien redondeado	1,5
ANILLO DE RETENCIÓN		3,0

Fuente: [9, pp. 540-544]

Para la instalación de las catarinas se emplean canales chaveteros en trineo y anillos de retención, por lo que el factor causado por los anillos se considera el más alto de los ya mencionados. Con respecto a los cojinetes se prefiere maquinar chaflanes bien redondeados a sus extremos para evitar una mayor concentración de esfuerzos. Un bosquejo del eje escalonado se evidencia en la Figura 34.

Figura 39: Bosquejo preliminar de detalles de acabado en cada sección del primer eje



Elaboración propia

Propiedades del material del eje

Debido a las condiciones de operación corrosivas, se considera hacer uso de acero inoxidable AISI grado 304, el cual es el más convencional en su tipo.

Las propiedades mecánicas del acero AISI 304 se enlistan en la Figura 40, de las cuales la resistencia a la tensión y a la fluencia se hace indispensable para el cálculo de los diámetros mínimos.

Figura 40: Propiedades de los aceros inoxidables

APÉNDICE 6 PROPIEDADES DE LOS ACEROS INOXIDABLES							
Designación del material			Resistencia a la tensión		Resistencia de fluencia		Ductilidad (porcentaje de elongación en pulgadas)
Número AISI	UNS	Condición	(ksi)	(MPa)	(ksi)	(MPa)	
Aceros austeníticos							
201	S20100	Recocido	115	793	55	379	55
		1/4 duro	125	862	75	517	20
		1/2 duro	150	1030	110	758	10
		3/4 duro	175	1210	135	931	5
		Duro total	185	1280	140	966	4
301	S30100	Recocido	110	758	40	276	60
		1/4 duro	125	862	75	517	25
		1/2 duro	150	1030	110	758	15
		3/4 duro	175	1210	135	931	12
		Duro total	185	1280	140	966	8
304	S30400	Recocido	85	586	35	241	60
310	S31000	Recocido	95	655	45	310	45
316	S31600	Recocido	80	552	30	207	60
Aceros ferríticos							
405	S40500	Recocido	70	483	40	276	30
430	S43000	Recocido	75	517	40	276	30
446	S44600	Recocido	80	552	50	345	25
Aceros martensíticos							
410	S41000	Recocido	75	517	40	276	30
416	S41600	Q&T 600	180	1240	140	966	15
		Q&T 1000	145	1000	115	793	20
		Q&T 1400	90	621	60	414	30
431	S43100	Q&T 600	195	1344	150	1034	15
440A	S44002	Q&T 600	280	1930	270	1860	3
Aceros endurecidos por precipitación							
17-4PH	S17400	H 900	200	1380	185	1280	14
		H 1150	145	1000	125	862	19
17-7PH	S17700	RH 950	200	1380	175	1210	10
		TH 1050	175	1210	155	1070	12

Fuente: [9, pp. A-12]

La resistencia a la fatiga se determina con la ecuación (24), donde el factor de confiabilidad se determina por la Figura 41, el factor de tamaño mediante la Figura 42 asumiendo un diámetro de eje de 4 pulgadas para efectos conservadores, mientras que la resistencia a la fatiga es derivada de la Figura 43.

Figura 41: Factores de confiabilidad aproximados

Confiabilidad deseada C_R	
0.50	1.0
0.90	0.90
0.99	0.81
0.999	0.75

$$C_r = 0,81$$

Fuente: [9, p. 175]

Figura 42: Factor por tamaño

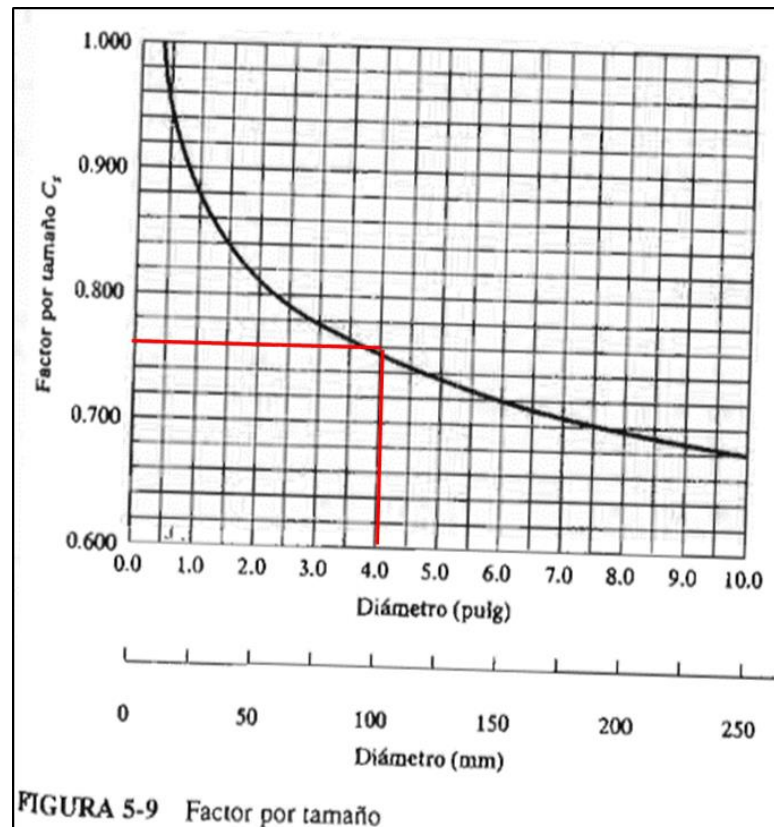
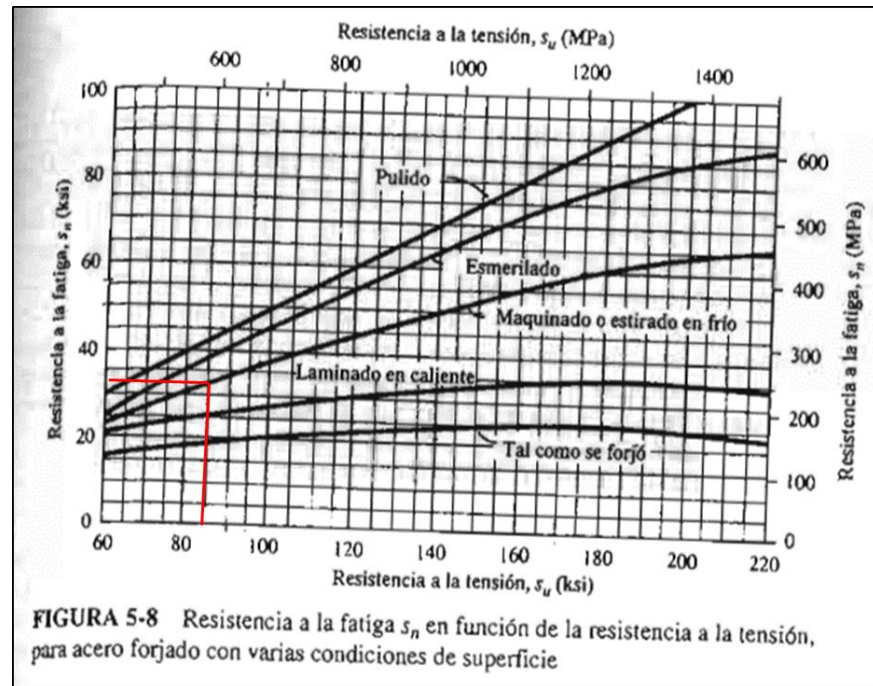


FIGURA 5-9 Factor por tamaño

$$C_s = 0,76$$

Fuente: [9, p. 175]

Figura 43: Resistencia a la fatiga en función a la resistencia a la tensión, para acero forjado con varias condiciones de superficie



$$S_n = 32\,500 \text{ psi}$$

Fuente: [9, p. 175]

Por lo tanto, el valor real de la resistencia por fatiga es:

$$S'_n = 20\,007 \text{ psi}$$

Factor de diseño

Se establece, a priori, un factor de seguridad de 2, debido a que se trata de un material dúctil bajo cargas dinámicas con certeza y confianza en sus valores. [9, p. 185].

Cálculo de diámetros mínimos del eje

Se establecen las cortantes y momentos resultantes en cada sección del eje. Asimismo, con los factores de concentración de esfuerzo y la ecuación (23) se determinan los diámetros mínimos para diseño por cargas estáticas y por fatiga.

Tabla 27: Fuerzas cortantes y momentos flectores resultantes en cada punto del primer eje

FUERZAS CORTANTE, TORQUE Y MOMENTO RESULTANTES			
	Fuerza cortante V [lb]	Torque T [lb.pulg]	Momento flector M [lb.pulg]
Punto A	7054.29	45711.77	0.00
Punto B	13628.12	45711.77	27772.80
Punto C	17255.41	22855.89	80953.96
Punto D	3648.64	22855.89	4526.26
Punto E	17255.41	22855.89	62875.71
Punto F	11886.02	22855.89	13886.38
Punto G	3527.14	22855.89	0.00

Elaboración propia

Tabla 28: Fuerzas cortantes y momentos flectores resultantes en cada punto del primer eje

DIÁMETROS MÍNIMOS							
	ELEMENTO	TIPO DE MUESCA	Nº DIÁMETRO	$D = \sqrt{\frac{2.94(K_t)(V)(N)}{S_u}}$	$D = \left[\frac{32(N)}{\pi} \sqrt{\left[\frac{K_t M^2}{S_u} + \frac{3}{4} \left[\frac{T}{S_s} \right]^2} \right]} \right]^{1/2}$	RESULTADOS (pulg) (mm)	
Punto A	Catarina	Anillo de retención	D1	2.49	2.85	3.02	76.61
Punto B	Rodamiento	Chaflán bien redondeado	D2	2.45	3.64	3.64	92.48
Punto C	Rodillo izquierda	Ninguno	D3	2.76	4.37	4.37	110.90
Punto D	Rodillo	Ninguno	D4	1.04	2.32	2.32	58.80
Punto E	Rodillo derecha	Ninguno	D5	2.76	4.02	4.02	102.15
Punto F	Rodamiento	Chaflán bien redondeado	D6	2.29	2.89	2.89	73.40
Punto G	Catarina	Anillo de retención	D7	1.76	2.26	2.39	60.81

Para anillos de retención se aumenta un 6 % el diámetro teórico. Elaboración propia

Selección de diámetros en cada sección del eje

Los valores obtenidos en la tabla anterior se comparan y se aproximan a un valor estándar lo más cercano posible.

En la siguiente tabla se muestran los valores definitivos de los diámetros del eje escalonado, tanto en fracción métrica como en decimal.

Tabla 29: Selección de diámetros en cada sección del primer eje

SELECCIÓN DE DIÁMETROS DE EJE					
	ELEMENTO	TIPO DE MUESCA	N° DIÁMETRO	DIÁMETRO ESPECIFICADO	
				Fracción (métrica)	Decimal
Punto A	Catarina	Anillo de retención	D1	3 pulg	3.00 pulg
Punto B	Rodamiento	Chaflán bien redondeado	D2	3 11/16 pulg	3.6875 pulg
Punto C	Rodillo izquierda	Ninguno	D3	4 1/2 pulg	4.50 pulg
Punto D	Rodillo	Ninguno	D4	4 1/2 pulg	4.50 pulg
Punto E	Rodillo derecha	Ninguno	D5	4 1/2 pulg	4.50 pulg
Punto F	Rodamiento	Chaflán bien redondeado	D6	3 11/16 pulg	3.6875 pulg
Punto G	Catarina	Anillo de retención	D7	2 1/2 pulg	2.50 pulg

Nota: Se han seleccionado los diámetros del eje considerando $D2=D6$ y $D3=D4=D5$ con el fin de hacer uso de un solo tipo de cojinete y lograr la simetría del eje en la posición del rodillo

Elaboración propia

Selección de cojinetes

Estos se seleccionan a partir de su carga dinámica básica, la cual se determina con las ecuaciones (29) y (30). Debido a las altas cargas cortantes en los puntos B y F del eje se prefiere usar rodamientos de rodillos.

Las horas de diseño, o duración recomendada para los rodamientos, se establece a partir de la Figura 44, la cual afirma que para máquinas de uso industrial los valores van desde las 10 000 hasta las 25 000 horas.

Establecidas las cargas y su vida útil se calculan las cargas dinámicas básicas (ver Tabla 30 y 31).

Figura 44: Valores orientativos de la vida útil especificada de los diferentes tipos de máquinas

Tipo de máquina	Vida útil especificada Horas de funcionamiento
Electrodomésticos, máquinas agrícolas, instrumentos, equipos técnicos de uso médico	300 ... 3 000
Máquinas utilizadas intermitentemente o durante breves períodos: herramientas eléctricas portátiles, dispositivos de elevación en talleres, máquinas y equipos para la construcción	3 000 ... 8 000
Máquinas utilizadas intermitentemente o durante breves períodos donde se requiere una alta confiabilidad: ascensores (elevadores), grúas para productos embalados o eslingas para tambores, etc.	8 000 ... 12 000
Máquinas para 8 horas de trabajo diario, no siempre utilizadas al máximo: transmisiones por engranajes de uso general, motores eléctricos para uso industrial, trituradoras giratorias	10 000 ... 25 000
Máquinas para 8 horas de trabajo diario utilizando plenamente sus capacidades: herramientas mecánicas, máquinas para carpintería, máquinas para la industria de la ingeniería, grúas para materiales a granel, ventiladores, cintas transportadoras, equipos de impresión, separadores y centrifugadoras	20 000 ... 30 000
Máquinas para 24 horas de trabajo continuo: unidades de engranajes para laminadores, maquinaria eléctrica de tamaño medio, compresores, tornos de extracción para minas, bombas, maquinaria textil	40 000 ... 50 000
Maquinaria para energía eólica, incluidos los rodamientos del eje principal, de orientación, de la caja de engranajes de cambio de paso, del generador	30 000 ... 100 000
Maquinaria para abastecimiento de agua, hornos giratorios, máquinas de trenzado de cables, maquinaria de propulsión para buques de alta mar	60 000 ... 100 000
Máquinas eléctricas de gran tamaño, plantas de generación de energía, bombas para minas, ventiladores para minas, rodamientos para ejes en túnel para buques de alta mar	> 100 000

Fuente: [24, p. 83]

Tabla 30: Condiciones de carga en el rodamiento del punto B del primer eje

RODAMIENTO EN PUNTO B	
Carga de diseño Pd o V [lb]	13628.12
Horas de diseño de la máquina [h]	25000
Duración de diseño Ld [rev]	9.00E+07
Tipo de rodamiento	Rodillos
Constante de rodamiento k	3.33
Capacidad de carga dinámica básica C [lb]	52637.53
Diámetro mínimo D [pulg]	3.6875

Elaboración propia

Tabla 31: Condiciones de carga en el rodamiento del punto F del primer eje

RODAMIENTO EN PUNTO F	
Carga de diseño Pd o V [lb]	11886.02
Horas de diseño de la máquina [h]	25000
Duración de diseño Ld [rev]	9.00E+07
Tipo de rodamiento	Rodillos
Constante de rodamiento k	3.33
Capacidad de carga dinámica básica C [lb]	45908.83
Diámetro mínimo D [pulg]	3.6875

Elaboración propia

Por lo tanto, se deben seleccionar cojinetes cuyos rodamientos posean un diámetro interno de 3,6875 pulgadas (sección B y F). Para esto se ha consultado el sitio web de SKF [25]; donde se ha seleccionado el cojinete modelo SYR 3 11/16-3, de diámetro interno 3 11/16'' pulgadas y cuya carga dinámica básica es mayor a la de diseño, al igual que las cargas de seguridad horizontal y vertical al cojinete. La ficha técnica del componente se puede ver en el Anexo 6.

Factor de seguridad ante falla por fatiga y por fluencia

Para el análisis de los factores de seguridad se elige uno de los puntos críticos del eje, que es donde el factor de seguridad será mínimo. Se analiza el punto B y C que son aquellos que presentan, en balance, los mayores momentos torsores y flectores a lo largo de todo el eje. Reemplazando sus valores en las ecuaciones (15) y (16) se obtienen los esfuerzos medios y alternantes y, con las ecuaciones (26) y (28) se calculan los factores de seguridad ante falla por fatiga y por fluencia.

Para el punto B:

$$\sigma_a = 8\,462,82 \text{ psi}$$

$$\sigma_m = 8\,041,98 \text{ psi}$$

$$n_f = 2,08$$

$$n_y = 2,12$$

Para el punto C:

$$\sigma_a = 9\,049,00 \text{ psi}$$

$$\sigma_m = 2\,212,54 \text{ psi}$$

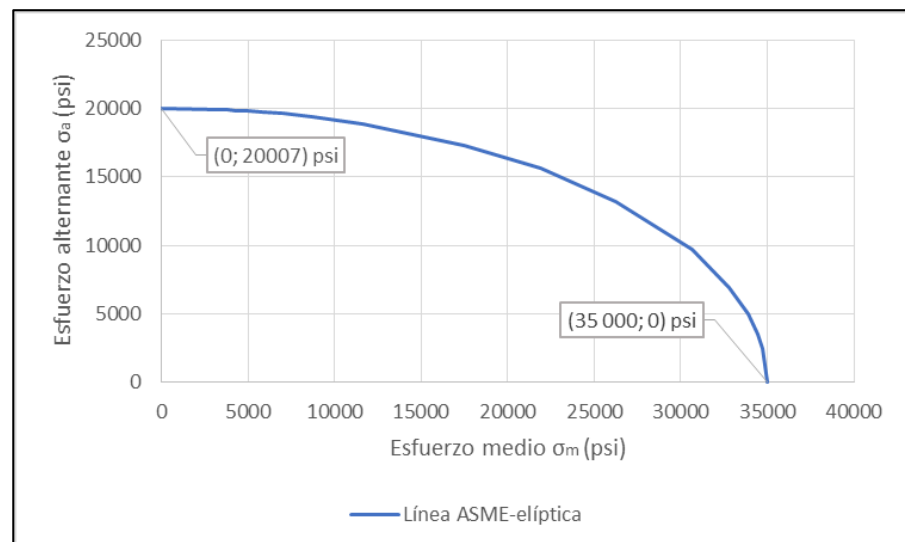
$$n_f = 2,19$$

$$n_y = 3,11$$

Con los cálculos anteriores se concluye que el punto B del eje, donde se localiza el primer cojinete, es el más crítico.

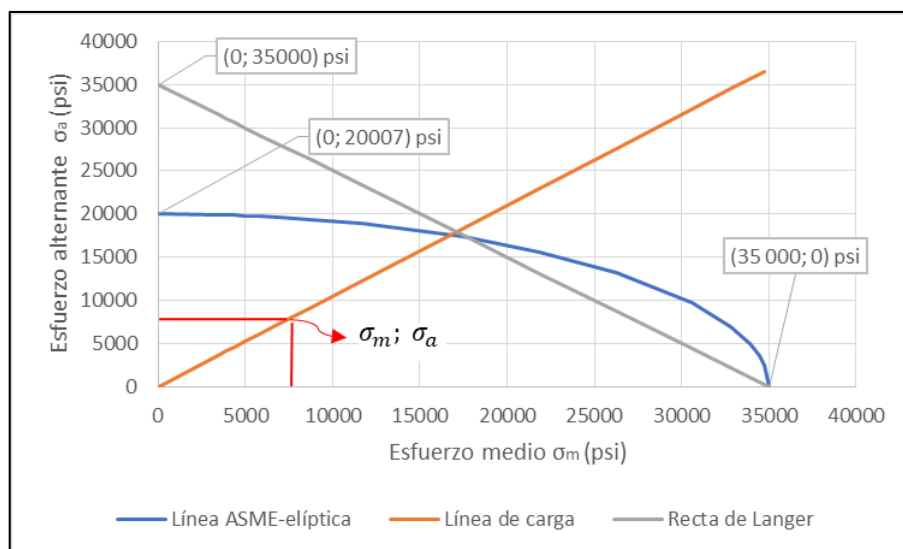
Estos resultados demuestran que el eje cumple con el requerimiento de “vida infinita” y, de alcanzar la falla, esta será del tipo fatiga antes que por fluencia (por una mínima diferencia). Ambos valores son muy conservadores y son suficientes para asegurar el buen funcionamiento del sistema en condiciones de operación estable.

Figura 45: Curva de fatiga ASME-elíptica para acero inoxidable AISI grado 304



Elaboración propia

Figura 46: Diagrama del diseñador del primer eje



Nótese que el factor de seguridad mínimo teórico es muy cercano al que se estimó a priori para los cálculos. Elaboración propia

La Figura 45 muestra la línea ASME-elíptica que depende del material del eje; mientras que la Figura 46 muestra el estado de esfuerzos y las rectas de ASME-elíptica, Langer y Recta de Carga, donde se evidencia la seguridad del sistema.

3.4.14. Eje de transmisión de potencia para segundo rodillo

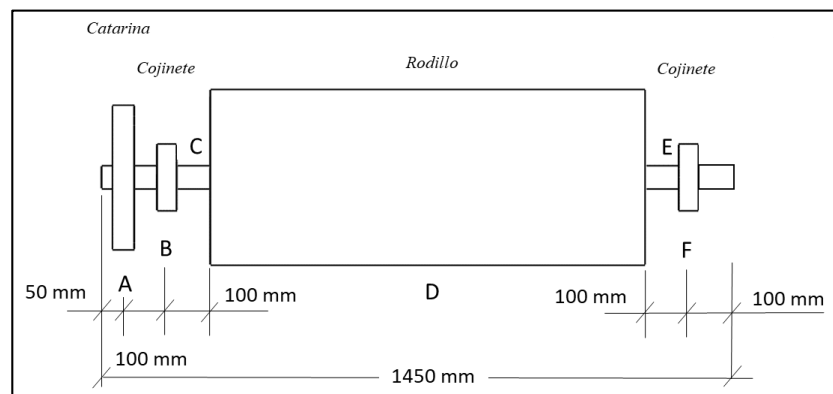
Corresponde al eje que gira en sentido contrario al primero y con ayuda de este trituran la materia prima.

A diferencia del primero, este no posee una segunda rueda dentada en su extremo final y la primera recibe el torque por medio de una cadena de rodillo luego de haber pasado por un juego de ruedas que permiten dar el cambio de sentido de giro.

Se trata de asemejar lo mayor posible al primer eje, por lo que se propone el esquema preliminar mostrado en la Figura 47.

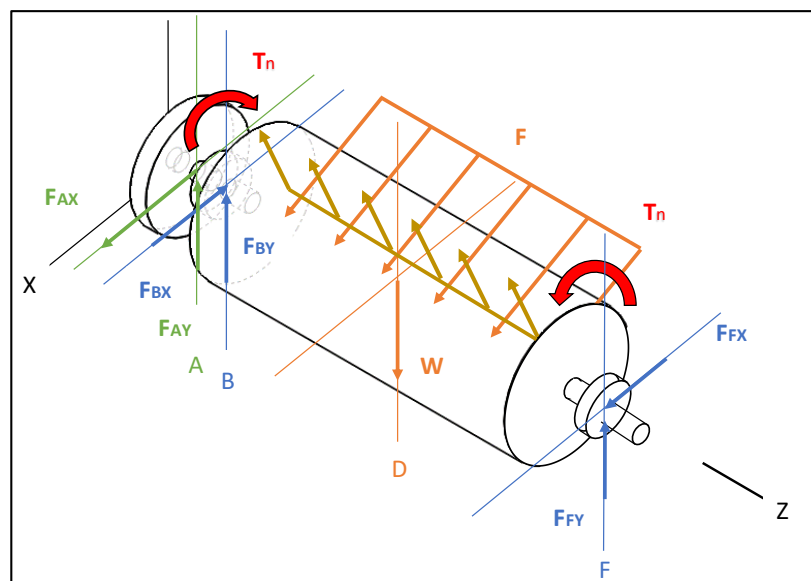
Las cargas se muestran en la Figura 48.

Figura 47: Bosquejo preliminar de disposición de segundo eje de rodillo



Elaboración propia

Figura 48: Distribución de fuerzas y momentos a lo largo del segundo eje



Elaboración propia

Par torsor a lo largo del eje

El par entregado al segundo rodillo corresponde a los 15 HP restantes, por lo tanto su valor hasta cierto punto es:

$$T_{15HP} = 2\,582,34 \text{ N.m} = 22\,855,89 \text{ lb.in}$$

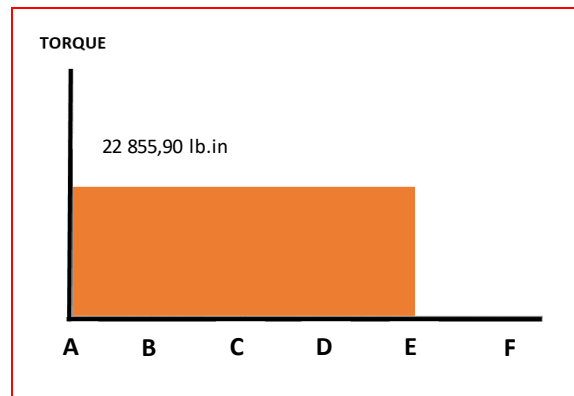
A continuación los valores para cada punto del eje:

Tabla 32: Valores de pares torsores en cada punto del segundo eje

PARES TORSORES		
T _A	22855.89	lb.in
T _B	22855.89	lb.in
T _C	22855.89	lb.in
T _D	22855.89	lb.in
T _E	22855.89	lb.in
T _F	0.00	lb.in
T _G	0.00	lb.in

Elaboración propia

Figura 49: Par torsor a lo largo del segundo eje



Elaboración propia

Fuerzas en el punto A

Corresponde a la catarina que transmite la potencia restante por medio de una cadena de rodillos proveniente de un sistema de cambio de sentido de giro. Debido a la inclinación de la cadena se presencia la fuerza en componente horizontal y vertical.

El cálculo de la fuerza neta se realiza usando el torque mediante la relación ya explicada anteriormente.

Figura 50: Fuerzas en el punto A del segundo eje

PUNTO A (CATARINA ENTRADA)	
Diámetro D (pulg)	12.96
Ángulo de inclinación (°)	53.39
Fuerza neta F_A (lb)	3527.14
Fuerza X F_{Ax} (lb)	2103.46
Fuerza Y F_{Ay} (lb)	2831.29
DCL a catarina (punto A)	

Elaboración propia

Fuerzas en los puntos B y F

Al igual que para el primer eje, estas reacciones se determinan a partir de los diagramas de fuerzas cortantes.

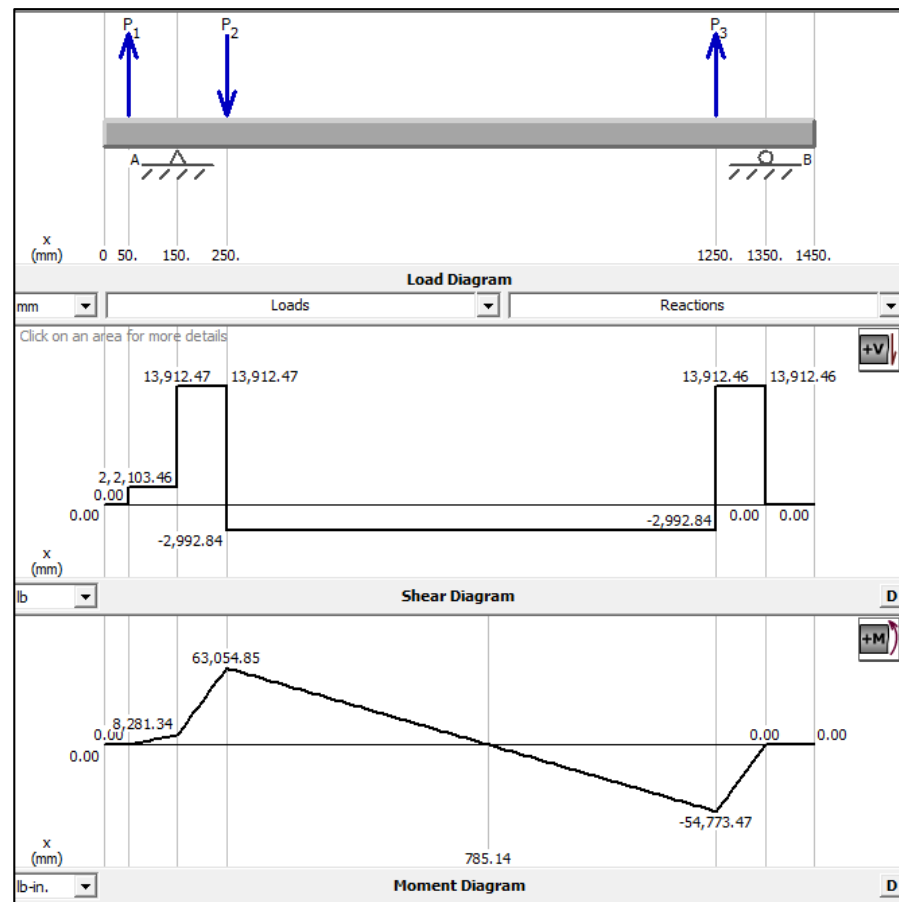
Fuerzas en los puntos C, D y E

Debido a que la carga es la misma para ambos rodillos, las fuerzas son las mismas que las que se determinaron el apartado del eje del primer rodillo.

Diagramas de fuerzas cortantes y momentos flectores

Se generan los diagramas de fuerzas cortantes y momentos flectores tanto en el plano X-Z como en el Y-Z.

Figura 51: Diagrama de fuerzas cortantes y momentos flectores del segundo eje en plano X-Z



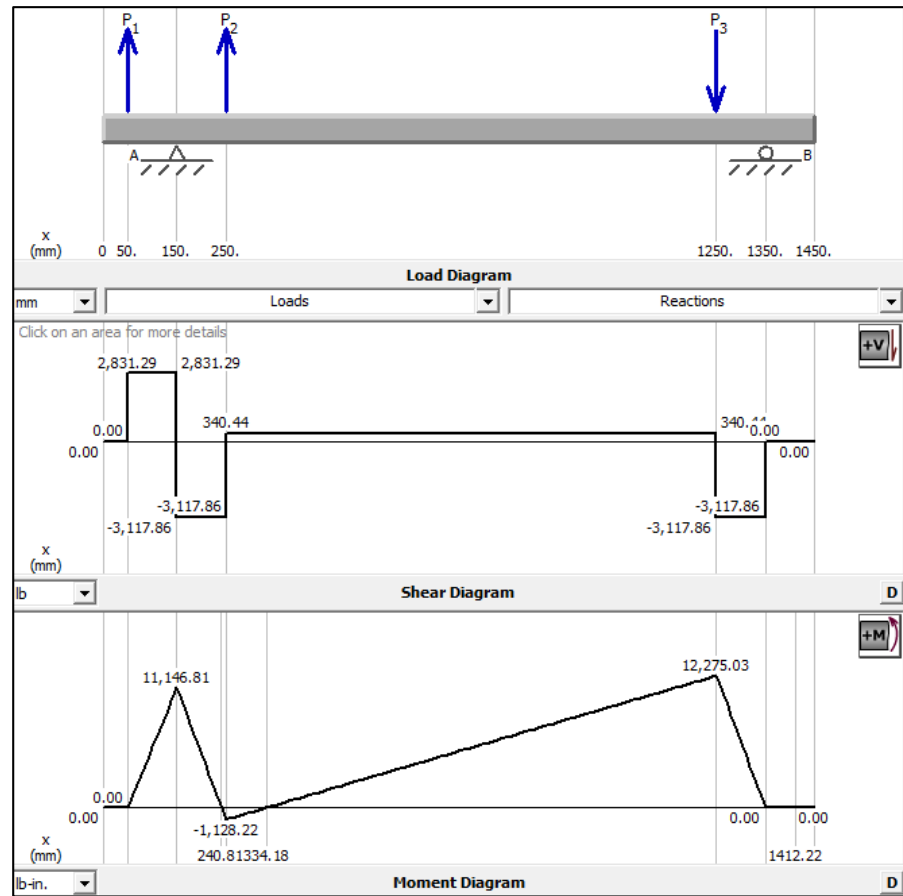
Elaborado en MDSolids

Tabla 33: Valores de fuerzas cortantes y momentos flectores en cada punto del segundo eje en el plano X-Z

FUERZAS CORTANTES			MOMENTOS FLECTORES		
V _A	2103.46	lb	M _A	0.00	lb.pulg
V _B	11809.01	lb	M _B	8281.34	lb.pulg
V _C	-16905.31	lb	M _C	63054.85	lb.pulg
V _D	-2992.84	lb	M _D	0.00	lb.pulg
V _E	16905.31	lb	M _E	-54773.47	lb.pulg
V _F	-13912.46	lb	M _F	0.00	lb.pulg

Elaboración propia

Figura 52: Diagrama de fuerzas cortantes y momentos flectores del segundo eje en plano Y-Z



Elaborado en MDSolids

Tabla 34: Valores de fuerzas cortantes y momentos flectores en cada punto del segundo eje en el plano Y-Z

FUERZAS CORTANTES			MOMENTOS FLECTORES		
V _A	2831.29	lb	M _A	0.00	lb.pulg
V _B	-5949.15	lb	M _B	11146.81	lb.pulg
V _C	3458.30	lb	M _C	-1128.22	lb.pulg
V _D	340.44	lb	M _D	5573.41	lb.pulg
V _E	-3458.30	lb	M _E	12275.03	lb.pulg
V _F	3117.86	lb	M _F	0.00	lb.pulg

Elaboración propia

Cálculo de diámetros mínimos del eje

Las propiedades del material se mantienen: AISI 304. El bosquejo preliminar es similar al elaborado en el primer eje a excepción del punto G (ver Figura 29); los factores de concentración de esfuerzo son los mismos para cada sección. Asimismo, el factor de diseño se sigue considerando 2 por las mismas consideraciones previas. Se determinan los diámetros mínimos en cada sección para el diseño por cargas estáticas y por fatiga.

Tabla 35: Fuerzas cortantes y momentos flectores resultantes en cada punto del segundo eje

FUERZAS CORTANTE, TORQUE Y MOMENTO RESULTANTES			
	Fuerza cortante V [lb]	Torque T [lb.pulg]	Momento flector M [lb.pulg]
Punto A	3527.14	22855.89	0.00
Punto B	13222.90	22855.89	13886.39
Punto C	17255.41	22855.89	63064.94
Punto D	3012.14	22855.89	5573.41
Punto E	17255.41	22855.89	56132.07
Punto F	14257.55	0.00	0.00

Elaboración propia

Tabla 36: Fuerzas cortantes y momentos flectores resultantes en cada punto del segundo eje

DIÁMETROS MÍNIMOS						
	ELEMENTO	TIPO DE MUESCA	Nº DIÁMETRO	$d = \sqrt{\frac{2.94(K_t)(V)(N)}{S_u}}$	$d = \left[\frac{32(N)}{\pi} \sqrt{\frac{(K_t M)^2}{S_u} + \frac{3}{4} \left[\frac{T}{S_s} \right]^2} \right]^{1/3}$	RESULTADOS (pulg) (mm)
Punto A	Catarina	Anillo de retención	D1	1.76	2.26	2.39 60.81
Punto B	Rodamiento (izquierda)	Chafán bien redondeado	D2	2.41	2.89	2.89 73.40
Punto C	Rodillo izquierda	Ninguno	D3	2.25	4.03	4.03 102.25
Punto D	Rodillo	Ninguno	D4	0.94	2.34	2.34 59.48
Punto E	Rodillo derecha	Ninguno	D5	2.25	3.88	3.88 98.49
Punto F	Rodamiento (derecha)	Chafán bien redondeado	D6	2.51	0.00	2.51 63.68

Para anillos de retención se aumenta un 6 % el diámetro teórico. Elaboración propia

Selección de diámetros en cada sección del eje

Los valores obtenidos en la tabla anterior se comparan y se aproximan al valor estándar superior inmediato.

Se muestran los valores definitivos de los diámetros del eje escalonado, tanto en fracción métrica como en decimal.

Tabla 37: Selección de diámetros en cada sección del segundo eje

SELECCIÓN DE DIÁMETROS DE EJE					
	ELEMENTO	TIPO DE MUESCA	N° DIÁMETRO	DIÁMETRO ESPECIFICADO	
				Fracción (métrica)	Decimal
Punto A	Catarina	Anillo de retención	D1	2 1/2 pulg	2.50 pulg
Punto B	Rodamiento (izquierda)	Chaflán bien redondeado	D2	3 11/16 pulg	3.6875 pulg
Punto C	Rodillo izquierda	Ninguno	D3	4 1/2 pulg	4.50 pulg
Punto D	Rodillo	Ninguno	D4	4 1/2 pulg	4.50 pulg
Punto E	Rodillo derecha	Ninguno	D5	4 1/2 pulg	4.50 pulg
Punto F	Rodamiento (derecha)	Chaflán bien redondeado	D6	3 11/16 pulg	3.6875 pulg

Nota: Se han seleccionado los diámetros del eje considerando $D2=D6$ y $D3=D4=D5$ con el fin de hacer uso de un solo tipo de cojinete para ambos ejes y lograr la similitud de ambos componentes

Elaboración propia

Selección de cojinetes

Se usa rodamientos de rodillos en los puntos B y F del eje.

La vida útil de diseño es de 25 000 *h*.

Las cargas dinámicas básicas son calculadas en las Tablas 38 y 39.

Tabla 38: Condiciones de carga en el rodamiento del punto B del segundo eje

RODAMIENTO EN PUNTO B	
Carga de diseño Pd o V [lb]	13222.90
Horas de diseño de la máquina [h]	25000
Duración de diseño Ld [rev]	9.00E+07
Tipo de rodamiento	Rodillos
Constante de rodamiento k	3.33
Capacidad de carga dinámica básica C [lb]	51072
Diámetro mínimo D [pulg]	3.6875

Elaboración propia

Tabla 39: Condiciones de carga en el rodamiento del punto F del segundo eje

RODAMIENTO EN PUNTO F	
Carga de diseño Pd o V [lb]	14257.55
Horas de diseño de la máquina [h]	25000
Duración de diseño Ld [rev]	9.00E+07
Tipo de rodamiento	Rodillos
Constante de rodamiento k	3.33
Capacidad de carga dinámica básica C [lb]	55069
Diámetro mínimo D [pulg]	3.6875

Elaboración propia

Se induce el uso de cojinetes modelo SYR 3 11/16-3, de diámetro interno 3 11/16'' pulgadas y cuya carga dinámica básica es mayor a la de diseño, al igual que las cargas de seguridad horizontal y vertical al cojinete. La ficha técnica del componente se puede ver en el Anexo 6.

La finalidad de instalar los mismos cojinetes es para mantener ambos ejes nivelados sobre una base común. Como se observó, el segundo eje recibe menores cargas que el primero en dichos puntos.

Factor de seguridad ante falla por fatiga y por fluencia

Para el análisis de los factores de seguridad se elige uno de los puntos críticos del eje, que es donde el factor de seguridad será mínimo. A diferencia del primer componente ya diseñado, esta vez no se considera el que concentre mayor carga (par torsor y momento flector); sino aquel que, además de lo anterior mencionado, tenga el diámetro de sección más cercano al teórico. Esto es debido a que, al inducir el diámetro en los puntos de los cojinetes, se exageró su dimensión con la finalidad de asimilarlo al primer eje.

Se analiza el punto A obteniendo los siguientes valores de esfuerzos y factores de seguridad:

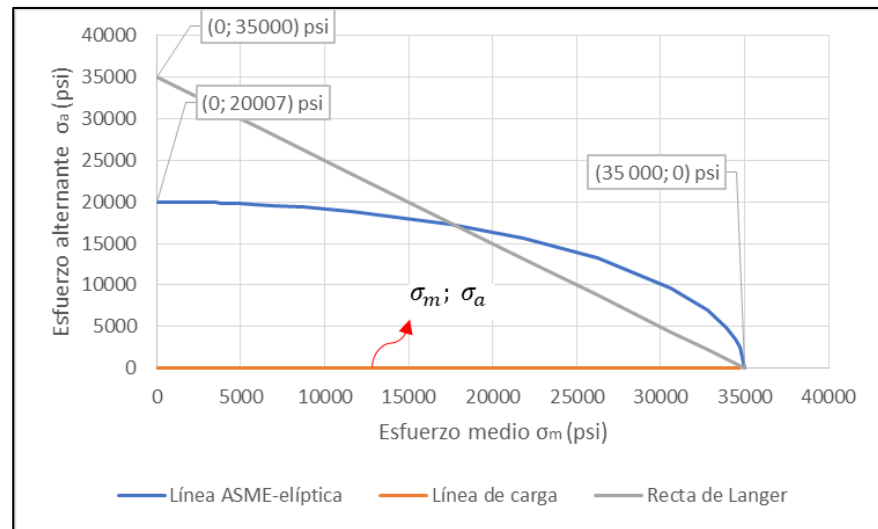
$$\sigma_a = 0,00 \text{ psi}$$

$$\sigma_m = 12\,903,54 \text{ psi}$$

$$n_f = 2,71$$

$$n_y = 2,71$$

Figura 53: Diagrama del diseñador del segundo eje



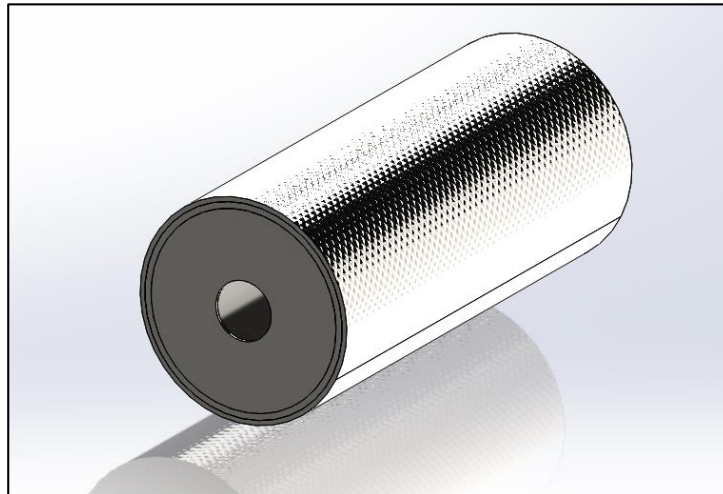
Nótese que el factor de seguridad mínimo teórico es relativamente cercano al que se estimó a priori para los cálculos. Elaboración propia

La Figura 53 muestra el estado de esfuerzos y las rectas de ASME-elíptica, Langer y Recta de Carga, donde se evidencia la seguridad del sistema.

3.4.15. Rodillos

Se realiza el dimensionamiento de los rodillos de acuerdo a las necesidades requeridas, los cuales constan de un tubo $\text{Ø}16''$ SCH40, una enchaquetadura de plancha estriada y tapas a los laterales. El modelado de uno de estos (ambos iguales) se muestra en la Figura 54.

Figura 54: Modelado de rodillo



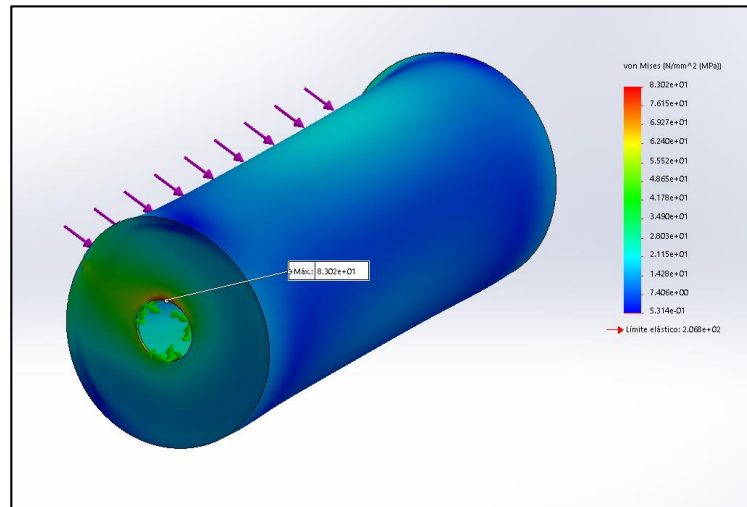
Elaborado en SolidWorks Simulation

El comportamiento de un rodillo bajo la influencia de carga, cuando este opera en un régimen de molienda estacionario, se puede apreciar en la Figura 55 y 56.

El esfuerzo von Mises resulta siendo un indicador del comportamiento ante una eventual falla al estar relacionado directamente con la energía de distorsión que se produce en el componente cuando este se somete a la carga generada durante la molienda del producto en cuestión.

El factor de seguridad indica el sobredimensionamiento que presenta el sistema por sobre las propiedades intrínsecas del material que se usa. Este es justificado debido a previsiones de desgaste, desviaciones de carga y/o propiedades, entre otros.

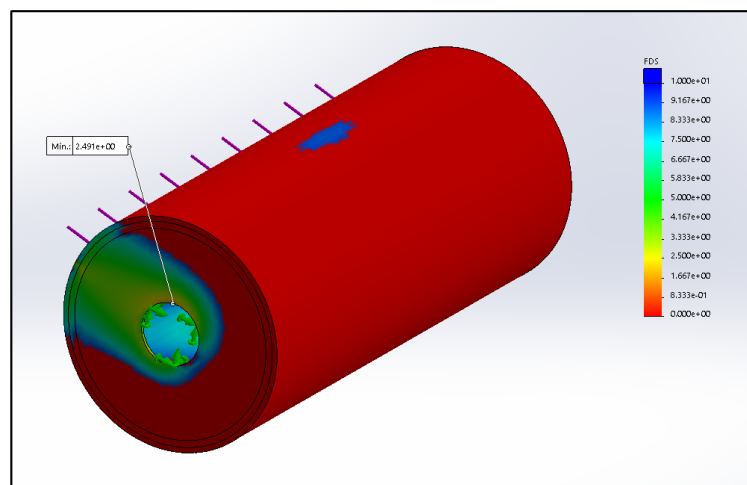
Figura 55: Gráfico de distribución de esfuerzos von Mises en rodillo



El esfuerzo von Mises máximo ocurre en la zona donde el componente tiene contacto con el eje de transmisión.

Elaborado en SolidWorks Simulation

Figura 56: Gráfico de distribución de factor de seguridad en rodillo



El factor de seguridad indica que el valor del esfuerzo de fluencia es más de dos veces el valor del esfuerzo máximo, por lo que el sistema es seguro.

Elaborado en SolidWorks Simulation

Figura 57: Calidad de malla en análisis estático de un rodillo

Nombre de estudio	Análisis estático rodillo (-Predeterminado-)
Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado	Malla estándar
Transición automática	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla	Desactivar
Puntos jacobianos	4 puntos
Tamaño de elementos	13.6176 mm
Tolerancia	0.680878 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Número total de nodos	165363
Número total de elementos	99348
Cociente de aspecto máximo	6.7316
Porcentaje de elementos con cociente de aspecto < 3	99.2
Porcentaje de elementos con cociente de aspecto > 10	0
% de elementos distorsionados (Jacobianos)	0
Regenerar la malla de piezas fallidas con malla incompatible	Desactivar
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss)	00:00:15
Nombre de computadora	

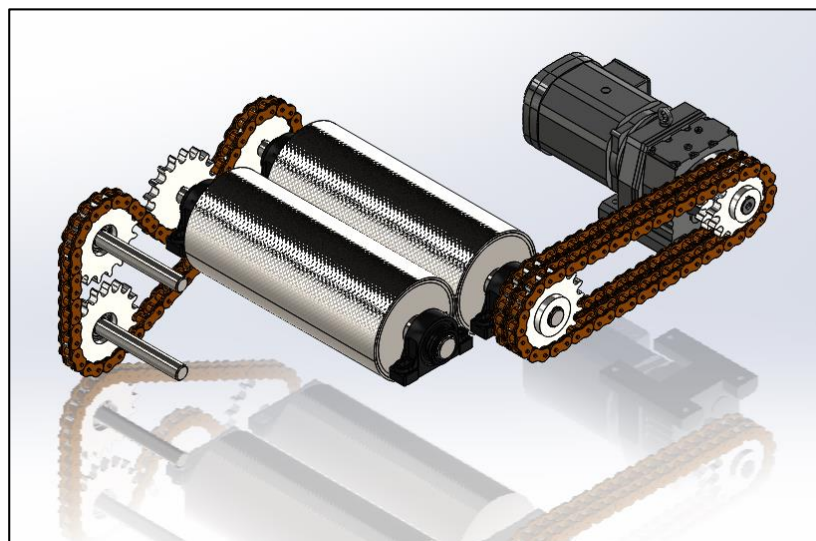
Verificación de relación de aspecto y puntos jacobianos en malla, la cual garantiza resultados confiables en la simulación.

Elaborado en SolidWorks Simulation

3.4.16. Mecanismo de molienda

Una vez definidos los elementos de transmisión requeridos para la molienda, se hace un modelado a detalle de la disposición de los componentes.

Figura 58: Modelado de mecanismo de molienda



Elaborado en SolidWorks

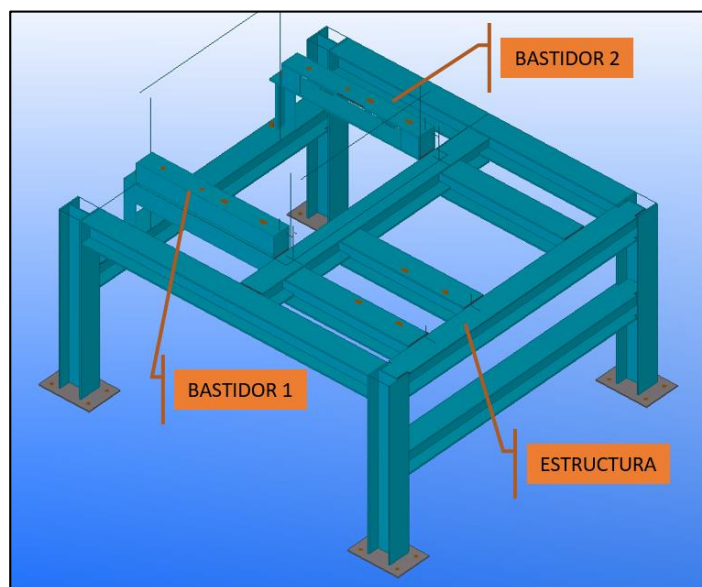
3.4.17. Mesa soporte

Para la estructura que soporta el mecanismo de rodillos se realiza un predimensionamiento de sus elementos y la disposición de estos, con perfiles convencionales de la localidad, tales como:

- Ángulos L5''x5''x3/8'' y L3''x3''x1/4'' (Acero ASTM A36).
- Perfil W6x20 (Acero ASTM A36).
- Planchas de 2 y 6 mm de espesor (Acero inoxidable AISI 304).

Definido ya el modelo, surge la necesidad de separarlo en tres componentes para llevar a cabo el estudio de integridad estructural. El primer y segundo componentes se denominan “bastidor 1” y “bastidor 2”, respectivamente, los cuales son marcos que soportan las cargas de reacción de las chumaceras que portan los ejes y rodillos de molienda. El tercer componente se denomina “estructura” y está conformado por elementos estructurales dispuestos de tal forma que ofrezcan rigidez a la mesa soporte.

Figura 59: Modelado de mesa soporte

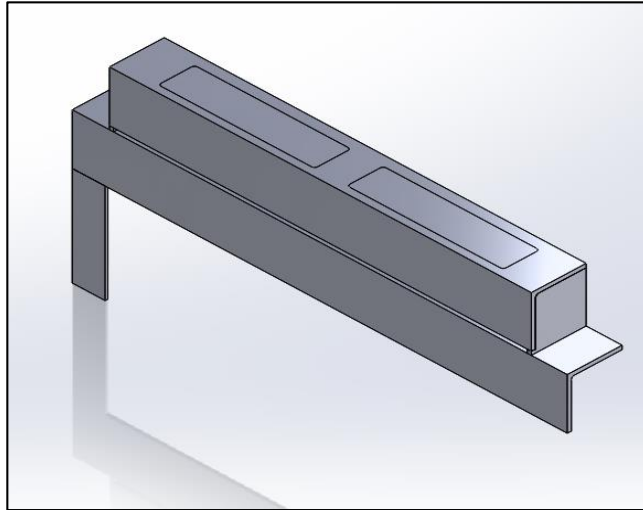


Elaborado en Tekla Structures

Bastidor 1

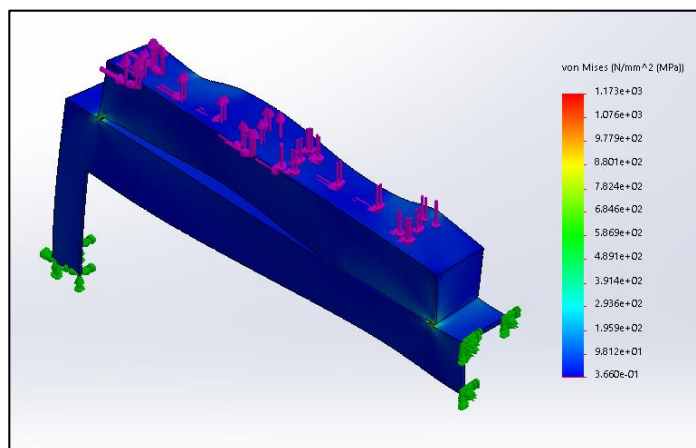
Para asegurar la integridad del primer bastidor se recurre al análisis por elementos finitos en el cual se trata a los elementos como sólidos. El elemento superior es sometido a cargas cuyos valores provienen de las reacciones que ejercen las chumaceras en sus respectivas posiciones.

Figura 60: Modelado de bastidor 1



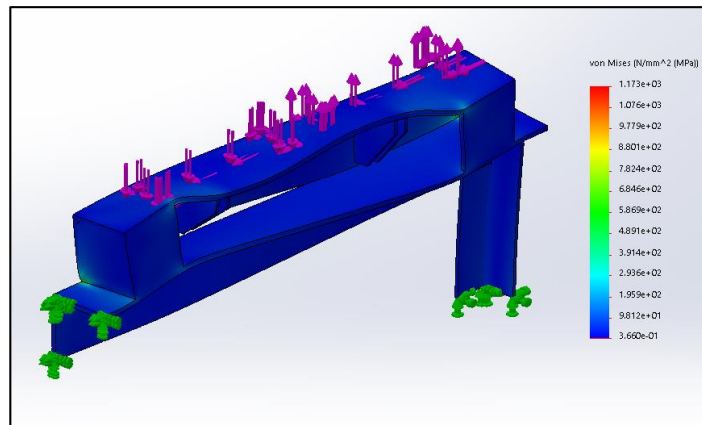
Elaborado en SolidWorks

Figura 61: Primer gráfico de distribución de esfuerzos von Mises en bastidor 1



Elaborado en SolidWorks Simulation

Figura 62: Segundo gráfico de distribución de esfuerzos von Mises en bastidor 1



Elaborado en SolidWorks Simulation

En la Figura 61 y 62 se observa que los esfuerzos von Mises a lo largo de los elementos angulares están por debajo del límite de fluencia del acero ASTM A36, lo cual es suficiente para poder afirmar que el componente cumple con el criterio de integridad estructural que se viene trabajando.

Figura 63: Calidad de malla en análisis estático de bastidor 1

Nombre de estudio	Análisis estático bastidor 1 (-Predeterminado<Como mecanizada>-)
Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado	Malla estándar
Transición automática	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla	Desactivar
Puntos jacobianos	4 puntos
Tamaño de elementos	11.7882 mm
Tolerancia	0.589411 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Número total de nodos	60703
Número total de elementos	30411
Cociente de aspecto máximo	12.174
Porcentaje de elementos con cociente de aspecto < 3	98.1
Porcentaje de elementos con cociente de aspecto > 10	0.00329
% de elementos distorsionados (Jacobiano)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss)	00:00:03
Nombre de computadora	

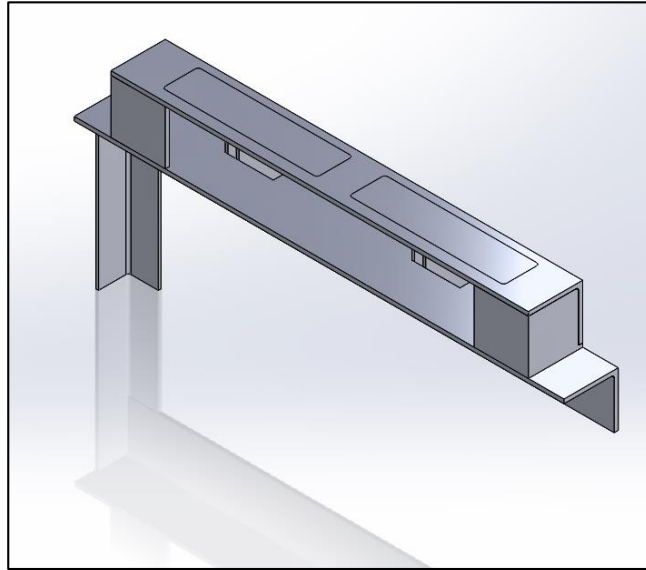
Verificación de relación de aspecto y puntos jacobianos en malla, la cual garantiza resultados confiables en la simulación.

Elaborado en SolidWorks Simulation

Bastidor 2

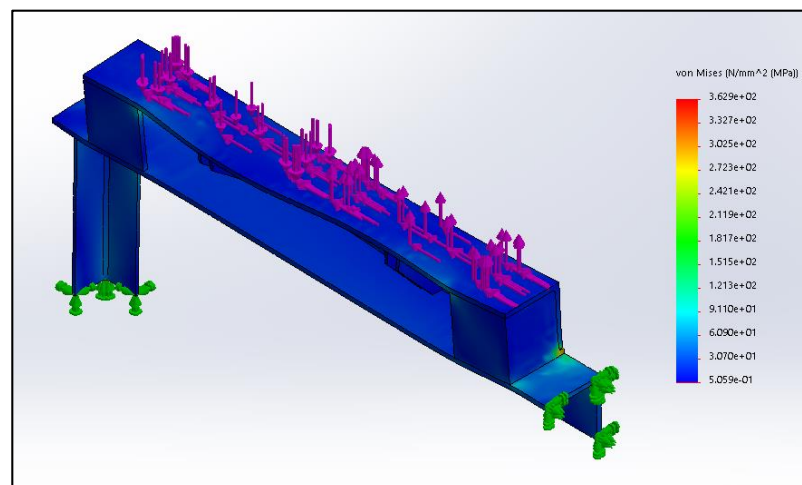
Al igual que en el bastidor 1, las cargas que recibe el marco son provenientes de las reacciones de las chumaceras, mientras que se considera una restricción de fijación en los extremos que van unidos por soldadura a la estructura.

Figura 64: Modelado de bastidor 2



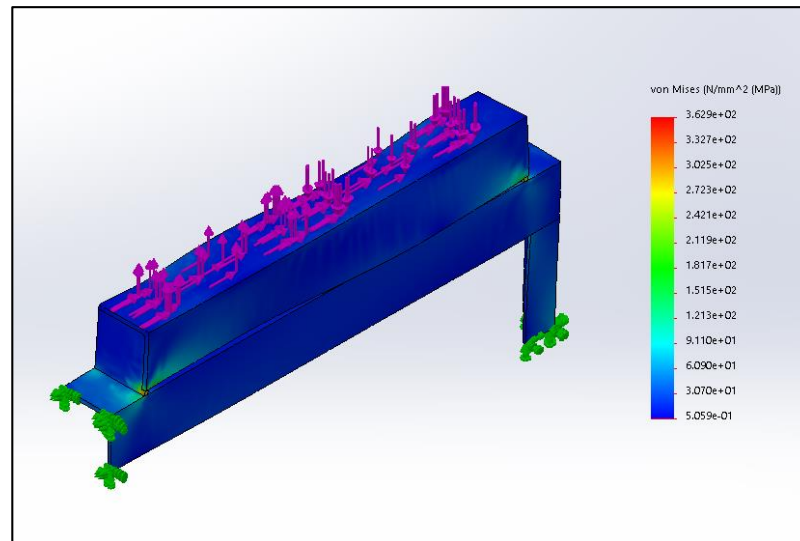
Elaborado en SolidWorks

Figura 65: Primer gráfico de distribución de esfuerzos von Mises en bastidor 2



Elaborado en SolidWorks Simulation

Figura 66: Segundo gráfico de distribución de esfuerzos von Mises en bastidor 2



Elaborado en SolidWorks Simulation

En la Figura 65 y 66 se observa que los esfuerzos von Mises a lo largo de los elementos angulares están por debajo del límite de fluencia del acero ASTM A36.

Figura 67: Calidad de malla en análisis estático de bastidor 2

Nombre de estudio	Análisis estático bastidor 2 (-Predeterminado<Como mecanizada>-)
Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado	Malla estándar
Transición automática	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla	Desactivar
Puntos jacobianos	4 puntos
Tamaño de elementos	10.8942 mm
Tolerancia	0.544711 mm
Calidad de malla	Elementos lineales de bajo orden
Número total de nodos	13339
Número total de elementos	40917
Cociente de aspecto máximo	7.8764
Porcentaje de elementos con cociente de aspecto < 3	98.2
Porcentaje de elementos con cociente de aspecto > 10	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss)	00:00:04
Nombre de computadora	

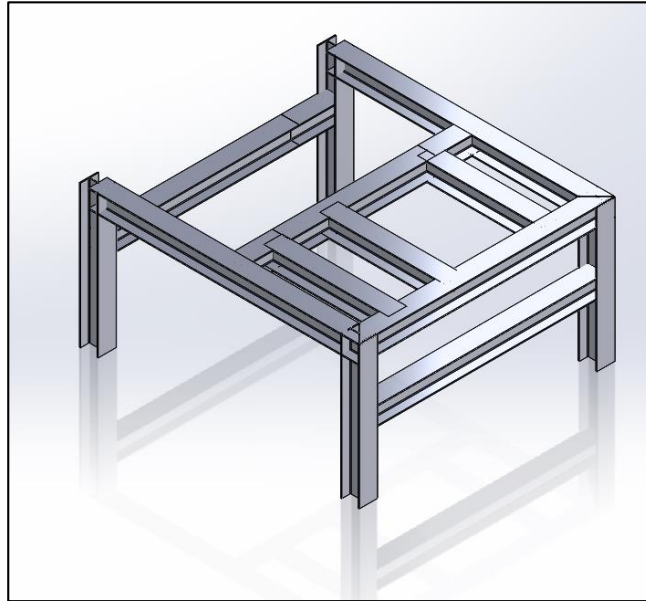
Verificación de relación de aspecto y puntos jacobianos en malla, la cual garantiza resultados confiables en la simulación.

Elaborado en SolidWorks Simulation

Estructura

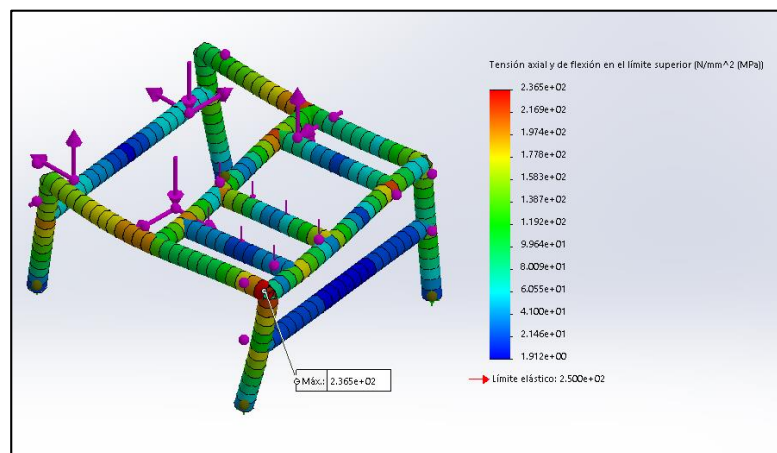
Las cargas a las cuales se encuentra sometida la estructura son aquellas reacciones resultantes de los apoyos fijos. Las uniones entre elementos son consideradas rígidas y se establecen restricciones inamovibles en el contacto entre las patas de la mesa y el suelo.

Figura 68: Modelado de estructura



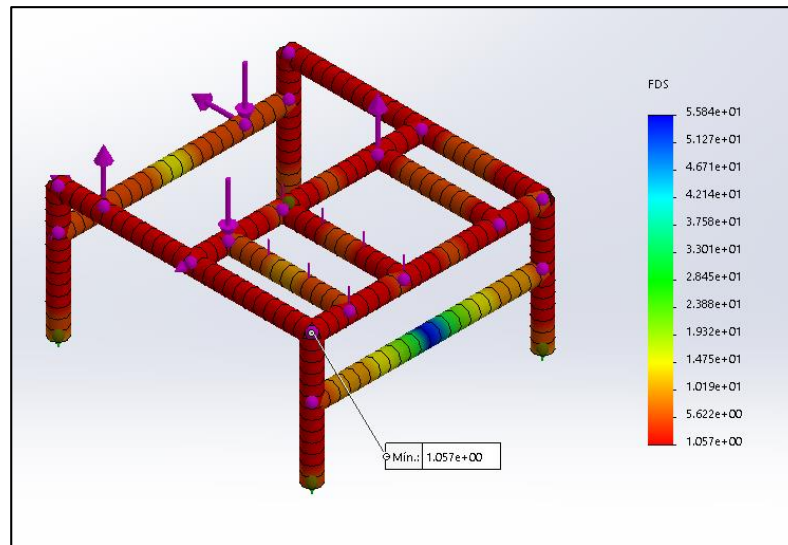
Elaborado en SolidWorks

Figura 69: Gráfico de distribución de esfuerzos axiales combinados en estructura



Elaborado en SolidWorks Simulation

Figura 70: Gráfico de distribución de factor de seguridad en estructura



Elaborado en SolidWorks Simulation

Figura 71: Propiedad de malla en análisis estático de estructura

Nombre de estudio	Análisis estático estructura [-Predeterminado<Como mecanizada>-]
Tipo de malla	Malla de viga
Número total de nodos	242
Número total de elementos	230
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss)	00:00:02
Nombre de computadora	

Elaborado en SolidWorks Simulation

El análisis estático llevado a cabo para la estructura se diferencia de los anteriores por el tipo de mallado (ver Figura 71), en donde se prefiere el uso de una malla de viga debido a que los elementos mantienen una sección transversal uniforme a lo largo de su longitud, la relación entre longitud de viga y peralte es por lo menos 10, y los esfuerzos representativos son aquellos provenientes de las cargas axiales, de flexión, cortantes y de torsión.

El caso en cuestión manifiesta mayor representatividad en las cargas axiales combinadas, donde el mayor esfuerzo se localiza en una unión rígida y está por debajo del límite de fluencia del material usado (Ver Figura 69 y 70).

3.4.18. Dosificador por tornillo

El diseño del tornillo sinfín se hace siguiendo la metodología propuesta por Link - Belt Company en su catálogo “Material Handling and Processing Equipment”, la cual parte de los siguientes parámetros ya definidos para el sistema:

$$\text{Densidad aparente (10 mm)} = 1280 \text{ kg/m}^3 = 79,91 \text{ lb/ft}^3$$

$$\text{Flujo} = 7000 \text{ kg/h}$$

$$\text{Capacidad } C = 184,48 \text{ ft}^3/\text{h}$$

El tornillo debe estar inclinado en un ángulo de aproximadamente 30° y la distancia horizontal se debe adecuar al diseño general del sistema. Se considera una longitud de largo de tornillo de 4 m:

$$L = 4 \text{ m} = 13,12 \text{ ft}$$

Se pide clasificar el material, el cual según la Figura 72 es B27.

Figura 72: Tipo de materiales para transportadores por tornillo

Material	Average weight per cubic foot, pounds △	Class ■	Material	Average weight per cubic foot, pounds △	Class ■
Gypsum, raw, 1 inch and under	90-100	D27	Rice, bran (see bran)		
Gypsum, calcined, powdered	60-80	A37	Rice grits	42-45	B26
Hops, spent, dry	35	H36	Rubber, hard ground (see ebonite)		
Hops, spent, wet	50-55	H36P	Rye	44	B16S
Ice, crushed	35-45	D16	Salt, common dry, coarse	45-50	C37PL▲
Ilmenite ore	140	B28	Salt, common dry, fine	70-80	B27PL▲
Iron sulphate (see ferrous sulphate)			Salt cake, dry, coarse	85	D27
Kaolin clay, 3" and under	163	D27	Salt cake, dry, pulverized	65-85	B27
Lamp black (see carbon black)			Salt peter	80	B26S
Lead arsenate	72	B36R	Sand, bank, dry	90-110	B28
Lignite, air dried	45-55	D26	Sand, silica, dry	90-100	B18
Lime, ground, 1/8" and under	60	B36Z	Sawdust	10-13	▲
Lime, hydrated, 1/8" and under	40	B26YZ	Shale, crushed	85-90	C27▲
Lime, hydrated, pulverized	32-40	A26YZ	Shellac, powdered or granulated	31	B26K▲
Lime, pebble	53-56	D36	Silica gel	45	B28
Limestone, agricultural, 1/8" and under	68	B27▲	Slag, furnace, granulated	60-65	C28
Limestone, crushed	85-90	D27▲	Slate, crushed, 1/2" and under	80-90	C27
Limestone dust	75	A37Y▲	Slate, ground, 1/8" and under	82	B27
Litharge (see lead oxide)			Soap beads or granules		B26T
Magnesium chloride	33	C36	Soap chips	15-25	C26T▲
			Soap flakes	5-15	B26T▲
			Soap powder	20-25	B26▲

Fuente: [26, p. 283]

Se establece que el tornillo tendrá diámetro uniforme y longitud extendida por lo que, según la Figura 73, es un tornillo de tipo A2.

Figura 73: Tipo de alimentador por tornillo

Material class	Maximum lump size, inches	Inlet opening and kind of drawoff	Feeder type	Description of feeder screw
A, B 16, 26, 36 17, 27, 37 18, 28, 38 ▲	1/8	Normal inlet opening. Material drawoff, forepart only	A1	Uniform diameter, regular pitch screw
			A2	Uniform diameter, regular pitch screw with extended screw conveyor
		Normal inlet opening. Uniform material drawoff thru full length	A3	Tapering diameter, regular pitch screw
			A4	Tapering diameter, regular pitch screw with extended screw conveyor
A, B, C, D 16, 26, 36 17, 27, 37 18, 28, 38 ■	3	Long inlet opening. Material drawoff, forepart only	B1	Uniform diameter, short pitch screw
			B2	Uniform diameter, short pitch screw with extended screw conveyor
		Long inlet opening. Uniform material drawoff thru full length	B3	Tapering diameter, short pitch screw
			B4	Tapering diameter, short pitch screw with extended screw conveyor

■ Unsize material consisting of coarse and fines where 25% of volume does not exceed maximum lump size and average size of balance does not exceed one-half of the maximum lump size. When lumps exceed 25% of volume or material contains hard unbreakable lumps, consult Link-Belt.
 ○ For length, refer to B, Table 2.
 ▲ Screw feeders cannot control materials which become fluid.

Fuente: [26, p. 115]

En la Figura 74 se establece que el diámetro óptimo del tornillo debe ser de 9 pulgadas a una velocidad de 70 rpm, mientras opera a un porcentaje de carga de 30 %; lo cual se reafirma en la Figura 75.

Figura 74: Capacidad y velocidad de alimentadores de tornillo





Table 2 • Capacities and speeds of horizontal screw feeders

Feeder screw diameter, inches	Maximum lump size, inches	Maximum recommended speed, RPM	Capacity at maximum recommended speed ■	Capacity at one RPM ■	A	B	C shroud †	D	E	Conveyor screw diameter ▲		
										45	30	15
Cubic feet per hour												
INCHES												
Types A1, A2, A3 and A4 feeders												
6	1/8	70	315	4.5	6	36	12	7	14	9	9	12
9	1/8	70	1120	16.0	9	42	18	9	18	12	14	16
12	1/8	60	2250	37.5	12	48	24	10	22	16	18	
14	1/8	50	3100	62.0	14	54	28	11	24			
16	1/8	40	3740	93.5	16	54	32	11 1/2	28			
Types B1, B2, B3 and B4 feeders												
6	3/4	70	210	3.0	6	60	8	7	14	9	9	9
9	1 1/2	70	749	10.7	9	66	12	9	18	12	12	14
12	2	60	1500	25.0	12	72	16	10	22	14	16	18
14	2 1/2	50	2100	42.0	14	78	20	11	24			
16	3	40	2440	61.0	16	78	22	11 1/2	28			

■ Have dimensions certified for installation purposes.
 ▲ Based on 90% theoretical capacity.
 ▲ Where no diameter is given for extended screw conveyor, consult Link-Belt.
 □ Unsize material consisting of coarse and fines where 25% of volume does not exceed maximum lump size and average size of balance does not exceed one-half of the maximum lump size. When lumps exceed 25% of volume or material contains hard unbreakable lumps, consult Link-Belt.
 △ Maximum in regular construction. For inlets longer than listed, consult Link-Belt.
 † Where most of the material is 1/4" or larger, use cutoff plate instead of shroud.

Fuente: [26, p. 115]

Figura 75: Capacidad de carga de alimentadores de tornillo

Material class ▲	Screw diameter, inches	Maximum lump size, inches ■	Maximum recommended speed, RPM ⊗	Capacity of maximum recommended speed		Trough loading
				Cubic feet per hour		
A16 B16 C16	6	¾	165	375	2.27	 45 per cent
	9	1 ½	150	1200	8.0	
	12	2	140	2700	19.3	
	14	2 ½	130	4000	30.8	
	16	3	120	5600	46.6	
	18	3	115	7600	66.1	
	20	3 ½	105	9975	95.0	
D16, H16 A26, A36 B26, B36 C26, C36 D26, D36 H26, H36	6	¾	120	180	1.5	 30 per cent
	9	1 ½	100	560	5.6	
	12	2	90	1200	13.3	
	14	2 ½	85	1790	21.1	
	16	3	80	2510	31.4	
	18	3	75	3400	45.4	
	20	3 ½	70	4340	62.1	
A17, A27, A37 B17, B27, B37 C17, C27, C37 D17, D27, D37 H17, H27, H37	6	¾	60	90	1.5	 15 per cent
	9	1 ½	50	280	5.6	
	12	2	50	665	13.3	
	14	2 ½	45	950	21.1	
	16	3	45	1410	31.4	
	18	3	40	1850	45.4	
	20	3 ½	40	2485	62.1	
A18, A28, A38 B18, B28, B38 C18, C28, C38 D18, D28, D38 H18, H28, H38	6	¾	60	45	.75	 15 per cent
	9	1 ½	50	140	2.8	
	12	2	50	335	6.7	
	14	2 ½	45	470	10.5	
	16	3	45	705	15.7	
	18	3	40	910	22.7	
	20	3 ½	40	1240	31.1	

▲ Consider only the classifications shown when selecting screw diameters and speeds.
 ■ Unsized material consisting of coarse and fines where 25% of volume does not exceed maximum lump size and average size of balance does not exceed one-half of the maximum lump size. When lumps exceed 25% of volume or material contains hard, unbreakable lumps, consult Link-Belt.
 ⊗ Speeds higher than those recommended will result in accelerated wear on hanger bearings and couplings.

Fuente: [26, p. 284]

Obtenidos los parámetros principales, Link – Belt ofrece una ecuación básica para determinar la potencia necesaria para la operación del dosificador. Dicha ecuación es:

$$H = A \times G$$

donde A se estima de la siguiente manera para materiales tipo A y B:

$$A = \frac{C(L + 2B)K}{1000000}$$

$L + 2B$ es la longitud total del tornillo, la cual la aproximamos a los 4 m para efectos prácticos.

El factor K se obtiene de la tabla mostrada en la siguiente figura:

Figura 76: Factor K para determinación de la potencia del motor

Material class	Component group, Table 4	Weight of material, pounds per cubic foot	Maximum length of conveyor in feet Δ															Horsepower factor K													
			Screw diameter, inches															Screw diameter, inches													
			12					14					16					6		9		12		14		16		18		20	
			1 1/2	1 3/4	2	2 1/4	3	3 1/4	3 1/2	3 3/4	4	4 1/4	4 1/2	4 3/4	5	5 1/4	5 1/2	5 3/4	6	9	12	14	16	18	20						
A27 B27 C27	D	1 to 10	100	100	150	150	200	250	200	250	250	200	155	200	68	39	34	32	31	29	27	68	39	34	32	31	29	27			
		10 to 20	100	90	150	150	200	250	145	250	170	130	100	125	84	55	50	48	47	45	43	84	55	50	48	47	45	43			
		20 to 30	100	70	150	140	170	250	110	185	125	95	70	90	100	71	66	64	63	61	59	100	71	66	64	63	61	59			
		30 to 40	100	55	150	110	135	225	85	150	100	75	55	70	116	87	82	80	79	77	75	116	87	82	80	79	77	75			
		40 to 50	100	47	150	95	115	190	75	120	85	60	46	60	132	103	98	96	95	93	91	132	103	98	96	95	93	91			
		50 to 60	100	41	150	80	95	165	65	105	70	55	39	50	148	119	114	112	111	109	107	148	119	114	112	111	109	107			
		60 to 70	100	36	150	70	85	145	55	90	60	46	34	44	164	135	130	128	127	125	123	164	135	130	128	127	125	123			
		70 to 80	100	32	145	60	75	130	48	80	55	41	30	39	180	151	146	144	143	141	139	180	151	146	144	143	141	139			
		80 to 90	100	29	130	55	65	115	43	70	50	37	27	35	196	167	162	160	159	157	155	196	167	162	160	159	157	155			
		90 to 100	95	26	120	50	60	105	40	65	45	33	24	31	212	183	178	176	165	178	171	212	183	178	176	165	178	171			
A37 B37 C37	D	1 to 10	100	100	150	150	200	250	195	250	225	175	135	175	72	43	38	36	35	33	31	72	43	38	36	35	33	31			
		10 to 20	100	75	150	150	190	250	125	210	145	110	80	105	92	63	58	56	55	53	51	92	63	58	56	55	53	51			
		20 to 30	100	60	150	125	140	235	90	155	105	80	60	75	112	83	78	76	75	73	71	112	83	78	76	75	73	71			
		30 to 40	100	47	150	95	110	180	75	120	85	60	46	60	132	103	98	96	95	93	91	132	103	98	96	95	93	91			
		40 to 50	100	39	150	75	95	155	60	100	70	50	38	48	152	123	118	116	115	113	111	152	123	118	116	115	113	111			
		50 to 60	100	34	150	65	80	135	50	85	60	43	32	40	172	143	138	136	135	133	131	172	143	138	136	135	133	131			
		60 to 70	100	30	130	55	70	120	44	75	50	37	27	35	192	163	158	156	155	153	151	192	163	158	156	155	153	151			
		70 to 80	95	26	115	50	60	105	39	65	45	33	24	31	212	183	178	176	175	173	171	212	183	178	176	175	173	171			
		80 to 90	85	24	105	46	55	95	35	60	41	30	22	28	232	203	198	196	195	193	191	232	203	198	196	195	193	191			
		90 to 100	80	22	95	41	50	85	32	55	36	27	20	25	252	223	218	216	215	213	211	252	223	218	216	215	213	211			

Fuente: [26, p. 284]

$$A = 0,3827$$

G depende directamente de A y este equivale a la unidad si el valor de A es mayor o igual a 5; mientras que si este es menor (como es el caso), se obtiene de la siguiente tabla.

Figura 77: Factor G para determinación de la potencia del motor

Equivalent horsepower A	Factor G											
	Percentage of maximum recommended speed Δ											
	25-28	29-32	33-36	37-40	41-46	47-52	53-58	59-64	65-72	73-80	81-90	91-100
.20	2.21	2.29	2.37	2.43	2.52	2.59	2.66	2.72	2.80	2.86	2.94	3.00
.21 -.25	2.07	2.15	2.23	2.29	2.38	2.45	2.52	2.58	2.65	2.72	2.79	2.86
.26 -.30	1.96	2.04	2.12	2.18	2.24	2.34	2.41	2.47	2.54	2.61	2.67	2.75
.31 -.35	1.86	1.95	2.02	2.08	2.17	2.25	2.32	2.38	2.45	2.52	2.58	2.65
.36 -.40	1.78	1.86	1.94	2.0	2.08	2.17	2.23	2.29	2.36	2.43	2.50	2.57
.41 -.45	1.70	1.79	1.86	1.93	2.02	2.09	2.16	2.22	2.29	2.36	2.43	2.49
.46 -.50	1.64	1.72	1.80	1.87	1.96	2.03	2.10	2.16	2.23	2.30	2.36	2.43
.51 -.60	1.53	1.61	1.68	1.75	1.84	1.91	1.98	2.04	2.12	2.18	2.26	2.32

Fuente: [26, p. 289]

$$G = 2,57$$

Con los valores de A y G definidos y considerando un 95 % de eficiencia se obtiene una potencia teórica de 1,06 HP, por lo que debido un pequeño margen de error aceptable se decide adquirir un motor de 1 HP.

$$H = 1 HP$$

La ficha técnica del equipo se muestra en el Anexo 7.

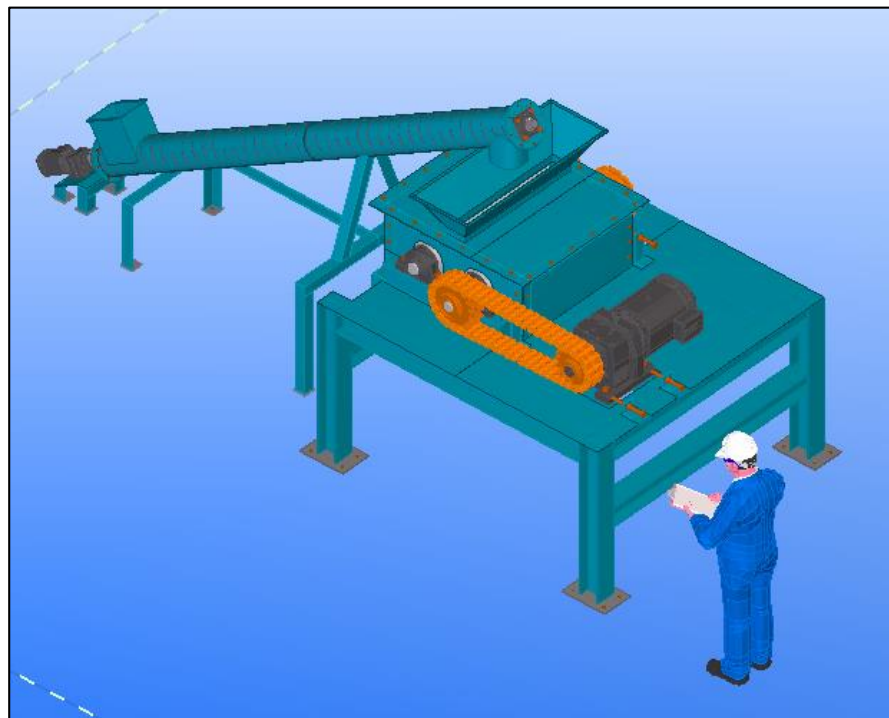
Además, las tablas anteriores afirman que, para longitudes de tornillo, como con la que se cuenta (e incluso mayores), el diámetro mínimo del eje acoplado es de una pulgada y media.

$$D_{eje\ ac} = 1\frac{1}{2}''$$

3.4.19. Sistema de molienda

En la Figura 78 se muestra la distribución de todos los mecanismos y misceláneos que forman parte del sistema y que, en conjunto, satisfacen la función global ya establecida.

Figura 78: Modelado de sistema de molienda



Elaborado en Tekla Structures

Los planos para la fabricación y montaje del sistema de molienda se encuentran en el Anexo 10.

3.5. Evaluación del beneficio económico

El propósito de la evaluación es estimar el costo necesario para la fabricación y montaje local de la maquinaria y hacer una comparativa con el costo de un equipo de características similares que sea ofertado por algún mercado dedicado a la elaboración de estos productos; para así determinar si se obtiene algún beneficio económico el fabricarlo ante la adquisición de uno.

En el Anexo 8 se muestra una relación de cotizaciones de diversos materiales necesarios para la fabricación del sistema mecánico, mientras que algunos de estos se han asumido en base a la experiencia del diseñador y a referentes locales. No se pretende calcular una cifra exacta, sino estimar un aproximado que sea lo suficientemente necesario para hacer una comparativa que pueda conducir a una toma de decisiones.

El costo aproximado para la fabricación y montaje del molino en cuestión es de **S/ 73,342.00** (ver Tabla 40).

Según Timothy Simon, ingeniero en ventas de Modern Process Equipment Corporation, el molino de rodillos modelo IMD 99 que ofrece la respectiva compañía es aquel que se adecúa a las necesidades de locales y tiene un costo de adquisición de, aproximadamente, **USD 200,000.00** (ver Anexo 9).

Como se observa, la diferencia entre fabricarlo de manera local e importarlo de un proveedor internacional (como de Estados Unidos) es abrumadora, siendo este último hasta un 940 % más de lo que se puede lograr llevando a cabo la ejecución de la propuesta planteada.

Tabla 40: Estimación de costo de fabricación y montaje local de un molino de rodillos

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	U.M.	P.U.	TOTAL
MATERIALES					
1	Motorreductor 30HP SEW Eurodrive	1	UND	S/25,000.00	S/25,000.00
2	Motorreductor 1HP SEW Eurodrive	1	UND	S/2,500.00	S/2,500.00
3	Plancha acero inox. 304 - 1200mm X 2400mm X 2mm	3	UND	S/590.00	S/1,770.00
4	Plancha acero inox. 304 - 1200mm X 2400mm X 3mm	1	UND	S/885.00	S/885.00
5	Plancha acero inox. 304 - 1200mm X 2400mm X 1/4"	4	UND	S/1,765.00	S/7,060.00
6	Plancha estriada acero inox. 304 -1200mm X 2400mm X 3/8"	2	UND	S/2,995.00	S/5,990.00
7	Eje sólido Ø2" acero inox. 304	0.5	m	S/234.00	S/117.00
8	Eje sólido Ø2-1/2" acero inox. 304	1	m	S/365.00	S/365.00
9	Eje sólido Ø4-1/2" acero inox. 304	3.5	m	S/1,250.00	S/4,375.00
10	Tubo Ø2" SCH40 acero inox. 304	6	m	S/80.00	S/480.00
11	Tubo Ø16" SCH40 acero inox. 304	2	m	S/1,675.00	S/3,350.00
12	Viga W6X20 X 6m	3	UND	S/700.00	S/2,100.00
13	Ángulo L3"X3"X1/4"X6m	3	UND	S/170.00	S/510.00
14	Ángulo L5"X5"X3/8"X6m	2	UND	S/400.00	S/800.00
15	Chumacera de pie SKF Ø3-11/16"	4	UND	S/1,000.00	S/4,000.00
16	Chumacera de pared SKF Ø2"	2	UND	S/180.00	S/360.00
17	Rodamiento SKF Ø2-1/2"	2	UND	S/180.00	S/360.00
18	Cadena de rodillo ANSI 180 de 1 hilera X 3.5m	1	UND	S/500.00	S/500.00
19	Cadena de rodillo ANSI 180 de 2 hileras X 3m	1	UND	S/750.00	S/750.00
20	Catarina 18 dientes para cadena ANSI 180 de 1 hilera con Øint=2-1/2"	2	UND	S/500.00	S/1,000.00
21	Catarina 18 dientes para cadena ANSI 180 de 1 hilera con Øint=5"	2	UND	S/500.00	S/1,000.00
22	Catarina 18 dientes para cadena ANSI 180 de 2 hileras con Øint=3"	1	UND	S/750.00	S/750.00
23	Catarina 15 dientes para cadena ANSI 180 de 2 hileras con Øint=70mm	1	UND	S/750.00	S/750.00
24	Anillo de retención para eje Ø2-1/2"	6	UND	S/. 15.00	S/90.00
25	Anillo de retención para eje Ø3"	1	UND	S/. 15.00	S/15.00
26	Conjunto perno de expansión Ø7/8"X6"X4UND	4	kit	S/20.00	S/80.00
27	Conjunto perno de expansión Ø3/4"X6"X4UND	2	kit	S/15.00	S/30.00
28	Barra rosacada Ø1"	1.5	m	S/. 30.00	S/45.00
29	Pernería	1	UND	S/. 50.00	S/50.00
SERVICIO					
31	Fabricación de juego de acople para ejes Ø1" a Ø2"	1	UND	S/480.00	S/480.00
32	Fabricación de primer eje de rodillo + chaveta según plano	1	UND	S/600.00	S/600.00
33	Fabricación de segundo eje de rodillo + chaveta según plano	1	UND	S/580.00	S/580.00
MANO DE OBRA					
34	Supervisor	1	UND	S/3,000.00	S/3,000.00
35	Operario	2	UND	S/1,500.00	S/3,000.00
EQUIPOS					
36	Herramientas y otras consideraciones (10% de mano de obra)	1	UND	S/600.00	S/600.00
TOTAL					S/73,342.00

Elaboración propia

IV. Conclusiones

- Se realizó un diagnóstico de producción de sal y características del producto a once plantas industriales de la región Lambayeque por medio de encuestas, en donde se permitió conocer parámetros como el flujo de carga, tipos de presentaciones, geometría del grano y aspectos técnicos necesarios para el diseño de la maquinaria.
- La selección de los elementos que conforman el molino de rodillos se determinó mediante la evaluación de criterios técnicos y económicos a cinco conceptos de solución provenientes de la asociación de subfunciones de manera arbitraria.
- Se diseñó un molino de rodillos capaz de producir grano de sal uniforme en tres presentaciones: sal de cocina, de mesa y de pesca. La premolienda por molino de martillos se encarga reducir en una primera etapa el tamaño del grano proveniente de la mina para luego ser dosificado por un transportador “sinfín” y recepcionado por una tolva. La materia prima se dirige a dos rodillos que giran en sentido opuesto entre sí. Los componentes mecánicos y estructurales cumplen criterios de seguridad integral establecidos.
- El costo de adquisición de un molino de rodillos por una entidad extranjera es de, aproximadamente, 940% más de lo que implica la fabricación y montaje de un equipo local que siga las pautas de ejecución propuestas. Por lo tanto, se obtiene un gran beneficio económico el fabricarlo antes que adquirirlo por importación.

V. Recomendaciones

- Programar actividades de mantenimiento anual; tales como inspecciones de los mecanismos, limpieza de la maquinaria y estructura, engrasado del sistema catarina – cadena, engrase de rodajes del equipo y de motor, ajuste de pernería, alineamiento de rodillos y transmisiones, y mantenimiento general a ambos motores.
- Mantener un operario capacitado que pueda regular el mecanismo de rodillos según las necesidades requeridas para distintas presentaciones de producto y, a su vez, evite que la integridad del equipo se vea comprometida ante eventualidades como sobrecarga o fallas mecánicas que desencadenan perjuicios a todo el sistema.
- Diseñar mecanismos que puedan complementar o reemplazar subfunciones que integran la función global, como la regulación de rodillos por medio de algún sistema neumático o hidráulico.
- El uso de la data obtenida y la metodología desarrollada en esta investigación sirven como referencia para el diseño de sistemas que impliquen la molienda de sal o de cualquier otro mineral como carbón, yeso, entre otros.

VI. Referencias bibliográficas

- [1] L. Saavedra, A. Bernabé, F. Diez y J. Miranda, «Generando información: ¿Sabemos cuánto es el consumo promedio de sal y cuáles son sus fuentes?,» *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Publica*, vol. 31, n° 1, pp. 169-171, 2014.
- [2] S. Celis, «Sistema de Molienda con Molino a Martillos: Engormix,» 1 Marzo 2017. [En línea]. Available: <https://www.engormix.com/balanceados/articulos/sistema-molienda-con-molino-t40415.htm>. [Último acceso: 24 Abril 2018].
- [3] Modern Process Equipment Corporation, «IMD 88 F SERIES: Modern Process Equipment Corporation,» 2018. [En línea]. Available: <https://www.mpechicago.com/imd-88-f-series>. [Último acceso: 24 Abril 2018].
- [4] K. Yehia, «Estimation of roll press design parameters based on the assessment of particular nip region,» *Powder Technology*, n° 177, pp. 148-153, 2007.
- [5] A. Gupta y D. Yan, *Mineral Processing Design and Operations*, Amsterdam: Elsevier; Book Aid, 2016.
- [6] Z. Zhang, Y. Wang, F. Zhou y J. Ji, «Study on Pressure and Stress Distributions on Roller in Roller Mill,» *IEEE*, pp. 2292-2296, 2009.
- [7] S. Morrel, L. W., F. Shi y L. Tondo, *Comminution Practices*, Kawatra, 1996.
- [8] R. Budynas y N. Keith, *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*, Ciudad de México: McGRAW-HILL, 2012.
- [9] R. Mott, *Diseño de elementos de máquinas*, Estado de México: Pearson, 2006.
- [10] EcuRed, «Laboratorio Virtual: EcoRed,» [En línea]. Available: https://www.ecured.cu/Laboratorio_virtual. [Último acceso: 12 Junio 2018].

- [11] SolidWorks, «SOLIDWORKS. Qué es y para qué sirve: SolidbBI,» [En línea]. Available: <https://solid-bi.es/solidworks/>. [Último acceso: 20 Junio 2018].
- [12] J. Steffen y S. Nudehi, *Analysis of Machine Elements using SolidWorks Simulation 2015*, SDC Publications, 2015.
- [13] SolidWorks, «Tensión y deformación unitaria: Ayuda de SolidWorks,» Dassault Systèmes, 2018. [En línea]. Available: http://help.solidworks.com/2014/spanish/SolidWorks/cworks/c_stress_strain.htm?id=64060c464a9647cd8e5e525f0fb9a7d6#Pg0&ProductType=&ProductName=. [Último acceso: 2 Julio 2018].
- [14] Ministerio de Salud, «Norma Técnica Peruana Sal para Consumo Humano: Ministerio de Salud,» 16 Febrero 2006. [En línea]. [Último acceso: 12 Junio 2018].
- [15] Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, «Glosario de Geología: Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales,» 26 Enero 2010. [En línea]. Available: http://www.ugr.es/~agcasco/personal/rac_geologia/rac.htm#G. [Último acceso: 12 Junio 2018].
- [16] EcuRed, «Densidad Aparente,» [En línea]. Available: https://www.ecured.cu/Densidad_aparente. [Último acceso: 25 Noviembre 2018].
- [17] J. Escobar y Á. Cuervo, «Validez de contenido y juicio de expertos: una aproximación a su utilización,» *Avances en Medición*, vol. 6, n° 1, pp. 27-36, 2008.
- [18] A. Álvarez, Artist, *Método para el diseño conceptual mecánico basado en la trazabilidad de los requerimientos funcionales*. [Art]. University of Granma, 2016.
- [19] L. Guamán y Á. Vega, Artists, *Diseño y construcción de un elevador para la facultad de mecánica*. [Art]. Escuela superior politécnica de Chimborazo, 2014.
- [20] L. Michaud, «Roll Crushers: 911 Metallurgist,» 23 Febrero 2016. [En línea]. Available: <https://www.911metallurgist.com/blog/roll-crushers>. [Último acceso: 22 Noviembre 2018].

- [21] BinMaster, «Bulk Density,» [En línea]. Available: https://www.binmaster.com/_resources/dyn/files/75343622z9caf67af/_fn/Bulk%20Density.pdf. [Último acceso: 22 Noviembre 2018].
- [22] Pipe Flow Calculation, «Pipes schedule 40 chart: Pipe Flow Calculation,» [En línea]. Available: <https://www.pipeflowcalculations.com/tables/schedule-40.xhtml>. [Último acceso: 22 Septiembre 2019].
- [23] F. Alva, *Diseño de Elementos de Máquinas I*, Lima: Pool Producciones SRL, 2009, p. 55.
- [24] SKF, «Rodamientos: SKF,» Octubre 2015. [En línea]. [Último acceso: 25 Abril 2019].
- [25] SKF, «Roller bearing pillow block units, for inch shafts: SKF,» [En línea]. Available: <https://www.skf.com/my/products/bearings-units-housings/bearing-units/roller-bearing-units/inch/pillow-block/index.html?designation=SYR-3.11/16-3&unit=imperialUnit>. [Último acceso: 3 Octubre 2019].
- [26] Link-Belt Company, *Materials Handling and Processing Equipment. Catalog 1000*, New York: Link-Belt Company, 1958.
- [27] C. Salas, Artist, *Diseño de un molino de rodillos para la molienda de granos, destinado al área de alimentos del Cesta-Espoch*. [Art]. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2012.
- [28] C. Chávez, «Acero Inoxidable 304 Versus 316: ARMAGARD,» 6 Enero 2015. [En línea]. Available: <https://www.armagard.es/blog/acero-inoxidable-304-versus-316-cual-es-mejor-armagard-el-especialista-en-armarios-para-pc-lo-investiga/>. [Último acceso: 25 Abril 2019].



Presentación del paquete: _____ kg

Si marcó **otro**, especifique:

Tamaño de grano: _____

Presentación del paquete: _____ kg

3.3. Rango de tamaño aproximado de grano que proviene de la mina:

Tamaño mínimo: _____

Tamaño máximo: _____

3.4. Precio de venta del producto:

a. Sal de mesa: S/. _____ por paquete

b. Sal de cocina: S/. _____ por paquete

c. Sal de pesca: S/. _____ por paquete

d. Otro (_____): S/. _____ por paquete

4. SISTEMA DE MOLIENDA

4.1. Tipo de equipo que se usa en el proceso de molienda: _____

4.2. Potencia del motor del molino: _____ HP

4.3. Material que está en contacto con la sal: _____

4.4. Tiempo de vida del molino: _____ años

4.5. ¿De qué manera se dosifica la sal al molino?

a. () Manual

b. Mecánica:

() Faja Transportadora. Potencia del motor: _____ HP

() Tornillo sin fin. Potencia del motor: _____ HP

() Elevador de cangilones. Potencia del motor: _____ HP

() Mesa vibratoria. Potencia del motor: _____ HP

() Otro. Especifique: _____

Potencia del motor: _____ HP

4.6. Costo aproximado de la adquisición e instalación del sistema de molienda actual en la empresa: S/. _____

4.7. Mantenimiento

¿La planta cuenta con un área de mantenimiento? a. () Sí b. () No

Con respecto a los **equipos del sistema de molienda**:

a. ¿A cuáles se les realiza mantenimiento?

b. Indicar los tipos de mantenimientos que existen:



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

ENCUESTA N°

c. Llenar de manera detallada la siguiente tabla para los trabajos de mantenimiento que se realizan:

TRABAJO DE MANTENIMIENTO	MATERIALES Y RESPUESTOS	HERRAMIENTAS Y EQUIPOS	DURACIÓN	FRECUENCIA	CANTIDAD DE PERSONAS QUE INTERVIENEN	COSTO APROXIMADO (S/.)

MUCHAS GRACIAS

Fecha: ____ / ____ / 2018

Encuestado: _____

Encuestador: _____

Anexo 2: Evaluación de encuesta para su validación

Se seleccionó un grupo de cinco profesionales como jueces expertos para la evaluación del modelo de encuesta diagnóstico propuesto, esto con el fin de validarla. A continuación, se muestran indicadores para cada categoría de evaluación.

Indicadores de evaluación

De acuerdo con los siguientes indicadores califique cada uno de los ítems según corresponda.

CATEGORIA	CALIFICACIÓN	INDICADOR
SUFICIENCIA Los ítems que pertenecen a una misma dimensión bastan para obtener la medición de ésta.	1 No cumple con el criterio	Los ítems no son suficientes para medir la dimensión
	2. Bajo Nivel	Los ítems miden algún aspecto de la dimensión pero no corresponden con la dimensión total
	3. Moderado nivel	Se deben incrementar algunos ítems para poder evaluar la dimensión completamente.
	4. Alto nivel	Los ítems son suficientes
CLARIDAD El ítem se comprende fácilmente, es decir, su sintáctica y semántica son adecuadas.	1 No cumple con el criterio	El ítem no es claro
	2. Bajo Nivel	El ítem requiere bastantes modificaciones o una modificación muy grande en el uso de las palabras de acuerdo con su significado o por la ordenación de las mismas.
	3. Moderado nivel	Se requiere una modificación muy específica de algunos de los términos del ítem.
	4. Alto nivel	El ítem es claro, tiene semántica y sintaxis adecuada.
COHERENCIA El ítem tiene relación lógica con la dimensión o indicador que está midiendo.	1 No cumple con el criterio	El ítem no tiene relación lógica con la dimensión
	2. Bajo Nivel	El ítem tiene una relación tangencial con la dimensión.
	3. Moderado nivel	El ítem tiene una relación moderada con la dimensión que esta midiendo.
	4. Alto nivel	El ítem se encuentra completamente relacionado con la dimensión que está midiendo.
RELEVANCIA	1 No cumple con el criterio	El ítem puede ser eliminado sin que se vea afectada la medición de la dimensión
	2. Bajo Nivel	El ítem tiene alguna relevancia, pero otro ítem puede estar incluyendo lo que mide éste.

Juez N° 1



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

CHICLAYO
~~7 DE OCTUBRE~~ SEPTIEMBRE
DEL 2017

PLANILLAS JUICIO DE EXPERTOS

Respetado juez: Usted ha sido seleccionado para evaluar el diagnóstico de la producción, características del producto y maquinaria encargada del proceso de molienda en las plantas de producción de sal en la región Lambayeque; que hace parte de la investigación del Diseño de un Molino de Rodillos para la Producción de Grano Uniforme de Sal de Consumo Humano en la Región Lambayeque, Perú. La evaluación del diagnóstico es de gran relevancia para lograr que sean válidos y que los resultados obtenidos a partir de éstos sean utilizados eficientemente; aportando tanto al área investigativa de la ingeniería mecánica eléctrica como a sus aplicaciones. Agradecemos su valiosa colaboración.

NOMBRES Y APELLIDOS DEL JUEZ: LUIS ALBERTO GONZALES BAZAN

FORMACIÓN ACADÉMICA ING. MECÁNICO ELECTRICISTA.

AREAS DE EXPERIENCIA PROFESIONAL DOCENCIA - CONSULTOR
ELECTROMECAÁNICO

TIEMPO 11 AÑOS CARGO ACTUAL DOCENTE / GERENTE
GENERAL

INSTITUCIÓN USAT / WAL PROJECT SRL.

Objetivos de la investigación:

Diagnosticar la producción de sal y características del producto en las plantas de la región Lambayeque.

Diagnosticar la maquinaria encargada del proceso de molienda en las plantas de producción de sal en la región Lambayeque.

Objetivo del juicio de expertos: EL PLANTEAMIENTO DEL DISEÑO
SE CONSIGUE CON EL DIAGNÓSTICO PROPUESTO.

Objetivo de la prueba: LOS OBJETIVOS DE LAS PREGUNTAS
CONCUERDAN CON LOS OBJETIVOS PLANTEADOS.

DIMENSIÓN	ITEM	SUFICIENCIA*	COHERENCIA	RELEVANCIA	CLARIDAD	OBSERVACIONES
1. DATOS GENERALES	1.1. Nombre de la empresa	4	4	3	4	cambiar a R.U.C.
	1.2. Razón social		4	3	3	
	1.3. Ubicación		4	3	4	
	1.4. Nombres y apellidos		4	3	3	
	1.5. Cargo		4	3	3	
	1.6. Sexo y Edad		4	3	3	
	1.7. Procedencia de la materia prima que se procesa		4	3	4	
	1.8. Indicar los canales de distribución		4	3	4	
	1.9. Antigüedad de la fábrica		4	3	4	
2. PRODUCCIÓN	2.1. Número de trabajadores de la fábrica	4	4	3	4	
	2.2. Número de trabajadores en el proceso de molienda		4	3	4	
	2.3. Número de horas en el que la fábrica opera por día		4	3	4	
	2.4. Número de días en el que la fábrica opera por mes		4	3	4	
	2.5. Número de horas en el que el molino opera por día		4	3	4	
	2.6. Número de días en el que el molino opera por mes		4	4	4	
	2.7. Cantidad de sal producida		4	4	4	
3. PRODUCTO	3.1. Tipo de sal que se ofrece	4	4	4	4	
	3.2. Especificaciones del tipo de sal que se ofrece		4	4	4	
	3.3. Rango de tamaño aproximado de grano que proviene de la mina		4	4	4	
	3.4. Precio de venta del producto		4	4	4	
4. SISTEMA DE MOLIENDA	4.1. Tipo de equipo que se usa en el proceso de molienda	4	4	4	4	
	4.2. Potencia del motor del molino		4	4	4	
	4.3. Material que está en contacto con la sal		4	4	4	
	4.4. Tiempo de vida del molino		4	4	4	
	4.5. ¿De qué manera se dosifica la sal al molino?		4	4	4	
	4.6. Costo aproximado de la adquisición e instalación del sistema de molienda actual en la empresa		4	4	4	
	4.7. Mantenimiento		4	4	4	

¿Hay alguna dimensión que hace parte del constructo y no fue evaluada? ¿Cuál? COSTO REFERENCIAL DE MANTENIMIENTO

*Para los casos de equivalencia semántica se deja una casilla por ítem, ya que se evaluará si la traducción o el cambio en vocabulario son suficientes.


Firma

Juez N° 2



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

CHICLAYO
~~7 DE OCTUBRE~~ Septiembre
DEL 2017

PLANILLAS JUICIO DE EXPERTOS

Respetado juez: Usted ha sido seleccionado para evaluar el diagnóstico de la producción, características del producto y maquinaria encargada del proceso de molienda en las plantas de producción de sal en la región Lambayeque; que hace parte de la investigación del Diseño de un Molino de Rodillos para la Producción de Grano Uniforme de Sal de Consumo Humano en la Región Lambayeque, Perú. La evaluación del diagnóstico es de gran relevancia para lograr que sean válidos y que los resultados obtenidos a partir de éstos sean utilizados eficientemente; aportando tanto al área investigativa de la ingeniería mecánica eléctrica como a sus aplicaciones. Agradecemos su valiosa colaboración.

NOMBRES Y APELLIDOS DEL JUEZ: José Anthony Guillermo Yarcupí
FORMACIÓN ACADÉMICA Ing. Mecánico Electricista

ÁREAS DE EXPERIENCIA PROFESIONAL Docencia - Ing.
Residente de Obra

TIEMPO 5 años CARGO ACTUAL Docente Tiempo Completo

INSTITUCIÓN Universidad Santo Toribio de Mogrovejo

Objetivos de la investigación:

Diagnosticar la producción de sal y características del producto en las plantas de la región Lambayeque.

Diagnosticar la maquinaria encargada del proceso de molienda en las plantas de producción de sal en la región Lambayeque.

Objetivo del juicio de expertos: El diagnóstico elaborado concuerda con el planteamiento de la investigación

Objetivo de la prueba: El objetivo de los indicadores llevarán al diagnóstico preciso al objetivo de la investigación

DIMENSIÓN	ITEM	SUFICIENCIA*	COHERENCIA	RELEVANCIA	CLARIDAD	OBSERVACIONES
1. DATOS GENERALES	1.1. Nombre de la empresa	4	4	4	4	Cambiar a Ruc
	1.2. Razón social		4	3	4	
	1.3. Ubicación		4	4	4	
	1.4. Nombres y apellidos		4	3	4	
	1.5. Cargo		4	4	4	
	1.6. Sexo y Edad		4	4	4	
	1.7. Procedencia de la materia prima que se procesa		4	3	4	
	1.8. Indicar los canales de distribución		4	4	4	
	1.9. Antigüedad de la fábrica		4	4	4	
2. PRODUCCIÓN	2.1. Número de trabajadores de la fábrica	4	4	3	4	
	2.2. Número de trabajadores en el proceso de molienda		4	4	4	
	2.3. Número de horas en el que la fábrica opera por día		4	3	4	
	2.4. Número de días en el que la fábrica opera por mes		4	3	4	
	2.5. Número de horas en el que el molino opera por día		4	4	4	
	2.6. Número de días en el que el molino opera por mes		4	3	4	
	2.7. Cantidad de sal producida		4	4	4	
3. PRODUCTO	3.1. Tipo de sal que se ofrece	4	4	4	4	
	3.2. Especificaciones del tipo de sal que se ofrece		4	4	4	
	3.3. Rango de tamaño aproximado de grano que proviene de la mina		4	4	4	
	3.4. Precio de venta del producto		4	4	4	
4. SISTEMA DE MOLIENDA	4.1. Tipo de equipo que se usa en el proceso de molienda	4	4	4	4	
	4.2. Potencia del motor del molino		4	4	4	
	4.3. Material que está en contacto con la sal		4	4	4	
	4.4. Tiempo de vida del molino		4	4	4	
	4.5. ¿De qué manera se dosifica la sal al molino?		4	4	4	
	4.6. Costo aproximado de la adquisición e instalación del sistema de molienda actual en la empresa		4	4	4	
	4.7. Mantenimiento		4	4	4	

¿Hay alguna dimensión que hace parte del constructo y no fue evaluada? ¿Cuál? _____

*Para los casos de equivalencia semántica se deja una casilla por ítem, ya que se evaluará si la traducción o el cambio en vocabulario son suficientes.

So. Guillen
Firma

Juez N° 3



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO CHICLAYO
 FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

07 DE ~~SEPTIEMBRE~~ *Setiembre*
 DEL 2018

PLANILLAS JUICIO DE EXPERTOS

Respetado juez: Usted ha sido seleccionado para evaluar el diagnóstico de la producción, características del producto y maquinaria encargada del proceso de molienda en las plantas de producción de sal en la región Lambayeque; que hace parte de la investigación del Diseño de un Molino de Rodillos para la Producción de Grano Uniforme de Sal de Consumo Humano en la Región Lambayeque, Perú. La evaluación del diagnóstico es de gran relevancia para lograr que sean válidos y que los resultados obtenidos a partir de éstos sean utilizados eficientemente; aportando tanto al área investigativa de la ingeniería mecánica eléctrica como a sus aplicaciones. Agradecemos su valiosa colaboración.

NOMBRES Y APELLIDOS DEL JUEZ: Iran Spión Muñoz

FORMACIÓN ACADÉMICA Ing. Mecánica Eléctrica

AREAS DE EXPERIENCIA PROFESIONAL Docencia - Ing. de proyectos electromecánicos

TIEMPO 11 años CARGO ACTUAL Docente / Ing. de proyectos

INSTITUCIÓN USAT / Independiente

Objetivos de la investigación:

Diagnosticar la producción de sal y características del producto en las plantas de la región Lambayeque.

Diagnosticar la maquinaria encargada del proceso de molienda en las plantas de producción de sal en la región Lambayeque.


Objetivo del juicio de expertos: Planteamiento del diseño se consigue con el modelo de encuesta propuesto

Objetivo de la prueba: Las preguntas de la encuesta concuerda con los objetivos planteados

DIMENSIÓN	ITEM	SUFICIENCIA*	COHERENCIA	RELEVANCIA	CLARIDAD	OBSERVACIONES
1. DATOS GENERALES	1.1. Nombre de la empresa	4	4	3	4	Redundante al ítem 1.1.
	1.2. Razón social		4	3	3	
	1.3. Ubicación		4	3	4	
	1.4. Nombres y apellidos		4	3	3	
	1.5. Cargo		4	3	3	
	1.6. Sexo y Edad		4	3	3	
	1.7. Procedencia de la materia prima que se procesa		4	3	4	
	1.8. Indicar los canales de distribución		4	4	4	
	1.9. Antigüedad de la fábrica		4	4	4	
2. PRODUCCIÓN	2.1. Número de trabajadores de la fábrica	4	4	3	4	
	2.2. Número de trabajadores en el proceso de molienda		4	3	4	
	2.3. Número de horas en el que la fábrica opera por día		4	4	4	
	2.4. Número de días en el que la fábrica opera por mes		4	4	4	
	2.5. Número de horas en el que el molino opera por día		4	4	4	
	2.6. Número de días en el que el molino opera por mes		4	4	4	
	2.7. Cantidad de sal producida		4	4	4	
3. PRODUCTO	3.1. Tipo de sal que se ofrece	4	4	4	4	
	3.2. Especificaciones del tipo de sal que se ofrece		4	4	4	
	3.3. Rango de tamaño aproximado de grano que proviene de la mina		4	4	4	
	3.4. Precio de venta del producto		4	4	4	
4. SISTEMA DE MOLIENDA	4.1. Tipo de equipo que se usa en el proceso de molienda	4	4	4	4	
	4.2. Potencia del motor del molino		4	4	4	
	4.3. Material que está en contacto con la sal		4	4	4	
	4.4. Tiempo de vida del molino		4	4	4	
	4.5. ¿De qué manera se dosifica la sal al molino?		4	4	4	
	4.6. Costo aproximado de la adquisición e instalación del sistema de molienda actual en la empresa		4	4	4	
	4.7. Mantenimiento		4	4	4	

¿Hay alguna dimensión que hace parte del constructo y no fue evaluada? ¿Cuál? _____

*Para los casos de equivalencia semántica se deja una casilla por ítem, ya que se evaluará si la traducción o el cambio en vocabulario son suficientes.


Firma

Juez N° 4



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

CHICLAYO
07 DE OCTUBRE SETIEMBRE
DEL 2018

PLANILLAS JUICIO DE EXPERTOS

Respetado juez: Usted ha sido seleccionado para evaluar el diagnóstico de la producción, características del producto y maquinaria encargada del proceso de molienda en las plantas de producción de sal en la región Lambayeque; que hace parte de la investigación del Diseño de un Molino de Rodillos para la Producción de Grano Uniforme de Sal de Consumo Humano en la Región Lambayeque, Perú. La evaluación del diagnóstico es de gran relevancia para lograr que sean válidos y que los resultados obtenidos a partir de éstos sean utilizados eficientemente; aportando tanto al área investigativa de la ingeniería mecánica eléctrica como a sus aplicaciones. Agradecemos su valiosa colaboración.

NOMBRES Y APELLIDOS DEL JUEZ: Lucio Antonio Montop Mendosa

FORMACIÓN ACADÉMICA ING. QUÍMICO

AREAS DE EXPERIENCIA PROFESIONAL DOCENCIA - UNIVERSITARIA
CEMENTOS PARASMANA, RUYSA, NESTLE - YANACACHA

TIEMPO 7 años CARGO ACTUAL DOCENTE UNIVERSITARIO

INSTITUCIÓN UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO MOGROVEJO

Objetivos de la investigación:

Diagnosticar la producción de sal y características del producto en las plantas de la región Lambayeque.

Diagnosticar la maquinaria encargada del proceso de molienda en las plantas de producción de sal en la región Lambayeque.

Objetivo del juicio de expertos: DIAGNÓSTICO ELABORADO DE
ACUERDO CON EL PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

Objetivo de la prueba: DA EL DIAGNÓSTICO PREVIO AL OBJE-
TIVO DE LA INVESTIGACIÓN.

DIMENSIÓN	ITEM	SUFICIENCIA*	COHERENCIA	RELEVANCIA	CLARIDAD	OBSERVACIONES
1. DATOS GENERALES	1.1. Nombre de la empresa	4	4	4	4	CAMBIAR A RUC.
	1.2. Razón social		4	4	4	
	1.3. Ubicación		4	3	3	
	1.4. Nombres y apellidos		4	4	4	
	1.5. Cargo		4	4	4	
	1.6. Sexo y Edad		4	4	4	
	1.7. Procedencia de la materia prima que se procesa		4	4	3	
	1.8. Indicar los canales de distribución		4	3	4	
	1.9. Antigüedad de la fábrica		4	4	4	
2. PRODUCCIÓN	2.1. Número de trabajadores de la fábrica	4	4	4	3	
	2.2. Número de trabajadores en el proceso de molienda		4	3	4	
	2.3. Número de horas en el que la fábrica opera por día		4	4	4	
	2.4. Número de días en el que la fábrica opera por mes		4	4	3	
	2.5. Número de horas en el que el molino opera por día		4	4	4	
	2.6. Número de días en el que el molino opera por mes		4	4	4	
	2.7. Cantidad de sal producida		4	4	4	
3. PRODUCTO	3.1. Tipo de sal que se ofrece	4	4	4	3	
	3.2. Especificaciones del tipo de sal que se ofrece		4	4	4	
	3.3. Rango de tamaño aproximado de grano que proviene de la mina		4	4	4	
	3.4. Precio de venta del producto		4	4	3	
4. SISTEMA DE MOLIENDA	4.1. Tipo de equipo que se usa en el proceso de molienda	4	4	4	4	
	4.2. Potencia del motor del molino		4	4	3	
	4.3. Material que está en contacto con la sal		4	4	4	
	4.4. Tiempo de vida del molino		4	4	4	
	4.5. ¿De qué manera se dosifica la sal al molino?		4	4	4	
	4.6. Costo aproximado de la adquisición e instalación del sistema de molienda actual en la empresa		4	4	3	
	4.7. Mantenimiento		4	4	4	

¿Hay alguna dimensión que hace parte del constructo y no fue evaluada? ¿Cuál? _____

*Para los casos de equivalencia semántica se deja una casilla por ítem, ya que se evaluará si la traducción o el cambio en vocabulario son suficientes.



Firma

Juez N° 5



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO CHICLAYO
 FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA 11 DE SEPTIEMBRE
 ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA DEL 2018

PLANILLAS JUICIO DE EXPERTOS

Respetado juez: Usted ha sido seleccionado para evaluar el diagnóstico de la producción, características del producto y maquinaria encargada del proceso de molienda en las plantas de producción de sal en la región Lambayeque; que hace parte de la investigación del Diseño de un Molino de Rodillos para la Producción de Grano Uniforme de Sal de Consumo Humano en la Región Lambayeque, Perú. La evaluación del diagnóstico es de gran relevancia para lograr que sean válidos y que los resultados obtenidos a partir de éstos sean utilizados eficientemente; aportando tanto al área investigativa de la ingeniería mecánica eléctrica como a sus aplicaciones. Agradecemos su valiosa colaboración.

NOMBRES Y APELLIDOS DEL JUEZ: Alexander Quispevalú Morante

FORMACIÓN ACADÉMICA Ing. Electricista

AREAS DE EXPERIENCIA PROFESIONAL Residencia de Obras Eléctricas,

Seguridad y Salud Ocupacional Docencia Universitaria

TIEMPO 18 años CARGO ACTUAL Docente

INSTITUCIÓN USAT

Objetivos de la investigación:

Diagnosticar la producción de sal y características del producto en las plantas de la región Lambayeque.

Diagnosticar la maquinaria encargada del proceso de molienda en las plantas de producción de sal en la región Lambayeque.

Objetivo del juicio de expertos: Diagnóstico acorde al modelo de encuesta propuesto.

Objetivo de la prueba: Preguntas concuerdan con los objetivos propuestos.

DIMENSIÓN	ITEM	SUFICIENCIA*	COHERENCIA	RELEVANCIA	CLARIDAD	OBSERVACIONES
1. DATOS GENERALES	1.1. Razón social	4	4	4	4	
	1.2. R.U.C.		4	4	4	
	1.3. Ubicación		4	4	4	
	1.4. Nombres y apellidos		4	4	4	
	1.5. Cargo		4	4	4	
	1.6. Sexo y Edad		4	4	4	
	1.7. Procedencia de la materia prima que se procesa		4	4	4	
	1.8. Indicar los canales de distribución		4	4	4	
	1.9. Antigüedad de la fábrica		4	4	4	
2. PRODUCCIÓN	2.1. Número de trabajadores de la fábrica	4	4	4	4	
	2.2. Número de trabajadores en el proceso de molienda		4	4	4	
	2.3. Número de horas en el que la fábrica opera por día		4	4	4	
	2.4. Número de días en el que la fábrica opera por mes		4	4	4	
	2.5. Número de horas en el que el molino opera por día		4	4	4	
	2.6. Número de días en el que el molino opera por mes		4	4	4	
	2.7. Cantidad de sal producida		4	4	4	
3. PRODUCTO	3.1. Tipo de sal que se ofrece	4	4	4	4	
	3.2. Especificaciones del tipo de sal que se ofrece		4	4	4	
	3.3. Rango de tamaño aproximado de grano que proviene de la mina		4	4	4	
	3.4. Precio de venta del producto		4	4	4	
4. SISTEMA DE MOLIENDA	4.1. Tipo de equipo que se usa en el proceso de molienda	4	4	4	4	
	4.2. Potencia del motor del molino		4	4	4	
	4.3. Material que está en contacto con la sal		4	4	4	
	4.4. Tiempo de vida del molino		4	4	4	
	4.5. ¿De qué manera se dosifica la sal al molino?		4	4	4	
	4.6. Costo aproximado de la adquisición e instalación del sistema de molienda actual en la empresa		4	4	4	
	4.7. Mantenimiento		4	4	4	


¿Hay alguna dimensión que hace parte del constructo y no fue evaluada? ¿Cuál? _____

*Para los casos de equivalencia semántica se deja una casilla por ítem, ya que se evaluará si la traducción o el cambio en vocabulario son suficientes.


Firma

Anexo 3: Toma de datos mediante encuestas

Encuesta N° 1


 UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

ENCUESTA N°
01

DIAGNÓSTICO

OBJETIVO:

Diagnosticar la producción de sal y características del producto en las plantas de la región Lambayeque.

Diagnosticar la maquinaria encargada del proceso de molienda en las plantas de producción de sal en la región Lambayeque.

INSTRUCCIONES:

Llenar los espacios en blanco y marcar con un aspa (X) según corresponda.

1. DATOS GENERALES

1.1. Razón social: Procesadora MMG F.I.R.L.

1.2. R.U.C.: 20602375278

1.3. Ubicación: Av. Panamá 3723 Distrito: Jose L. Ortiz
Provincia: Chiclayo

1.4. Nombres y apellidos: Karen Delgado Navarro

1.5. Cargo: Administración Tiempo: 11 años meses

1.6. Sexo: a. () Masculino b. (X) Femenino Edad: 36 años

1.7. Procedencia de la materia prima que se procesa: Bayovar, Piura

1.8. Indicar los canales de distribución: Pucallpa, Iquitos, Tarapoto, Huancayo

1.9. Antigüedad de la fábrica: 11 años meses

2. PRODUCCIÓN

2.1. Número de trabajadores de la fábrica: 9

2.2. Número de trabajadores en el proceso de molienda: 5

2.3. Número de horas en el que la fábrica opera por día: 8

2.4. Número de días en el que la fábrica opera por mes: 24

2.5. Número de horas en el que el molino opera por día: 7

2.6. Número de días en el que el molino opera por mes: 24

2.7. Cantidad de sal producida: 5 ton/h

3. PRODUCTO

3.1. Tipo de sal que se ofrece:

a. (X) Sal de mesa
b. (X) Sal de cocina
c. (X) Sal de pesca
d. (X) Otro. Especifique: Sal seca

3.2. Especificaciones del tipo de sal que se ofrece:

Si marcó **sal de mesa**, especifique:

Tamaño de grano: 1 mm
Presentación del paquete: 25 kg

Si marcó **sal de cocina**, especifique:

Tamaño de grano: 1.5 mm
Presentación del paquete: 24 kg

Si marcó **sal de pesca**, especifique:

Tamaño de grano: 3 mm



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

ENCUESTA N°

01

Presentación del paquete: 50 kg

Si marcó otro, especifique:

Tamaño de grano: 1.7 mm

Presentación del paquete: 25 kg

3.3. Rango de tamaño aproximado de grano que proviene de la mina:

Tamaño mínimo: 1 cm

Tamaño máximo: 8 cm

3.4. Precio de venta del producto:

a. Sal de mesa: S/. 8 por paquete

b. Sal de cocina: S/. 8 por paquete

c. Sal de pesca: S/. 10 por paquete

d. Otro (Sal seca): S/. 13 por paquete

4. SISTEMA DE MOLIENDA

4.1. Tipo de equipo que se usa en el proceso de molienda: Molino de martillos

4.2. Potencia del motor del molino: 30 HP

4.3. Material que está en contacto con la sal: Acero Inoxidable

4.4. Tiempo de vida del molino: 10 años

4.5. ¿De qué manera se dosifica la sal al molino?

a. () Manual

b. Mecánica:

(X) Faja Transportadora. Potencia del motor: 2 HP

() Tornillo sin fin. Potencia del motor: HP

() Elevador de cangilones. Potencia del motor: HP

() Mesa vibratoria. Potencia del motor: HP

() Otro. Especifique: Potencia del motor: HP

4.6. Costo aproximado de la adquisición e instalación del sistema de molienda actual en la empresa: S/. 31 000

4.7. Mantenimiento

¿La planta cuenta con un área de mantenimiento? a. () Sí b. (X) No

Con respecto a los equipos del sistema de molienda:

a. ¿A cuáles se les realiza mantenimiento?

Tolva, Faja dosificadora, Molino, motores.

b. Indicar los tipos de mantenimientos que existen:

Mantenimiento Preventivo

Mantenimiento Correctivo.



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

ENCUESTA N°

01

c. Llenar de manera detallada la siguiente tabla para los trabajos de mantenimiento que se realizan:

TRABAJO DE MANTENIMIENTO	MATERIALES Y RESPUESTOS	HERRAMIENTAS Y EQUIPOS	DURACIÓN	FRECUENCIA	CANTIDAD DE PERSONAS QUE INTERVIENEN	COSTO APROXIMADO (\$/.)
Cambios de Rodamientos y Chumaceras			3 horas	3 a 6 meses	2	300
Cambio de Martillos			3 horas	3 a 6 meses	2	700
Limpieza			1 hora	Diaría	5	-

MUCHAS GRACIAS

Fecha: 15 / Septiembre / 2018

Encuestado: _____

Encuestador: _____

Encuesta N° 2



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

ENCUESTA N°

02

DIAGNÓSTICO

OBJETIVO:

Diagnosticar la producción de sal y características del producto en las plantas de la región Lambayeque.

Diagnosticar la maquinaria encargada del proceso de molienda en las plantas de producción de sal en la región Lambayeque.

INSTRUCCIONES:

Llenar los espacios en blanco y marcar con un aspa (X) según corresponda.

1. DATOS GENERALES

- 1.1. Razón social: Grupo Es mi SAC.
 1.2. R.U.C.: 20392874985
 1.3. Ubicación: Carr. Panamericana Km 820 Distrito: Mórrope
 Provincia: Lambayeque
 1.4. Nombres y apellidos: Violeta Parra
 1.5. Cargo: (Administradora) Secretaria Tiempo: 10 años
 1.6. Sexo: a. () Masculino b. (X) Femenino Edad: _____ años
 1.7. Procedencia de la materia prima que se procesa: Bayóvar-Piura
 1.8. Indicar los canales de distribución: Lima
 1.9. Antigüedad de la fábrica: 10 años

2. PRODUCCIÓN

- 2.1. Número de trabajadores de la fábrica: 13
 2.2. Número de trabajadores en el proceso de molienda: 03
 2.3. Número de horas en el que la fábrica opera por día: 08
 2.4. Número de días en el que la fábrica opera por mes: 25
 2.5. Número de horas en el que el molino opera por día: 08
 2.6. Número de días en el que el molino opera por mes: 25
 2.7. Cantidad de sal producida: 03 ton/h

3. PRODUCTO

- 3.1. Tipo de sal que se ofrece: a. (X) Sal de mesa
 b. (X) Sal de cocina
 c. () Sal de pesca
 d. () Otro. Especifique: _____
- 3.2. Especificaciones del tipo de sal que se ofrece:
 Si marcó **sal de mesa**, especifique:
 Tamaño de grano: 01 mm
 Presentación del paquete: 25 kg
 Si marcó **sal de cocina**, especifique:
 Tamaño de grano: 1,5 mm
 Presentación del paquete: 25 kg
 Si marcó **sal de pesca**, especifique:
 Tamaño de grano: _____



Si marcó **otro**, especifique:
 Presentación del paquete: _____ kg
 Tamaño de grano: _____
 Presentación del paquete: _____ kg

3.3. Rango de tamaño aproximado de grano que proviene de la mina:
 Tamaño mínimo: 1 cm
 Tamaño máximo: 7 cm
 3.4. Precio de venta del producto:
 a. Sal de mesa: S/. 15 por paquete
 b. Sal de cocina: S/. 15 por paquete
 c. Sal de pesca: S/. _____ por paquete
 d. Otro (_____): S/. _____ por paquete

4. SISTEMA DE MOLIENDA

4.1. Tipo de equipo que se usa en el proceso de molienda: Molino de Martillos
 4.2. Potencia del motor del molino: 30 HP
 4.3. Material que está en contacto con la sal: Aceero Inoxidable
 4.4. Tiempo de vida del molino: 08 años
 4.5. ¿De qué manera se dosifica la sal al molino?
 a. () Manual
 b. Mecánica:
 Faja Transportadora. Potencia del motor: 02 HP
 Tornillo sin fin. Potencia del motor: _____ HP
 Elevador de cangilones. Potencia del motor: _____ HP
 Mesa vibratoria. Potencia del motor: 02 HP
 Otro. Especifique: _____ Potencia del motor: _____ HP

4.6. Costo aproximado de la adquisición e instalación del sistema de molienda actual en la empresa: S/. 20,000

4.7. Mantenimiento

¿La planta cuenta con un área de mantenimiento? a. () Sí b. (x) No

Con respecto a los **equipos del sistema de molienda**:

a. ¿A cuáles se les realiza mantenimiento?

Molino de Martillos
Faja Transportadora
Mesa Vibratoria

b. Indicar los tipos de mantenimientos que existen:

Limpieza
Mantenimiento Correctivo
Mantenimiento Preventivo

c. Llenar de manera detallada la siguiente tabla para los trabajos de mantenimiento que se realizan:

TRABAJO DE MANTENIMIENTO	MATERIALES Y RESPUESTOS	HERRAMIENTAS Y EQUIPOS	DURACIÓN	FRECUENCIA	CANTIDAD DE PERSONAS QUE INTERVIENEN	COSTO APROXIMADO (S/.)
Limpieza	agua Cloro	Balde Escobilleros	01 h	diario	03	-
Engrasado de Rodajes	grasa	Llaves Engrasadora	01 h	semanal	01	-
Cambio de Rodajes de molinos	grasa Rodajes	Llaves Engrasadora	02 h	semestral	01	500
Cambio de fajas de Molino	fajas	Llaves	01 h	Trimestral	01	300
Cambio de Martillos	Martillos	Llaves	02 h	anual	02	1000
Cambio de grapas de faja Transportadora	grapas	Llaves Amoladora	02 h	Trimestral	02	200
Cambio de polinas o de Rodamientos en faja	Rodajes Polinas	Llaves martillo Amoladora	02 h	Trimestral	01	300
Mantenimiento Sistema de Transmisión de Mesa Vibrat.	Rodajes y Excéntrica y Peatina	Llaves	02 h	Trimestral	01	300

MUCHAS GRACIAS

Fecha: 17/ Setiembre / 2018Encuestado: Violeta ParraEncuestador: 

Encuesta N° 3



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

ENCUESTA N°

03

DIAGNÓSTICO

OBJETIVO:

Diagnosticar la producción de sal y características del producto en las plantas de la región Lambayeque.

Diagnosticar la maquinaria encargada del proceso de molienda en las plantas de producción de sal en la región Lambayeque.

INSTRUCCIONES:

Llenar los espacios en blanco y marcar con un aspa (X) según corresponda.

1. DATOS GENERALES

- 1.1. Razón social: Gemar Group S.L.R.L.
 1.2. R.U.C.: 20600959892
 1.3. Ubicación: Panamericana Norte Km 810 Distrito: Mórrope
 Provincia: Lambayeque
 1.4. Nombres y apellidos: Felipe Delgado Ramírez
 1.5. Cargo: Propietario Tiempo: 2 y 1/2 años
 1.6. Sexo: a. Masculino b. Femenino Edad: 35 años
 1.7. Procedencia de la materia prima que se procesa: Bayóvar - Piura
 1.8. Indicar los canales de distribución: Nor-oriental - Lima
 1.9. Antigüedad de la fábrica: 2 y 1/2 años

2. PRODUCCIÓN

- 2.1. Número de trabajadores de la fábrica: 15
 2.2. Número de trabajadores en el proceso de molienda: 08
 2.3. Número de horas en el que la fábrica opera por día: 08
 2.4. Número de días en el que la fábrica opera por mes: 25d.
 2.5. Número de horas en el que el molino opera por día: 08
 2.6. Número de días en el que el molino opera por mes: 25d
 2.7. Cantidad de sal producida: 4-5 ton/h

3. PRODUCTO

- 3.1. Tipo de sal que se ofrece: a. Sal de mesa
 b. Sal de cocina
 c. Sal de pesca
 d. Otro. Especifique: _____
- 3.2. Especificaciones del tipo de sal que se ofrece:
 Si marcó **sal de mesa**, especifique:
 Tamaño de grano: 1 mm
 Presentación del paquete: 25 kg
- Si marcó **sal de cocina**, especifique:
 Tamaño de grano: 1,5 mm
 Presentación del paquete: 25 kg
- Si marcó **sal de pesca**, especifique:
 Tamaño de grano: 2-3 mm



Presentación del paquete: 50 kg

Si marcó **otro**, especifique:

Tamaño de grano: _____

Presentación del paquete: _____ kg

3.3. Rango de tamaño aproximado de grano que proviene de la mina:

Tamaño mínimo: 1 cm

Tamaño máximo: 7 cm

3.4. Precio de venta del producto:

a. Sal de mesa: S/. 12 por paquete

b. Sal de cocina: S/. 12 por paquete

c. Sal de pesca: S/. 10 por paquete

d. Otro (): S/. _____ por paquete

4. SISTEMA DE MOLIENDA

4.1. Tipo de equipo que se usa en el proceso de molienda: Molino de martillos

4.2. Potencia del motor del molino: 30 HP

4.3. Material que está en contacto con la sal: Aceros Inoxidables

4.4. Tiempo de vida del molino: 05 años

4.5. ¿De qué manera se dosifica la sal al molino?

a. () Manual

b. Mecánica:

() Faja Transportadora. Potencia del motor: _____ HP

(X) Tornillo sin fin. Potencia del motor: 03 HP

() Elevador de cangilones. Potencia del motor: _____ HP

() Mesa vibratoria. Potencia del motor: _____ HP

() Otro. Especifique: _____ Potencia del motor: _____ HP

4.6. Costo aproximado de la adquisición e instalación del sistema de molienda actual en la empresa: S/. 10,000 (solo molino)

4.7. Mantenimiento

¿La planta cuenta con un área de mantenimiento? a. () Si b. (X) No

Con respecto a los **equipos del sistema de molienda**:

a. ¿A cuáles se les realiza mantenimiento?

Molino de martillos

b. Indicar los tipos de mantenimientos que existen:

Limpieza
Mantenimiento Correctivo



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

ENCUESTA N°

03

c. Llenar de manera detallada la siguiente tabla para los trabajos de mantenimiento que se realizan:

TRABAJO DE MANTENIMIENTO	MATERIALES Y RESPUESTOS	HERRAMIENTAS Y EQUIPOS	DURACIÓN	FRECUENCIA	CANTIDAD DE PERSONAS QUE INTERVIENEN	COSTO APROXIMADO (S/.)
Limpieza	agua (baldes) (escobillon)	baldes escobillon	01h	diano	05	-
Engrasado Rodajes	grasa	Llaves Engranadora	01h	semanal	01	-
Cambio de Rodajes	grasa Rodajes	Llaves Engranadora	02h	semestral	01	300
Cambio de fajas	fajas	Llaves	01h	semestral	01	300
Cambio de Martillos	Martillos	Llaves Amoladora	02h	Semestral	01	800

MUCHAS GRACIAS

Fecha: 17 / Septiembre / 2018Encuestado: Felipe delgado R.Encuestador: [Signature]

Encuesta N° 4



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

ENCUESTA N°

04

DIAGNÓSTICO

OBJETIVO:

Diagnosticar la producción de sal y características del producto en las plantas de la región Lambayeque.

Diagnosticar la maquinaria encargada del proceso de molienda en las plantas de producción de sal en la región Lambayeque.

INSTRUCCIONES:

Llenar los espacios en blanco y marcar con un aspa (X) según corresponda.

1. DATOS GENERALES

- 1.1. Razón social: Cajusal Santisteban Herminio
 1.2. R.U.C.: 10167449081
 1.3. Ubicación: Panamericana Km 816 Distrito: Mórlope
 Provincia: Lambayeque
 1.4. Nombres y apellidos: Herminio Cajusal Santisteban
 1.5. Cargo: Propietario Tiempo: 06 años
 1.6. Sexo: a. Masculino b. Femenino Edad: 47 años
 1.7. Procedencia de la materia prima que se procesa: Bayovar-Piura
 1.8. Indicar los canales de distribución: Región Lambayeque
 1.9. Antigüedad de la fábrica: 06 años

2. PRODUCCIÓN

- 2.1. Número de trabajadores de la fábrica: 05
 2.2. Número de trabajadores en el proceso de molienda: 05
 2.3. Número de horas en el que la fábrica opera por día: 8am - 1pm
 2.4. Número de días en el que la fábrica opera por mes: 08 a 10 d/mes
 2.5. Número de horas en el que el molino opera por día: 05
 2.6. Número de días en el que el molino opera por mes: 08 - 10 d/mes
 2.7. Cantidad de sal producida: 07 ton/h

3. PRODUCTO

- 3.1. Tipo de sal que se ofrece: a. Sal de mesa
 b. Sal de cocina
 c. Sal de pesca
 d. Otro. Especifique: _____
- 3.2. Especificaciones del tipo de sal que se ofrece:
 Si marcó **sal de mesa**, especifique:
 Tamaño de grano: _____
 Presentación del paquete: _____ kg
 Si marcó **sal de cocina**, especifique:
 Tamaño de grano: _____
 Presentación del paquete: _____ kg
 Si marcó **sal de pesca**, especifique:
 Tamaño de grano: 2-3 mm



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

ENCUESTA N°

04

Presentación del paquete: 5000 x 50 kg

Si marcó otro, especifique:

Tamaño de grano: _____

Presentación del paquete: _____ kg

3.3. Rango de tamaño aproximado de grano que proviene de la mina:

Tamaño mínimo: 1 cm a 7 cm

Tamaño máximo: 7 cm

3.4. Precio de venta del producto: a. Sal de mesa: S/. _____ por paquete

b. Sal de cocina: S/. _____ por paquete

c. Sal de pesca: S/. 8-10 por paquete

d. Otro (_____): S/. _____ por paquete

4. SISTEMA DE MOLIENDA

4.1. Tipo de equipo que se usa en el proceso de molienda: Molino de martillos, y motor estacionario

4.2. Potencia del motor del molino: 30 HP

4.3. Material que está en contacto con la sal: Acero inoxidable

4.4. Tiempo de vida del molino: 08-10 años

4.5. ¿De qué manera se dosifica la sal al molino?

a. Manual

b. Mecánica:

() Faja Transportadora. Potencia del motor: _____ HP

() Tornillo sin fin. Potencia del motor: _____ HP

() Elevador de cangilones. Potencia del motor: _____ HP

() Mesa vibratoria. Potencia del motor: _____ HP

() Otro. Especifique: _____

Potencia del motor: _____ HP

4.6. Costo aproximado de la adquisición e instalación del sistema de molienda actual en la empresa: S/. 20,000 (molino, motor estacionario, bases)

4.7. Mantenimiento

¿La planta cuenta con un área de mantenimiento? a. () Sí b. No

Con respecto a los **equipos del sistema de molienda**:

a. ¿A cuáles se les realiza mantenimiento?

- Motor Estacionario
- Molino de Martillos

b. Indicar los tipos de mantenimientos que existen:

- Calibración de motor
- Cambio de filtros
- Limpieza de molino
- Cambio de Rodajes y fajas
- Cambio de martillos



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

ENCUESTA N°

04

c. Llenar de manera detallada la siguiente tabla para los trabajos de mantenimiento que se realizan:

TRABAJO DE MANTENIMIENTO	MATERIALES Y RESPUESTOS	HERRAMIENTAS Y EQUIPOS	DURACIÓN	FRECUENCIA	CANTIDAD DE PERSONAS QUE INTERVIENEN	COSTO APROXIMADO (S/.)
Calibración de motor	Herramientas	Llaves	02 h.	mensual	01	\$/100
Cambio de filtros	filtros	Llaves	01 h	trimestral	01	80
Limpieza Motor y Motor	agua	escoba bulde	01 h	diano (cada vez que se trabaja)	02	-
Cambio de Rodajes y fajas	Chumaceros Rodajes fajas	Llaves	01 h	semestral	02	300
Cambio de Mochillos	Mochillos	Llaves	01 h	anual	02	800

MUCHAS GRACIAS

Fecha: 17 / Septiembre / 2018

Encuestado: Hermilio Capad

Encuestador: [Signature]

Encuesta N° 5



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

ENCUESTA N°

05

DIAGNÓSTICO

OBJETIVO:

Diagnosticar la producción de sal y características del producto en las plantas de la región Lambayeque.

Diagnosticar la maquinaria encargada del proceso de molienda en las plantas de producción de sal en la región Lambayeque.

INSTRUCCIONES:

Llenar los espacios en blanco y marcar con un aspa (X) según corresponda.

1. DATOS GENERALES

- 1.1. Razón social: D'UNE YAJU S.A.C.
 1.2. R.U.C.: 20539025296
 1.3. Ubicación: España N° 486 Distrito: J. L. Ortiz
 Provincia: Chidayo
 1.4. Nombres y apellidos: Ulises Delgado
 1.5. Cargo: Propietario Tiempo: 03 años
 1.6. Sexo: a. (X) Masculino b. () Femenino Edad: _____ años
 1.7. Procedencia de la materia prima que se procesa: Bayovar, Piura
 1.8. Indicar los canales de distribución: Nor Oriente, Lima
 1.9. Antigüedad de la fábrica: 03 años

2. PRODUCCIÓN

- 2.1. Número de trabajadores de la fábrica: 15
 2.2. Número de trabajadores en el proceso de molienda: 06
 2.3. Número de horas en el que la fábrica opera por día: 08
 2.4. Número de días en el que la fábrica opera por mes: 25
 2.5. Número de horas en el que el molino opera por día: 08
 2.6. Número de días en el que el molino opera por mes: 25
 2.7. Cantidad de sal producida: 6-7 ton/h

3. PRODUCTO

- 3.1. Tipo de sal que se ofrece: a. (X) Sal de mesa
 b. (X) Sal de cocina
 c. (X) Sal de pesca
 d. () Otro. Especifique: _____
- 3.2. Especificaciones del tipo de sal que se ofrece:
- Si marcó **sal de mesa**, especifique:
 Tamaño de grano: 1,2 mm
 Presentación del paquete: 25 kg
- Si marcó **sal de cocina**, especifique:
 Tamaño de grano: 1,2 mm
 Presentación del paquete: 25 kg
- Si marcó **sal de pesca**, especifique:
 Tamaño de grano: 2-3 mm



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

ENCUESTA N°
05

Presentación del paquete: 50 kg

Si marcó otro, especifique:

Tamaño de grano: _____

Presentación del paquete: _____ kg

3.3. Rango de tamaño aproximado de grano que proviene de la mina:

Tamaño mínimo: 0,5 cm

Tamaño máximo: 7 cm

3.4. Precio de venta del producto:

a. Sal de mesa: S/. 8.- por paquete

b. Sal de cocina: S/. 8.- por paquete

c. Sal de pesca: S/. 10.- por paquete

d. Otro (): S/. _____ por paquete

4. SISTEMA DE MOLIENDA

4.1. Tipo de equipo que se usa en el proceso de molienda: Molino Martillo

4.2. Potencia del motor del molino: 30 HP

4.3. Material que está en contacto con la sal: Aceero Inoxidable

4.4. Tiempo de vida del molino: 10 años

4.5. ¿De qué manera se dosifica la sal al molino?

a. () Manual

b. Mecánica:

() Faja Transportadora. Potencia del motor: _____ HP

() Tornillo sin fin. Potencia del motor: _____ HP

() Elevador de cangilones. Potencia del motor: _____ HP

(x) Mesa vibratoria. Potencia del motor: 02 HP

() Otro. Especifique: _____ Potencia del motor: _____ HP

4.6. Costo aproximado de la adquisición e instalación del sistema de molienda actual en la empresa: S/. 20,000

4.7. Mantenimiento

¿La planta cuenta con un área de mantenimiento? a. () Sí b. (x) No

Con respecto a los equipos del sistema de molienda:

a. ¿A cuáles se les realiza mantenimiento?

Molino
Motor eléctrico
Mesa vibratoria

b. Indicar los tipos de mantenimientos que existen:

Correctivo
Preventivo

c. Llenar de manera detallada la siguiente tabla para los trabajos de mantenimiento que se realizan:

TRABAJO DE MANTENIMIENTO	MATERIALES Y RESPUESTOS	HERRAMIENTAS Y EQUIPOS	DURACIÓN	FRECUENCIA	CANTIDAD DE PERSONAS QUE INTERVIENEN	COSTO APROXIMADO (S/.)
Limpieza y Lavado	Agua	Escobas	01 h	diario	Todos	
Voltear martillos		Llaves	02 h	1,5 mes	02	
Cambio de martillos	Martillos de Ac Inox	Llaves	02 h	06 meses	02	1,000
Engrasar chumaceras	grasa	Llaves Engrasadora	02	quincenal	01	-

MUCHAS GRACIAS

Fecha: 24/ Septiembre / 2018

Encuestado: Ulises DelgadoEncuestador: [Signature]

Encuesta N° 6



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

ENCUESTA N°

06

DIAGNÓSTICO

OBJETIVO:

Diagnosticar la producción de sal y características del producto en las plantas de la región Lambayeque.

Diagnosticar la maquinaria encargada del proceso de molienda en las plantas de producción de sal en la región Lambayeque.

INSTRUCCIONES:

Lenar los espacios en blanco y marcar con un aspa (X) según corresponda.

1. DATOS GENERALES

- 1.1. Razón social: Super Costeña EIRL
 1.2. R.U.C.: 20485303785
 1.3. Ubicación: N° 14 P.S. Chozica del Norte Distrito: La Victoria
 Provincia: Chulayo
 1.4. Nombres y apellidos: Jeiner Julon
 1.5. Cargo: Propietario Tiempo: 06 años
 1.6. Sexo: a. Masculino b. Femenino Edad: _____ años
 1.7. Procedencia de la materia prima que se procesa: Minera Ferrol - Chimbote
 1.8. Indicar los canales de distribución: Lima - Lambaye Todo Perú
 1.9. Antigüedad de la fábrica: 04 años

2. PRODUCCIÓN

- 2.1. Número de trabajadores de la fábrica: 19 *operario 11 mg*
 2.2. Número de trabajadores en el proceso de molienda: 1 en todo caso *c.c. Chulay y yac*
 2.3. Número de horas en el que la fábrica opera por día: 8
 2.4. Número de días en el que la fábrica opera por mes: 20
 2.5. Número de horas en el que el molino opera por día: 8
 2.6. Número de días en el que el molino opera por mes: 20
 2.7. Cantidad de sal producida: 8 ton/h

3. PRODUCTO

- 3.1. Tipo de sal que se ofrece: a. Sal de mesa
 b. Sal de cocina
 c. Sal de pesca
 d. Otro. Especifique: Pomellera pp plvo
- 3.2. Especificaciones del tipo de sal que se ofrece:
 Si marcó **sal de mesa**, especifique:
 Tamaño de grano: 1,2 mm
 Presentación del paquete: 25 kg
 Si marcó **sal de cocina**, especifique:
 Tamaño de grano: 1,67 mm
 Presentación del paquete: 25 kg
 Si marcó **sal de pesca**, especifique:
 Tamaño de grano: 2 mm



Si marcó **otro**, especifique: Presentación del paquete: 50 kg
 Tamaño de grano: plvo
 Presentación del paquete: 45 kg

3.3. Rango de tamaño aproximado de grano que proviene de la mina:
 Tamaño mínimo: 3 cm
 Tamaño máximo: 4 cm

3.4. Precio de venta del producto:
 a. Sal de mesa: S/. 15 por paquete
 b. Sal de cocina: S/. 18.70 por paquete
 c. Sal de pesca: S/. 21 por paquete
 d. Otro (): S/. 8 - por paquete

4. SISTEMA DE MOLIENDA

4.1. Tipo de equipo que se usa en el proceso de molienda: Mol. Rodillo
 4.2. Potencia del motor del molino: 2.8 HP MR.
 4.3. Material que está en contacto con la sal: AS
 4.4. Tiempo de vida del molino: 15 años
 4.5. ¿De qué manera se dosifica la sal al molino?
 a. () Manual
 b. Mecánica:
 (x) Faja Transportadora. Potencia del motor: 1.5 HP
 () Tornillo sin fin. Potencia del motor: HP
 (x) Elevador de cangilones. Potencia del motor: 5 HP
 () Mesa vibratoria. Potencia del motor: HP
 () Otro. Especifique: Potencia del motor: HP

4.6. Costo aproximado de la adquisición e instalación del sistema de molienda actual en la empresa: S/. \$55,000

4.7. Mantenimiento

¿La planta cuenta con un área de mantenimiento? a. () Sí b. (x) No

Con respecto a los **equipos del sistema de molienda**:

a. ¿A cuáles se les realiza mantenimiento?

Molinos de Rodillo
Fajas
Imanes

b. Indicar los tipos de mantenimientos que existen:

Preventivo
Correctivo

c. Llenar de manera detallada la siguiente tabla para los trabajos de mantenimiento que se realizan:

TRABAJO DE MANTENIMIENTO	MATERIALES Y RESPUESTOS	HERRAMIENTAS Y EQUIPOS	DURACIÓN	FRECUENCIA	CANTIDAD DE PERSONAS QUE INTERVIENEN	COSTO APROXIMADO (S/.)
Limpieza Lavado	equipo agua	equipo agua a presión	1h	cada 2 días	02	—
Cambios Rodamientos Molinos	Chuscos especiales	Llaves	2h	cada 2 años	02	350
Capotado Rodamientos fijas	grasa	Llaves	2h	semanal		—

MUCHAS GRACIAS

Fecha: 29 / Septiembre / 2018

Encuestado: Jainer Juelon

Encuestador: [Signature]

Encuesta N° 7



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

ENCUESTA N°

07

DIAGNÓSTICO

OBJETIVO:

Diagnosticar la producción de sal y características del producto en las plantas de la región Lambayeque.

Diagnosticar la maquinaria encargada del proceso de molienda en las plantas de producción de sal en la región Lambayeque.

INSTRUCCIONES:

Llenar los espacios en blanco y marcar con un aspa (X) según corresponda.

1. DATOS GENERALES

- 1.1. Razón social: Procesadora de Alimentos Luzdt S.C.R.L
 1.2. R.U.C.: 20480131631
 1.3. Ubicación: Mz 5/1 Lote 6 Int. Sub 7 Urb. Sta. María Distrito: J. L. Ortiz
 Provincia: Chulayo
 1.4. Nombres y apellidos: Luz Amalia Torres Diaz
 1.5. Cargo: Propietaria Tiempo: 05 años
 1.6. Sexo: a. () Masculino b. (X) Femenino Edad: _____ años
 1.7. Procedencia de la materia prima que se procesa: Bayóvar - Piura
 1.8. Indicar los canales de distribución: Nor Oriente - Lima
 1.9. Antigüedad de la fábrica: 08 años

2. PRODUCCIÓN

- 2.1. Número de trabajadores de la fábrica: 09
 2.2. Número de trabajadores en el proceso de molienda: 05
 2.3. Número de horas en el que la fábrica opera por día: 08
 2.4. Número de días en el que la fábrica opera por mes: 20
 2.5. Número de horas en el que el molino opera por día: 08
 2.6. Número de días en el que el molino opera por mes: 20
 2.7. Cantidad de sal producida: 2-5 ton/h

3. PRODUCTO

- 3.1. Tipo de sal que se ofrece: a. (X) Sal de mesa
 b. (X) Sal de cocina
 c. (X) Sal de pesca
 d. () Otro. Especifique: _____
- 3.2. Especificaciones del tipo de sal que se ofrece:
 Si marcó **sal de mesa**, especifique:
 Tamaño de grano: 1, 2 mm
 Presentación del paquete: 25 Kg kg
 Si marcó **sal de cocina**, especifique:
 Tamaño de grano: 1, 2 mm
 Presentación del paquete: 25 kg
 Si marcó **sal de pesca**, especifique:
 Tamaño de grano: 2-3 mm



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

ENCUESTA N°
07

Si marcó **otro**, especifique: Presentación del paquete: 50 kg

Tamaño de grano: _____
 Presentación del paquete: _____ kg

3.3. Rango de tamaño aproximado de grano que proviene de la mina:
 Tamaño mínimo: 1 cm
 Tamaño máximo: 7 cm

3.4. Precio de venta del producto:
 a. Sal de mesa: S/. 13 por paquete
 b. Sal de cocina: S/. 13 por paquete
 c. Sal de pesca: S/. 12 por paquete
 d. Otro (): S/. _____ por paquete

4. SISTEMA DE MOLIENDA

4.1. Tipo de equipo que se usa en el proceso de molienda: Moleno de Martillos

4.2. Potencia del motor del molino: 30 HP

4.3. Material que está en contacto con la sal: Aceero Inox

4.4. Tiempo de vida del molino: 08 años

4.5. ¿De qué manera se dosifica la sal al molino?

- a. Manual
- b. Mecánica:

- Faja Transportadora. Potencia del motor: _____ HP
- Tornillo sin fin. Potencia del motor: 03 HP
- Elevador de cangilones. Potencia del motor: _____ HP
- Mesa vibratoria. Potencia del motor: _____ HP
- Otro. Especifique: _____ Potencia del motor: _____ HP

4.6. Costo aproximado de la adquisición e instalación del sistema de molienda actual en la empresa: S/. 15,000

4.7. Mantenimiento

¿La planta cuenta con un área de mantenimiento? a. Sí b. No

Con respecto a los **equipos del sistema de molienda**:

a. ¿A cuáles se les realiza mantenimiento?

Molinos
Tornillo sin fin

b. Indicar los tipos de mantenimientos que existen:

Correctivo
Preventivo



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

ENCUESTA N°

07

c. Llenar de manera detallada la siguiente tabla para los trabajos de mantenimiento que se realizan:

TRABAJO DE MANTENIMIENTO	MATERIALES Y RESPUESTOS	HERRAMIENTAS Y EQUIPOS	DURACIÓN	FRECUENCIA	CANTIDAD DE PERSONAS QUE INTERVIENEN	COSTO APROXIMADO (S/.)
Polines y Chumsceros	grasa Rodamientos	Llaves	02 h	semanal	01	—
Voltear martillos de molino	H	Llaves	02 h	mensual	01	—
Cambio de martillos	Martillos nuevos	Llaves	02 h	semestral	02	1,000
Cambio de fajas	fajas	Llaves	01 h	trimestral	01	300

MUCHAS GRACIAS

Fecha: 25, Sept / 2018

Encuestado: Luz Torres Diaz

Encuestador: [Signature]

Encuesta N° 8



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

ENCUESTA N°

08

DIAGNÓSTICO

OBJETIVO:

Diagnosticar la producción de sal y características del producto en las plantas de la región Lambayeque.

Diagnosticar la maquinaria encargada del proceso de molienda en las plantas de producción de sal en la región Lambayeque.

INSTRUCCIONES:

Llenar los espacios en blanco y marcar con un aspa (X) según corresponda.

1. DATOS GENERALES

- 1.1. Razón social: Empresa Comercializadora de Sal S.R.L.
 1.2. R.U.C.: 20601265835
 1.3. Ubicación: Las Esmeraldas, Mz W lote 30 Urb. Carlsstein Distrito: J.L. Ortiz Provincia: Chulayo
 1.4. Nombres y apellidos: José Villanca Siesquén
 1.5. Cargo: Propietario Tiempo: 01 años
 1.6. Sexo: a. Masculino b. Femenino Edad: _____ años
 1.7. Procedencia de la materia prima que se procesa: Buyover
 1.8. Indicar los canales de distribución: Lima
 1.9. Antigüedad de la fábrica: 02 años

2. PRODUCCIÓN

- 2.1. Número de trabajadores de la fábrica: 06
 2.2. Número de trabajadores en el proceso de molienda: 06
 2.3. Número de horas en el que la fábrica opera por día: 08
 2.4. Número de días en el que la fábrica opera por mes: 20
 2.5. Número de horas en el que el molino opera por día: 08
 2.6. Número de días en el que el molino opera por mes: 20
 2.7. Cantidad de sal producida: 06 ton/h

3. PRODUCTO

- 3.1. Tipo de sal que se ofrece: a. Sal de mesa
 b. Sal de cocina
 c. Sal de pesca
 d. Otro. Especifique: solo a granel
- 3.2. Especificaciones del tipo de sal que se ofrece:
 Si marcó **sal de mesa**, especifique:
 Tamaño de grano: _____
 Presentación del paquete: _____ kg
 Si marcó **sal de cocina**, especifique:
 Tamaño de grano: 1,5 mm
 Presentación del paquete: 25 kg kg
 Si marcó **sal de pesca**, especifique:
 Tamaño de grano: _____



Si marcó **otro**, especifique: Presentación del paquete: _____ kg

Tamaño de grano: 1.5 mm

Presentación del paquete: 50 kg

3.3. Rango de tamaño aproximado de grano que proviene de la mina:

Tamaño mínimo: 0.5 cm

Tamaño máximo: 7.0 cm

3.4. Precio de venta del producto: a. Sal de mesa: S/. _____ por paquete

b. Sal de cocina: S/. 12 por paquete

c. Sal de pesca: S/. _____ por paquete

d. Otro (_____): S/. 9.50 por paquete

4. SISTEMA DE MOLIENDA

4.1. Tipo de equipo que se usa en el proceso de molienda: Molino de Martillo

4.2. Potencia del motor del molino: 35 HP Petrolero

4.3. Material que está en contacto con la sal: A.I.

4.4. Tiempo de vida del molino: 10 años

4.5. ¿De qué manera se dosifica la sal al molino?

a. Manual

b. Mecánica:

() Faja Transportadora. Potencia del motor: _____ HP

() Tornillo sin fin. Potencia del motor: _____ HP

() Elevador de cangilones. Potencia del motor: _____ HP

() Mesa vibratoria. Potencia del motor: _____ HP

() Otro. Especifique: _____ Potencia del motor: _____ HP

4.6. Costo aproximado de la adquisición e instalación del sistema de molienda actual en la empresa: S/. 18,000 Incluye motor estacionario de 2da

4.7. Mantenimiento

¿La planta cuenta con un área de mantenimiento? a. () Si b. (X) No

Con respecto a los **equipos del sistema de molienda**:

a. ¿A cuáles se les realiza mantenimiento?

Molino

Motor

b. Indicar los tipos de mantenimientos que existen:

Correctivo

Preventivo



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

ENCUESTA N°

08

c. Llenar de manera detallada la siguiente tabla para los trabajos de mantenimiento que se realizan:

TRABAJO DE MANTENIMIENTO	MATERIALES Y RESPUESTOS	HERRAMIENTAS Y EQUIPOS	DURACIÓN	FRECUENCIA	CANTIDAD DE PERSONAS QUE INTERVIENEN	COSTO APROXIMADO (S/.)
Limpieza y Lavado de Todo	Agua Escobillon		01 h	diario	02	—
Calibración y cambio de filtro motor	filtros	Llaves	02h	bimestral	01	200
Voltear martillos		Llaves	02h	1.5 mes	01	—
Cambio de martillos	Martillos de Ac. Inoxy	Llaves	02	semestral	02	1,000

MUCHAS GRACIAS

Fecha: 25 Septiembre 2018

Encuestado: Jose Villacast

Encuestador: [Signature]

Encuesta N° 9



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

ENCUESTA N°

09

DIAGNÓSTICO

OBJETIVO:

Diagnosticar la producción de sal y características del producto en las plantas de la región Lambayeque.

Diagnosticar la maquinaria encargada del proceso de molienda en las plantas de producción de sal en la región Lambayeque.

INSTRUCCIONES:

Llenar los espacios en blanco y marcar con un aspa (X) según corresponda.

1. DATOS GENERALES

- 1.1. Razón social: Acosta Montenegro Angel Custodio
 1.2. R.U.C.: 10166509535
 1.3. Ubicación: Ay Mexico 3207 - Pt Nuevo San Lorenzo Distrito: J L Ortiz
 Provincia: Chiclayo
 1.4. Nombres y apellidos: Angel Custodio Acosta Montenegro
 1.5. Cargo: Proprietario Tiempo: 04 meses años
 1.6. Sexo: a. () Masculino b. () Femenino Edad: _____ años
 1.7. Procedencia de la materia prima que se procesa: Bayovar Piura
 1.8. Indicar los canales de distribución: Lima - Chiclayo
 1.9. Antigüedad de la fábrica: 04 meses años

2. PRODUCCIÓN

- 2.1. Número de trabajadores de la fábrica: 09
 2.2. Número de trabajadores en el proceso de molienda: 05
 2.3. Número de horas en el que la fábrica opera por día: 08
 2.4. Número de días en el que la fábrica opera por mes: 10
 2.5. Número de horas en el que el molino opera por día: 08
 2.6. Número de días en el que el molino opera por mes: 12
 2.7. Cantidad de sal producida: 06 ton/h

3. PRODUCTO

- 3.1. Tipo de sal que se ofrece: a. () Sal de mesa
 b. () Sal de cocina
 c. () Sal de pesca
 d. () Otro. Especifique: _____
- 3.2. Especificaciones del tipo de sal que se ofrece:
 Si marcó **sal de mesa**, especifique:
 Tamaño de grano: 1,2 mm
 Presentación del paquete: 25 kg
 Si marcó **sal de cocina**, especifique:
 Tamaño de grano: _____
 Presentación del paquete: _____ kg
 Si marcó **sal de pesca**, especifique:
 Tamaño de grano: _____



Presentación del paquete: _____ kg

Si marcó otro, especifique:

Tamaño de grano: _____

Presentación del paquete: _____ kg

3.3. Rango de tamaño aproximado de grano que proviene de la mina:
Tamaño mínimo: 0,5 cm X
Tamaño máximo: 7 cm X

3.4. Precio de venta del producto:
a. Sal de mesa: S/. 7,50 por paquete
b. Sal de cocina: S/. _____ por paquete
c. Sal de pesca: S/. _____ por paquete
d. Otro (_____): S/. _____ por paquete

4. SISTEMA DE MOLIENDA

4.1. Tipo de equipo que se usa en el proceso de molienda: Molino de Martillos

4.2. Potencia del motor del molino: 30 HP

4.3. Material que está en contacto con la sal: Acero Inoxidable

4.4. Tiempo de vida del molino: 08 años

4.5. ¿De qué manera se dosifica la sal al molino?

a. Manual

b. Mecánica:

() Faja Transportadora. Potencia del motor: _____ HP

() Tornillo sin fin. Potencia del motor: _____ HP

() Elevador de cangilones. Potencia del motor: _____ HP

() Mesa vibratoria. Potencia del motor: _____ HP

() Otro. Especifique: _____ Potencia del motor: _____ HP

4.6. Costo aproximado de la adquisición e instalación del sistema de molienda actual en la empresa: S/. 15,000

4.7. Mantenimiento

¿La planta cuenta con un área de mantenimiento? a. () Sí b. No

Con respecto a los **equipos del sistema de molienda:**

a. ¿A cuáles se les realiza mantenimiento?

Molino

b. Indicar los tipos de mantenimientos que existen:

Correctivo



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

ENCUESTA N°

07

c. Llenar de manera detallada la siguiente tabla para los trabajos de mantenimiento que se realizan:

TRABAJO DE MANTENIMIENTO	MATERIALES Y RESPUESTOS	HERRAMIENTAS Y EQUIPOS	DURACIÓN	FRECUENCIA	CANTIDAD DE PERSONAS QUE INTERVIENEN	COSTO APROXIMADO (S/.)
Volteas Martillos	-	Llaves	02 h.	02 meses	01	-
Cambio de Martillos	Martillos de de luz	Llaves	02h	08 meses	02	1,000
Cambio de fajas	fajas	Llaves	01	02 meses	01	300

MUCHAS GRACIAS

Fecha: 25 Sept. / 2018

Encuestado: Angel Cordero

Encuestador: [Signature]

Encuesta N° 10



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

ENCUESTA N°

10

DIAGNÓSTICO

OBJETIVO:

Diagnosticar la producción de sal y características del producto en las plantas de la región Lambayeque.

Diagnosticar la maquinaria encargada del proceso de molienda en las plantas de producción de sal en la región Lambayeque.

INSTRUCCIONES:

Llenar los espacios en blanco y marcar con un aspa (X) según corresponda.

1. DATOS GENERALES

- 1.1. Razón social: Luciano Sandoval Santamaria
 1.2. R.U.C.: 10175676444
 1.3. Ubicación: Calle Lima Mz X Lot 25 - Urb Miraflores Distrito: 3 L. Ortiz
 Provincia: Chelazo
 1.4. Nombres y apellidos: Luciano Sandoval Santamaria
 1.5. Cargo: Propietario Tiempo: 02 años
 1.6. Sexo: a. (X) Masculino b. () Femenino Edad: 70 años
 1.7. Procedencia de la materia prima que se procesa: Bayóvar - Piura
 1.8. Indicar los canales de distribución: Tuyillo
 1.9. Antigüedad de la fábrica: 07 años

2. PRODUCCIÓN

- 2.1. Número de trabajadores de la fábrica: 07
 2.2. Número de trabajadores en el proceso de molienda: 07
 2.3. Número de horas en el que la fábrica opera por día: 08
 2.4. Número de días en el que la fábrica opera por mes: 16
 2.5. Número de horas en el que el molino opera por día: 08
 2.6. Número de días en el que el molino opera por mes: 16
 2.7. Cantidad de sal producida: 06 ton/h

3. PRODUCTO

- 3.1. Tipo de sal que se ofrece: a. (X) Sal de mesa
 b. (X) Sal de cocina
 c. (X) Sal de pesca
 d. () Otro. Especifique: _____
- 3.2. Especificaciones del tipo de sal que se ofrece:
 Si marcó **sal de mesa**, especifique:
 Tamaño de grano: 1,2 mm
 Presentación del paquete: 24 kg
 Si marcó **sal de cocina**, especifique:
 Tamaño de grano: 1,2 mm
 Presentación del paquete: 24 kg
 Si marcó **sal de pesca**, especifique:
 Tamaño de grano: 2-3 mm



Presentación del paquete: 50 kg
 Si marcó **otro**, especifique:
 Tamaño de grano: _____
 Presentación del paquete: _____ kg
 3.3. Rango de tamaño aproximado de grano que proviene de la mina:
 Tamaño mínimo: 1cm
 Tamaño máximo: 7cm
 3.4. Precio de venta del producto:
 a. Sal de mesa: S/. 07.00 por paquete
 b. Sal de cocina: S/. 7.00 por paquete
 c. Sal de pesca: S/. 11.00 por paquete
 d. Otro (): S/. _____ por paquete

4. SISTEMA DE MOLIENDA

4.1. Tipo de equipo que se usa en el proceso de molienda: Molino Martillos
 4.2. Potencia del motor del molino: 40 HP estacionario petrolero
 4.3. Material que está en contacto con la sal: A.I.
 4.4. Tiempo de vida del molino: 12 años
 4.5. ¿De qué manera se dosifica la sal al molino?
 a. Manual
 b. Mecánica:
 Faja Transportadora. Potencia del motor: _____ HP
 Tornillo sin fin. Potencia del motor: _____ HP
 Elevador de cangilones. Potencia del motor: _____ HP
 Mesa vibratoria. Potencia del motor: _____ HP
 Otro. Especifique: _____ Potencia del motor: _____ HP

4.6. Costo aproximado de la adquisición e instalación del sistema de molienda actual en la empresa: S/. 23,000 incluye el motor de 2da

4.7. Mantenimiento

¿La planta cuenta con un área de mantenimiento? a. Sí b. No

Con respecto a los **equipos del sistema de molienda**:

a. ¿A cuáles se les realiza mantenimiento?

Motor Estacionario
Molino de Martillos

b. Indicar los tipos de mantenimientos que existen:

Correctivo
Preventivo



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

ENCUESTA N°

10

c. Llenar de manera detallada la siguiente tabla para los trabajos de mantenimiento que se realizan:

TRABAJO DE MANTENIMIENTO	MATERIALES Y RESPUESTOS	HERRAMIENTAS Y EQUIPOS	DURACIÓN	FRECUENCIA	CANTIDAD DE PERSONAS QUE INTERVIENEN	COSTO APROXIMADO (S/.)
Limpieza y Calibración motor	Filtro	Llaves	02h	1/mes	01	150
Cambio de mantillos	Mantillos	Llaves	01h	08 meses	01	1,000
Rotación de mantillos		Llaves	01h	1/mes	01	-

MUCHAS GRACIAS

Fecha: 25 / Sept / 2018

Encuestado: Luciano Sotomayor

Encuestador: [Signature]

Encuesta N° 11



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

ENCUESTA N°

11

DIAGNÓSTICO

OBJETIVO:

Diagnosticar la producción de sal y características del producto en las plantas de la región Lambayeque.

Diagnosticar la maquinaria encargada del proceso de molienda en las plantas de producción de sal en la región Lambayeque.

INSTRUCCIONES:

Llenar los espacios en blanco y marcar con un aspa (X) según corresponda.

1. DATOS GENERALES

- 1.1. Razón social: Grupo Rani SAC
 1.2. R.U.C.: 2047982381
 1.3. Ubicación: Manayneus C/ Ayacucho 19 Distrito: J.L. Ortiz
 Provincia: Chiclayo
 1.4. Nombres y apellidos: Mary Isabel Colina Moreno
 1.5. Cargo: Administración Tiempo: 05 años
 1.6. Sexo: a. () Masculino b. (x) Femenino Edad: _____ años
 1.7. Procedencia de la materia prima que se procesa: Bayovar - Piura
 1.8. Indicar los canales de distribución: Lima - Nor-Oriente
 1.9. Antigüedad de la fábrica: 10 años

2. PRODUCCIÓN

- 2.1. Número de trabajadores de la fábrica: 15
 2.2. Número de trabajadores en el proceso de molienda: 06
 2.3. Número de horas en el que la fábrica opera por día: 08
 2.4. Número de días en el que la fábrica opera por mes: 25
 2.5. Número de horas en el que el molino opera por día: 08
 2.6. Número de días en el que el molino opera por mes: 20
 2.7. Cantidad de sal producida: 6-7 ton/h

3. PRODUCTO

- 3.1. Tipo de sal que se ofrece: a. (X) Sal de mesa
 b. (x) Sal de cocina
 c. (x) Sal de pesca
 d. () Otro. Especifique: _____
- 3.2. Especificaciones del tipo de sal que se ofrece:
 Si marcó **sal de mesa**, especifique:
 Tamaño de grano: 1,2 mm
 Presentación del paquete: 25 kg
 Si marcó **sal de cocina**, especifique:
 Tamaño de grano: 1,2 mm
 Presentación del paquete: 25 kg
 Si marcó **sal de pesca**, especifique:
 Tamaño de grano: 2-3 mm



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

ENCUESTA N°

11

Si marcó **otro**, especifique:
 Presentación del paquete: 50 kg
 Tamaño de grano: _____
 Presentación del paquete: _____ kg
 3.3. Rango de tamaño aproximado de grano que proviene de la mina:
 Tamaño mínimo: 0,5 cm
 Tamaño máximo: 7,0 cm
 3.4. Precio de venta del producto:
 a. Sal de mesa: S/. 7,50 por paquete
 b. Sal de cocina: S/. 7,50 por paquete
 c. Sal de pesca: S/. 10,00 por paquete
 d. Otro (): S/. _____ por paquete

4. SISTEMA DE MOLIENDA

4.1. Tipo de equipo que se usa en el proceso de molienda: Molino de martillos
 4.2. Potencia del motor del molino: 30 HP
 4.3. Material que está en contacto con la sal: Aceero Inox
 4.4. Tiempo de vida del molino: 10 años
 4.5. ¿De qué manera se dosifica la sal al molino?
 a. () Manual
 b. Mecánica:
 () Faja Transportadora. Potencia del motor: _____ HP
 () Tornillo sin fin. Potencia del motor: _____ HP
 () Elevador de cangilones. Potencia del motor: _____ HP
 (X) Mesa vibratoria. Potencia del motor: 02 HP
 () Otro. Especifique: _____ Potencia del motor: _____ HP

4.6. Costo aproximado de la adquisición e instalación del sistema de molienda actual en la empresa: S/. 15,000

4.7. Mantenimiento

¿La planta cuenta con un área de mantenimiento? a. () Sí b. (X) No

Con respecto a los **equipos del sistema de molienda**:

a. ¿A cuáles se les realiza mantenimiento?

Molino de martillos

b. Indicar los tipos de mantenimientos que existen:

Correctivo



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

ENCUESTA N°

11

c. Llenar de manera detallada la siguiente tabla para los trabajos de mantenimiento que se realizan:

TRABAJO DE MANTENIMIENTO	MATERIALES Y RESPUESTOS	HERRAMIENTAS Y EQUIPOS	DURACIÓN	FRECUENCIA	CANTIDAD DE PERSONAS QUE INTERVIENEN	COSTO APROXIMADO (S/.)
Lavado Limpieza	agua	escoba	01h	diario	05	-
Cambio de Martillos	Martillos	Llaves	02h	Semestral	02	1000
Voltear martillos	-	Llaves	02h	1,5 mes	01	-
Cambio de fajas	fajas	-	0.5h	Trimestral	01	300

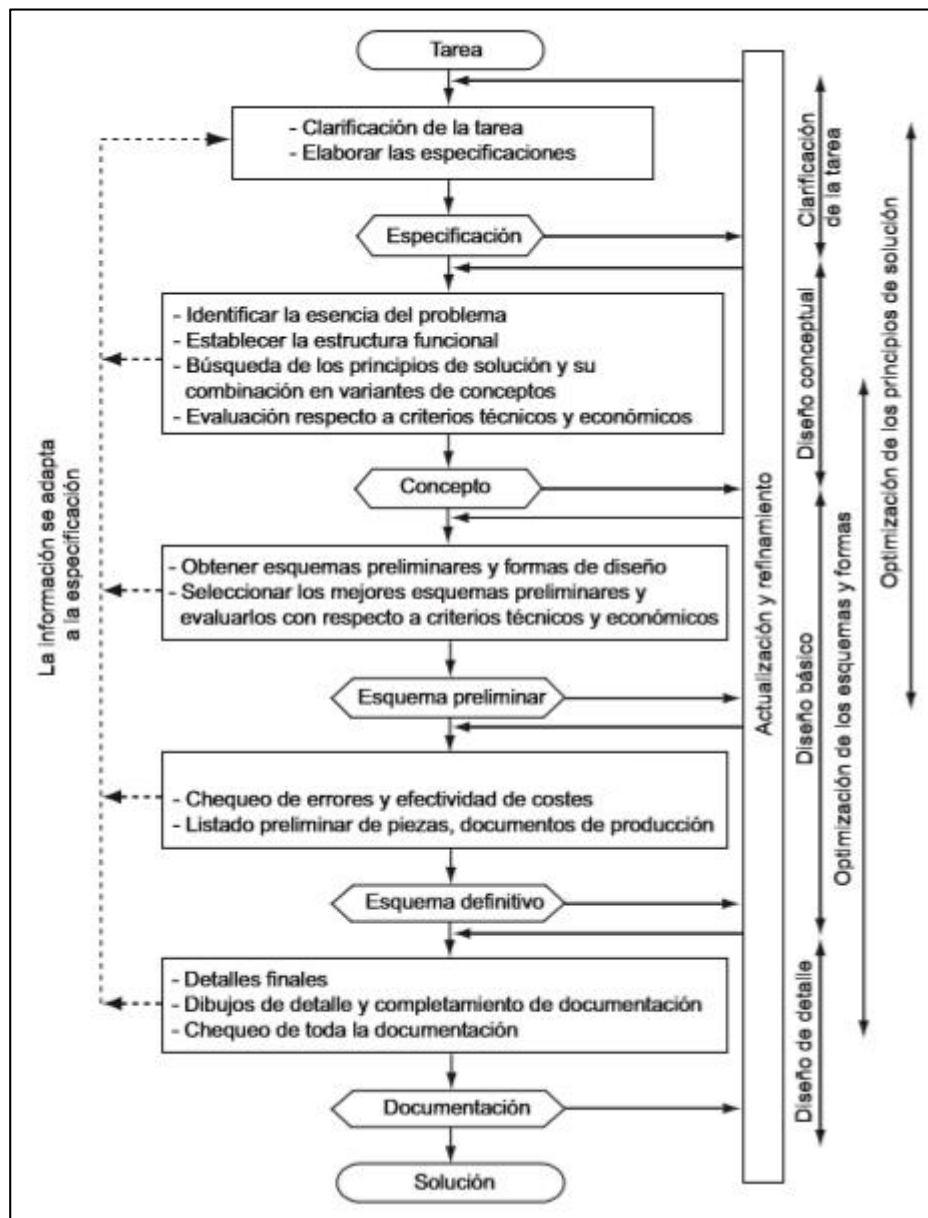
MUCHAS GRACIAS

Fecha: 28 de Septiembre 2018

Encuestado: Mary Bolívar

Encuestador: [Signature]

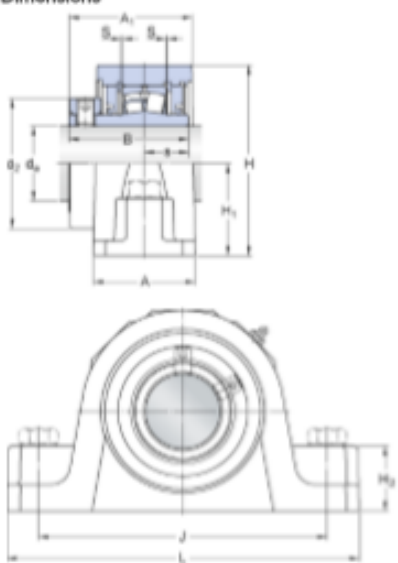
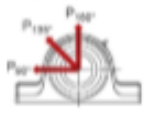
Anexo 4: Modelo sistemático de Pahl Y Beitz



Anexo 5: Ficha técnica de motorreductor de 22 kW

Product information		SEW EURODRIVE
Catalog designation		
R107DRN180L4 Helical gear units R + AC motors DRN.. (IE3)		
Product data		
Rated motor speed	[1/min] : 1781	
Output speed	[1/min] : 72	
Overall gear ratio	: 24.90	
Output torque	[Nm] : 2930	
Service factor SEW-FB	: 1.45	
Mounting position	: M1	
Base / top coat	: 7031 Blue gray (59170310)	
Position of connector/terminal box	[°] : 0	
Cable entry/connector position	: X	
Output shaft	[mm] : 70x140	
Permitted output overhung load at n=1750	[N] : 19400	
Lubricant quantity 1st gear unit	[Liter] : 6	
Motor power	[kW] : 22	
Duration factor	: S1-100%	
Efficiency class	: IE3	
Efficiency (50/75/100% Pn)	[%] : 93.19 / 93.75 / 93.6	
CE mark	: Yes	
Motor voltage	[V] : 220/380	
Wiring diagram	: R13	
Frequency	[Hz] : 60	
Rated current	[A] : 71 / 41.5	
Cos Phi	: 0.86	
Thermal class	: 155(F)	
Motor protection type	: IP55	
Design requirement	: IEC	
Motor mass moment of inertia	[10 ⁻³ kgm ²] : 1961.03	
Net weight	[Kg] : 321	
Additional feature		
Output shaft: 70x140 mm		
Thermal class 155(F)		
Corrosion protection		
Surface protection OS4 (very high environmental pollution)		
Voltage, frequency, winding		

Anexo 6: Ficha técnica de chumacera SYR 3 11/16-3


Dimensions																																								
	<table border="0"> <tr><td>d_1</td><td>3.6875</td><td>in</td></tr> <tr><td>d_2</td><td>6</td><td>in</td></tr> <tr><td>A</td><td>3.6313</td><td>in</td></tr> <tr><td>A_1</td><td>4.7665</td><td>in</td></tr> <tr><td>B</td><td>4.6938</td><td>in</td></tr> <tr><td>H</td><td>8.4063</td><td>in</td></tr> <tr><td>H_1</td><td>4.125</td><td>in</td></tr> <tr><td>H_2</td><td>2.6</td><td>in</td></tr> <tr><td>L</td><td>14.25</td><td>in</td></tr> <tr><td>J</td><td>max. 12.25</td><td>in</td></tr> <tr><td>J</td><td>min. 10</td><td>in</td></tr> <tr><td>s</td><td>1.625</td><td>in</td></tr> <tr><td>S</td><td>0.0313</td><td>in</td></tr> </table>	d_1	3.6875	in	d_2	6	in	A	3.6313	in	A_1	4.7665	in	B	4.6938	in	H	8.4063	in	H_1	4.125	in	H_2	2.6	in	L	14.25	in	J	max. 12.25	in	J	min. 10	in	s	1.625	in	S	0.0313	in
d_1	3.6875	in																																						
d_2	6	in																																						
A	3.6313	in																																						
A_1	4.7665	in																																						
B	4.6938	in																																						
H	8.4063	in																																						
H_1	4.125	in																																						
H_2	2.6	in																																						
L	14.25	in																																						
J	max. 12.25	in																																						
J	min. 10	in																																						
s	1.625	in																																						
S	0.0313	in																																						
Calculation data																																								
Basic dynamic load rating	C 69900 lbf																																							
Basic static load rating	C_0 93300 lbf																																							
Fatigue load limit	P_u 11900 lbf																																							
Limiting speed	700 r/min																																							
Calculation factor	e 0.24																																							
Calculation factor	Y_1 2.8																																							
Calculation factor	Y_2 4.2																																							
Calculation factor	Y_0 2.8																																							
Safe loads																																								
	<table border="0"> <tr><td>P_{90°</td><td>16000</td><td>lbf</td></tr> <tr><td>P_{135°</td><td>10000</td><td>lbf</td></tr> <tr><td>P_{180°</td><td>12400</td><td>lbf</td></tr> </table>	P_{90°	16000	lbf	P_{135°	10000	lbf	P_{180°	12400	lbf																														
P_{90°	16000	lbf																																						
P_{135°	10000	lbf																																						
P_{180°	12400	lbf																																						

Anexo 7: Ficha técnica de motorreductor de 0,746 kW

Product information		SEW EURODRIVE
Catalog designation		
R27DRN80M4		
Product data		
Rated motor speed	[1/min] : 1761	
Output speed	[1/min] : 72	
Overall gear ratio	: 24.47	
Output torque	[Nm] : 100	
Service factor SEW-FB	: 1.30	
Mounting position	: M1	
Base / top coat	: 7031 Blue gray (69170310)	
Position of connector/terminal box	[°] : 0	
Cable entry/connector position	: X	
Output shaft	[mm] : 25x50	
Permitted output overhung load at n=1760	[N] : 2670	
Lubricant quantity 1st gear unit	[Liter] : 0.26	
Motor power	[kW] : 0.76	
Duration factor	: S1-100%	
Efficiency class	: IE3	
Efficiency (50/76/100% Pn)	[%] : 82.02 / 84.86 / 86.6	
CE mark	: Yes	
Motor voltage	[V] : 220/380	
Wiring diagram	: R13	
Frequency	[Hz] : 60	
Rated current	[A] : 3.26 / 1.89	
Cos Phi	: 0.70	
Thermal class	: 166(F)	
Motor protection type	: IP66	
Design requirement	: IEC	
Motor mass moment of inertia	[10 ⁻⁴ kgm ²] : 24.73	
Net weight	[Kg] : 18	
Additional feature		
Output shaft: 25x50 mm		
Thermal class 166(F)		
Fan guard design Metal		
Corrosion protection		
Surface protection OS4 (very high environmental pollution)		
Voltage, frequency, winding		

Anexo 8: Cotización de materiales y equipo

Planchas, ejes y tubos

MET G R O U P		Cotización Nº 365815					
Polimetales S.A.C. - RUC 20100456495 Av. Argentina 2787 - Zona Industrial - Lima - Lima - Lima Av. Argentina # 1375 - Lima - Lima - Lima Teléfono : 619-3600 / www.metgroup.pe		Fecha : 9/03/2021 00:00:00 Moneda : SOLES Validez Oferta : 24 horas / 1 día Plazo Entrega : 1					
Señores : CRISTOBAL CARLOS HUAMAN SUAREZ R.U.C. : 16436816 Atención : CRISTOBAL CARLOS HUAMAN SUAREZ Teléfonos : (74) 255525 Dirección : Calle CACIQUE CINTO 232 URB. LATINA , CHICLAYO - JOSE LEONARDO ORTIZ		Forma Pago : Contado					
Estimados Señores :							
En atención a su solicitud, nos es grato cotizarles los siguientes materiales :							
ITEM	CODIGO	CANT.	U.M.	DESCRIPCION	PESO	P. UNIT.	TOTAL
1	6030	4.000	PZA	PLANCHA ACERO INOX. A-240 C-304 L 6.0MM X 4' X 8' 2B	571.560	1,765.18	7,060.70
2	5950	1.000	PZA	PLANCHA ACERO INOX. A-240 C-304 L 3.0MM X 4' X 8' 2B	71.440	882.51	882.51
3	16827	3.000	PZA	PLANCHA ACERO INOX. A-240 C-304 L 2.0MM X 4' X 8' 2B	142.890	588.39	1,765.17
4	1417m	0.500	M	BARRA REDONDA ACERO INOX. A-276 C-304 L 2" (50.8mm)	8.105	233.58	116.79
5	1459m	3.500	M	BARRA REDONDA ACERO INOX. A-276 C-304 L 4 1/2" (114.3mm)	286.895	1,253.44	4,387.04
6	1425m	1.000	M	BARRA REDONDA ACERO INOX. A-276 C-304 L 2 1/2" (63.5mm)	25.170	363.12	363.12
7	10137	6.000	M	TUBERIA CON COSTURA ACERO INOX. A-312 C-304 L (DN) 2" SCH 40	33.240	80.56	483.37
8	126718	6.000	M	TUBERIA CON COSTURA ACERO INOX. A-312 C-304 L (DN) 16" SCH 40S	568.200	1,671.61	10,029.68
9	5901	1.000	PZA	PLANCHA ESTRIADA ACERO INOX. C-304 3/16" X 4' X 8' N1	113.420	1,496.92	1,496.92
Nota : * Confirmar su pedido con orden de compra * Esta cotización deja sin efecto todas las anteriores. * La garantía de los productos es por 12 meses calendarios desde la fecha de entrega. Dicha Garantía no cubre el mal uso del material, sólo fallas de origen. * Los pesos son referenciales.					SUB TOTAL IMPUESTO		26,585.30 4,785.35
					TOTAL A PAGAR S/		31,370.65
Sin otro Particular, y a la espera de una pronta respuesta nos despedimos de ustedes.							
Atentamente,							
Luz Mercedes Llorona Verástegui Ejecutivo(a) Comercial Teléfono : 619-3600 Anexo 3741 Directo : 619-3612 Celular : 998224179 Email : luz.lorona@metgroup.pe				Cuentas Bancarias : Bco. Crédito S/ 191-0682485-0-86 Bco. Crédito \$: 191-0791983-1-36 Bco. Continental \$:362-0100008318 Interbank \$ 042-3000122915 Scotiabank \$ 000-2259783			
		PROTEJA SU INVERSION. Exija Productos que CUMPLAN Normas Internacionales de Calidad. En MET GROUP , le Garantizamos y Certificamos La Calidad de Nuestros Productos.					

Motorreductor SEW Eurodrive 22 kW

RE: New quotation request by Independiente (#15457) from the Online

jorge.siblesz@sew-eurodrive.com.pe


para mí ▾

Estimado Juan Carlos buenos días,

Recibimos tu solicitud, líneas abajo te detallo los precios aproximados de los equipos solicitados.

R107DRS180L4 (Protección superficial estándar) → 21,586.00 S./ + IGV
 R107DRS180L4 (Protección superficial OS4) → 22,869.00 S./ + IGV


Motorreductor SEW Eurodrive 0,75 kW

	SEW EURODRIVE DEL PERU S.A.C. RUC: 20471133770 Calle los Calderos 122 - Ate - Lima - Perú Telefono: + 511 - 2086700 Fax: + 511 - 3493002 e-mail: ventas@sew-eurodrive.com.pe																																								
	Cotización																																								
<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 80%;"> Nuestra Ref.:2930015 Fecha : 10. Mayo 2019 Pág: 1 de 2 </td> </tr> </table>		Nuestra Ref.: 2930015 Fecha : 10. Mayo 2019 Pág: 1 de 2																																							
Nuestra Ref.: 2930015 Fecha : 10. Mayo 2019 Pág: 1 de 2																																									
<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%;"> CLIENTE GENERICO (41001904) Atención : Juan Carlos Huamán Huambo Teléfono: Teléfono Móvil: Correo: juancahuhu97@gmail.com </td> <td style="width: 50%;"> Ref. de cliente: Vendedor: Jorge Siblesz Teléfono: 982038352 Correo: jorge.siblesz@sew-eurodrive.com.pe Cotizador: RCC </td> </tr> </table>		CLIENTE GENERICO (41001904) Atención : Juan Carlos Huamán Huambo Teléfono: Teléfono Móvil: Correo: juancahuhu97@gmail.com	Ref. de cliente: Vendedor: Jorge Siblesz Teléfono: 982038352 Correo: jorge.siblesz@sew-eurodrive.com.pe Cotizador: RCC																																						
CLIENTE GENERICO (41001904) Atención : Juan Carlos Huamán Huambo Teléfono: Teléfono Móvil: Correo: juancahuhu97@gmail.com	Ref. de cliente: Vendedor: Jorge Siblesz Teléfono: 982038352 Correo: jorge.siblesz@sew-eurodrive.com.pe Cotizador: RCC																																								
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Item</th> <th>Material</th> <th>Cant.</th> <th>Descripción</th> <th>Mon.</th> <th>Precio Unit.</th> <th>Total</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>01</td> <td>SEW</td> <td style="text-align: center;">1</td> <td>Motorreductor_R27 DRS80S4</td> <td style="text-align: center;">S/.</td> <td style="text-align: right;">2.217,57</td> <td style="text-align: right;">2.217,57</td> </tr> </tbody> </table>		Item	Material	Cant.	Descripción	Mon.	Precio Unit.	Total	01	SEW	1	Motorreductor_R27 DRS80S4	S/.	2.217,57	2.217,57																										
Item	Material	Cant.	Descripción	Mon.	Precio Unit.	Total																																			
01	SEW	1	Motorreductor_R27 DRS80S4	S/.	2.217,57	2.217,57																																			
<p>REFERENCIA: TORNILLO SIN FIN</p> <table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%;">Número de Serie</td> <td>41.0293001501.0001.19</td> </tr> <tr> <td>Descripción de catálogo</td> <td>R27 DRS80S4</td> </tr> <tr> <td>Potencia motor A [kW]</td> <td>0,750</td> </tr> <tr> <td>Vel. salida calculada A [rpm]</td> <td>71</td> </tr> <tr> <td>Par de salida [Nm]</td> <td>101</td> </tr> <tr> <td>Factor de servicio SEW FB</td> <td>1,30</td> </tr> <tr> <td>Índice reducción total [i]</td> <td>24,47</td> </tr> <tr> <td>Posición de montaje / IM</td> <td>M1</td> </tr> <tr> <td>Eje de salida</td> <td>25x50 mm</td> </tr> <tr> <td>Eje de salida</td> <td>12 mm Piñón del eje</td> </tr> <tr> <td>Brida de Motor</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Brida de Reductor</td> <td>FG100 D120R27</td> </tr> <tr> <td>Características access. genera</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Tipo de servicio S1-S10</td> <td>S1</td> </tr> <tr> <td>Tensión del motor [V]</td> <td>220/440</td> </tr> <tr> <td>Corriente nominal [A]</td> <td>1,73</td> </tr> <tr> <td>Frecuencia del motor [Hz]</td> <td>60,0</td> </tr> <tr> <td>Tipo de conexión</td> <td>Doble triángulo / Triángulo</td> </tr> <tr> <td>Tipo de protección [IP]</td> <td>55</td> </tr> <tr> <td>TIEMPO DE ENTREGA</td> <td>5 DIAS UTILES, SALVO VENTA PRE</td> </tr> </table>		Número de Serie	41.0293001501.0001.19	Descripción de catálogo	R27 DRS80S4	Potencia motor A [kW]	0,750	Vel. salida calculada A [rpm]	71	Par de salida [Nm]	101	Factor de servicio SEW FB	1,30	Índice reducción total [i]	24,47	Posición de montaje / IM	M1	Eje de salida	25x50 mm	Eje de salida	12 mm Piñón del eje	Brida de Motor	0	Brida de Reductor	FG100 D120R27	Características access. genera	0	Tipo de servicio S1-S10	S1	Tensión del motor [V]	220/440	Corriente nominal [A]	1,73	Frecuencia del motor [Hz]	60,0	Tipo de conexión	Doble triángulo / Triángulo	Tipo de protección [IP]	55	TIEMPO DE ENTREGA	5 DIAS UTILES, SALVO VENTA PRE
Número de Serie	41.0293001501.0001.19																																								
Descripción de catálogo	R27 DRS80S4																																								
Potencia motor A [kW]	0,750																																								
Vel. salida calculada A [rpm]	71																																								
Par de salida [Nm]	101																																								
Factor de servicio SEW FB	1,30																																								
Índice reducción total [i]	24,47																																								
Posición de montaje / IM	M1																																								
Eje de salida	25x50 mm																																								
Eje de salida	12 mm Piñón del eje																																								
Brida de Motor	0																																								
Brida de Reductor	FG100 D120R27																																								
Características access. genera	0																																								
Tipo de servicio S1-S10	S1																																								
Tensión del motor [V]	220/440																																								
Corriente nominal [A]	1,73																																								
Frecuencia del motor [Hz]	60,0																																								
Tipo de conexión	Doble triángulo / Triángulo																																								
Tipo de protección [IP]	55																																								
TIEMPO DE ENTREGA	5 DIAS UTILES, SALVO VENTA PRE																																								

Perfilería referencial

ACEROS DEL NORTE CHICLAYO S.A.C.		RUC 20600412788						
Web: https://www.acenorchiclayo.com		PROFORMA						
Tel: 074-266379		N° 2021-0000104						
E-mail: info@acenorchiclayo.com								
MZA. D LOTE. 21 UPIS POPULAR NOR ORIENTE (FRENTE A DERRAMA MAGISTERIAL ALT KM 774)								
Receptor HUAMAN HUAMBO JUAN CARLOS								
DNI o RUC 76443068								
Dirección -CHICLAYO								
Condición de pago	CONTADO	Moneda	SOLES					
Peso Total			249.23					
Fecha	2021-03-30 15:00:58	Usuario	KCARUAJULCA					
		N° doc. referencia						
N°	CÓDIGO	CANT.	U. M.	DESCRIPCIÓN	PRECIO U.	DSCTO. (%)	PRECIO P.	IMPORTE
1	PD00000043	3.00	PZA	ANGULO 3"X1/4"X6MT (75MMX75MMX6MM)	170.00	0.00	170.00	510.00
2	PD00000056	2.00	PZA	ANGULO 4"X1/4"X6MT (100MMX100MMX6MM)	220.00	0.00	220.00	440.00
SON: NOVECIENTOS CINCUENTA CON 00/100 SOLES								
Condición comercial:						DSCTO. TOTAL	S/. 0.00	
- FORMA DE PAGO: EFECTIVO, CHEQUE O DEPOSITO EN:						IMPORTE TOTAL	S/. 950.00	
* CUENTA CORRIENTE BCP SOLES: 305-2224603-0-44 / CCI 00230500222460304413								
* CUENTA DE DETRACCIONES BN: 00-231-218971								
- VALIDEZ DE LA COTIZACIÓN: 05 DÍAS.								
- PLAZO DE ENTREGA: SUJETO A DISPONIBILIDAD DE STOCK.								
- PRECIOS: INCLUIDO IGV Y SUJETOS A CAMBIO SIN PREVIO AVISO.								
Observación:								

Servicio de torno para ejes y fabricación de acople de motorreductor a transportador
“sinfin”

 FUNDACION Y TORNO Hector Caruajulca Blanco		HECTOR MISAEL CARUAJULCA BLANCO Web: https://www.factoriahcb.com Telf: 074-266379 E-mail: info@factoriahcb.com CAL.SANTIAGO DE CHUCO NRO. 171 P.J. UPIS CESAR VALLEJO		RUC 10164318317 PROFORMA N° 2021-0000201					
Receptor HUAMAN HUAMBO JUAN CARLOS DNI o RUC 76443068 Dirección -CHICLAYO									
Condición de pago CONTADO		Moneda SOLES		Peso Total 0					
Fecha 2021-03-30 14:56:27		Usuario KCARUAJULCA		N° doc. referencia					
N°	CÓDIGO	CANT.	U.M.	DESCRIPCIÓN	PRECIO U.	DSCTO. (%)	PRECIO F.	IMPORTE	
1	PD00000963	1.00	JGO	JUEGO DE ACOPLER GRANDE X 2PZAS DIAM.INT (2" - 1")	480.00	0.00	480.00	480.00	
2	S000000146	1.00	GLOB	REBAJE Y 01 CANAL CHAVETERO EN AMBOS EXTREMOS A EJE INOX DIAM 4 1/2"X LONG 1650, SIPLANO	600.00	0.00	600.00	600.00	
3	S000000146	1.00	GLOB	REBAJE EN AMBOS EXTREMOS Y 01 CANAL CHAVETERO EN UN EXTREMO A EJE INOX DIAM 4 1/2"X LONG 1500, SIPLANO	580.00	0.00	580.00	580.00	
SON: MIL SEISCIENTOS SESENTA CON 00/100 SOLES						DSCTO. TOTAL S/. 0.00		IMPORTE TOTAL S/. 1660.00	
Condición comercial: EXONERADO DE RETENCIÓN DEL IMPUESTO GENERAL A LAS VENTAS SEGÚN RESOLUCIÓN N° 0730050009810									
- FORMA DE PAGO: EFECTIVO, CHEQUE O DEPÓSITO EN: * CUENTA BCP SOLES: 305-05050286-0-86 / CCI 00230510505028608613 * CUENTA BCP DOLARES: 305-10546949-1-70 / CCI 00230511054694917014 * CUENTA DETRACCIONES BN: 00-230-008760 - VALIDEZ DE LA COTIZACIÓN: 05 DÍAS. - PLAZO DE ENTREGA: SUJETO A DISPONIBILIDAD DE STOCK. - PRECIOS: SUJETOS A CAMBIO SIN PREVIO AVISO.									
Observación: - NO INCLUYE IGV									

Anexo 9: Cotización de molino de rodillos modelo IMD 99, Modern Process Equipment

Rv: roller mill for salt Recibidos x

carlos huaman suarez
para mí ▾

mar, 23 mar 16:17 (hace 7 días) ★ ↶ ⋮

Enviado desde mi Huawei

----- Mensaje original -----
Asunto: RE: roller mill for salt
De: Timothy Simon
Para: carlos huaman suarez
CC:

Hi Carlos,

I apologize for the delay in my response. I was out of the office a couple days last week and was unable to respond.

Based off of the questions I asked and your responses, I can give a budgetary estimate for a 2-high IMD 99 Granulizer with proper materials of construction to resist corrosion and oxidation. The grinder rolls will be fabricated from 17-4 stainless steel or hardened stainless steel, and all internal product contact parts will have an internal stainless steel liner. The product will be fed by a 316 stainless steel vibratory feeder, and the discharge transition will also be fabricated from stainless steel. All areas where the salt will come in contact with equipment will be fabricated from stainless steel so as to prevent corrosion and oxidation. Due to the vast majority of equipment requiring stainless steel, we budget the 2-high, IMD 99 at **\$200,00.00 USD**.

Let me know if you have any comments or questions with what I outlined above. If all looks good and you want to move forward, I can create a formal quote for you and we would request product to be sent in for testing to verify we can achieve your required specifications.

I look forward to any feedback you can share.

Best regards,
Timothy Simon
Sales Engineer

Anexo 10: Planos de fabricación y montaje de molino de rodillos

La siguiente tabla indica la relación de planos de fabricación y montaje del sistema de molienda diseñado.

N° DE PLANO	NOMBRE DE PLANO	FORMATO
1	MG - MONTAJE GENERAL	A2
2	MR1 - MECANISMO DE RODILLOS	A3
3	e1 - EJE DE PRIMERO RODILLO	A4
4	e2 - EJE DE SEGUNDO RODILLO	A4
5	MS1 - MESA SOPORTE	A2
6	SP1 - SOPORTE PLANCHA LATERAL	A3
7	a1 - ÁNGULO SOPORTE DE TOLVA DE CARGA	A4
8	p1 - PLANCHA COBERTURA FRONTAL	A4
9	p2 - PLANCHA COBERTURA LATERAL	A4
10	p3 - PLANCHA COBERTURA SUPERIOR	A4
11	TV1 - TOLVA DE CARGA	A3
12	TVD1 - TOLVA DE DESCARGA	A3
13	BM1 - BASE MOTOR DE TRANSPORTADOR SINFÍN	A3
14	SPT1 - SOPORTE 1 DE TRANSPORTADOR SINFÍN	A3
15	SPT2 - SOPORTE 2 DE TRANSPORTADOR SINFÍN	A3
16	a2 - ÁNGULO DE AMARRE	A4
17	TSF1 - TRANSPORTADOR SINFÍN	A3

En las siguientes hojas se muestran los planos.