



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA
ELÉCTRICA**

**“Diseño de extractora de emulsión de aceite de limón para
evaluar incremento de recuperación de aceite cold pressed en
Agromar Industrial”**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Mecánico Electricista

AUTOR:

Timaná Silva, Víctor Ricardo (ORCID: 0000-0003-0333-6768)

ASESOR:

Mg. Celada Padilla, James Skinner (ORCID: 0000-0002-5901-2669)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Modelamiento y Simulación de Sistemas Electromecánicos

CHICLAYO-PERÚ

2020

Dedicatoria

Mi tesis está dedicada a Jehová, Todopoderoso, fuente de Vida y fortaleza.

A la memoria de mis padres Alberto y Tomasa.

Al gran sacrificio realizado por mi familia: Yolanda mi esposa, Haiko, Suheyli y Víctor, mis hijos, motivos de mi esfuerzo constante.

Víctor Timaná

Agradecimiento

A Jehová, Todopoderoso, por la segunda oportunidad que me has otorgado

Dr. Fabián Hidalgo Lazo
Gerente General de Agromar Industrial
S.A.

Víctor Timaná

Índice de contenidos

Carátula.....	i
Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Índice de contenidos	iv
Índice de Tablas	v
Índice de figuras.....	vii
Resumen.....	x
Abstract.....	xi
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO	12
III. METODOLOGÍA.....	40
3.1 Tipo y diseño de investigación.....	40
3.2 Variables y Operacionalización.....	40
3.3 Población y muestra	42
3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad.	42
3.5 Procedimiento.....	43
3.6 Método de análisis de datos	44
3.7 Aspectos éticos.....	44
IV. RESULTADOS	45
V. DISCUSIÓN.....	147
VI. CONCLUSIONES.....	150
VII. RECOMENDACIONES	154
REFERENCIAS.....	155
ANEXOS	162

Índice de Tablas

Tabla 01. <i>Exportaciones de Aceite esencial de limón en el mundo años 2017 y 2018</i>	2
Tabla 02. <i>Exportaciones de Aceite esencial de limón en Perú - 2018</i>	5
Tabla 03. <i>Rendimientos de AEL a nivel Perú, año 2017, 2018</i>	6
Tabla 04. <i>Resumen de producción de limón a nivel nacional 2016</i>	7
Tabla 05. <i>Resultados de producción línea Cieneguillo – Piura 2019</i>	8
Tabla 06. <i>Resultados de producción línea Cieneguillo – Piura 2019</i>	8
Tabla 07. <i>Resultados de producción línea Cieneguillo – Piura 2019</i>	9
Tabla 08. <i>Especificaciones de la AGMA para dientes de engranaje de profundidad total</i>	22
Tabla 09. <i>Matriz de producto - mercado</i>	48
Tabla 10. <i>Análisis de Funciones</i>	49
Tabla 11. <i>Criterios de evaluación de propuestas Escala de Valores</i>	53
Tabla 12. <i>Cuadro de Evaluación de Alternativas de solución</i>	54
Tabla 13. <i>Principios de solución y estructuras de trabajo para extractora de emulsión de aceite de limón</i>	61
Tabla 14. <i>Parámetros para el diseño de engranajes de máquina extractora de emulsión de aceite de limón</i>	80
Tabla 15. <i>Comparativo de cálculos realizados con los datos del fabricante SKF, para chumaceras de Pie.</i>	93
Tabla 16. <i>Parámetros usuales de eficiencia en compresores</i>	118
Tabla 17. <i>Propiedades de Material empleado</i>	125
Tabla 18. <i>Resultado de Tensiones en Vigas de la estructura de la extractora</i>	126
Tabla 19. <i>Cuadro de Cargas para la máquina extractora de emulsión de aceite de limón</i>	132
Tabla 20. <i>Cuadro de Cargas complementarias para el proceso de obtención de aceite cold pressed</i>	134
Tabla 21. <i>Balance de línea para obtención de aceite cold pressed de limón</i>	140
Tabla 22. <i>Presupuesto para la construcción de extractora de emulsión de aceite de limón</i>	141
Tabla 23. <i>Costo de maquinaria complementaria para procesamiento de aceite cold pressed</i>	142
Tabla 24. <i>Proyección de captación de materia prima y porcentaje para línea de jugo de limón</i>	142

Tabla 25. <i>Proyección de ingresos por venta de Aceite cold pressed por años.</i> -----	143
Tabla 26. <i>Proyección de egresos por producción de Aceite Cold pressed</i> -----	145
Tabla 27. <i>Flujo Neto Anual de la operación</i> -----	145
Tabla 28. <i>Evaluación de Valor Actual Neto del Proyecto</i> -----	146

Índice de figuras

Figura 01. Máquina exprimidora de limón Zumex Z450. Principio de aplastamiento rotatorio-----	3
Figura 02. Extractor de aceite Polycitrus M6 de Fratelli Indelicate.-----	4
Figura 03. Principales empresas exportadoras en Perú de aceite esencial de limón -----	6
Figura 04. Resultados de extracción de aceites y esencias de limón recuperadas en el proceso de Jugo de Limón. Agromar Industrial. -----	10
Figura 05. Aceites y Esencias de limón recuperadas en el proceso de Jugo de Limón. Agromar Industrial.-----	11
Figura 06. Esquema de pasos en el proceso de planeamiento y diseño.-----	14
Figura 07. Fórmulas de esfuerzo cortante máximo debido a la flexión. Extraído de Budynas, Richard (2012). Diseño en ingeniería mecánica de Shigley-9na Edición.-----	15
Figura 08. Fórmulas de esfuerzo cortante máximo debido a la flexión. Extraído de Budynas, Richard (2012). Diseño en ingeniería mecánica de Shigley-9na Edición.-----	16
Figura 09. Nomenclatura de los dientes de un engrane recto. Extraído de Budynas, Richard (2012). Diseño en ingeniería mecánica de Shigley-9na Edición.-----	21
Figura 10. Moto reductores de velocidad uno de piñón y corona y otro de engranajes paralelos.-----	27
Figura 11. Acoplamiento flexible tipo F. -----	28
Figura 12. Estructura del limón (fruta cítrica) -----	30
Figura 13. Diagrama de Proceso para la elaboración de Zumo de limón y derivados. Elaboración propia-----	35
Figura 14. Máquina extractora de jugo de limón tipo polycitrus y detalle de rodillos estrujadores de la máquina. Cortesía de Agromar Industrial S.A.-----	45
Figura 15. Bosquejo principio de funcionamiento Extractor de Aceite BOE- Brown International -----	50
Figura 16. Bosquejo principio de funcionamiento Modular Oil Recovery Extractor (JBT)	51
Figura 17. Bosquejo principio de funcionamiento Extractor Polycitrus M6 Fratteli Indelicato -----	52
Figura 18. Estructura de la función general del extractor de emulsión de aceite de limón -----	57
Figura 19. Estructura de la Sub función raspado continuo del flavelo de limón -----	57
Figura 20. Estructura de la Sub función para transmisión de torque-----	58
Figura 21. Estructura de la Sub función para generar fuerza de empuje lineal-----	58
Figura 22. Estructura de la Sub función inyección de agua presurizada para arrastre. --	58

Figura 23. Estructura de la Sub función inyección de agua presurizada para arrastre. --	59
Figura 24. Interrelación Funcional para el extractor de emulsión de aceite de limón. ----	60
Figura 25. Vista Isométrica de máquina extractora de emulsión de aceite. -----	62
Figura 26. Superficie de tubo maquinado para cumplir la función de escariador del flavelo. -----	63
Figura 27. Efecto provocado por el sentido de giro de los cilindros tallando con paso de rosca 1.5 mm-----	64
Figura 28. Distribución de carga de limón en la superficie de los rodillos rascadores. ---	66
Figura 29. Distribución de carga para un cilindro rascador. -----	67
Figura 30. Distribución de carga para un cilindro rascador en el plano Y-Z. -----	68
Figura 31. Diagrama de fuerza cortante y momento flector. -----	70
Figura 32. Configuración de engranajes helicoidales para transmisión de potencia. ----	75
Figura 33. Distancia de separación entre cilindros rascadores. -----	76
Figura 34. Distribución de Fuerzas actuantes en el sistema de raspado de limón. -----	81
Figura 35. Distribución de Elementos sobre el Eje. -----	85
Figura 36. Distribución de Fuerzas sobre el Eje.-----	94
Figura 37. Diagrama de Momento flector. -----	102
Figura 38. Diferentes patrones de pulverizado. -----	113
Figura 39. Eficiencia de cilindro para compresor de pistón-----	118
Figura 40. Detalle de depósito primario para emulsión oleosa -----	120
Figura 41. Disposición para la instalación de bombeo de emulsión oleosa -----	121
Figura 42. Características de bomba sanitaria AMSm70/0.37 de LEO PUMPS -----	124
Figura 43. Detalle de pesa con superficie rascadora para la determinación de fuerza de raspado-----	127
Figura 44. Disposición de pesa raspadora antes de raspar el limón-----	128
Figura 45. Área raspada de limón después de ejecutada la prueba -----	129
Figura 46. Balance de materia utilizando máquina extractora de emulsión de aceite de limón, en condiciones ideales de operación -----	131
Figura 47. Finisher o separador de sólidos-----	133
Figura 48. Centrífuga primaria o desladora -----	133
Figura 49. Centrífuga secundaria o pulidora -----	134
Figura 50. Disposición de los elementos de máquina de la Sub Función Raspado continuo del flavedo.-----	137
Figura 51. Toberas del sistema de inyección de agua para arrastre del aceite, acoplados en tuberías de acero inox. ½". -----	138

Figura 52. Tanque de Acero Inox 316 L, con Electrobomba sanitaria de 0.5 HP acoplada para bombeo hacia el tanque pulmón. ----- 139

Resumen

La tesis tiene como objetivo principal el Diseño de una máquina extractora de emulsión de aceite de limón para evaluar el incremento en la recuperación de aceite cold pressed en la Planta de Jugo de Limón de Agromar Industrial, la máquina formaría una estación previa a la estación de extracción de jugo.

Para la determinación de la fuerza de raspado, que es uno de los parámetros fundamentales del diseño, se fabricó una máquina experimental que utiliza el principio de movimiento pendular; en el extremo del péndulo se le adaptó un área con puntas rascadoras, el cálculo de la fuerza se determinó de la diferencia de la fuerza inicial en una posición angular inicial y la fuerza residual calculada en la posición angular final, la información necesaria se registró en un instrumento de observación implementado para este objetivo. La fuerza de raspado promedio resultante fue de 0.4961 N por limón.

Se ha aplicado el enfoque sistemático de diseño propuesto por los ingenieros alemanes PAHL y BEITZ, que concluyó con la descripción de los principios de solución para nuestra máquina.

En la parte de resultados, se ejecutan todos los procedimientos de cálculos y selección para determinar el tamaño del cilindro rascador, el eje principal, engranajes para la transmisión, selección de la potencia y equipos accesorios como bomba y compresor, todo esto modelado en un software de computadora, lo que nos facilitó la verificación de los montajes y su definición en planos específicos mostrados en los anexos.

En la evaluación financiera en un horizonte de 5 años el VAN resultante fue de US\$ 3 010,821.02, por lo que siendo mayor a cero, la decisión que se debe tomar es efectuar la inversión, mientras que con un TIR resultante de 216%, se refuerza la viabilidad económica del proyecto.

Palabras clave: extractor, diseño, limón, potencia, cargas

Abstract

The thesis has as its main objective the Design of a lemon oil emulsion extractor machine to evaluate the increase in the recovery of cold pressed oil in the Agromar Industrial's Lemon Juice Plant, the machine would form a station prior to the station of juice extraction.

For the determination of the scraping force, which is one of the fundamental parameters of the design, an experimental machine was made that uses the principle of pendular motion; at the end of the pendulum an area with scraper tips was adapted, the calculation of the force was determined from the difference of the initial force in an initial angular position and the residual force calculated in the final angular position, the necessary information was recorded in the observation instrument implemented for this purpose. The resulting average scraping force was 0.4961 N per lemon.

The systematic design approach proposed by the German engineers PAHL and BEITZ, which concluded in this research with the description of the solution principles for our machine, has been applied.

In the results part, all calculation and selection procedures are executed to determine the size of the scraper cylinder, the main shaft, gears for transmission, power selection and accessory equipment such as pump and compressor, all this modeled in a software, which facilitated the verification of the assemblies and their last definition in specific engineering drawing that shown in the attach.

In the financial evaluation over a 5-year horizon, the resulting VAN was US \$ 3,010,821.02, so being greater than zero, the decision to be made is to make the investment, while with a resulting TIR of 216%, reinforces the economic viability of the project.

Keywords: extractor, design, lemon, power, loads

I. INTRODUCCIÓN

VISSER, J y VORAGEN, A (1996) manifiesta que:

Los aceites esenciales prensados en frío de la cáscara son algunos de los subproductos más importantes recuperados durante el procesamiento de los cítricos... A lo largo de los años se han desarrollado varios métodos para reducir los niveles de aceites esenciales residuales en el efluente acuoso (p.963).

Hablamos de dos tipos de esencias que se pueden extraer de las frutas, según FAUCON (2014): “Estas esencias volátiles se recogen por destilación con vapor de agua, en cuyo caso se habla de aceites esenciales (AE), o bien por simple presión en frío (Citrus, etc) y se habla entonces de Esencias (ES)” (p.01). El Aceite cold pressed (o extraído en frío), tiene mejores propiedades que el aceite esencial extraído por destilación.

Navarrete, Gil, Durango y García sostienen que:

Tradicionalmente en algunos países, entre ellos Colombia, los AE son extraídos industrialmente mediante técnicas económicas viables como el prensado en frío o la destilación por arrastre de vapor. Los aceites presentes en los sacos o glándulas, localizadas en el epicarpio del fruto, pueden ser removidos mecánicamente por prensado, obteniéndose una emulsión la cual es centrifugada hasta separar el aceite de la fase acuosa (p.05)

El Aceite esencial de limón está cobrando gran importancia incluso en el tema energético, según lo manifiesta ASHOK (2017): “Vale la pena señalar que el valor calorífico de todas las mezclas de LPO es equivalente al combustible diésel, valor que no se ha reportado en otro tipo de biocombustibles como el metanol” (p113). La búsqueda de energías alternativas a las convencionales ha llevado a realizar experimentos con buenos resultados, tal como menciona Biswal, Kale, Balusamy, Banerjee y Kolhe (2019)

La emulsificación de mezclas de LPO-diesel para controlar la emisión de NOx. Informaron una reducción significativa en la emisión de NOx con emulsificación manteniendo una eficiencia similar. LPO tiene una mayor densidad de energía y baja viscosidad en comparación con el butanol y el etanol (p.250).

Mehl, Marti, Boccard, Debrus, Merle, Delort, Baroux, Raymo, Velazco, Sommer, Wolfender y Rudaz (2014), indican al respecto de los aceites obtenidos en frío:

Los aceites de limón prensados en frío (CPLO) se usan ampliamente en las industrias farmacéuticas, de perfumería, cosmética, alimentación y bebidas ... Los CPLO se pueden extraer mediante diferentes procesos de extracción: recuperación de aceite de la cáscara después de la extracción de jugo (Sfumatrice), extracción simultánea de jugo y emulsión de aceite de fruta entera (Food Machinery Corporation (FMC) Extractor en línea) o recuperación de aceite del flavedo de cáscara después de la extracción de la fruta entera por abrasión o afeitado (Brown Oil Extractor, BOE y Pelatrice) (p. 325).

NIVEL INTERNACIONAL, En la Tabla 01 se muestran un comparativo de los años 2017 y 2018, referente a las exportaciones de aceites esenciales de limón, Argentina lidera el grupo, pero con un precio menos competitivo que países como Italia, USA, Canadá y China, quienes cuentan con tecnologías de vanguardia en el procesamiento de Cítricos. Se puede concluir que el menor precio FOB, se debe a un proceso de recuperación más eficiente.

Tabla 01. *Exportaciones de Aceite esencial de limón en el mundo años 2017 y 2018*

PAIS EXPORTADOR	2017			2018		
	PESO (kg)	VALOR VENTA (US\$)	US\$/Kg	PESO (kg)	VALOR VENTA (US\$)	US\$/Kg
Argentina	5,548,252.00	191,335,483.00	34.49	6,619,644.00	233,151,031.00	35.22
Italy	2,610,585.00	62,017,787.00	23.76	2,757,000.00	70,896,083.00	25.71
USA	2,107,618.00	52,036,846.00	24.69	2,261,238.00	59,319,374.00	26.23
China	2,062,145.00	15,347,340.00	7.44	468,333.00	6,241,553.00	13.33
Mexico	816,204.00	23,784,600.00	29.14	608,938.00	18,648,920.00	30.63
United Kingdom	742,568.00	25,898,812.00	34.88	691,386.00	20,449,938.00	29.58
Spain	665,905.00	20,640,734.00	31.00	569,724.00	17,795,489.00	31.24
Germany	592,682.00	26,190,570.00	44.19	517,392.00	25,159,803.00	48.63
Perú	523,483.00	17,359,083.00	33.16	348,352.00	11,289,008.00	32.41
Canada	385,670.00	9,799,269.00	25.41	366,834.00	9,897,755.00	26.98
Brazil	374,206.00	9,635,273.00	25.75	355,329.00	10,226,826.00	28.78
South Africa	355,892.00	9,150,878.00	25.71	358,265.00	9,634,318.00	26.89
Ireland	275,424.00	4,998,499.00	18.15	136,502.00	5,157,874.00	37.79
Netherlands	266,711.00	8,117,573.00	30.44	172,841.00	5,340,351.00	30.90
France	190,291.00	6,687,013.00	35.14	295,303.00	10,257,626.00	34.74

Fuente: UNITED NATIONS - Comtrade Database. Consultado 01.10.2019

Londoño, J [et al] (2012) manifiesta que:

Actualmente, se producen más de 120 millones de toneladas de cítricos en todo el mundo, de las cuales el 40% es utilizado por la agroindustria para extraer cerca de la mitad del peso del fruto como zumo. El resto, la piel, las semillas y la pulpa se convierten en residuos. .. En cuanto al **rendimiento** del aceite obtenido de una planta, éste varía de unas cuantas milésimas por ciento de peso vegetal hasta **0.1-3** %. (p.344).

En España, se han desarrollado procesos y tecnología para el procesamiento de Cítricos (naranja, limón, lima), que tienen como objetivo principal sacar el máximo provecho de la materia prima, se han construidos máquinas extractoras de jugo y recuperación de aceite de cítricos como la CITRUS Z-450 de Zumex , diseñada para exprimir todo tipo de cítricos con diámetros desde 55 mm-100 mm; cabezal exprimidor de alto rendimiento con mínimo contenido de aceite esencial, el cual se termina de recuperar en un proceso complementario.



Figura 01. Máquina exprimidora de limón Zumex Z450. Principio de aplastamiento rotatorio

Berk (2016) menciona en su obra los diferentes sistemas para la extracción de jugo y aceite y cítricos: “En todos los sistemas, la producción de jugo ocurre

imultáneamente con la recuperación del aceite esencial, y las cáscaras son un subproducto.” (p.134).

Uno de los sistemas para la extracción de aceite al que se refiere Berk, está patentado por **Fratelli Indelicato**, empresa italiana de vanguardia, un sistema de control automático, controla la velocidad de los transportadores, para garantizar la cantidad óptima de procesado. La fruta ingresa a la máquina para ser **raspado** por unos rodillos giratorios, que extraen todo el contenido de aceite de la fruta, al mismo tiempo que la fruta es roseada por agua para garantizar el arrastre del aceite hacia un tanque para luego separarlos por medio de una centrífuga.



Figura 02. Extractor de aceite Polycitrus M6 de Fratelli Indelicate.

Entre otras tecnologías según Berk (2016), se encuentra la extractora de jugo y aceite JBT; y la tecnología BOE de Brown International Corporation, que al igual que la tecnología Indelicate, funciona con principio de raspado para extraer el aceite de la cáscara de los cítricos (p142).

Khazaei (2008), sostiene en su artículo otra forma de extraer jugo sin cáscara: “La extracción con chorro de aire también se ha utilizado con éxito para extraer arilos de granada” (p.388).

NIVEL NACIONAL La industria de la exportación de aceite esencial de limón (AEL), fundamentalmente se concentra en la parte norte del país. Son contadas las empresas dedicadas a este rubro según se muestran en la Tabla N. 02, cuyo porcentaje de participación en el mercado se le puede apreciar en la figura N. 03. La producción comparada con la de otros países, no justifica el desarrollo de una industria de maquinaria para procesamiento de cítricos en las diferentes presentaciones, por lo que esta maquinaria no se fabrica en Perú. Los rendimientos para la obtención de productos y recuperación de subproductos están supeditados a la tecnología que se compra al exterior, pero se pueden referenciar en la Tabla N.03, a través de los comparativos 2017 y 2018.

Tabla 02. *Exportaciones de Aceite esencial de limón en Perú - 2018*

EMPRESA EXPORTADORA	PESO (kg)	VALOR VENTA (US\$)
Aceites Esenciales del Perú SAC	114,956.16	3,725,372.64
Limonos Piuranos SAC	94,055.04	3,048,032.16
Procesadora Frutícola SA	55,736.32	1,806,241.28
Agroindustrias AIB SA	48,769.28	1,580,461.12
Cítricos Peruanos SA	24,384.64	790,230.56
Global Citrus International SAC	6,967.04	225,780.16
Otros	3,483.52	112,890.08
Exportaciones Totales	348,352.00	11,289,008.00

Fuente: Ministerio de Comercio Exterior y Turismos - SIICEX

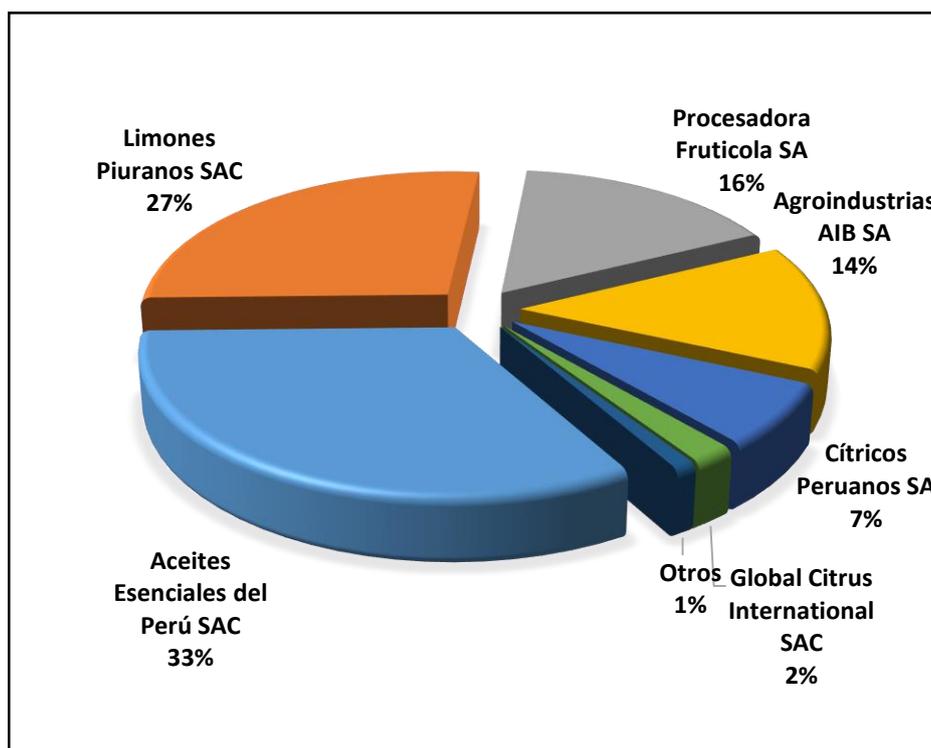


Figura 03. Principales empresas exportadoras en Perú de aceite esencial de limón

En la tabla N. 03 se puede observar que el grupo Agromar Industrial lidera la tabla de rendimientos con un 0.34 %, es decir que puede llegar a obtener hasta 3.4 Kg de AEL por cada 1,000 Kg de Materia prima (limón sutil). Es decir, Agromar tiende a lograr el rendimiento máximo estándar en la extracción de AEL obtenido en otros países del mundo.

Tabla 03. Rendimientos de AEL a nivel Perú, año 2017, 2018

EMPRESA EXPORTADORA	2017			2018			REND ACUM (%)
	AEL (kg)	MP (kg)	REND (%)	AEL (kg)	MP (kg)	REND (%)	
Aceites Esenciales del Perú SAC	102,639.43	36,404,216	0.342	114,956.16	39,155,503	0.356	0.34906
Cítricos Peruanos SA	21,772.00			24,384.64			
Limones Piuranos SAC	209,011.20	50,953,951	0.410	94,055.04	55,345,201	0.170	0.28511
Procesadora Fruticola SA	53,592.62	20,589,145	0.260	55,736.32	26,123,852	0.213	0.23404
Agroindustrias AIB SA	95,626.04	28,654,557	0.334	48,769.28	32,002,125	0.152	0.23805

Fuente: Ministerio de Comercio Exterior y Turismo – SIICEX- Información Acopio

Passaro (2012), manifiesta que:

Dado que los **rendimientos de extracción de aceites esenciales suelen ser muy bajos (0,1-0,4%)**, normalmente su extracción industrial está asociada con la

obtención de otros productos como puede ser la producción de cascara deshidratada como base en la obtención de pectinas (p.333).

De acuerdo al informe del limón del Ministerio de Agricultura y riego del Perú (2017):

La producción del limón creció a un ritmo de 1,3% anual entre 1997 y 2016. Es así que, en 1997 se produjeron 327 mil t (la mayor producción de los últimos 20 años) hasta que en el 2016 se alcanzó 270 mil T (p.3).

Piura, es la zona con mayor producción de acuerdo a las estadísticas, seguida de Lambayeque y Tumbes, por lo que existe un gran potencial de desarrollo de la industria cítrica en nuestra zona

Tabla 04. Resumen de producción de limón a nivel nacional 2016

Región	Producción (TM)	(%)
Piura	148,105	54.79
Lambayeque	51,540	19.06
Tumbes	29,832	11.04
Loreto	10,702	3.96
Ucayali	8,949	3.31
Amazonas	6,308	2.33
San Martín	4,647	1.72
Junín	3,237	1.20
Otros	6,988	2.59
TOTAL	270,308	100

Fuente: MINAGRI – DGESEP

De acuerdo al ciclo fenológico del limón son los meses de Enero, Febrero y Marzo en los que se tiene la mayor producción de limón en la zona de los valles de Piura, los que permiten una cosecha que se inicia desde el mes de diciembre y termina en el mes de mayo del siguiente año.

NIVEL LOCAL. El Grupo Agromar Industrial, está conformado por varias empresas entre las que destacan: Aceites Esenciales del Perú SAC, Cítricos Peruanos S.A. y Agromar Industrial S.A. ubicada en los valles de Sullana y Tambogrande; desde 1985 la empresa se dedicaba a través de Aceites Esenciales y Cítricos Peruanos a producir aceite esencial de limón (AEL) usando el método de destilación con arrastre de vapor.

En el año 2019 incursionó con una nueva línea para producir jugo de limón simple, jugo de limón concentrado, recuperación de Esencias de limón y cáscara en la sede de Cieneguillo, provincia de Sullana con una capacidad de procesamiento de 7000 Kg/h de limón sutil fábrica, de los que había planificado obtener (de acuerdo con datos estándares en otros países de la región) 35% de Jugo de limón simple, 0.30 % de aceite esencial cold pressed y 20% de cáscara que puede ser utilizado en el proceso de deshidratación para la recuperación de pectina. Sin embargo, los resultados del proceso real que se vienen obteniendo, muestran, que hay una desviación en los valores proyectados, se ha llegado a comprobar que el jugo concentrado al final de la línea de proceso sale con un gran porcentaje de aceite, mientras que otro porcentaje del mismo sale junto con la cáscara para ser recuperado por medio de la destilación; en estas condiciones el proceso tiene que mejorarse. En la tabla N.05 podemos observar el reporte de producción llevado a cabo el 12 de abril de 2019.

Tabla 05. Resultados de producción línea Cieneguillo – Piura 2019

Descripción	Cantidad (Kg)	Rend (%)
Materia Prima procesada	15,720	100.00
Jugo de Limón simple	4,800	30.53
Aceite Cold Pressed (ESL)	24.00	0.15
Aceite para destilado (AEL)	20.7	0.13
Cáscara para deshidratado	3,260	20.73
Residuos no recuperables	7,615.9	48.46

Fuente: Dpto. Producción sede Cieneguillo. Reporte 12.04.2019

Tabla 06. Resultados de producción línea Cieneguillo – Piura 2019

Descripción	Cantidad (Kg)	Rend (%)
Materia Prima procesada	285,700	100.00
Jugo de Limón concentrado	19,542	6.84
Aceite Cold Pressed (ESL)	84.00	0.029
Aceite para destilado (AEL)	531.00	0.18
Aceite recuperado en Aroma	32.50	0.011
Cáscara para deshidratado	81,920	28.67
Residuos no recuperables	183,590.50	64.25

Fuente: Dpto. Producción sede Cieneguillo. Reporte 18.06.2019

Tabla 07. Resultados de producción línea Cieneguillo – Piura 2019

Descripción	Cantidad (Kg)	Rend (%)
Materia Prima procesada	401,643	100.00
Jugo de Limón concentrado	26,230	6.53
Aceite Cold Pressed (ESL)	144.00	0.036
Aceite para destilado (AEL)	876.00	0.21
Aceite recuperado en Aroma	49.00	0.012
Cáscara para deshidratado	118,715	29.55
Residuos no recuperables	255,629	63.64

Fuente: Dpto. Producción sede Cieneguillo. Reporte 04.07.2019, última producción del año. Las tablas 5, 6 y 7 demuestran que existe un problema en la recuperación de AEL (Aceite Esencial de Limón) y ESL (Esencias de Limón), solo se recupera el 0.03 % de ESL que es el subproducto con mayor valor comercial, otro 0.19 % de AEL se recupera en el destilado con menos valor comercial, esta fracción de subproducto requiere continuar con un proceso posterior para ser recuperado como AEL, mientras que un 0.012 % de aceite se recupera en la zona de concentrado de jugo de limón, es decir el jugo que es el producto principal, va contaminado con aceite hasta su etapa final.

En la figura 04, se puede observar que en todos los procesos llevados a cabo en la planta de Jugo de limón de Agromar, los rendimientos totales de AEL y ESL, están por debajo del rendimiento Estándar (línea punteada azul), así mismo se encuentra por debajo del rendimiento estándar de Agromar en Obtención de AEL obtenido en un proceso común de destilación (línea verde).

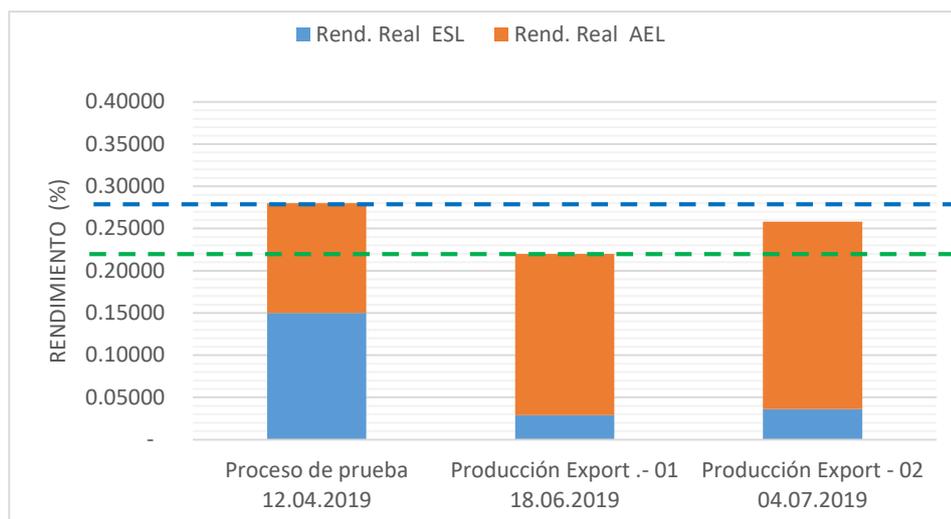


Figura 04. Resultados de extracción de aceites y esencias de limón recuperadas en el proceso de Jugo de Limón. Agromar Industrial.

Según la Figura N. 05 del apenas 0.24 % de lo recuperado, es decir (2.4 Kg de Esencias y Aceites / Tm de Limón sutil), sólo el 13% del total de aceite recuperado son esencias de limón es decir Aceite Cold Pressed, 82 % es Aceite Esencial, recuperado en forma de miscela y luego enviado a un proceso de destilado posterior agregando más costos para su recuperación, mientras que un 5% es arrastrado en el jugo hasta la etapa de concentración y recuperado en los vapores de la concentración en forma de aromas. Para poder recuperar el aceite en la corriente del producto principal, se requiere añadir energía y uso de maquinaria especial para tal fin como un recuperador de aromas. Bajo el esquema de producción de jugo y recuperación de subproductos, si sumamos las corrientes de ESL y AEL se llega a recuperar en total 0.249 % de la materia prima total procesada, es decir se recupera menos que 0.349 % de un proceso directo de destilación, 0.1 % se estaría yendo en las corrientes de desecho. Se requiere incrementar la recuperación de ESL, mientras el proceso lo permita, para agregar margen de contribución a la operación.

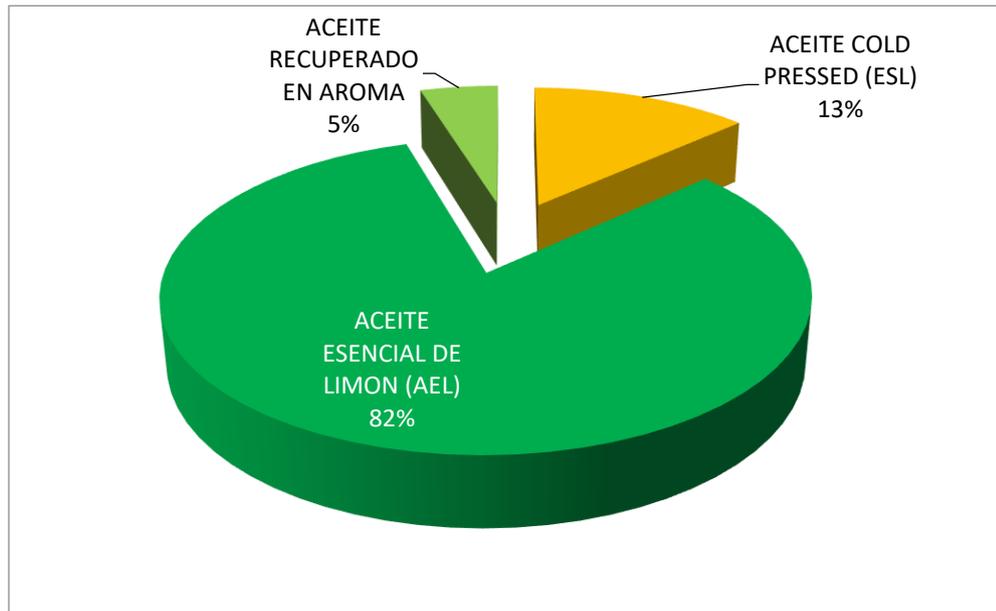


Figura 05. Aceites y Esencias de limón recuperadas en el proceso de Jugo de Limón. Agromar Industrial.

El problema en la recuperación se origina en la etapa de extracción de jugo. En esta planta se realiza con una copia de una máquina tipo Polycitrus Spellalbedo de Fratelli Indelicate, su principio de funcionamiento se basa en el corte del limón en dos mitades y un estrujamiento en la parte baja de la máquina, en donde se encuentra una rejilla de acero inoxidable que separa el jugo de los sólidos (pulpa) del limón. Este tipo de máquina presenta el inconveniente de no permitir una extracción separada de jugo y aceite esencial de limón cold pressed. Para poder evitar que el jugo se contamine con aceite, se regula la luz inferior de la rejilla de acero, para evitar que el limón se apriete demasiado, sin embargo, los resultados demuestran que el jugo lleva consigo un porcentaje de aceite en su contenido (Ver Tabla 06 y 07).

II. MARCO TEÓRICO

Dentro de los Trabajos Previos, que se han revisado y se han considerado como referencia para la realización de esta investigación figuran los siguientes:

El Kantar, Boussetta et al. (2017), en su artículo publicado para la revista científica *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. “Tratamiento de cítricos con pulsos de campo eléctrico: Mejora de extracción de zumo y polifenoles”:

Se busca mejorar el rendimiento de la extracción con un tratamiento previo a la fruta en base a la emisión de pulsos de campo eléctrico antes de realizar el proceso de extracción por medios físicos. Este artículo resulta muy interesante para nuestra investigación, ya que entrega una visión para mejorar el proceso de extracción en los cítricos (p.04).

Machado (2015), en su tesis doctoral “Tratamiento biológico de residuos semisólidos y efluentes líquidos de la industria del procesado del limón”:

Tiene como propósito estudiar un método biológico adecuado para disposición de los residuos producto del proceso industrial del limón. Realiza una memoria sobre la producción de limón en el Valle de Tucumán Argentina, revisa los procesos aplicables en el limón para obtención de productos exportables entre los que destaca la obtención de aceite esencial (p.26).

Robles (2013), en su tesis para la obtención de su título de ingeniero mecatrónico “Diseño de un sistema mecatrónico para la extracción de zumo de limones”

El estudio describe el procedimiento general de diseño de una máquina extractora de jugo y concluye con una máquina que es capaz de producir 330 mililitros por minuto, aunque no es una máquina de producción industrial, nos permitirá emplear la metodología y los parámetros encontrados para poder realizar los cálculos para nuestro diseño (p.04).

Loachamin (2010), en su proyecto previo para la obtención de su título de ingeniero mecánico “Diseño de una máquina extractora de naranja de 12 unidades por minuto de capacidad”, planteó:

Una máquina que utiliza el principio de aplastamiento rotatorio que corta, exprime y evacua los residuos por los ductos laterales, sin embargo, el jugo resulta con un porcentaje significativo de aceite. Este estudio nos servirá de base metodológica para poder diseñar nuestra propuesta de máquina exprimidora de tipo industrial (p.08).

Puente (2006), en su Tesis de grado para obtener el título de Ingeniero Agroindustrial denominada “Determinación de las características físicas y químicas del limón sutil (*Citrus aurantifolia* Swingle)”,

Como resultado de su investigación describe que la composición en peso del limón sutil: **37.07 % jugo de limón; 19.65 % cáscara; 41.46 residuos interiores y 1.81 % de semilla.** (p.53). Esta investigación nos servirá de base para los cálculos de balance de materia en nuestra máquina extractora (p.140).

Ollachica (2004), en su informe de suficiencia para la obtención de su título de ingeniero químico “Industrialización del zumo de naranja”:

En esta investigación se puede notar el énfasis que hace la autora en el proceso de extracción, mencionando las ventajas y desventajas que se tiene con extractores tipo FMC y tipo Brown. Entre las conclusiones a las que llega en el informe; es que la calidad de zumo de la fruta se ve afectada por la presencia de componentes amargos. Esta investigación nos da una orientación hacia el tipo de principio de funcionamiento que utilizaremos para diseñar nuestro extractor industrial (p.16).

A continuación, repasaremos los aspectos teóricos relacionadas al tema

El **diseño** se puede definir según **Sibanda, Mpofo, Trimble, Kanganga (2019)**: “El diseño de ingeniería es el proceso creativo de convertir ideas abstractas en representaciones físicas en forma de productos o sistemas.” (p.949).

Para **Ugural (2004)**: “El diseño es la formulación de un plan para satisfacer una necesidad particular, real o imaginaria” (p.04).

El Proceso de diseño en ingeniería, dependiendo del enfoque con que se trate, puede tratarse de metodologías o procesos diferentes para llegar a la solución del problema.

El **enfoque tradicional** planteado en su obra “**Mechanical Design**”, Childs (2004) menciona las siguientes fases en el diseño: “Reconocimiento de la necesidad, definición del problema, síntesis, Análisis, Optimización y evaluación.” (p.02);

El enfoque sistemático de Pahl et al (2007), plantea una metodología flexible, capaz de ser planificada, optimizada y verificada, dentro de un lazo iterativo que ayuda a responder al diseñador por las propiedades técnicas y económicas del producto.” (p. 10).

En nuestra investigación emplearemos el enfoque sistemático de Pahl, cuya metodología se puede resumir en la figura N.06.

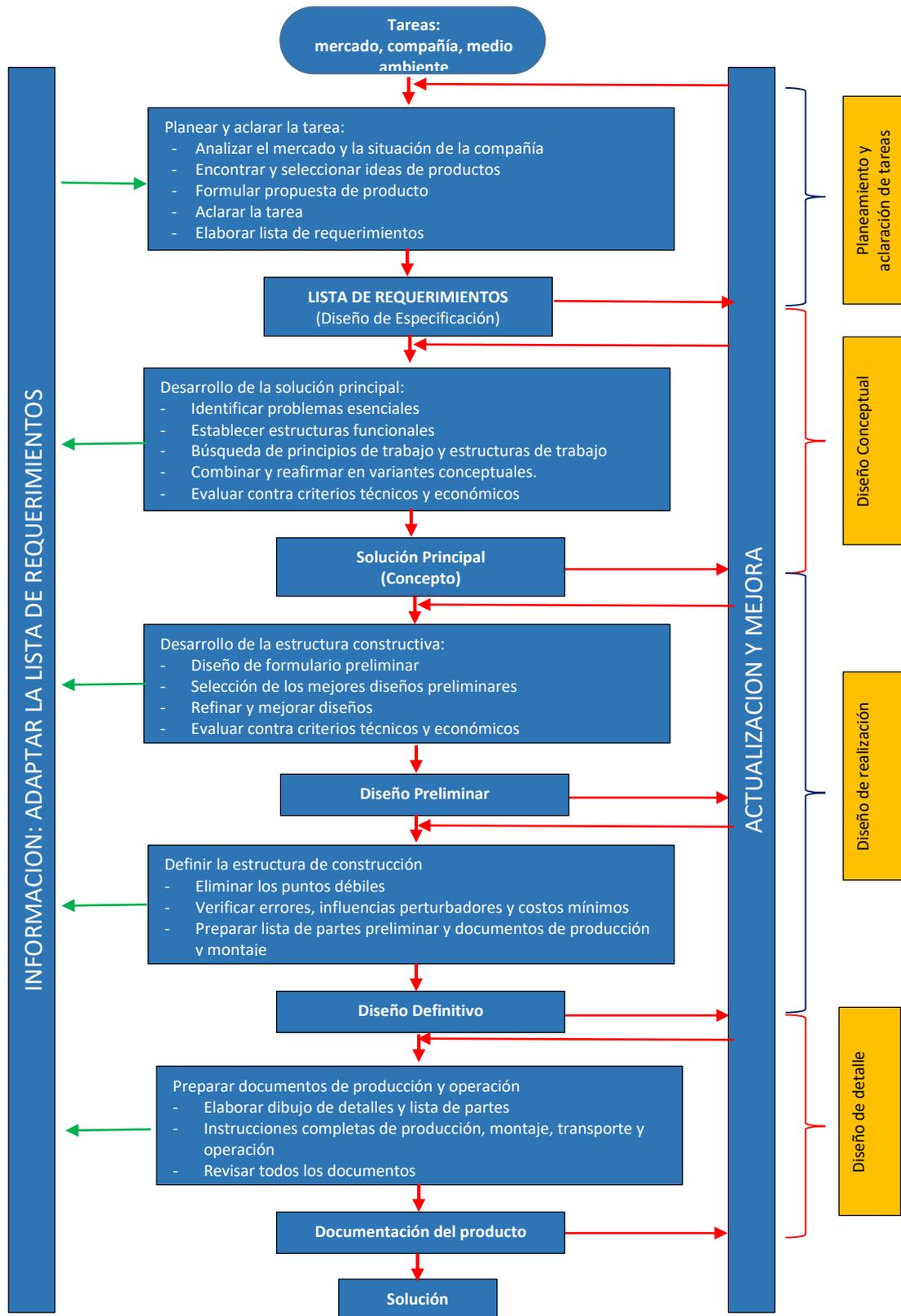


Figura 06. Esquema de pasos en el proceso de planeamiento y diseño.

Según lo menciona BADII, M (2016) en su artículo científico:

La energía ni se crea ni se destruye, solo se transforma de una forma a la otra (la primera ley de termodinámica) y en este proceso hay entropía (la segunda ley de termodinámica) o pérdida de energía, normalmente en forma de calor (p.141).

En base a este principio, utilizaremos la energía eléctrica para transformarla en energía mecánica, utilizando los conocimientos de la ingeniería y así poder solucionar el problema planteado.

En el análisis de elementos de máquinas, se utilizarán conceptos y teorías de fallas, para analizar los esfuerzos y límites de fatiga de cada uno de los elementos que intervendrán en el diseño de esta máquina.

Para Vigas.- Según Budynas (2012) “El esfuerzo en flexión varía linealmente con la distancia desde el eje neutro, “y”, y está dado por” (p.87).

Donde:

$$\sigma_x = -\frac{My}{I}$$

σ_x : Esfuerzo normal de flexión

M : Momento flector

I : Segundo momento del área (momento inercia del área)

y : Distancia desde plano neutro al punto donde se calcula el esfuerzo

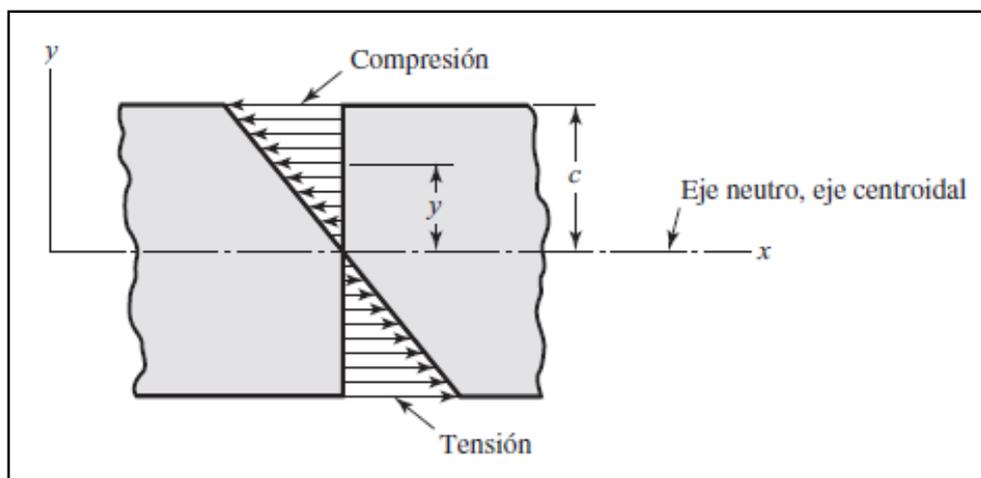


Figura 07. Fórmulas de esfuerzo cortante máximo debido a la flexión. Extraído de Budynas, Richard (2012). Diseño en ingeniería mecánica de Shigley-9na Edición.

Es importante señalar, que en escasas situaciones, las vigas están expuestas a esfuerzos normales de flexión puros, sino que se presentan combinados con los

esfuerzos cortantes de flexión. Según Budynas (2012), “el esfuerzo cortante, siempre viene acompañado de esfuerzo flexionante” (p.93).

La ecuación se puede expresa

$$\tau = \frac{VQ}{Ib}$$

Donde:

τ : Esfuerzo cortante en el elemento

V : Fuerza cortante resultante interna

I : Momento de inercia de toda la sección transversal con respecto al eje neutro

b : Anchura del área de la sección transversal del elemento

Q : = $y'A'$, donde A' es la parte superior o inferior del área de la sección transversal del elemento; y' es la distancia desde el eje neutro hasta el centroide de A'

Se puede determinar de manera práctica el esfuerzo cortante máximo, para varias secciones transversales de uso común, utilizando el resumen de la figura N. 08

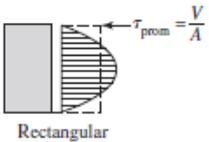
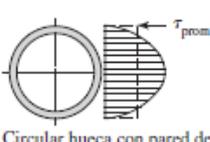
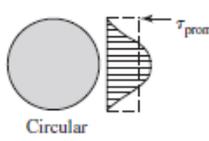
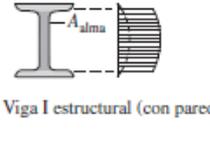
Forma de la viga	Fórmula	Forma de la viga	Fórmula
 <p>Rectangular</p>	$\tau_{\text{máx}} = \frac{3V}{2A}$	 <p>Circular hueca con pared delgada</p>	$\tau_{\text{máx}} = \frac{2V}{A}$
 <p>Circular</p>	$\tau_{\text{máx}} = \frac{4V}{3A}$	 <p>Viga I estructural (con pared delgada)</p>	$\tau_{\text{máx}} = \frac{V}{A_{\text{alma}}}$

Figura 08. Fórmulas de esfuerzo cortante máximo debido a la flexión. Extraído de Budynas, Richard (2012). Diseño en ingeniería mecánica de Shigley-9na Edición.

Para el diseño de ejes y flechas, debemos considerar que en toda máquina, los ejes son responsables de transmitir un PAR, Elanchezhian, Vijaya, Sripada, Muralidharan, Rekha (2018), indica: “Durante la operación, es necesario transmitir el par máximo de baja velocidad desarrollado por el motor” (p.1001).

Según Norton (2011), “La potencia transmitida a través de un eje se suele obtener a partir de principios básicos. En cualquier sistema giratorio, la potencia instantánea es el producto del torque por la velocidad angular” (p.415).

Dónde:

$$P = T\omega$$

P : es la potencia Transmitida
T : Torque
ω : velocidad angular en rad/unidad de tiempo.

Los criterios para el análisis de fallas por esfuerzos alternantes y medios, en ejes se agrupan de acuerdo a una teoría de falla. Las siguientes fórmulas mencionadas por Budynas (2012), permiten analizar la falla en ejes giratorios, redondos y sólidos, de acuerdo a la Teoría de Distorsión (ED): Según ED-Goodman.

$$\frac{1}{n} = \frac{16}{\pi d^3} \left\{ \frac{1}{S_e} \left[4(K_f M_a)^2 + 3(K_{fs} T_a)^2 \right]^{1/2} + \frac{1}{S_{ut}} \left[4(K_f M_m)^2 + 3(K_{fs} T_m)^2 \right]^{1/2} \right\}$$

$$d = \left(\frac{16n}{\pi} \left\{ \frac{1}{S_e} \left[4(K_f M_a)^2 + 3(K_{fs} T_a)^2 \right]^{1/2} + \frac{1}{S_{ut}} \left[4(K_f M_m)^2 + 3(K_{fs} T_m)^2 \right]^{1/2} \right\} \right)^{1/3}$$

Donde:

n : Factor de seguridad
d : diámetro de diseño de eje
Kf : Factor de condiciones adversas
Se : Límite de resistencia a la fatiga
Mm : Momento flexionante medio
Ma : Momento flexionante alternante
Ta : Par de torsión medio
Tm : Par de torsión alternante
Sut : Resistencia última
Sy : Resistencia a la fluencia

Factores que modifican el límite de resistencia a la fatiga

De acuerdo Flores, Martínez y Samá (2009):

La determinación de coeficientes de cargas dinámicas que posibiliten obtener, con un grado de exactitud aceptable, los estados tensionales y deformacionales en piezas y estructuras sometidas a cargas de impacto, presenta un alto nivel de dificultad, sobre todo cuando los elementos sometidos a la acción de dichas cargas presentan una configuración que no sea simple, siendo necesario implementar otros métodos que simplifiquen el cálculo y permitan abordar casos no contemplados como típicos (p.22).

En la presente investigación emplearemos los procedimientos típicos descritos por Budynas (2012)

$$S_e = K_a K_b K_c K_e K_d K_f S'_e$$

Donde:

$$S'_e = \begin{cases} 0.5S_{ut} & S_{ut} \leq 200\text{ksi} (1400\text{MPa}) \\ 100\text{ksi} & S_{ut} > 200\text{ksi} \\ 700\text{MPa} & S_{ut} > 1400\text{MPa} \end{cases}$$

K_a : factor de modificación por la condición superficial

K_b : factor de modificación por el tamaño

K_c : factor de modificación por la carga

K_d : factor de modificación por la temperatura

K_e : factor de confiabilidad

K_f : factor de modificación por efectos varios

S_{ut} : esfuerzo de rotura a tracción

S'_e : límite de resistencia a la fatiga en viga rotatoria

S_e : límite de resistencia a la fatiga en la ubicación crítica de una parte de máquina en la geometría y condición de uso

Factor de Concentración de esfuerzos por fatiga (K_F y K_{FS})

Norton (2011) menciona en su obra:

“La mayoría de las piezas de una máquina real tienen secciones transversales variables. Por ejemplo, a menudo los ejes se escalonan a diferentes diámetros para tomar en cuenta cojinetes, engranes, poleas, etcétera. Un eje puede tener ranuras para fijar anillos, o tener cilindros para llaves y orificios con la finalidad de fijar otras piezas. Los tornillos tienen rosca o cuerda y una cabeza más grande que su caña. Cualquiera de estos cambios en la geometría de la sección transversal provocará concentraciones de esfuerzos localizados” (p.116).

$$K_F = 1 + q(K_T - 1)$$

$$K_{FS} = 1 + q_{cortante}(K_{TS} - 1)$$

Donde:

K_T y K_{TS} : Factores de concentración de esfuerzo normal y cortante respectivamente

q : Sensibilidad de la muesca

Teoría de Fallas: De acuerdo a Areas y Vanegas (2004): “La teoría del esfuerzo máximo predice que la falla ocurre cuando algún esfuerzo a lo largo de uno de los ejes principales del material es igual o mayor que la resistencia (experimental) correspondiente” (p.115).

Para el caso de la Transmisión de potencia en la máquina consideraremos el análisis de engranajes, que son los elementos mecánicos que se utilizarán para impulsar el mecanismo principal de la misma (los rodillos rascadores), nos basaremos en las siguientes nomenclaturas y relaciones para el cálculo de la transmisión.

Martínez, Pedro y Arsola Nelson (2017), consideran que “La elección del tipo de acero está basada fundamentalmente en la aplicación tecnológica, condiciones de operación, ambiente y grado de responsabilidad de la transmisión bajo la cual es concebido dicho sistema de transmisión” (p.10).

Para el cálculo de la carga transmitida W_t en engranajes, conociendo la velocidad de giro y la potencia transmitida se utiliza la siguiente relación, según Budynas (2012):

$$W_t = \frac{33000 \times HP}{V_p}$$

Dónde:

$$HP = \frac{T \cdot n}{63000}$$

W_t : carga transmitida, lbf
 HP : potencia, hp
 V_p : velocidad de la línea de paso, pie/min
 T : torque en Lb-in
 n : revoluciones por minuto

$$V_p = \frac{\pi d n}{12}$$

En engranajes helicoidales, se requiere además calcular, la fuerza radial (W_r), la fuerza axial (W_a) y la fuerza normal (W), las cuales se calculan de acuerdo a las fórmulas presentadas por Budynas (2012):

$$W_r = W_t \tan \phi_t$$

Donde:

$$W_a = W_t \tan \phi$$

$$W = \frac{W_t}{\cos \phi_n \cos \phi}$$

W_r : carga transmitida radial, lbf
 W_a : carga transmitida axial, lbf
 W : carga transmitida normal. lbf

Budynas (2012), define la nomenclatura básica, utilizada para cálculo geométrico de los engranes, en la figura N. 09 se puede observar los elementos principales en un engranaje, y las relaciones que se emplean después de su identificación y determinación (p.650)

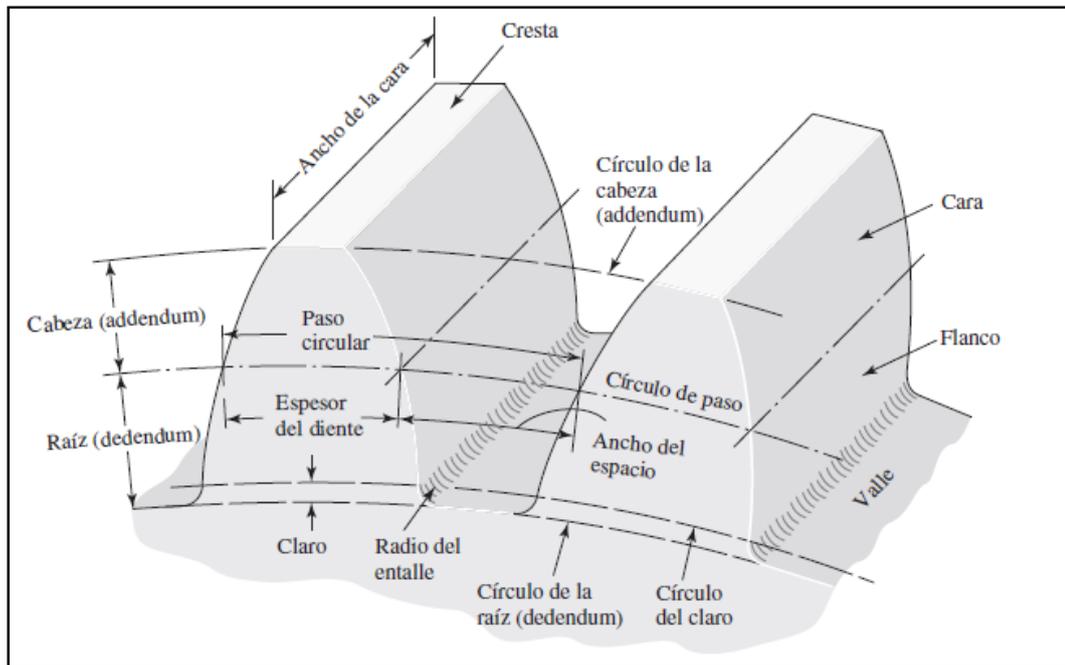


Figura 09. Nomenclatura de los dientes de un engrane recto. Extraído de Budynas, Richard (2012). Diseño en ingeniería mecánica de Shigley-9na Edición.

Las relaciones matemáticas que definen la geometría del engranaje son:

$$P = \frac{N}{d}$$

$$m = \frac{d}{N}$$

$$p = \frac{\pi d}{N} = \pi m$$

$$pP = \pi$$

Donde:

- | | | |
|----------|---|-------------------------------------|
| P | : | Paso diametral, dientes por pulgada |
| N | : | número de dientes |
| d | : | diámetro de paso, pulg. |
| m | : | módulo, mm |
| p | : | paso circular |

En engranes helicoidales, además deben cumplirse las siguientes relaciones

$$P_n = \frac{P_t}{\cos \psi}$$

Dónde:

- | | | |
|----------------------|---|--|
| P_n | : | Paso diametral normal, dientes por pulgada |
| P_t | : | Paso diametral tangencial |
| ψ | : | ángulo de hélice |

$$\phi_t = \tan^{-1} \left(\frac{\tan \phi_n}{\cos \psi} \right)$$

Donde:

- ϕ_t : ángulo de presión tangencial
- ϕ_n : ángulo de presión normal
- ψ : ángulo de hélice

La relación entre los radios y las velocidades angulares de dos engranajes acoplados se determina por:

$$\left| \frac{\omega_1}{\omega_2} \right| = \frac{r_2}{r_1}$$

La geometría del diente del engranaje se puede calcular por medio de las fórmulas propuestas por Norton (2011) descritas en la Tabla N.08

Tabla 08. Especificaciones de la AGMA para dientes de engranaje de profundidad total

Parámetro	Paso grueso (pd<20)	Paso fino (pd≥20)
Ángulo de presión ϕ	20° o 25°	20°
Adéndum a	1.000/Pd	1.000/Pd
Dedéndum b	1.250/Pd	1.250/Pd
Profundidad de trabajo	2.000/Pd	2.000/Pd
profundidad total	2.250/Pd	2.000/Pd + 0.002 in
Espesor circular del diente	1.571/Pd	1.571/Pd
Radio de filete: cremallera básica	0.300/Pd	no estandarizado
Holgura básica mínima	0.250/Pd	0.200/Pd + 0.002 in
Ancho mínimo del borde superior	0.250/Pd	no estandarizado
Holgura (dientes esmerilados o pulidos)	0.350/Pd	0.350/Pd + 0.002 in

Fuente: Diseño de máquinas. Un enfoque integrado Cuarta Edición. Norton (2011)

Budynas (2012), indica “El menor número de dientes en un piñón y engrane rectos, con relación de engranes uno a uno, que pueden existir sin interferencia es N_p . Este número de dientes de engranes rectos está dado por” (p.660).

$$N_p = \frac{2k}{3(\sin \phi)^2} \left(1 + \sqrt{1 + 3(\sin \phi)^2} \right)$$

Donde:

N_p	:	número de dientes del piñón
k	:	1 si son dientes de profundidad completa 0.8 si en dientes cortos
Φ	:	ángulo de presión

Aparte del diseño geométrico de los engranajes, es muy importante tomar en cuenta que estos elementos estarán sometidos a esfuerzos que pueden originar fallas, con la consecuente pérdida de función de la máquina.

Benites (1985) sostiene sobre las fallas superficiales en los dientes de los engranajes:

“Esta falla ocurre incluso con lubricación adecuada y una película ininterrumpida de aceite; es el resultado de esfuerzos repetidos en la superficie del engranaje hasta que se forma una grieta en la superficie o cerca de ella. La grieta aumenta progresivamente hasta que se rompe un pequeño pedazo del engranaje y deja una picadura en la superficie” (p.47).

Con base en la Norma ANSI/AGMA 2001-D04, Budynas (2012, p.717), resume:

Esfuerzo de flexión:

$$\sigma = \begin{cases} W^t K_o K_v K_s \frac{P_d K_m K_B}{F J} & (\text{unidades habituales en EEUU}) \\ W^t K_o K_v K_s \frac{1}{b m_t} \frac{K_H K_B}{Y_J} & (\text{unidades del SI}) \end{cases}$$

Donde:

W_t	:	carga tangencial transmitida, en lbf (N)
K_o	:	factor de sobrecarga
K_v	:	factor dinámico
K_s	:	factor de tamaño
P_d	:	paso diametral transversal
$F(b)$:	ancho de cara del elemento más angosto en pulg (mm)
$K_m (K_H)$:	factor de distribución de carga
K_B	:	factor de espesor del aro
$J (Y_J)$:	factor geométrico de resistencia a la flexión
m_t	:	módulo transversal métrico

Esfuerzo de contacto:

$$\sigma_c = C_p \sqrt{W_t K_o K_v K_s \frac{K_m C_f}{d_p F I}}$$

Donde:

- C_P : Coeficiente elástico en $(\text{lbf}/\text{in}^2)^{1/2}$
 C_f : Factor de condición superficial
 d_p : diámetro de paso de piñón en pulg
 I : factor geométrico de resistencia a la picadura

La ecuación de Esfuerzo de contacto permisible según Budynas (2012) se determina como:

$$\sigma_{c,perm} = \frac{S_c Z_N C_H}{S_H K_T K_R}$$

Donde:

- S_c : Esfuerzos de contacto permisible, lbf/in^2
 Z_N : Factor de vida de ciclos de esfuerzo
 C_H : Factor de relación de durezas de resistencia a la picadura
 K_T : Factor de Temperatura
 K_R : Factor de confiabilidad
 S_H : Factor de seguridad AGMA

Para el montaje de los elementos rotativos, se empleará **Cojinetes Armados o Chumaceras**, de acuerdo a Hori (2014): “Los factores que influyen en la selección del tipo de rodamiento son numerosos, por lo que no es posible establecer reglas rígidas para su selección” (p.320). Por otro lado es importante anotar que en un sistema rotacional, se pueden dar cargas tanto axiales como radiales, las cuales tienen que ser soportadas por los cojinetes en pleno movimiento. La selección de un rodamiento par esta aplicación estará en función a su capacidad de carga respecto a las cargas que deberán soportar, su duración y fiabilidad.

Hori (2014), propone las siguientes relaciones para el cálculo de selección:

$$L = \left(\frac{C}{P}\right)^p$$

Donde:

- L : Duración en millones de revoluciones
C : capacidad de carga dinámica
P : Carga dinámica equivalente
p : Exponente que depende del tipo de elementos rodante
3 para rodamientos de bolas
10/3 para rodamiento de rodillos

La duración expresada en horas de servicio, se expresa como:

$$L_h = \frac{10^6 L}{60 \cdot n}$$

- Lh : duración en horas de servicio
n : velocidad de rotación en RPM

$$P = XF_r + YF_a$$

Donde:

- P : carga dinámica equivalente
Fr : carga radial real
Fa : carga axial radial
X : Factor de carga radial
Y : Factor de carga axial

Para el cálculo de cargas estáticas

$$P_o = X_o F_r + Y_o F_a$$

Donde:

Po : carga estática equivalente

Fr : carga radial real

Fa : carga axial radial

Xo : Factor de carga radial

Yo : Factor de carga axial

$$C_o = S_o P_o$$

Donde:

Co : capacidad de carga estática equivalente

So : Factor de seguridad de esfuerzo estático

Los moto reductores son dispositivos electromecánicos que permiten reducir la velocidad de giro de ingreso a una velocidad específica requerida en la salida; generalmente están constituidos de dos elementos importantes, el motor eléctrico que es el responsable de generar la potencia y la caja reductora, que transforma la velocidad de giro en una diferente, de acuerdo a una relación de transmisión I , son mecánicamente más simples que otra combinación de motores y reductores para transmitir potencia a una máquina. En algunas aplicaciones un motor reductor no usa cople. Como resultado, la instalación es simplificada y su mantenimiento requerido es menor. No hay bandas para ser tensionadas o requerimientos de alineamientos de flechas, sin embargo el trabajo previo de alineamiento tiene que quedar bien establecido. Las cubiertas de algunas bandas se desgastan y requieren cambio; debido a que un motor reductor no incluye estas partes, el costo de instalación y mantenimiento será reducido que otros dispositivos para transmitir fuerza. Para nuestro trabajo de diseño, se considera el uso de motor reductor.

Existen varios modelos que varían en función a la aplicación que se requiere satisfacer



Figura 10. Moto reductores de velocidad uno de piñón y corona y otro de engranajes paralelos.

Para poder seleccionar un motor reductor

- a) Se calcula el factor de servicio teniendo en cuenta la tabla que se encuentra en el anexo 29, teniendo como datos previos el torque requerido, a la velocidad angular, tipo de carga a impulsar y horas/día, arranques por hora.
- b) Se calcula la potencia a la salida del reductor (P_2) en Kw.

$$P_2 = \frac{M_2 n_2}{955 \cdot \eta_{final}}$$

Donde:

- P_2 : Potencia a la salida del motor reductor en Kw
 M_2 : Torque requerido a la salida del eje en N.m
 n_2 : velocidad en rad/s
 η_{final} : eficiencia del motor

- c) Se procede con la selección del motor reductor de la tabla del fabricante que se encuentra en el anexo 29 que está a continuación de la tabla del factor de servicio.

Los acoplamientos, según Gonzales, Cardona y Monroy (2005): “Los acoplamientos son dispositivos que permiten la unión de dos elementos rotatorios (ejes o árboles) permitiendo así transmitir potencia entre ellos” (p.105). Estos elementos pueden ser rígidos o flexibles. Para nuestra aplicación se centra la atención en los acoplamientos flexibles, en especial el tipo F y el tipo Falk, ya que tienen la ventaja de amortiguar las cargas de impacto y transmiten la potencia con un pequeño desalineamiento.

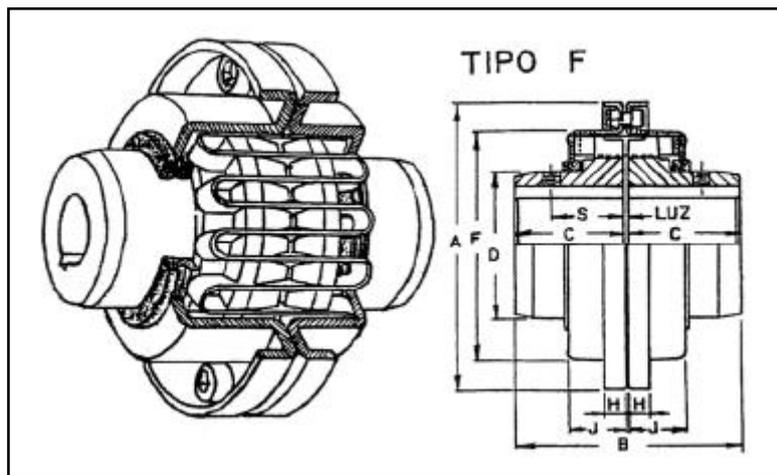


Figura 11. Acoplamiento flexible tipo F.

La selección de los acoplamientos se puede realizar directamente del catálogo del fabricante, sin embargo es necesario seguir las siguientes pautas:

- a) Se debe contar con la potencia suministrada en el sistema, además de las revoluciones de trabajo en RPM, así mismo es necesario tener en cuenta los diámetros nominales de los ejes para su acoplamiento, ya que los acoplamientos vienen con una determinada dimensión de masa.
- b) Se debe calcular el factor de servicio tanto para los acoplamientos tipo F y Falk, que para este trabajo los proporcionamos en el Anexo 30
- c) Calcular la Capacidad Básica requerida, para el caso de los acoplamientos tipo F

$$CB = HP \text{ transmitido} \times \text{Factor servicio} \times K$$

- d) Para seleccionar un acoplamiento tipo F, acudir a la tabla de tamaños del anexo 31 y escoger el tamaño que esté próximo por encima a CB calculado

e) Para un acoplamiento tipo Falk, partimos de la elección del factor de servicio de las tablas del anexo 31

f) Luego calcularemos la potencia equivalente a 100 RPM con la siguiente relación

$$P_{100} = \frac{100 \cdot P \cdot f_s}{n}$$

Donde:

P_{100} : Potencia equivalente en HP a 100 RPM

P : Potencia a transmitir en HP

f_s : Factor de servicio

n : velocidad de salida en RPM

g) Acudimos a la tabla que se encuentra en el anexo 32, para seleccionar el tamaño ideal para nuestra aplicación, teniendo en cuenta de seleccionar el que cumpla con las características mínimas de operación

Nuestra máquina utiliza como materia prima **Limón sutil** (*Citrus Aurantifolia* swingle), Al-Aamri, Pharm, Al-Abousi (2018) indica “Es una especie de cítricos muy popular y valorada en la región del Golfo debido a sus cualidades nutricionales, sabor distintivo y beneficios para la salud” (p.02). El jugo de limón y su aceite esencial también se usan comúnmente en las industrias de alimentos, medicamentos y cosméticos debido a sus propiedades medicinales y fragancias. Alcoser y Reyes (2012), indican en su informe que la clasificación taxonómica del limón responde a:

Reino	:	Vegetal
Sub Reino	:	Fanerógama
División	:	Traqueofitas
Sub División	:	Angiosperma
Clase	:	Dicotiledonea
Orden	:	Rutales (therembentales)
Sub Orden	:	Rutineae
Familia	:	Rutaceae
Sub Familia	:	Citroidea (Aurantoidea)

Género : Citrus
Especie : Citrus aurantifolia (Christmann) Swingle
Nombre común : Limón sutil

En la figura 12 se muestra la anatomía de un cítrico.

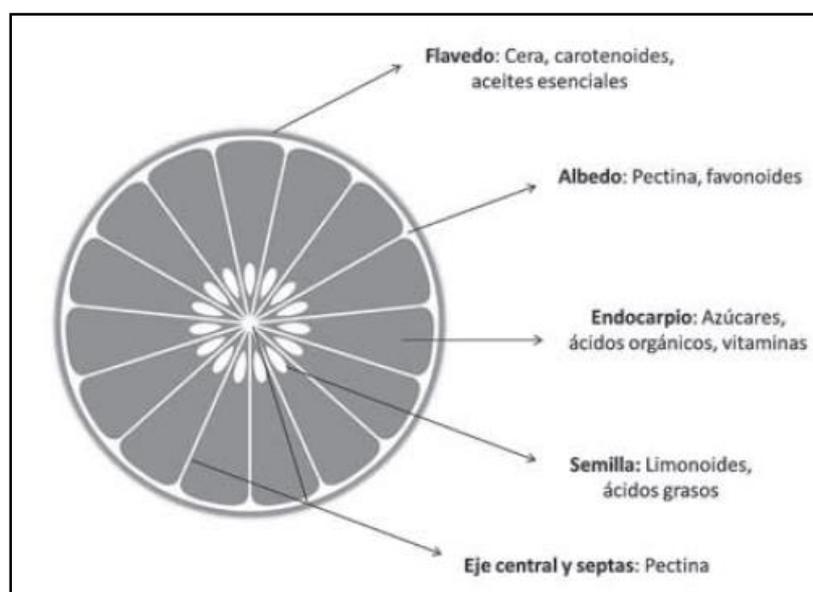


Figura 12. Estructura del limón (fruta cítrica)

Según Berk (2016):

“la estructura de un cítrico se puede dividir en Epicarpio, mesocarpio y endocarpio. En el **Flavedo** se encuentran los componentes químicos que conforman el aceite esencial como: los terpenos, cuyo componente principal es el limoneno; los aldehídos que proporcionan un olor característico; los alcoholes y los esterres que son responsables del olor característico. En el epicarpio también se encuentran los pigmentos que dan color como la clorofila y los carotenoides” (p.014).

Pássaro (2012), menciona:

“Dado que los rendimientos de extracción de aceites esenciales suelen ser muy bajo (**0,1-0,4%**), normalmente su extracción industrial está asociada con la obtención de otros productos como puede ser la producción de cáscara deshidratada como base en la obtención de pectinas” (p.333).

En el **Albedo**, se encuentran las sustancias pécticas o polisacáridos coloidales, también se encuentran los glicósidos o flavonoides, según Ordoñez, Reátegui y Villanueva (2018) “los polifenoles totales en cáscaras de cítricos como el limón puede variar entre 0.76 - 3.22 g AGE/ 100 g muestra” (p.119). Mientras que, en el

endocarpio, se puede encontrar el jugo, sólidos solubles totales y los azúcares, ácidos orgánicos y grasas.

En cuanto a la **Industrialización del limón**, con un detenido análisis podemos deducir que de este cítrico se puede obtener: **jugo o zumo de limón, aceite esencial de limón y sustancias pécticas**, las cuales son demandadas en los mercados internacionales como materias primas para la elaboración de otros productos con mayor valor agregado. En este trabajo de tesis, nos enfocaremos a los métodos de procesamiento que tienen por objetivo lograr la mayor extracción de los constituyentes del limón (extracción en paralelo); en este sentido no trataremos sobre la obtención de **aceite esencial de limón por el método de destilación**, ya que este proceso no requiere de una máquina de diseño especial de extracción simultánea de zumo (producto principal) y de aceite esencial más cáscara deshidratada (subproductos). El proceso básico para realizar una multi extracción de productos, sigue el siguiente proceso, de acuerdo a lo observado en la planta de procesamiento de Agromar industrial:

Recepción: La recepción es la operación en la cual, se recibe la materia prima (limón sutil), teniendo cuidado de recibir limón que sea apto para el proceso, desde color verde hasta color amarillo, sin síntomas de enfermedades como el ácaro y tamaño adecuado (36-46 mm). El limón es pesado y luego descargado en pozas acondicionadas para su fácil descarga y conservación temporal.

Almacenamiento en Silos de suministro: El limón almacenado en las pozas de almacenamiento temporal, es transportada a través de cangilones hacia unos silos de madera, donde será distribuido a las diferentes fajas de selección. Este almacenamiento es temporal su función es mantener el flujo constante de materia prima durante el proceso.

Preselección: En esta etapa el limón proveniente de los silos es transportado a través de rodillos de acero inoxidable, hacia una estación de operarios donde se realiza la extracción de limón con algún defecto que perjudique el producto como limón marrón o aplastado, limón con ácaro; asimismo se separa cualquier material que se haya mezclado con el limón como ramas, o cualquier material extraño. El limón deberá pasar a la fase de lavado.

Lavado: a través de un transportador de rodillos, el limón preseleccionado continúa su secuencia dentro de una tina especial de acero inoxidable, donde es sometido a una operación de lavado con una solución de agua más 50 ppm de cloro, para poder desprender cualquier material extraño impregnado y al mismo tiempo realizar la desinfección del producto.

Cepillado: En esta operación el limón previamente lavado, termina de realizar su proceso de limpieza con una operación de cepillado de la superficie y enjuague de la misma, la que garantiza eliminar cualquier material residual antes de ingresar a la etapa de extracción.

Selección: El limón pasa por una segunda selección o inspección después del cepillado, con la finalidad de separar el limón que no cumpla con las especificaciones requeridas de color, limpieza o impurezas no eliminadas en las etapas anteriores; asimismo esta operación permite realizar un ajuste o calibración de las máquinas previas a este proceso.

Extracción: Se puede decir que esta es la **operación fundamental del proceso** y en la que la tecnología puede permitir diferentes rendimientos y calidades que generan diferente valor agregado al producto terminado. Dependiendo de la tecnología el flujo del proceso puede variar desde aquí en adelante. Las tecnologías comúnmente que destacan:

- Tecnología Zumex (España)
- Tecnología Fratelli Indelicate (Italia)
- Tecnología JBT Food Tech (Italia)
- Tecnología Brown International Corporation (Estados Unidos)
- Tecnología Bertuzzi Food Processing (Italia)

Cada una de estas tecnologías brinda diferentes posibilidades de extracción de los cítricos; sin embargo todas llegan a extraer jugo y separan el aceite para un proceso de extracción secundario, aunque en diferentes proporciones.

Almacenamiento Temporal: El jugo de limón extraído con cualquier tecnología es almacenado en tanques con capacidades diseñadas de acuerdo a la capacidad de flujo de la planta; el jugo en esta operación es una combinación de jugo

propiamente dicho y pulpa producto del arrastre de la operación de extracción. De aquí se enviará a las operaciones de refinación o clarificación.

Refinado: El jugo es bombeado hacia una maquina refinadora (screw finisher), con la finalidad de separar jugo con bajo contenido de pulpa y la pulpa que se enviará para procesamiento de subproductos. Este proceso tiene que ser controlado en cuanto al contenido de pulpas, existen clientes que requieren porcentajes diferentes en contenido de pulpa. La pulpa que sale del finisher puede ser transportada al área de procesamiento de extracción de péctinas

Desairado: Con la finalidad de eliminar el oxígeno disuelto del jugo antes de entrar a la pasteurización, el jugo de limón es sometido a un vacío aproximadamente a 60°C de temperatura con la finalidad de eliminar el oxígeno disuelto y ocluido, evitando de esta manera su oxidación acelerada en el proceso de pasteurización. Un mal manejo de esta operación y nos llevaría a un oscurecimiento del producto, y con ello pérdida de las propiedades organolépticas del mismo.

Pasteurización y homogenización: En esta etapa del proceso, se realiza la eliminación de los microorganismos contenidos en el jugo. La pasteurización es un proceso térmico que se lleva a cabo en un intercambiador de calor de placas o de tubos a una temperatura de 65°C por un tiempo aproximado de 30-35 min, evitando quemarlo para no perder propiedades organolépticas. El jugo ingresa en un tanque homogenizador para luego ser bombeado hacia el intercambiador de placas por el lapso de tiempo requerido. A la salida del intercambiador el jugo calentado a 65 °C, es enviado nuevamente a un enfriamiento rápido a 5 °C con la finalidad de ocasionar un choque térmico, provocando de esta manera que los microorganismos terminen de ser eliminados. El jugo está listo ser almacenado o concentrarlo a un grado brix requerido por los clientes.

Concentración: Según Berk (2013):

“Los jugos de cítricos contienen agua entre un rango de 86–90%, la concentración implica la eliminación de una proporción considerable del contenido de agua. Las razones principales por las que se puede concentrar un jugo cítrico son: Reducción de la masa y el volumen, y mejorar la estabilidad del concentrado debido a la reducción de la actividad del agua” (p.188).

La concentración es un proceso de evaporación con intercambio de calor entre el jugo y una sustancia transportadora de calor, que en la mayoría de los casos es el vapor, se realiza en intercambiadores de calor tipo placa o tubos.

Almacenamiento: El jugo pasteurizado sin concentrar o concentrado finalmente es llevado a una cabina de envasado donde es almacenado en cilindros o depósitos adecuados para su almacenamiento final en cámaras de refrigeración a -18° donde será luego despachado a los puntos de destino final.

Después de la operación de extracción, se obtiene una corriente o emulsión aceitosa (agua más residuos con alto contenido de aceites esenciales) que se enviará al proceso siguiente:

Centrifugado: La emulsión aceitosa es separada en parte liviana (aceites) y parte pesada (agua y residuos de jugo) a través de una máquina centrífuga construida en acero inoxidable 304 que trabaja a altas velocidades.

Pulido: El aceite ya obtenido de la centrífuga se hace circular a través de una segunda centrífuga con la finalidad de extraer cualquier sólido en suspensión, para luego destinar el aceite al área de almacenamiento y envasado.

Almacenamiento: El aceite es recibido en cilindros o recipientes especiales para su posterior almacenamiento antes del despacho. Los residuos de pulpa recuperados así como la cáscara del limón son enviados a la línea de secado o deshidratado para ser empacados y almacenados para su posterior comercialización y obtención de pectinas.

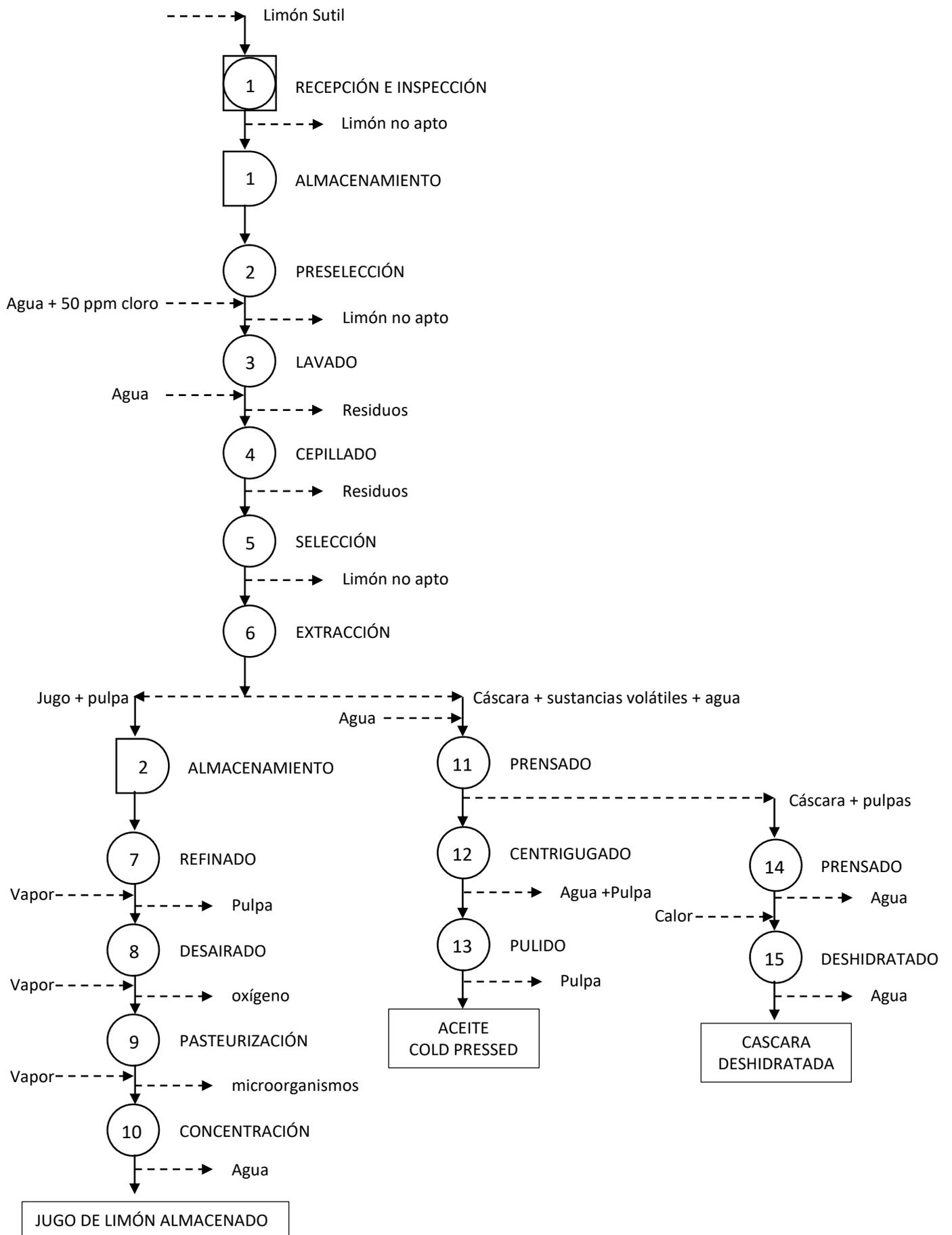
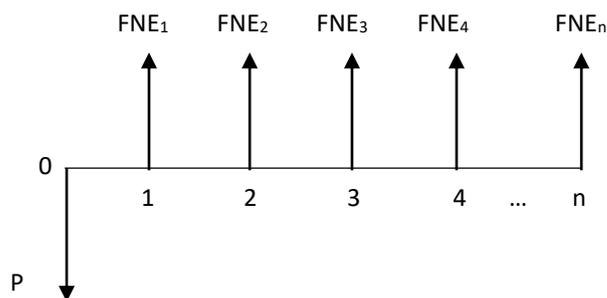


Figura 13. Diagrama de Proceso para la elaboración de Zumo de limón y derivados.
Elaboración propia

Para poder evaluar financieramente el proyecto, Meza (2013) menciona dos métodos de aceptación universal para la evaluación de proyectos de inversión: El Valor Presente Neto (**VPN**) y la Tasa Interna de Retorno (**TIR**) (p.134).

El **valor presente neto** es una cifra monetaria que resulta de comparar el valor presente de los ingresos con el valor presente de los egresos. En términos concretos, el valor presente neto es la diferencia de los ingresos y los egresos en pesos de la misma fecha.



Según Meza (2013), la ecuación del VPN, se plantea de la siguiente forma:

$$VPN_{(to)} = -P + \frac{FNE_1}{(1 + T.O)^1} + \frac{FNE_2}{(1 + T.O)^2} + \dots + \frac{FNE_n}{(1 + T.O)^n}$$

Dónde:

- VPN** : Valor Presente Neto
- P** : Inversión Inicial
- FNE_n** : Flujo Neto de Efectivo en el periodo n
- T.O** : Tasa de oportunidad anual
- n** : Periodo de evaluación en años

Asimismo Meza (2013, p.139), indica que el criterio para interpretar el VPN es como sigue: Si **VPN > 0** el proyecto se debe aceptar, para **VPN=0** es indistinto aceptar o no aceptar el proyecto, mientras que para **VPN<0** el proyecto se tiene que rechazar.

En cuanto a la Tasa Interna de Retorno Meza (2013) define: Es la máxima tasa de interés a la que un inversionista estaría dispuesto a pedir prestado dinero para financiar la totalidad del proyecto, pagando con los beneficios (flujos netos de efectivo) la totalidad del capital y de sus intereses, y sin perder un solo centavo.” (p. 147).

La fórmula para el cálculo de la TIR sería la siguiente según Meza (2013):

$$P = \frac{FNE_1}{(1 + TIR)^1} + \frac{FNE_2}{(1 + TIR)^2} + \dots + \frac{FNE_n}{(1 + TIR)^n}$$

Dónde:

P	:	Inversión Inicial
FNE_n	:	Flujo Neto de Efectivo en el periodo n
TIR	:	Tasa Interna de Retorno
n	:	Periodo de evaluación en años

Sobre el criterio que se tiene para interpretar la TIR Meza (2013, p.155), sostiene: Si **TIR > T.O** el proyecto se debe aceptar, para **TIR=T.O** es indistinto aceptar o no aceptar el proyecto, mientras que para **TIR<T.O** el proyecto se tiene que rechazar.

FORMULACIÓN DE PROBLEMA:

¿Se podrá evaluar el incremento en la recuperación de aceite cold pressed en Agromar Industrial si se diseña una máquina extractora de emulsión de aceite de limón?

JUSTIFICACIÓN:

En el aspecto **Tecnológico**, la máquina extractora de emulsión de aceite de limón, permitirá a la empresa Agromar Industrial, incrementar su producción de subproductos, ya que permitirá la obtención separada de jugo, aceite y materias prima para recuperación de sustancias pécticas. Al mismo tiempo el diseño de esta máquina permitirá el desarrollo tecnológico en la zona, ya que todos los elementos se podrían producir localmente, siguiendo las especificaciones técnicas del diseño. El rendimiento de producción planteado será igual a la obtenida por las tecnologías existentes en el mercado internacional.

En el aspecto **Económico**, el diseño de la máquina extractora de emulsión de aceite de limón, permitiría a Agromar Industrial reducir costos en re procesos para

la recuperación de subproductos mezclados. El desarrollo local de esta máquina permitirá ahorrar altos costos de mantenimiento por mano de obra calificada extranjera, y por derechos de importación de repuestos e insumos.

En lo **Social** el diseño de la máquina extractora de emulsión de aceite de limón, permitirá a nuestros técnicos elevar sus conocimientos en otros métodos de extracción de jugo, motivando en ellos una aptitud innovadora frente a la solución de problemas en sus quehaceres. La máquina extractora de emulsión de aceite de limón, permitirá generar empleo local en los talleres o maestranzas de la provincia de Sullana. Este diseño, serviría de guía para la concepción de cualquier otro tipo de máquina aplicando la metodología de diseño con enfoque sistemático propuesta por Pahl y Beitz.

Finalmente en el aspecto **Ambiental** la máquina extractora de emulsión de aceite de limón disminuirá el impacto ambiental debido al aprovechamiento simultáneo del mayor porcentaje de limón, evitando de esta manera, que se evacue al medio ambiente residuos con alto contenido de materia orgánica, que se traduce en malos olores y criaderos de vectores de enfermedades.

HIPÓTESIS:

Se puede evaluar el incremento en la recuperación de aceite cold pressed en Agromar Industrial con el diseño de una máquina extractora de emulsión de aceite de limón.

Se plantea los siguientes objetivos en la investigación

Objetivo General:

Diseñar una máquina extractora de emulsión de aceite de limón para evaluar el incremento en la recuperación de aceite cold pressed en Agromar Industrial.

Objetivos Específicos:

1. Determinar los parámetros de diseño para la máquina extractora de emulsión de aceite de limón, aplicando la metodología propuesta por Pahl y Beitz.

2. Dimensionar los elementos que constituyen la máquina extractora de emulsión de aceite de limón, teniendo en cuenta el factor de seguridad correspondiente.
3. Modelar cada uno de los elementos y realizar el ensamble total de la máquina extractora de emulsión de aceite de limón en un software de computadora.
4. Realizar la evaluación económica de la máquina extractora de emulsión de aceite de limón.

III. METODOLOGÍA

3.1 Tipo y diseño de investigación

Nuestra investigación es de naturaleza **Aplicada**, ya que utiliza los conocimientos existentes de la ciencia para solucionar un problema específico

DESCRIPTIVA, porque tiene por objetivo la observación y descripción de las características, especificaciones y modo de funcionamiento de las máquinas extractoras de emulsión de aceite de limón para poder plantear un diseño que cumpla con los requerimientos exigidos.

NO EXPERIMENTAL ya que no se manipulará de manera intencional ninguna de las variables que se están estudiando.

3.2 Variables y Operacionalización

Variable independiente

Diseño de máquina extractora de emulsión de aceite de limón

Variable dependiente

Incremento de recuperación de aceite cold pressed

OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

El proceso de Operacionalización, se presenta resumido en la siguiente tabla

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADOR	ESCALA DE MEDICIÓN	INSTRUMENTO
Variable Independiente: DISEÑO DE MÁQUINA EXTRACTORA DE EMULSIÓN DE ACEITE DE LIMÓN	<p>Es una actividad creativa que se encuentra en todos los ámbitos; dentro de la ingeniería, tiene carácter reflexivo, sistemático, metódico y organizado, con la finalidad de crear y/o modificar un producto o servicio, involucrando dimensiones que superan el aspecto estético o de forma, para satisfacer las necesidades no cubiertas de los seres humanos</p>	<p>Para medir operacionalmente esta variable, se empleará la resistencia a los esfuerzos de desgaste, su capacidad de proceso, mantenibilidad, impacto ambiental, potencia, facilidad de operación y la inocuidad para con el producto</p>	<p>Dimensiones geométricas</p> <p>Capacidad de proceso</p> <p>Potencia Eléctrica</p> <p>Residuos</p> <p>Esfuerzos a la fatiga</p>	<p>mm</p> <p>Tm/ h</p> <p>Hp</p> <p>Tm Residuo/ h</p> <p>KPa</p>	<p>Ficha Técnica de la máquina</p> <p>Ficha Técnica</p>
Variable Dependiente: INCREMENTO EN RECUPERACIÓN DE ACEITE COLD PRESSED	<p>Es la obtención o elaboración de bienes materiales y/o servicios mediante la aportación de recursos que pueden ser: humanos, tecnológicos y financieros</p>	<p>Operacionalmente se mide por la razón de producto terminado vs materia prima</p>	<p>productos terminados</p>	<p>Kg de ESL/ Tm de limón entero</p>	<p>Ficha Técnica de la máquina</p>

3.3 Población y muestra

No se aplica

3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad

TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

- a) Observación: Se realizará por medio de esta técnica la recolección de datos a través de la percepción para determinación de parámetros principal de diseño para la máquina extractora de emulsión de aceite, sirviendo de base para todos los cálculos del diseño mecánico.

INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

- a) REGISTRO DE PRUEBAS PARA LA DETERMINACIÓN DE FUERZA DE RASPADO: Este instrumento sirve de apoyo para la determinación de un parámetro fundamental para el diseño mecánico: El instrumento consta de un encabezado con el título del instrumento y los encabezados de las columnas (Item, Calibre, Peso, ángulo inicial, ángulo final, área raspada).

El cuerpo está constituido por los registros que se realizarán en campo

El Pie de página contiene la firma del tesista y la fecha de la prueba

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS se llevará a cabo mediante la firma de un experto en la materia o tema a trabajar el desarrollo.

La validez y confiabilidad de los instrumentos aplicados son asumidos de la metodología de los autores que se aplican para el diseño de máquinas, quienes dan las pautas necesarias para realizar la recolección de datos en campo, con la debida confiabilidad.

3.5 Procedimiento.- Para poder llevar a cabo el proceso de diseño de la máquina extractora de emulsión de aceite, se procederá de la siguiente manera:

- 1) Se realiza el diagnóstico de la situación actual, o problemática en la planta de Agromar, sede Cieneguillo, para poder obtener la mayor cantidad de información referente a las necesidades reales de solución.
- 2) Se construirá una máquina para determinar la fuerza de raspado mínima necesaria para extraer el flavedo de la superficie del limón.
- 3) Se realizarán las pruebas con diferentes calibres y calidades del limón.
- 4) Haciendo uso de lo investigado en campo y con ayuda de la metodología de diseño de Pahl y Beitz, se procederá a desarrollar la metodología para encontrar una propuesta de solución al problema, planteando un primer diseño de especificación.
- 5) Se procede a realizar el cálculo de cada uno de los elementos críticos que participan en la máquina extractora de emulsión de aceite, utilizando teorías de cálculo para el diseño de cada uno de estos elementos.
- 6) Los elementos ya calculados y dimensionados, serán representados en un programa de computadora para poder modelar un comportamiento dinámico de la misma.
- 7) Finalmente se procederá a evaluar económicamente el proyecto para verificar su factibilidad económica.
- 8) El proyecto culminará con la emisión de las respectivas conclusiones y recomendaciones para su implementación futura.

3.6 Método de análisis de datos

Los datos recolectados serán analizados a través de gráficos y cálculos de ingeniería manualmente y con asistencia de Excel, los cuales serán presentados organizadamente para determinar el cumplimiento de los requerimientos de diseño. Asimismo se empleará un software de diseño de ingeniería mecánica para analizar en modo de simulación el comportamiento de la máquina frente a los esfuerzos producido por cargas variables (datos obtenidos).

3.7 Aspectos éticos

El proyecto de investigación se desarrollara manteniendo la veracidad de los valores que se obtengan sin ser alterado, el investigador se compromete a respetar los reglamentos internos de la empresa donde desarrollará la investigación, asimismo se respetará la reserva de los participantes que no requieran ser involucrados y se registrará los aportes de sus autores, se consideran los criterios de ética del Colegio de Ingenieros del Perú que en su código tecnológico y de ética establece que los ingenieros serán objetivos y veraces en sus informes y declaración o testimonios profesionales, así como que se esforzaran por ampliar el conocimiento del publico acerca de la ingeniería y de los servicios a la sociedad.

IV. RESULTADOS

1. DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE DISEÑO PARA LA MÁQUINA EXTRACTORA DE ACEITE DE LIMÓN, APLICANDO LA METODOLOGÍA PROPUESTA POR PAHL Y BEITZ.

Planificación y aclaración de la tarea de diseño

Análisis de la situación. El origen que se ha identificado como causa fundamental del bajo rendimiento en la recuperación de Esencias de Limón (ESL), es la forma de extraer el producto principal (Jugo de Limón) en una sola máquina, como la que se muestra en la figura N. 14.



Figura 14. Máquina extractora de jugo de limón tipo polycitrus y detalle de rodillos estrujadores de la máquina. Cortesía de Agromar Industrial S.A.

Este tipo de extracción no contempla el hecho que el aceite o esencias se encuentra en la parte exterior del limón en una capa de pocas micras de espesor, a la mínima fuerza de aplastamiento las glándulas de aceite son reventadas y arrastradas junto con la corriente de jugo. Aun así, si se regulase los rodillos, se sacrificaría rendimiento de jugo de limón. En conclusión, esta máquina existente en Agromar, debería servir para poder exprimir jugo de limón, previa raspado del flavedo (extracción de emulsión de aceite).

Otra consideración muy importante es que el jugo (producto principal) al arrastrar el aceite, el cual al no separarse por completo en las centrífugas, se corre el riesgo de amargar el producto en su fase final, de acuerdo a Zhang, J., Tan, L., Zhang, Y.-Z., Zheng, G.-C., Xia, Z.-N., Wang, C.-Z., Yuan, C.-S. (2018): “la limonina es el principal componente amargo del limonoide que causa amargura tardía” (p.05), por lo que la máquina actual no es la adecuada por sí sola para la extracción de jugo de limón, mientras que Cerutti (2004), manifiesta:

“La mayor producción de aceite esencial de limón se realiza por prensado en frío; de menor calidad y más económicos, son los destilados de aceites esenciales usados para la producción de aceites libres de terpenos. Una pequeña parte de aceite de jugo de limón es producido durante la concentración del jugo” (p.149).

La competencia más cercana de Agromar, utiliza este mismo proceso, pero para desamargar el jugo utiliza debitterizadores costosos, que incrementan el costo del jugo y reducen el rendimiento para la recuperación de Esencias del Limón (ESL).

Formulación de estrategias. Nuestra investigación tiene como estrategia buscar información sobre los procesos que se llevan a cabo en los cítricos, teniendo cuidado que el limón este inmerso en estos procesos, ya que es la razón fundamental de nuestro estudio. Después de haber realizado un análisis de estos, los procesos y maquinarias que se relacionan con la extracción de aceites en cítricos se han configurado en una matriz de productos – mercado, para visualizar la oportunidad de idea de producto que desarrollaremos en esta investigación.

Las tres tecnologías resaltadas en la tabla N. 09, tienen similar principio de funcionamiento y están orientadas a la recuperación inicial de la esencias del cítrico, por lo que nos da una idea de la tecnología que tenemos que desarrollar. A pesar de existir en el mercado, hay dos inconvenientes que la alejan del alcance de nuestra solución rápida de compra.

Berk (2016) manifiesta: “No se venden, sino que se alquilan a una tasa definida por el volumen de jugo producido” (p.142). Con el volumen de producción que Agromar tiene, no se justifica tener que pagar gastos de instalación y alquiler estacional.

Por otro lado, las imitaciones que se venden, son costosas incluyendo los gastos de instalación, con el riesgo de mermar el rendimiento y alargar el tiempo de puesta en marcha que es limitado.

Tabla 09. Matriz de producto - mercado

		Aplicaciones					OBSERVACIONES
		Jugo de Naranja	Aceite en frio Naranja	Pectinas	Jugo de Limón	Aceites y Esencias Limón	
Productos existentes	<i>Extractor de copas FMC</i>	X	X				Excelente en recuperación separada, pero no se aplica a limón por tamaño irregular de fruta limón
	<i>Extractora Zumex</i>	X			X		Su operación de presión individual, pone en riesgo la contaminación del jugo de limón con aceite
	<i>Extractor BOE Modular Oil Recovery</i>		X			X	Adecuada para raspar cualquier cítrico
	<i>Extractor de Aceite Polycitrus M6</i>		X			X	Similar al sistema BOE
	<i>Extractor de Aceite Polycitrus M6</i>		X			X	Adecuada para raspar cualquier cítrico
	<i>Citroevolution 3 de Bertuzzi</i>	X	X		X	X	Excelente en recuperación separada, pero no se aplica a limón por tamaño irregular de fruta limón
	<i>Birillatrice-Sfumatrice</i>	X	X		X	X	Puede extraer jugo y el residuo para extracción de aceite, pero existe arrastre de aceite al producto
productos nuevos	<i>Pelador de cítricos</i>	X	X	X	X	X	adecuado, pero requeriría de gran espacio para procesar cantidades industriales

Fuente: Elaboración propia.

Encontrando ideas de producto. Nos centraremos a estudiar las características de los sistemas más adecuados para la solución de nuestro problema, teniendo en cuenta que nuestra solución está orientada a recuperar emulsión de aceite que tendría mayor valor comercial en el mercado (Aceite Cold Pressed).

Análisis de Funciones: En la tabla N. 10 veremos, la función que nos falta completar, para satisfacer las necesidades del cliente (Planta de Jugo de Limón)

Tabla 10. *Análisis de Funciones*

Función Requerida por el Cliente	Función que cumplimos	Función complementaria
Extracción de jugo, esencias de aceite y cáscara de limón por separado	Extracción de jugo y cáscara de limón	Extracción de esencias de limón

Fuente: Elaboración propia

En base a esa información del análisis de funciones, analizaremos las bondades de los sistemas más adecuados de la tabla N. 09 para dar solución a esta función complementaria.

Extractor de Aceite BOE

Principio de Funcionamiento: Consiste en rodillos giratorios que llevan sobre su superficie puntas afiladas de acero inoxidable. El eje de los rodillos es perpendicular al flujo de la fruta. Las puntas afiladas perforan ligeramente la fruta, rompiendo las glándulas de aceite y liberando el mismo, el cual es arrastrado por una lluvia de agua.

Longitud promedio de máquina: 7-10 m.

Control de avance de fruta: Por paletas mecanizadas

Fuerza motriz: Motores eléctricos

Producto terminado: limón raspado para ser lavado y exprimido para jugo

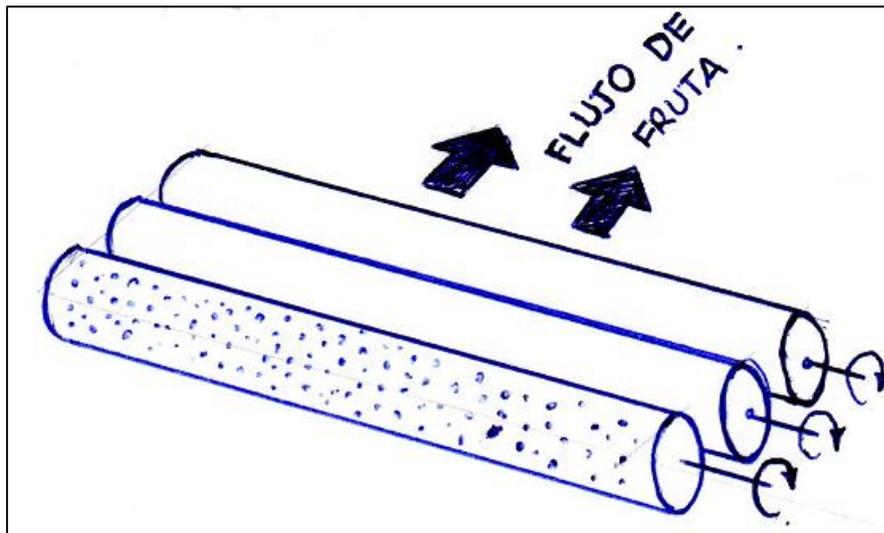


Figura 15. Bosquejo principio de funcionamiento Extractor de Aceite BOE- Brown International

Modular Oil Recovery Extractor (JBT)

Principio de Funcionamiento: Un conjunto de discos dentados es encajado en un eje que completa un cilindro, los conjuntos de cilindros son movidos por un mecanismo. Al pasar entre los cilindros la cáscara de la fruta es escareada, liberando el aceite. Adicional cada cilindro efectúa un movimiento alternativo sobre su propio eje para garantizar el raspado total de la fruta.

Longitud promedio de máquina: 7-10 m.

Control de avance de fruta: Por paletas mecanizadas + avance por empuje de la fruta

Fuerza motriz: Motores eléctricos

Producto terminado: limón raspado para ser lavado y exprimido para jugo

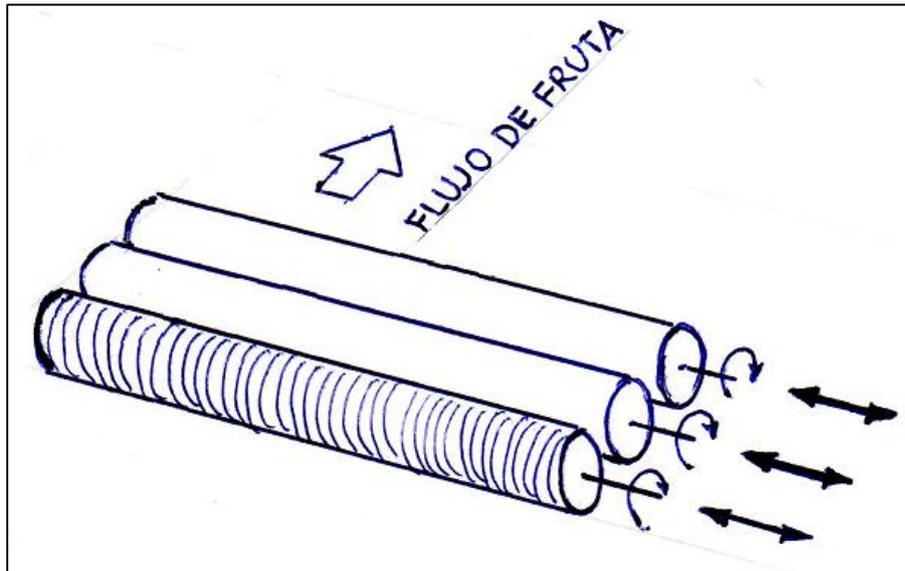


Figura 16. Bosquejo principio de funcionamiento Modular Oil Recovery Extractor (JBT)

Extractor Polycitrus M6 (Fratelli Indelicato)

Principio de Funcionamiento: Consta de cilindros con puntas afiladas dispuestos en paralelo, pero que tienen rotación contraria, unas paletas empujan la fruta para lograr su avance, mientras que unas toberas inyectan agua para arrastrar el aceite en forma de emulsión.

Longitud promedio de máquina: 5 - 7 m.

Control de avance de fruta: Por paletas mecanizadas

Fuerza motriz: Motores eléctricos

Producto terminado: limón raspado para ser lavado y exprimido para jugo

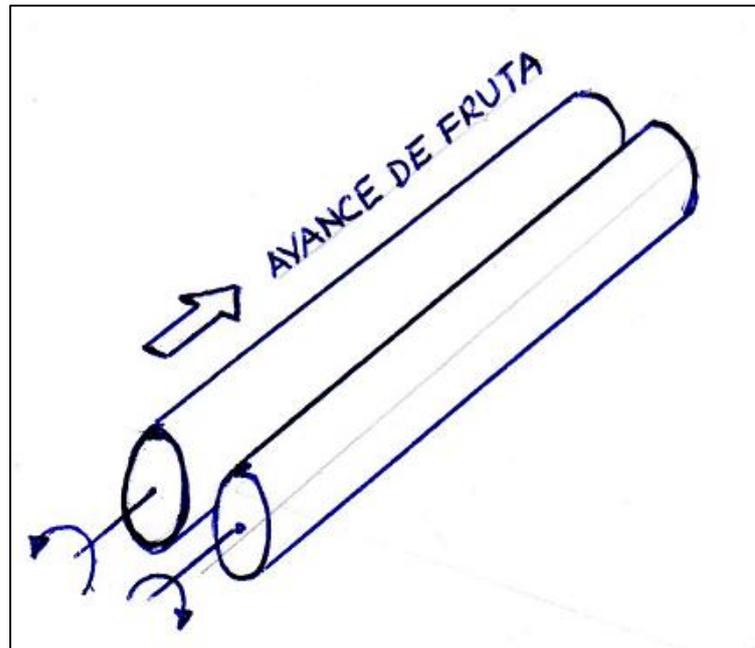


Figura 17. Bosquejo principio de funcionamiento Extractor Polycitrus M6 Fratteli Indelicato

Selección de ideas de producto. A continuación aplicaremos las técnicas necesarias para poder seleccionar las ideas de productos que nos llevarán a la solución del problema.

La evaluación de criterios se hará bajo los siguientes objetivos que se persiguen de la máquina:

Objetivos de la empresa

- Construido de acuerdo a la normativa sanitaria
- Producción simple
- Costo de construcción \leq US \$ 35,000
- Menor longitud de máquina para acoplamiento en sala
- Ventajas funcionales para los usuarios y mantenimiento

Fortalezas de la empresa

- Factibilidad para la provisión de materiales
- Factibilidad de servicios de maquinado en la zona
- Sistema de energización en AC 440 V

Impacto en la seguridad, salud y medio ambiente

- Bajo riesgo de atrapamiento o corte
- Bajo consumo de agua potable
- Bajo nivel de ruido

Se utilizará la siguiente escala de valores para titular los criterios de evaluación

Tabla 11. *Criterios de evaluación de propuestas Escala de Valores*

Puntos	Significado
0	solución absolutamente inútil
1	solución muy inadecuada
2	solución débil
3	solución tolerable
4	solución adecuada
5	solución satisfactoria
6	buena solución con pocos inconvenientes
7	buena solución
8	muy buena solución
9	solución que excede el requisito
10	solución ideal

Fuente: Engineering Design – a systematic approach. G Pahl and W Beitz

Tabla 12. Cuadro de Evaluación de Alternativas de solución

CRITERIO DE EVALUACIÓN	Ponderación			Extractor de Aceite BOE		Modular Oil Recovery		Extractor Polycitrus M6	
				Calificación	Valor Ponderado	Calificación	Valor Ponderado	Calificación	Valor Ponderado
Objetivos de la empresa	50								
Construido de acuerdo a la normativa sanitaria		25	0.125	7	0.875	7	0.875	7	0.875
Producción simple		25	0.125	4	0.500	2	0.250	6	0.750
Costo de construcción <= US \$ 35,000		20	0.100	6	0.600	4	0.400	7	0.700
Menor longitud de maquina para acoplamiento en sala		20	0.100	5	0.500	5	0.500	6	0.600
Ventajas funcionales para los usuarios y mantenimiento		10	0.050	7	0.350	5	0.250	7	0.350
Fortalezas de la empresa	30				-		-		-
Factibilidad para la provisión de materiales		50	0.150	7	1.050	5	0.750	7	1.050
Factibilidad de servicios de maquinado en la zona		30	0.090	6	0.540	5	0.450	6	0.540
Sistema de energización en AC 440 V		20	0.060	7	0.420	7	0.420	7	0.420
Impacto en el seguridad, salud y medio ambiente	20				-		-		-
Bajo riesgo de atrapamiento o corte		50	0.100	3	0.300	2	0.200	3	0.300
Bajo consumo de agua potable		30	0.060	3	0.180	3	0.180	3	0.180
Bajo nivel de ruido		20	0.040	4	0.160	3	0.120	4	0.160
VALORES TOTALES				59.000	5.475	48.000	4.395	63.000	5.925

Fuente: Elaboración propia

De la tabla N.12, se tomará como primera alternativa de diseño el principio de funcionamiento de una máquina Polycitrus M6 y como segunda alternativa el principio de funcionamiento de una Extractora BOE.

Para concluir la etapa de planificación y clarificación de la tarea, se procederá a diagramar la lista de requerimientos de producto, lo que marcaría el fin de la etapa de **DISEÑO DE ESPECIFICACIÓN**. Se tomará en cuenta las normas que rigen el sector alimentario.

1) Material: La máquina será construida íntegramente en acero 316L, cuyo uso está normado por la FDA (Food and Drug Administration), según Avila, Zhang, y Fryer (2019): “El acero inoxidable 304 y 316 son los materiales más utilizados para las superficies en contacto con alimentos debido a sus propiedades intrínsecas, como la neutralidad, la limpieza y la durabilidad” (p.116).

Para Schöbitz, Ciampi y Nahuelquin (2009):

“La Listeriosis, es una enfermedad de origen alimentario de carácter grave, pero de baja frecuencia que causa la muerte hasta en un 30% de los casos...Los biofilm son microcolonias constituidas por microorganismos inmersos en una matriz de exopolisacáridos, secretados por ellos mismos y que se encuentran firmemente anclados a la superficie sobre la cual se formaron...Al comparar biofilm desarrollados sobre goma o polietileno con los desarrollados sobre acero inoxidable también se encontró que había mayor dificultad para su eliminación o para la destrucción del patógeno sobre la goma y el polietileno que sobre el acero inoxidable al utilizar higienizantes en base a cloro o yodo” (p.04).

2) Geometría: Debido a las restricciones de espacio en planta por equipos existentes, se requiere que el equipo tenga las siguientes medidas máximas: 7 m de largo, 3.5 m ancho y 2.0 m de alto, el flujo del producto debe direccionarse a lo largo.

3) Principio de extracción: Por raspado centrífugo con rodillos de puntas afiladas con velocidad regulable desde 50 rpm – 500 rpm, con inyección de agua para arrastre de aceite 30 l/min, debe incluir una tina de colección de emulsión aceitosa y sistema de evacuación automática hacia los tanques de almacenamiento pulmón, sistema de avance a través de paletas.

- 4) Tipo de transmisión: entre rodillos paralelos con piñones, entre motor eléctrico y rodillo con fajas.
- 5) Energía Eléctrica: La existente en la red de la planta 440 V 3Ø
- 6) Operación y control: desde tablero de mando con selectores y botones.
- 7) Mantenimiento: De fácil desmontaje, lubricación y limpieza.
- 8) Herramienta de trabajo: Cuchillas de fácil afilado o construcción
- 9) Seguridad: Operación segura
- 10) Montaje: Se debe adecuar a la línea de proceso, auto soportado con patas regulables para adecuarse a los demás equipos.
- 11) Costos: Debe optimizarse todos los componentes para generar lo costos más bajos posibles, tener en cuenta un presupuesto de US\$ 35,000.

Análisis de la estructura funcional para el extractor de emulsión de aceite de limón

Función general. Extracción de emulsión de aceite de limón

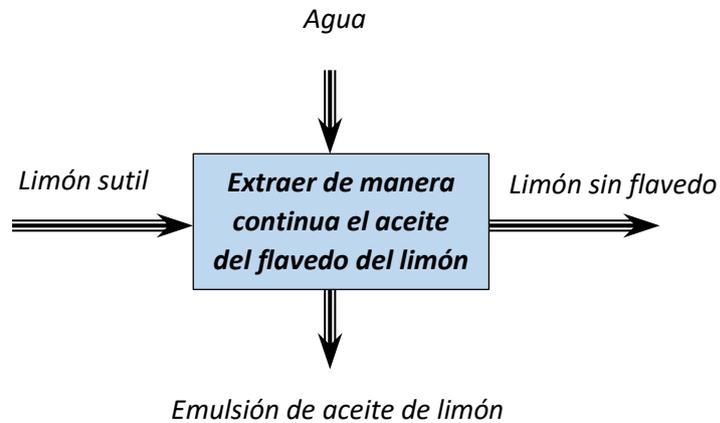


Figura 18. Estructura de la función general del extractor de emulsión de aceite de limón

Sub-Función: Raspado o extracción

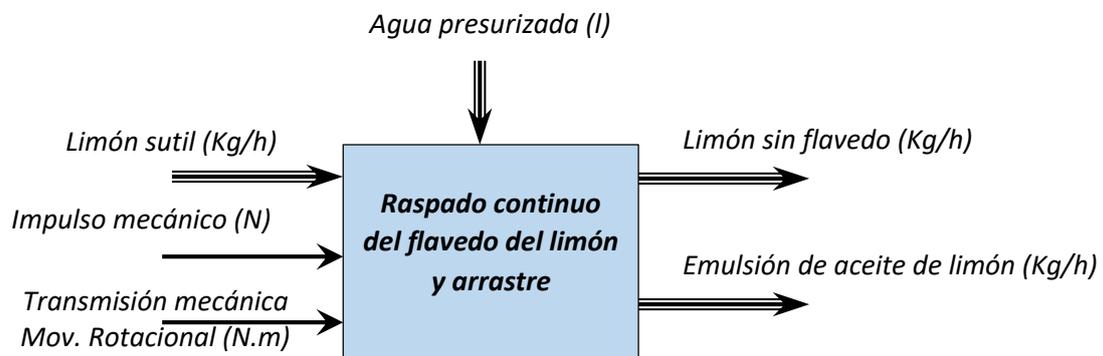


Figura 19. Estructura de la Sub función raspado continuo del flavelo de limón

Sub-Función: Transmisión mecánica de movimiento rotacional

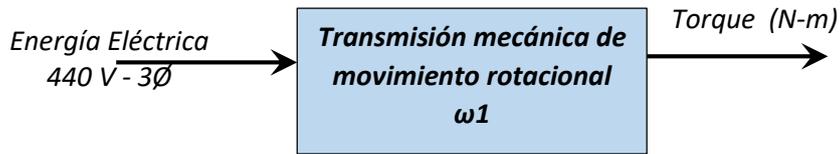


Figura 20. Estructura de la Sub función para transmisión de torque

Sub-Función: Generación de movimiento lineal por los rodillos

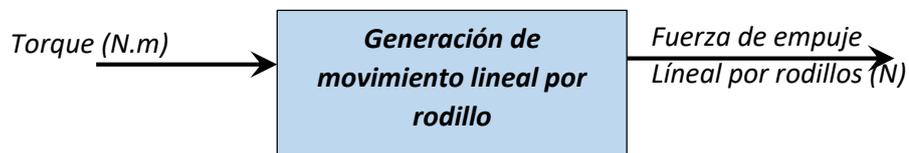


Figura 21. Estructura de la Sub función para generar fuerza de empuje lineal

Sub-Función: Inyección de agua presurizada para arrastre de aceite

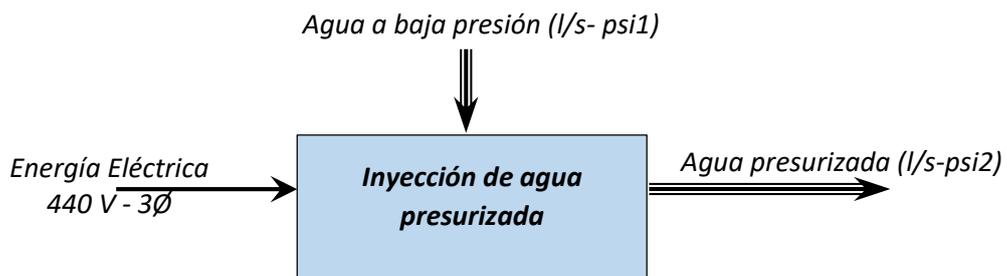


Figura 22. Estructura de la Sub función inyección de agua presurizada para arrastre.

Sub-Función: Almacenamiento de emulsión oleosa y evacuación a tanques pulmón

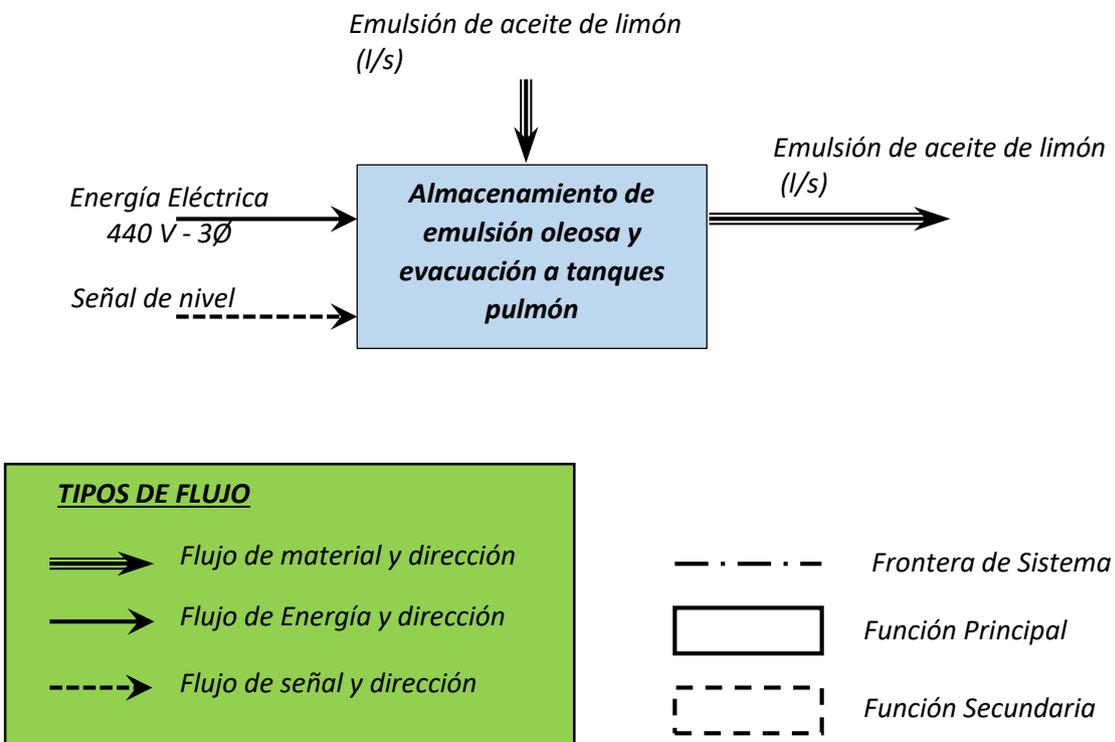


Figura 23. Estructura de la Sub función inyección de agua presurizada para arrastre.

Interrelación funcional para el extractor de emulsión de aceite de limón

A continuación, se muestra el diagrama de interrelación entre todas las funciones consideradas para poder cumplir con la función general. En la figura N. 24 se muestra la interrelación en un solo diagrama.

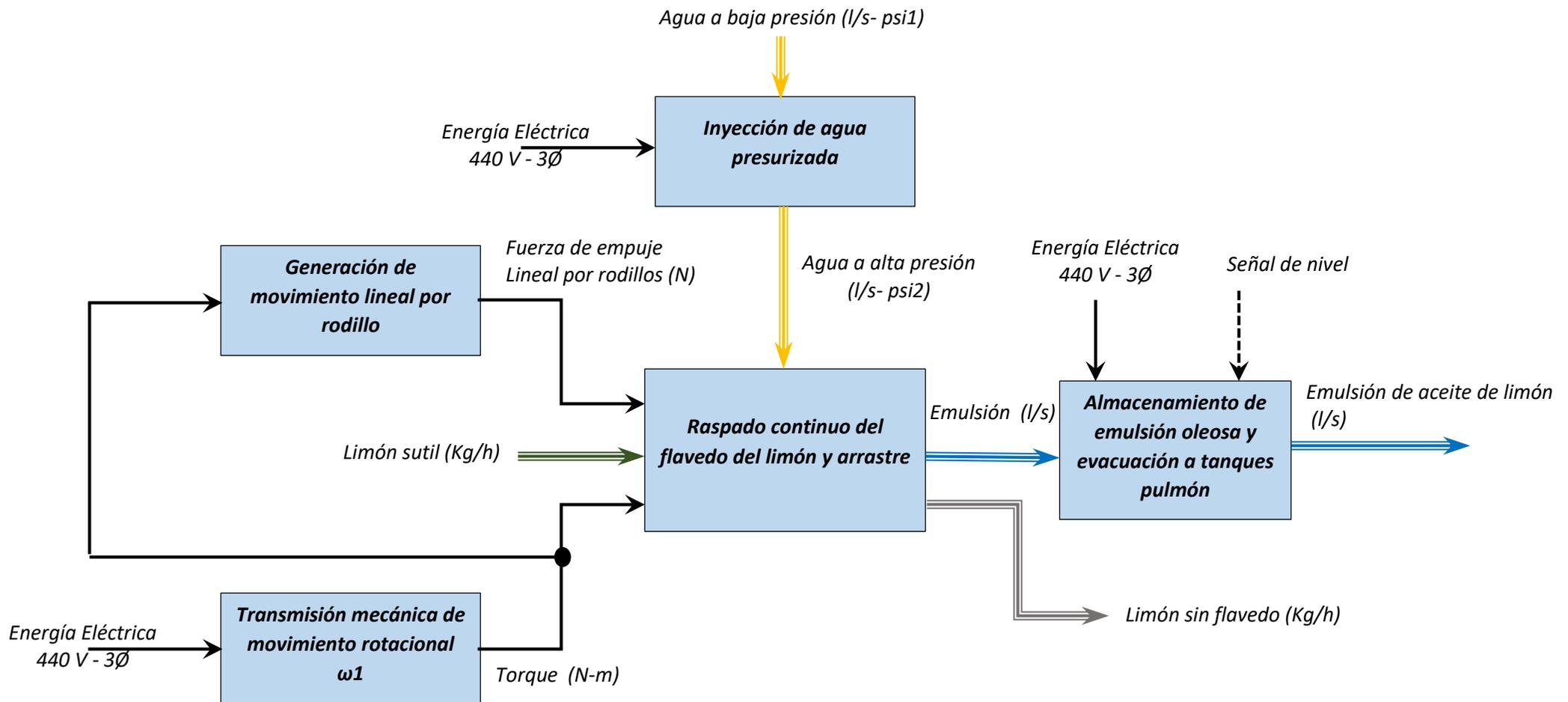


Figura 24. Interrelación Funcional para el extractor de emulsión de aceite de limón.

Búsqueda de principios y estructuras de trabajo

En la siguiente tabla se muestran los principios de solución para el cumplimiento de las funciones.

Tabla 13. *Principios de solución y estructuras de trabajo para extractora de emulsión de aceite de limón*

SUB FUNCIÓN	PRINCIPIO DE SOLUCIÓN	ESTRUCTURAS MECÁNICO - ELÉCTRICO
Raspado continuo del flavado de limón	Utilizar una fuerza de raspado centrífuga, con regulación de velocidad angular	<ul style="list-style-type: none"> - Cilindros paralelos de acero inox. con dientes y girando en sentidos contrarios. - Chumaceras de pie para soporte de cilindros - Eje central para transmisión de fuerza motriz.
Transmisión mecánica de movimiento rotacional	Utilizar transmisión tangencial y generación de potencia motriz	<ul style="list-style-type: none"> - Motor eléctrico de potencia con reductor de velocidad - Engranajes helicoidales - Tablero de Mando eléctrico
Inyección de agua presurizada	Utilizar presurización con aire comprimido y sistema de bombeo centrífugo y pulverización con estrangulamiento	<ul style="list-style-type: none"> - Tanque pulmón neumático - Compresor de aire - Agua de la red de planta - Toberas de inyección - Tablero de Mando eléctrico
Generación de movimiento lineal por rodillos	Utilizar principio de fuerza axial originado por forma helicoidal tallado en cilindro rascador	<ul style="list-style-type: none"> - Fabricación de puntas raspadoras siguiendo patrón de avance helicoidal - Tablero de mando eléctrico
Almacenamiento de emulsión oleosa y evacuación a tanques pulmón	Almacenamiento en contenedores, con lectura de señal de nivel y bombeo centrífugo	<ul style="list-style-type: none"> - Tina colectora de acero inoxidable - Radar de nivel - Bomba centrífuga - Tablero de mando eléctrico - Tanque de almacenamiento

Fuente: Elaboración propia

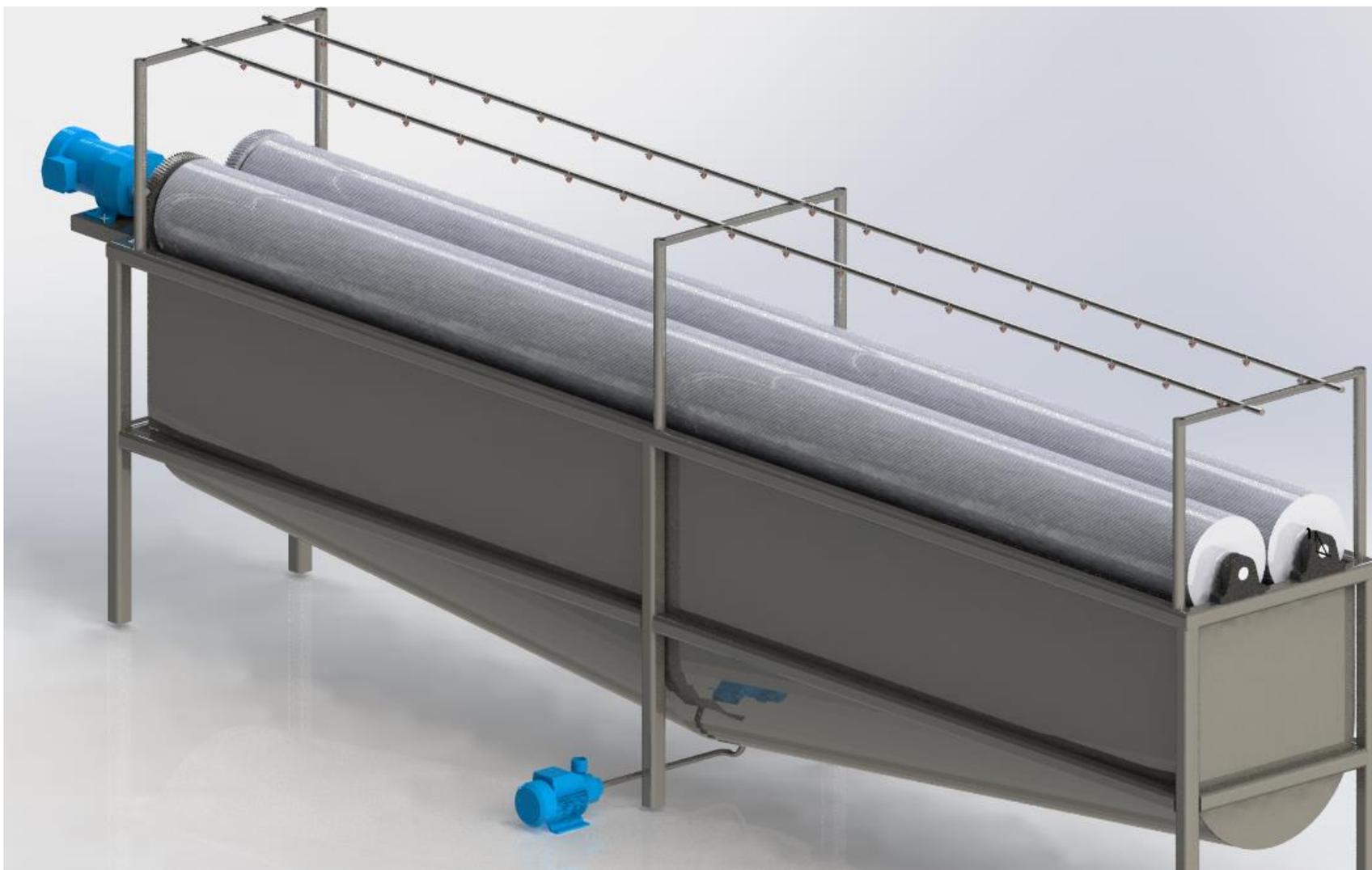


Figura 25. Vista Isométrica de máquina extractora de emulsión de aceite.

2. DIMENSIONAR LOS ELEMENTOS QUE CONSTITUYEN LA MÁQUINA EXTRACTORA DE EMULSIÓN DE ACEITE DE LIMÓN.

Cálculo de Cilindro y Eje para Raspado

Se está considerando la fabricación de este elemento de máquina, maquinando un tubo de acero inoxidable 316L de 10" SCH 10 (ver ficha de datos en anexo 03), para darle una superficie rugosa filosa que permita el escareado del flavelo con un raspado rotativo tal como se muestra en la figura 26 y al mismo tiempo genere el movimiento lineal a través de los cilindros desde el ingreso hasta la salida de la máquina.

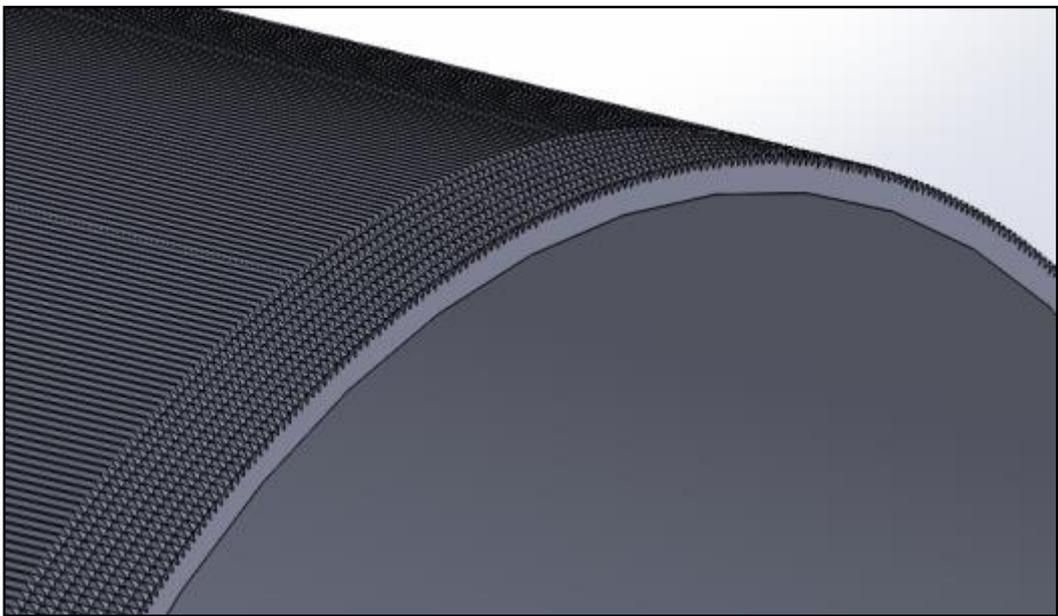


Figura 26. Superficie de tubo maquinado para cumplir la función de escariador del flavelo.

Forma de las puntas rascadoras en el cilindro

La forma de las puntas rascadoras, se logrará maquinando sobre el cilindro de 10" un hilo de perno a lo largo de la longitud del cilindro de 1.5 mm de paso, con una profundidad 1.20 mm, esto permitirá que durante su la rotación del cilindro con un tallado de patrón helicoidal genere una fuerza de empuje axial sobre el limón que se encuentra en la superficie. Debido a que los cilindros rotarán en sentido horario (cilindro derecho) y en sentido anti horario (cilindro izquierdo), se considerará

tallar en ellos una rosca de sentido contrario con la finalidad que la fuerza de empuje se dirija hacia el final de la máquina.

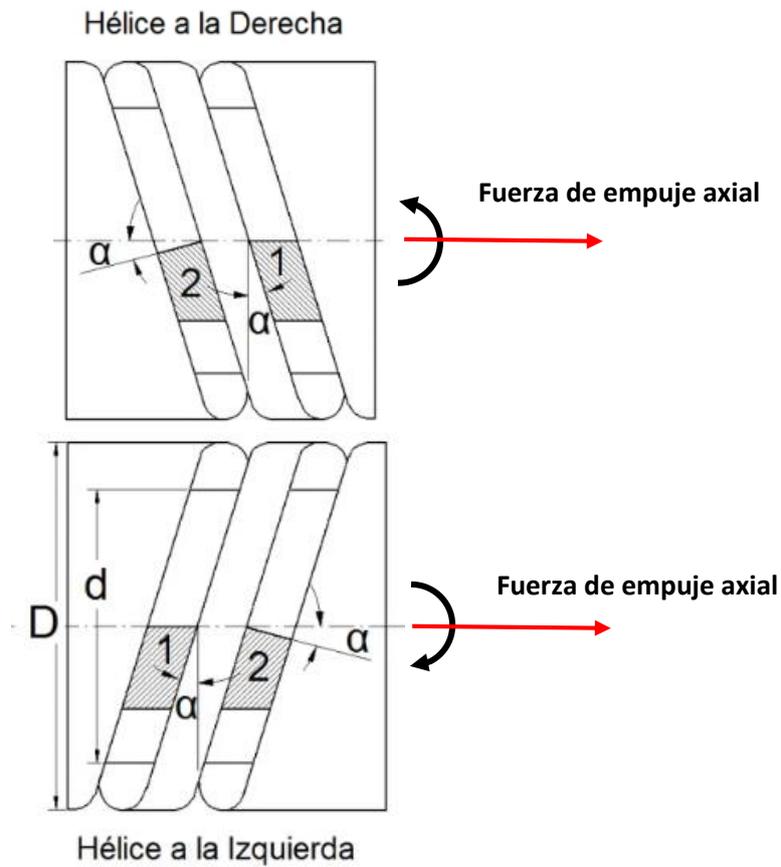


Figura 27. Efecto provocado por el sentido de giro de los cilindros tallando con paso de rosca 1.5 mm

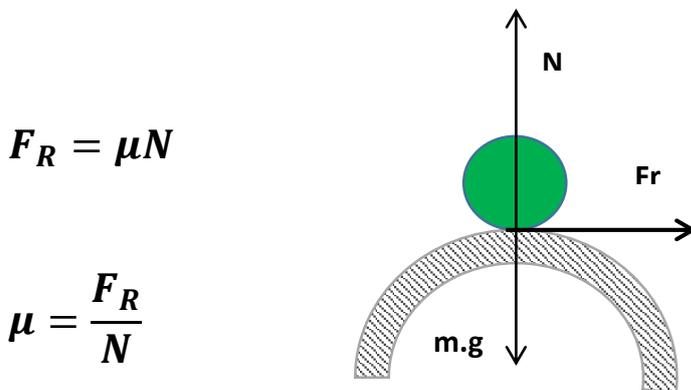
Para terminar de dar la forma de punta afilada, se realizará un corte de material con fresa horizontal, para surcar el cilindro longitudinalmente. Los surcos construidos se realizarán con un paso similar de 1.5 mm.

Cálculos preliminares

Para la determinación de la fuerza de raspado se ha utilizado el procedimiento descrito en el anexo 02.

De las pruebas realizadas con el dispositivo para determinación de fuerza de raspado, se ha encontrado que la Fuerza mínima promedio de raspado individual (F_R) es de **0.4961 N** para el limón sutil.

Determinación de Coeficiente de Resistencia al raspado, según lo menciona Muñoz, Navarro y Dominguez (2004): “un problema de fatiga por contacto en el que existe transmisión de cargas tangenciales entre dos superficies, un parámetro fundamental es el coeficiente de rozamiento, μ ” (p.02).



$$F_R = \mu N$$

$$\mu = \frac{F_R}{N}$$

$$\mu = \frac{0.4961 N}{0.045 kg \times 9.7807 m/s^2}$$

$$\mu = 1.127$$

Existe una gran resistencia al raspado de la superficie del limón por lo que el coeficiente de rozamiento es relativamente alto.

Determinación de Fuerzas y Torques Totales requeridos para el escareado del Flavedo del limón

Consideraciones de Escareado: se supone que existirá una superficie cubierta de limones en las superficies superiores de los cilindros raspadores. Considerando que el peso del limón sutil promedio es de 40 gr, con un diámetro de 44 mm.

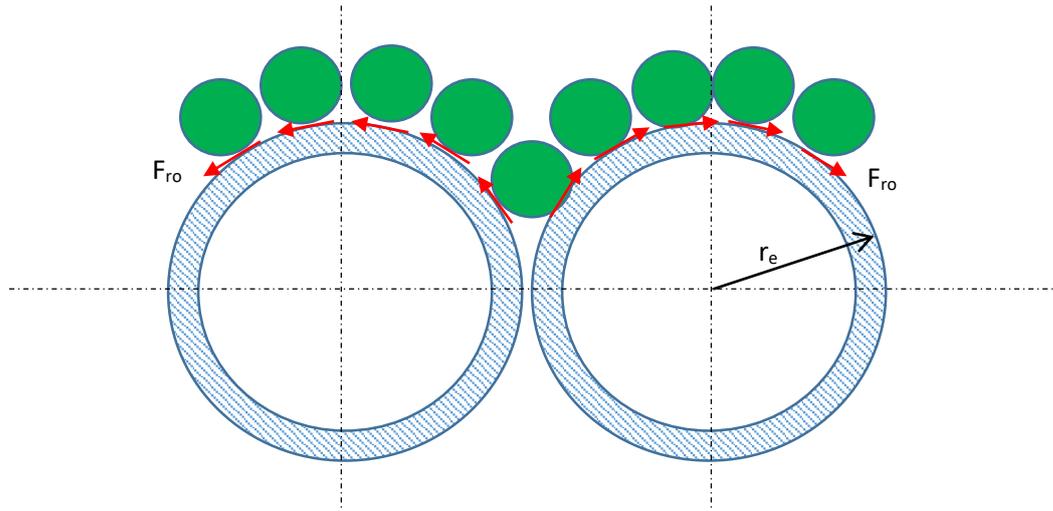


Figura 28. Distribución de carga de limón en la superficie de los rodillos rascadores.

Fuerza de raspado total de los limones (F_{TR})

Limones a lo largo de la superficie de los cilindros = 1820 limones

Masa total de limones (m) = 1820 limones x 0.040 Kg/limón = 72.80 Kg

Aceleración de la gravedad en Piura (g) = 9.7807 m/s²

Coefficiente de desplazamiento (μ) = 1.127

$$F_{T1R} = \mu N$$

$$F_{T1R} = \mu \cdot m \cdot g$$

$$F_{T1R} = (1.127)(72.80kg) \cdot (9.7807m/s^2)$$

$$F_{T1R} = 802.46 N$$

Fuerza de inercia de masa de los cilindros (F_{CM})

Igual a la masa de cada uno de los cilindros, multiplicada por la aceleración de la gravedad

Masa de cilindros por longitud = 27.88 Kg/m

Longitud considerada del cilindro = 4 m

Radio de cilindro = 136.525 mm

$$F_{CM} = 2 \cdot \left(\frac{27.88kg}{m} \right) (4m) (9.7807 \frac{m}{s^2})$$

$$F_{CM} = 2,181.487 N$$

Fuerza Total aplicada para el raspado

$$F_T = F_{T1R} + F_{CM}$$

$$F_T = 802.46 \text{ N} + 2,181.487 \text{ N}$$

$$F_T = 2,983.947 \text{ N}$$

Torque Total Aplicado (N-m)

$$T = F_T \times r_e$$

$$T = 2,983.947 \text{ N} \times 0.136525 \text{ m}$$

$$T = 407.38 \text{ N.m}$$

Determinación de Fuerzas y Torques Totales requeridos para el escareado del Flavedo del limón

La superficie del cilindro raspador del flavedo actuara como viga y como eje, el primer paso que daremos será identificar las fuerzas que actúan en el cilindro a través de un diagrama isométrico. La fuerza del agua presurizada se considera despreciable.

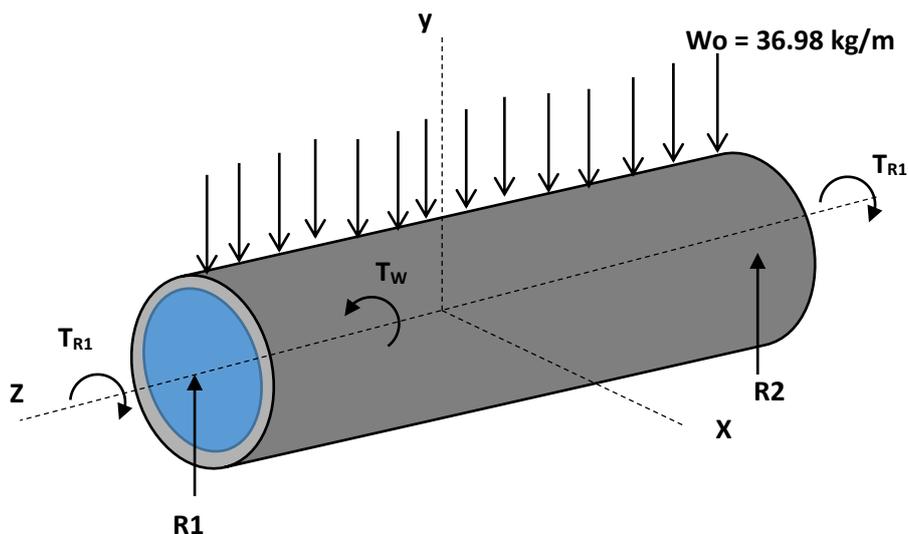


Figura 29. Distribución de carga para un cilindro raspador.

Carga distribuidas en cilindro

Peso del limón sobre superficie = 36.40 kg

Peso del cilindro rascador = 111.52 kg

Total de carga del Cilindro = 147.92 kg

Wo = 147.92 kg/ 4 m = 36.98 kg/m

Determinación de Esfuerzos bajo cargas estáticas

En el plano Y-Z

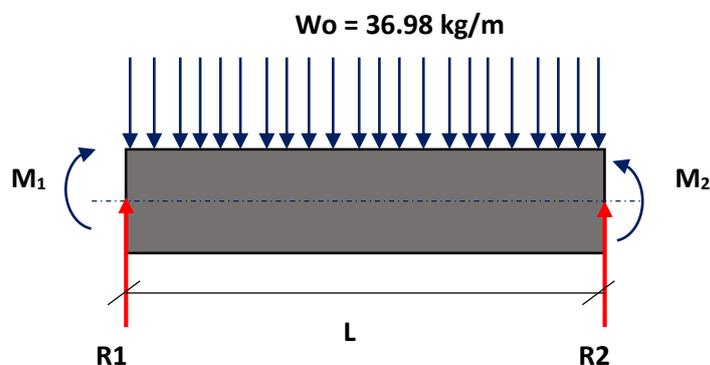


Figura 30. Distribución de carga para un cilindro rascador en el plano Y-Z.

Cálculo de Reacciones

$$\sum F_y = 0$$

$$R_1 + R_2 - W_0L = 0$$

$$R_1 + R_2 = 36.98 \frac{kg}{m} \times 4m$$

$$R_1 + R_2 = 147.92 kg$$

Se asume que por ser cargas distribuidas M_1 y M_2 son iguales y por lo tanto se anulan mutuamente.

$$\sum M_A = 0$$

$$R_2 L - W_0 \frac{L^2}{2} = 0$$

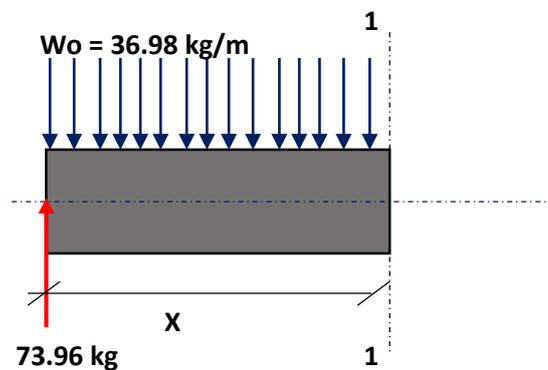
$$R_2 = W_0 \frac{L}{2}$$

$$R_2 = 37.98 \frac{kg}{m} (2m)$$

$$R_2 = 73.96 kg$$

$$\therefore R_1 = 73.96 kg$$

Cálculo de Momento Flector



$$\sum F_y = 0$$

$$\begin{aligned} 73.96 - 36.98X - V &= 0 \\ V &= 73.96 - 36.98X \end{aligned} \quad \left\{ \begin{array}{l} X = 0 \quad V = 73.96kg \\ X = 4 \quad V = -73.96kg \end{array} \right.$$

$$\sum M_{0,1-1} = 0$$

$$\begin{aligned} -73.96X + 36.98 \frac{X^2}{2} + M &= 0 \\ M &= 73.96X - 36.98 \frac{X^2}{2} \end{aligned} \quad \left\{ \begin{array}{l} X = 0 \quad M = 0 \\ X = 2 \quad M = 73.96 Kg \\ X = 4 \quad M = 0 \end{array} \right.$$

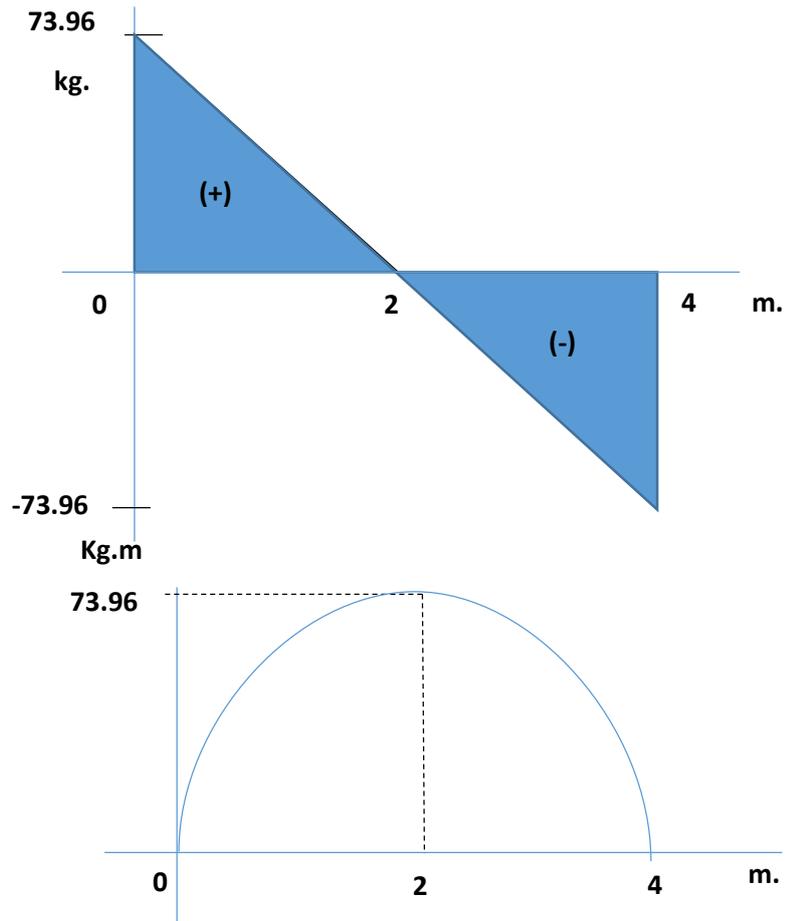


Figura 31. Diagrama de fuerza cortante y momento flector.

Momento de Inercia

$$I_x = \frac{\pi}{64} [D^4 - d^4]$$

$$I_x = \frac{\pi}{64} [(273.05)^4 - (264.67)^4]$$

$$I_x = 31\,985\,929.22 \text{ mm}^4$$

Determinación de Esfuerzo Normal de flexión para el cilindro

$$\sigma_{(+)} = \frac{MC_e}{I}$$

$$\sigma_{(+)} = \frac{723,380.57 \text{ Nmm} \times 136.525 \text{ mm}}{31\,985\,929.22 \text{ mm}^4}$$

$$\sigma_{(+)} = 3.088 \text{ MPa}$$

Determinación de Esfuerzo Cortante por flexión para el cilindro

$$\tau_{max} = \frac{2V}{A}$$

$$A = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2)$$

$$A = \frac{\pi}{4}(273.05^2 - 264.67^2)$$

$$A = \frac{\pi}{4}(273.05^2 - 264.67^2)$$

$$\tau_{max} = \frac{2(73.96 \text{ kg} \times 9.7807 \text{ m/s}^2)}{3539.07 \text{ mm}^2}$$

$$\tau_{max} = 0.4087 \text{ MPa}$$

Determinación de Esfuerzo Cortante por Torsión para el cilindro

$$J = \frac{\pi}{32}[(D)^4 - (d)^4]$$

$$J = \frac{\pi}{32}[(273.05)^4 - (264.67)^4]$$

$$J = 63\,971\,708.84 \text{ mm}^4$$

$$\tau_T = \frac{Tr}{J}$$

$$\tau_T = \frac{407\,380 \text{ Nmm} \times 136.525 \text{ mm}}{63\,971\,708.84 \text{ mm}^4}$$

$$\tau_T = 0.869 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{XY} = 0.869 \text{ MPa} + 0.4087 \text{ MPa}$$

$$\tau_{XY} = 1.277 \text{ MPa}$$

Determinación de Esfuerzos Principales

Tensión Normal Máxima

$$\sigma_1 = \left(\frac{\sigma_X + \sigma_Y}{2} \right) + \sqrt{\left(\frac{\sigma_X - \sigma_Y}{2} \right)^2 + \tau_{XY}^2}$$

$$\sigma_1 = \left(\frac{3.088}{2} \right) + \sqrt{\left(\frac{3.088}{2} \right)^2 + 1.277^2}$$

$$\sigma_1 = 3.55 \text{ MPa}$$

Tensión Cortante Máximo

$$\tau_{max} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_X - \sigma_Y}{2} \right)^2 + \tau_{XY}^2}$$

$$\tau_{max} = \sqrt{\left(\frac{3.088}{2} \right)^2 + 1.277^2}$$

$$\tau_{max} = 2.00 \text{ MPa}$$

Determinación de coeficiente de seguridad de acuerdo a Teoría de Falla bajo cargas estáticas.

Se aplicará la Teoría del Esfuerzo Normal Máximo: $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$

Para que no ocurra la Falla: $\sigma_1 = \frac{S_y}{N}$ o $\sigma_1 = \frac{S_u}{N}$

De las propiedades mecánicas del Acero Inoxidable 316L $S_y = 216 \text{ MPa}$; $S_u = 490 \text{ MPa}$

$$N = \frac{S_y}{\sigma_1}$$

$$N = \frac{216 \text{ MPa}}{3.55 \text{ MPa}}$$

$$N = 60.84$$

Por lo tanto el material seleccionado, con las dimensiones expuestas podrá trabajar sin inconvenientes de falla en condiciones estáticas.

Determinación de Esfuerzos bajo cargas dinámicas

Con carga dinámica el material puede fallar por fatiga

$$S_e = K_a K_b K_c K_e K_d K_f S_e^1$$

S_e^1 , Límite de resistencia a la fatiga, de acuerdo al capítulo I, el $S_{ut} = 490$ Mpa, es menor a 1400 MPa, por lo tanto $S_e^1 = 0.5 S_{ut}$

$$S_e^1 = 0.5 S_{ut}$$

$$S_e^1 = 0.5(490 \text{ Mpa})$$

$$S_e^1 = 245 \text{ MPa}$$

K_a , Factor de acabado superficial, debido a que el cilindro será maquinado para poder perfilar las puntas raspadoras, se considera un maquinado en frío.

$$K_a = a S_{ut}^b$$

De la tabla del anexo 04

$$a = 4.51$$

$$b = -0.265$$

$$K_a = 4.51(490)^{-0.265}$$

$$K_a = 0.87$$

K_b , Factor de Tamaño, se evalúa de la siguiente forma según Shigley (2012)

$$k_b = \begin{cases} (d/0.3)^{-0.107} = 0.879d^{-0.107} & 0.11 \leq d \leq 2 \text{ pulg} \\ 0.91d^{-0.157} & 2 < d \leq 10 \text{ pulg} \\ (d/7.62)^{-0.107} = 1.24d^{-0.107} & 2.79 \leq d \leq 51 \text{ mm} \\ 1.51d^{-0.157} & 51 < d \leq 254 \text{ mm} \end{cases}$$

$$K_b = 1.51d^{-0.157}$$

$$K_b = 1.51(273.05)^{-0.157}$$

$$K_b = 0.62$$

K_c, Factor de carga, se toma en cuenta la tabla del anexo 05, para carga torsional. **K_c = 0.85**

K_d, Factor de temperatura, se considera según la siguiente fórmula propuesta por Shigley (2012)

$$K_d = \frac{S_T}{S_{RT}}$$

Según la tabla del anexo 07, para una temperatura entre 20°C y 50 °C **K_d = 1.010**

K_e, Factor de Confiabilidad, se está considerando que el elemento debe operar con una confiabilidad de 99%, de la tablas en el anexo 06 **K_e = 0.814**

K_f, Factor de efectos varios, se considera como valor **K_f = 1.00**

$$S_e = (0.87)(0.62)(0.85)(1.01)(0.814)(1.00)(245)$$

$$S_e = 92.35 \text{ MPa}$$

Cálculo de coeficiente de seguridad (N)

$$N = \frac{S_e}{\sigma_1}$$

$$N = \frac{92.35 \text{ MPa}}{3.55 \text{ MPa}}$$

$$N = 26.01$$

Por el coeficiente de seguridad encontrado, el cilindro rascador podrá trabajar sin problemas de fatiga a corto plazo, por lo tanto es factible de diseño según las medidas propuestas.

separación mínima entre ellos. Así teniendo en cuenta que la separación mínima que debe existir para evitar que el limón traspase es de 1/4" (6.35 mm), el diámetro de paso del engranaje se determinará como sigue:

$$d = \frac{273.05 + 6.35 \times 2 + 273.05}{2}$$

$$d = 279.04 \text{ mm}$$

$$d = 11''$$

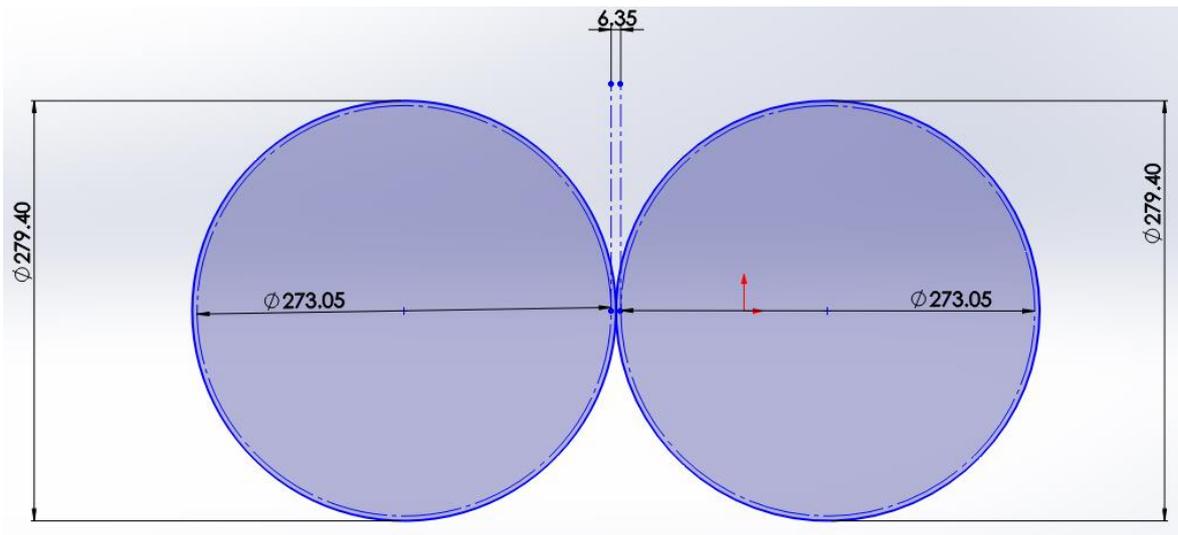


Figura 33. Distancia de separación entre cilindros raspadores.

En la figura N. 33 los cilindros raspadores permanecerán separados 6.35 mm, mientras que los círculos primitivos de los engranajes se interceptarán en el punto de tangencia. El diámetro de paso queda definido en 279.40 mm ó 11"

b) Paso Diametral (Pd): Se elige el valor de la tabla del Anexo 08. Teniendo en cuenta que los dientes no pueden ser finos debido a las fuerzas tangenciales que existirán en los dientes y que podrían provocar fractura inmediata. Se elige un paso diametral basto de **8 dientes x pulgada**, o **0.3149 dientes por milímetro**.

c) Paso circular (p): se calcula de la siguiente manera:

$$p = \frac{\pi d}{N}$$

$$p = \frac{\pi(279.4)}{88}$$

$$p = 9.97 \text{ mm}$$

d) Espesor de diente (t): se calcula con las fórmulas de la tabla 8

$$t = \frac{1.571}{P_d}$$

$$t = \frac{1.571}{0.3149}$$

$$t = 4.985$$

e) Ancho de hueco (A):

$$A = p - e$$

$$A = 9.97 - 4.985$$

$$A = 4.985 \text{ mm}$$

f) Radio de entalle (r):

$$r = \frac{0.30}{P_d}$$

$$r = \frac{0.30}{0.3149}$$

$$r = 0.9525$$

g) Adéndum (a): Se calcula teniendo en cuenta los datos de la Tabla N. 08 y considerando que el engranaje es helicoidal, por lo que tomaremos el Paso diametral normal, para realizar el cálculo. Se considera para el trazo del círculo exterior del engranaje.

$$a = \frac{1.00}{P_n}$$

$$a = \frac{1.00}{8.12 \frac{\text{dientes}}{\text{pulg}}}$$

$$a = 0.1231''$$

h) Dedéndum (b): se aplica el mismo procedimiento que se aplicó para el cálculo del Adéndum. Se considera para el trazo del círculo base del engranaje.

$$b = \frac{1.25}{P_n}$$

$$b = \frac{1.25}{8.12 \frac{\text{dientes}}{\text{pulg}}}$$

$$b = 0.1538''$$

i) Altura de diente: es la suma del adéndum más el dedéndum, por lo que la altura de diente considerado es de **0.2769 '' desde el círculo base**

j) Ancho de diente (F): también conocido como flanco, no existe norma para seleccionar su valor, dependerá del costo del material, del espacio disponible de la transmisión y de los esfuerzos que soportará el diente, por lo que no puede ser ni muy fino, ni muy grueso.

Para nuestra máquina, se ha escogido el valor de Flanco de **1.5''**, el cual se comprobará al momento de calcular el esfuerzo de flexión en el diente, si resultara muy ajustado, se incrementará en media pulgada.

k) Número de dientes (N): se calcula en base a las fórmulas descritas en el capítulo I

$$N = P_d x d$$

$$N = 8 \frac{\text{dientes}}{\text{pulg}} x 11 \text{pulg}$$

$$N = 88 \text{dientes}$$

l) Módulo (m): Expresado en milímetros

$$m = \frac{d}{N}$$

$$m = \frac{279.4 \text{mm}}{88}$$

$$m = 3.175 \text{mm}$$

m) Angulo de hélice (ψ): De acuerdo a Casillas (1974) : “Para engranajes helicoidales a ejes paralelos, se recomiendan los ángulos siguientes: 10° para ruedas de pequeña velocidad, 30° para ruedas de elevada velocidad y 45° para ruedas de gran velocidad” (p.190). Mientras que Jaen (2011) define la velocidad alta o elevada como: “Se considera velocidad alta cuando la velocidad de la línea de paso es superior a 5000 pies/min o cuando la velocidad del piñon sea mayor a 3600 rpm” (p.43).

Nuestro sistema de engranajes trabajará a velocidades de 100 RPM, es decir se puede asumir que se trabaja con pequeñas velocidades y por lo tanto **el ángulo de hélice es de 10°**

n) Paso diametral normal (P_n): este parámetro es muy importante en el cálculo de engranajes helicoidales y se calcula tomando en cuenta las fórmulas descritas en el capítulo

$$P_n = \frac{P_t}{\cos \varphi}$$

$$P_n = \frac{8}{\cos 10^\circ}$$

$$P_n = 8.12 \text{ dientes/pulgada}$$

o) Ángulo de presión normal (Φ_n): para producir engranes con menor distancia entre centros, ángulo vigente en tablas vamos a considerar **20°**

p) Ángulo de presión tangencial (Φ_t): aplicando las fórmulas del capítulo I, se tiene

$$\Phi_t = \tan^{-1} \left(\frac{\tan \Phi_n}{\cos \varphi} \right)$$

$$\Phi_t = \tan^{-1} \left(\frac{\tan 20^\circ}{\cos 10^\circ} \right)$$

$$\Phi_t = 20.28^\circ$$

q) Número mínimo de dientes sin interferencia en un engranaje helicoidal

$$N_p = \frac{2K \cos \varphi}{3(\sin \Phi_t)^2} \left(1 + \sqrt{1 + 3(\sin \Phi_t)^2} \right)$$

$$N_p = \frac{2(1) \cos 10}{3(\sin 20.28)^2} \left(1 + \sqrt{1 + 3(\sin 20.28)^2}\right)$$

$$N_p = 11.83$$

$$N_p = 12$$

Por lo tanto nuestros engranajes de 88 dientes con un ángulo de presión normal de 20° y con ángulo de hélice de 10°, trabajará sin interferencia.

En la tabla N. 14, se muestra el resumen de los cálculos y valores seleccionados para la geometría de los engranajes de la máquina.

Tabla 14. *Parámetros para el diseño de engranajes de máquina extractora de emulsión de aceite de limón*

Parámetro de diseño del engrane	Designación	Valor	Unidades
Diámetro de paso (primitivo)	d	11.0000 (279.40)	Pulg. (mm)
Diámetro exterior	de	11.2462 (285.65)	Pulg. (mm)
Diámetro raíz	di	10.6924 (271.58)	Pulg. (mm)
Paso circular	p	0.3925 (9.97)	Pulg. (mm)
Módulo	m	0.1250 (3.175)	Pulg. (mm)
Número de dientes	N	88	dientes
Ángulo de hélice	φ	10	°
Paso diametral normal	Pn	8.12 (0.3196)	diente/pulg. (diente/mm)
Ángulo de presión normal	Øn	20	°
Adéndum	a	0.1231 (3.12674)	Pulg. (mm)
Dedéndum	b	0.1538 (3.90652)	Pulg. (mm)
Espesor de diente	t	0.1962 (4.985)	Pulg. (mm)
Radio de entalle	r	0.0375 (0.9525)	Pulg. (mm)
Flanco Inicial	F	1.5 (38.1)	Pulg. (mm)

Fuente: Elaboración propia

Cálculo de fuerzas en Engranajes Helicoidales para la máquina extractora de emulsión de limón.

El torque total que se requiere para mover todo el sistema incluido los dos cilindros acoplados se calcula como sigue, teniendo en cuenta los cálculos previos:

$$F_{CM} = 2, 181. 487 N$$

A esta hay que adicionarle la fuerza que se impregna a los dos cilindros para el raspado de la capa de limones, ya que los dos cilindros trabajan en simultáneo.

$$F_{TR} = 2,181.487 + 2F_{T1R}$$

$$F_{TR} = 2,181.487 + 2(802.46)$$

$$F_{TR} = 3,786.41 \text{ N}$$

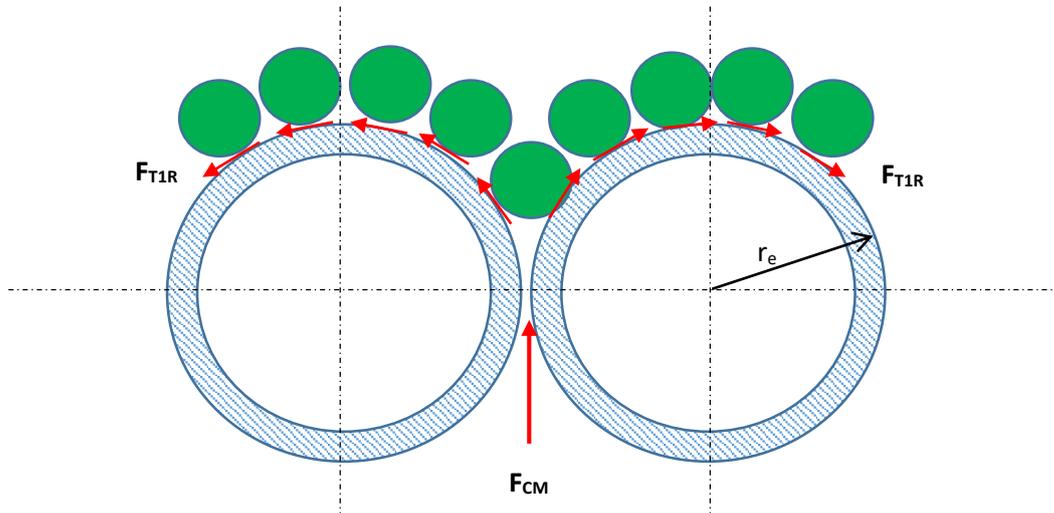


Figura 34. Distribución de Fuerzas actuantes en el sistema de raspado de limón.

La distancia de aplicación de la fuerza total será igual al radio primitivo del engranaje, es decir, 0.1397 m, por lo tanto el Torque total aplicado será de:

$$T = 3,786.41 \text{ N} \times 0.1397\text{m}$$

$$T = 528.96 \text{ Nm}$$

$$T = 4,681.69 \text{ lb.in}$$

Con este valor se realizarán todos los cálculos referentes al análisis de Fuerzas y esfuerzos

La velocidad angular mínima de pelado que se obtuvo de la máquina de determinación de fuerza de raspado fue de $\omega = 3.69 \text{ rad/seg.} = 35 \text{ RPM}$, sin embargo la velocidad requerida para el proceso para aumentar volumen de pelado se establece en 200 RPM como valor límite máximo, por lo que todo cálculo de potencia estará destinado a satisfacer la máxima capacidad de la máquina.

a) Cálculo de Fuerza Tangencial (W_t) en el engranaje helicoidal

La potencia que desarrollará el sistema viene dado por la fórmula descrita en el capítulo I

$$hp = \frac{T \cdot n}{63000}$$
$$hp = \frac{4,681.69 \text{ lb.in} \times 200 \text{ rev/min}}{63000}$$
$$\mathbf{hp = 14.86 \text{ hp}}$$

Velocidad de paso, se determina de acuerdo a la fórmula declarada

$$V_p = \frac{\pi(11 \text{ in})(200 \text{ rpm})}{12 \text{ in/pie}}$$

$$\mathbf{V_p = 575.96 \text{ pie/min}}$$

La fuerza tangencial vendrá dada por:

$$W_t = \frac{33000 \times HP}{V_p}$$

$$W_t = \frac{33000 \times 14.86 \text{ hp}}{575.96 \text{ pie/min}}$$

$$\mathbf{W_t = 851.41 \text{ lbf}}$$

b) Cálculo de Fuerza Radial (W_r) en el engranaje helicoidal

$$W_r = W_t \tan \phi_t$$

$$W_r = 851.41 \text{ lbf} \tan(20.28^\circ)$$

$$\mathbf{W_r = 314.61 \text{ lbf}}$$

c) Cálculo de Fuerza Axial (W_a) en el engranaje helicoidal

$$W_a = W_t \tan \varphi$$

$$W_a = 851.41(\tan(10^\circ))$$

$$\mathbf{W_a = 150.13 \text{ lbf}}$$

Que equivalen a 667.81 N. o a 68.28 Kg. de fuerza axial.

d) Cálculo de fuerza normal (W)

$$W = \frac{W_t}{\cos \phi_n \cos \phi}$$
$$W = \frac{851.41 \text{ lbf}}{\cos 20^\circ \cos 10^\circ}$$
$$W = 920.03 \text{ lbf}$$

Cálculo de esfuerzos en Engranajes Helicoidales para la máquina extractora de emulsión de limón, según la norma AGMA.

A continuación se procederá con el cálculo de los 2 esfuerzos importantes que se dan en los engranajes: el esfuerzo de flexión en el diente y el esfuerzo a la picadura

ESFUERZO Y RESISTENCIA A FLEXIÓN DEL DIENTE

Se procederá con el cálculo de los factores que intervienen en el cálculo del esfuerzo de flexión que es provocado por la actuación de la fuerza tangencial en el diente del engranaje, para este trabajo se emplearán tanto tablas como diagramas que se encuentran descritos en los anexos de la presente investigación

a) Factor de Sobrecarga (K_o).- De las tablas del anexo 10, se considera que el sistema de potencia es uniforme, ya utilizaremos un motor eléctrico, el cual impulsará una máquina de impacto pesado por las posible resistencia que ofrecerá la cáscara del limón en el momento del raspado, por lo tanto el valor de K_o = 1.75

b) Factor dinámico (K_v).- Podemos utilizar el diagrama del Anexo 11, para poder determinar el factor dinámico, sin embargo si queremos ser más precisos Budinas (2012) propone la siguiente fórmula:

$$K_v = \left(\frac{A + \sqrt{V}}{A} \right)^B$$

Dónde:

$$B = 0.25 (12 - Q_v)^{2/3}$$

$$A = 50 + 56 (1 - B)$$

V : es la velocidad de paso en pies/ min

y Q_v , es el factor de calidad que se determina como sigue:

$$Q_v = \begin{cases} 3 \text{ al } 7 \text{ calidad comercial y} \\ 8 \text{ al } 12 \text{ calidad de precisión} \end{cases}$$

El engranaje es de calidad comercial, no se requiere de precisión, por lo que el valor de Q_v , lo establecemos en 7, por lo tanto el valor de las constantes serán como siguen:

$$B = 0.25(12 - 7)^{2/3}$$

$$B = 0.73$$

$$A = 50 + 56(1 - 0.73)$$

$$A = 65.12$$

$$K_v = \left(\frac{65.12 + \sqrt{575.95}}{65.12} \right)^{0.73}$$

$$K_v = 1.25$$

c) Factor de Tamaño (K_s).- Según Jaen (2011) "Para aplicación del factor de tamaño en engranes helicoidales el valor de $K_s = 1$ " (p.81)

Por lo tanto se asumirá el valor de Factor de tamaño igual a 1

d) Factor de distribución de carga (K_m).- Se determinará de acuerdo a la fórmula propuesta por Budinas (2012)

$$K_m = 1 + C_{mc}(C_{pf}C_{pm} + C_{ma}C_e)$$

Para la determinación de los valores de las constantes, utilizaremos las formulaciones del anexo 12

Para el cálculo de C_{mc} , se tendrá en cuenta que se trata de dientes coronados, por lo tanto $C_{mc} = 0.8$

$$C_{pf} = \frac{F}{10d} - 0.0375 + 0.0125F$$

$$C_{pf} = \frac{1.5}{10(11)} - 0.0375 + 0.0125(1.5)$$

$$C_{pf} = -0.00511$$

Para el cálculo de la constante C_{pm} se tomará en cuenta la distribución de los elementos sobre el eje y los cojinetes que se mostrarán en la figura 35. De aquí se calculará la relación S_1/S

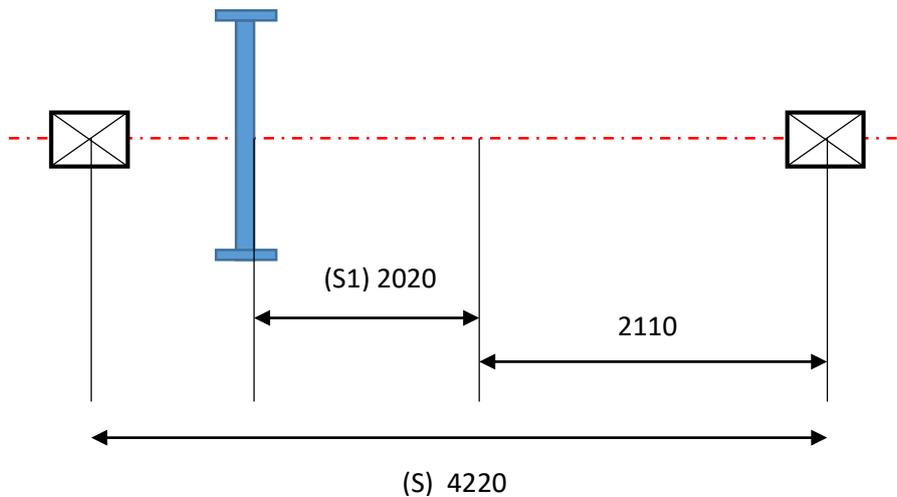


Figura 35. Distribución de Elementos sobre el Eje.

$$\frac{S_1}{S} = \frac{2020}{4220}$$

$$\frac{S_1}{S} = 0.4786$$

Por lo tanto de acuerdo al anexo 12 el valor de **C_{pm} = 1.10**

Para el cálculo de la constante C_{ma} emplearemos la fórmula y los valores de la tabla descrita en el anexo 12.

$$C_{ma} = A + BF + CF^2$$

$$A = 0.127$$

$$B = 0.0158$$

$$C = -0.93 \times 10^{-4}$$

$$C_{ma} = 0.127 + (0.0158)(1.5) + (-0.93 \times 10^{-4})(1.5^2)$$

$$C_{ma} = 0.127 + (0.0158)(1.5) + (-0.93 \times 10^{-4})(1.5^2)$$

$$\mathbf{C_{ma} = 0.15067}$$

Para el valor de C_e, asumimos como valor 1, por lo tanto

$$\mathbf{C_e = 1}$$

$$K_m = 1 + 0.80(-0.00511 \times 1.1 + 0.15067 \times 1)$$

$$\mathbf{K_m = 1.116}$$

e) Factor de espesor de aro (K_B).- el espesor mínimo considerado para nuestros engranajes será de 1", por lo tanto considerando el anexo N. 13, se determina el valor de la constante "m_B", donde:

$$m_B = \frac{T_R}{h_t}$$

$$m_B = \frac{1}{0.2769}$$

$$m_B = 3.61$$

Por lo tanto de acuerdo al diagrama **K_B = 1**

f) Factor geométrico de la resistencia a la flexión (J).- De acuerdo a la figura del anexo 14, se puede determinar el valor para el factor geométrico J y su correspondiente factor de modificación.

$$J = 0.62 \times 1.005$$

$$J = 0.6231$$

El esfuerzo de flexión en el diente, se determinará utilizando la fórmula descrita para el fin en el capítulo I

$$\sigma_f = W_t K_o K_v K_s \frac{P_d K_m K_B}{F J}$$

$$\sigma_f = 851.41(1.75)(1.25)(1) \frac{(8)(1.116)(1)}{1.5 (0.6231)}$$

$$\sigma_f = 17,790.66 \text{ lbf/in}^2$$

Ahora calcularemos el Esfuerzo de flexión permisible o Resistencia a la Flexión (σ_{perm})

a) Resistencia a la Fatiga por tensión (St).- De la tabla que se muestra en el anexo N. 15 seleccionamos llevar al acero a un estado de carburado y recubrimiento endurecido por lo que la resistencia a la fatiga **St = 65,000 lbf/in²**, con una dureza de 65 HRC.

b) Factor de ciclos de esfuerzo (Y_N).- De la figura del Anexo 16, para un valor de 10^6 ciclos de carga y una superficie carburada el valor de Y_N , se determinará por:

$$Y_N = 6.1514N^{-0.1192}$$

$$Y_N = 6.1514(10^6)^{-0.1192}$$

$$Y_N = 1.185$$

c) Factor de confiabilidad (K_R).- de la tabla del anexo 17, para el valor de confiabilidad de 0.99, el valor de **$K_R = 1.00$**

d) Factor de temperatura (K_T).- Como la máquina trabajará a temperatura ambiente y a bajas revoluciones, se considera **$K_T = 1$**

e) Factor de Seguridad (SF).- se determinará aplicando la fórmula establecida en el capítulo I

$$S_F = \frac{S_t Y_N / (K_T K_R)}{\sigma}$$

$$S_F = \frac{65000(1.185)/(1 \times 1)}{17790.66}$$

$$S_F = 4.32$$

Por lo tanto el engranaje podrá trabajar sin presentar problemas de flexión en las condiciones de trabajo descritas, con el flanco que se ha considerado de 1.5” y fabricado con acero con tratamiento de carburado y endurecido superficialmente.

ESFUERZO Y RESISTENCIA DE CONTACTO

Se procederá con el cálculo de los factores que intervienen en el cálculo del esfuerzo al contacto o resistencia a la picadura del diente que es provocado por la actuación de la fuerza tangencial en el diente del engranaje, para este trabajo se emplearán tanto tablas como diagramas que se encuentran descritos en los anexos de la presente investigación

a) Factor de condición superficial (C_f).- Según Norton (2011): “La AGMA todavía no ha establecido estándares para los factores de acabado superficial, pero recomienda que C_f sea igual a 1 para engranes fabricados con métodos convencionales” (p.581), es decir fabricados por medio de maquinado con fresas.

b) Coeficiente elástico (C_p).- Se empleará las fórmulas y las tablas del anexo 18, para el Acero al Carbono

$$E_p = E_g = 30 \text{ Mpsi}$$

$$V_p = V_g = 0.292$$

$$C_p = \sqrt{\frac{1}{\pi \left[\left(\frac{1 - V_p^2}{E_p} \right) + \left(\frac{1 - V_g^2}{E_g} \right) \right]}}$$

$$C_p = 2,284 \sqrt{\text{lb}/\text{in}^2}$$

c) Factor Geométrico (I).- Para el cálculo del factor geométrico, se utiliza el diagrama de la figura en el anexo 19.

$$K_p = K_g = 0.14$$

$$I = \frac{N_g}{N_p + N_g} (K_p + K_g)$$

$$I = \frac{88}{88 + 88} (0.14 + 0.14)$$

$$I = 0.14$$

d) Determinación del Esfuerzo de Contacto (σ_c)

Se calcula en base a la fórmula expresada en el capítulo I

$$\sigma_c = C_p \sqrt{W_t K_o K_v K_s \frac{K_m C_f}{d_p F I}}$$

$$\sigma_c = 2,284 \sqrt{851.41(1.75)(1.25)(1.0) \frac{(1.116)}{(11)(1.5)} \frac{(1.0)}{(0.14)}}$$

$$\sigma_c = 68,511.83 \text{ lbf/in}^2$$

A continuación se determinará el Esfuerzo de contacto permisible para los engranajes, se determinará las constantes de la fórmula:

a) Factor de vida de ciclos de esfuerzo (Z_N): Para un número de cargas igual a 10^6 , y utilizando el diagrama del Anexo 20, se puede determinar la constante Z_N

$$Z_N = 2.466N^{-0.056}$$

$$Z_N = 2.466(10^6)^{-0.056}$$

$$Z_N = 1.134$$

b) Factor de relación de dureza a la picadura (C_H): Se tomará en cuenta que ambos engranajes, serán confeccionados del mismo material y recibirán el mismo tratamiento térmico, por lo tanto las durezas serán las mismas $H_{BP} = H_{BG}$

La relación de durezas siempre serán igual a la unidad y por lo tanto menores a 1.2, por que el valor de $C_H = 1$, tal como se expresa en el anexo 21.

c) Esfuerzo de contacto permisible (S_c): En el anexo 22, se encuentra la tabla que muestra los esfuerzos permisibles al contacto de los acero, para nuestro caso se tomará los valores del acero carburizado y endurecido. El valor de S_c , para este tipo de acero es igual a 180,000 Psi

d) Factor de Seguridad a la picadura (S_H) : Se determinará como sigue

$$S_H = \frac{S_c Z_N C_H / (K_T K_R)}{\sigma_c}$$

$$S_H = \frac{(180,000)(1.134)(1) / (1)(1)}{68,511.83}$$

$$S_H = 2.98$$

Por lo tanto los engranajes con tratamiento térmico carburado y con endurecimiento superficial podrán resistir el esfuerzo a la picadura sin ningún problema que produzca falla

Selección de cojinetes de pie o chumaceras de Pie.

A continuación se efectuará el procedimiento de cálculo para la selección de las chumaceras que soportarán los dos cilindros raspadores.

PARÁMETROS DISPONIBLES PARA LA SELECCIÓN

De los cálculos anteriores, se cuenta con los siguientes datos:

Carga radial dinámica calculada (F_r): Se tomará en base a la carga estimada para los engranajes en movimiento:

$$F_r = 314.51 \text{ lbf}$$

Carga axial calculada (F_a): se toma el valor del empuje axial de los engranajes

$$F_a = 150.13 \text{ lbf}$$

Diámetro de eje tentativo (D): se considera un diámetro inicial de diseño de **1.5"** (**38.1 mm**)

Horas de servicio de la máquina (L_h): Se considera cambiar rodamientos anualmente aprovechando paradas de campaña, se aproxima valor a 6,000 hrs.

CÁLCULO DE CAPACIDAD DE CARGA DINÁMICA (C)

a) Cálculo de duración en millones de revoluciones (L)

De las formulas descritas en el capítulo I, para los rodamientos

$$L = (60). 10^{-6}n(L_h)$$

$$L = (60). 10^{-6}(200rpm)(6000h)$$

$$**L = 72 millones de revoluciones**$$

b) Cálculo de carga dinámica equivalente (P)

Determinación de la relación de cargas Fa/Fr

$$\frac{F_a}{F_r} = \frac{150.13 \text{ lbf}}{314.61 \text{ lbf}}$$

$$\frac{F_a}{F_r} = \mathbf{0.4771}$$

Selección de los factores de carga, tomados de la tabla del anexo N. 23, se prorratea el valor de Y. Por lo tanto **X = 1.00 e Y = 1.3075**.

Con los factores de carga obtenidos, procederemos al cálculo de la carga dinámica equivalente.

$$P = XF_r + YF_a$$

$$P = (1.00)(314.61) + (1.3075)(150.13)$$

$$**P = 510.90 lbf**$$

c) Cálculo de Capacidad de carga dinámica

$$C = P.L^{1/p}$$

$$C = 510.90.(72)^{1/3}$$

$$C = 2,125.42 \text{ lbf}$$

$$**C = 9,454.38 N = 9.454 kN**$$

CÁLCULO DE CAPACIDAD DE CARGA ESTÁTICA (CO)

De los cálculos anteriores, se cuenta con los siguientes datos:

Carga radial estática calculada (F_r): Se tomará en base a la carga estimada para el análisis del cilindro raspador:

$$\mathbf{F_r = 335.41\ lbf}$$

Carga axial calculada (F_a): se toma el valor del empuje axial de los engranajes

$$\mathbf{F_a = 150.13\ lbf}$$

a) Cálculo de carga estática equivalente (P_o)

Determinación de la relación de cargas F_a/F_r

$$\frac{F_a}{F_r} = \frac{150.13\ lbf}{335.41\ lbf}$$

$$\frac{\mathbf{F_a}}{\mathbf{F_r}} = \mathbf{0.447}$$

Selección de los factores de carga, tomados de la tabla del anexo N. 23, se prorratea el valor de Y. Por lo tanto $\mathbf{X = 1.00}$ e $\mathbf{Y = 1.40}$.

Con los factores de carga obtenidos, procederemos al cálculo de la carga dinámica equivalente

$$P_o = X_o F_r + Y_o F_a$$

$$P_o = (1.00)(335.41) + (1.40)(150.13)$$

$$\mathbf{P = 545.592\ lbf}$$

b) Cálculo de capacidad de carga estática (C_o)

$$C_o = S_o P_o$$

De la tabla del Anexo N. 25, para Condiciones de Trabajo medio con exigencias normales de funcionamiento silencioso $S_o = 1.00$

$$C_o = (1.00)(545.592\ lbf)$$

$$\mathbf{C_o = 545.592\ lbf}$$

$$\mathbf{C_o = 2,426.90\ N = 2.43\ N}$$

SELECCIÓN DE CHUMACERA DEL FABRICANTE

Uno de los fabricantes de cojinetes de gran reconocimiento en el mercado es SKF, dentro de sus productos se encuentran las chumaceras de rodamiento de bolas a rótula.

Se comparará los resultados obtenidos del cálculo de diseño con los datos del fabricante cuya ficha técnica, se encuentra en el Anexo 26.

La tabla N. 15 resume el análisis efectuado para la toma de decisión

Tabla 15. *Comparativo de cálculos realizados con los datos del fabricante SKF, para chumaceras de Pie.*

Fuente / concepto	Capacidad de carga dinámica (C) en kN	Capacidad de carga estática (Co) en kN	Velocidad límite (RPM)
Calculados	9.454	2.43	200
Del Fabricante	25.500	15.30	5300

Fuente: ficha técnica de Chumacera SY-35 de SKF, datos calculados para el estudio

Los cálculos demuestran que la chumacera podrá trabajar sin problemas en la máquina con la holgura suficiente de la selección.

Cálculo de eje principal para producir movimiento rotacional en el cilindro rascador

El diseño del eje cumple la función de transmitir el movimiento al cilindro rascador a través de acoplamiento interior pasante con el cilindro rascador, se toma en cuenta que actuará sobre el eje, el efecto de las cargas tangenciales, axiales, radiales de los engranajes, la reacción de las chumaceras y el torque del motor eléctrico. Debido a la restricción de la FDA, el eje será diseñado íntegramente en acero inoxidable 316 L, en la figura N. 36 se muestra la distribución de fuerzas que actuarán sobre el eje.

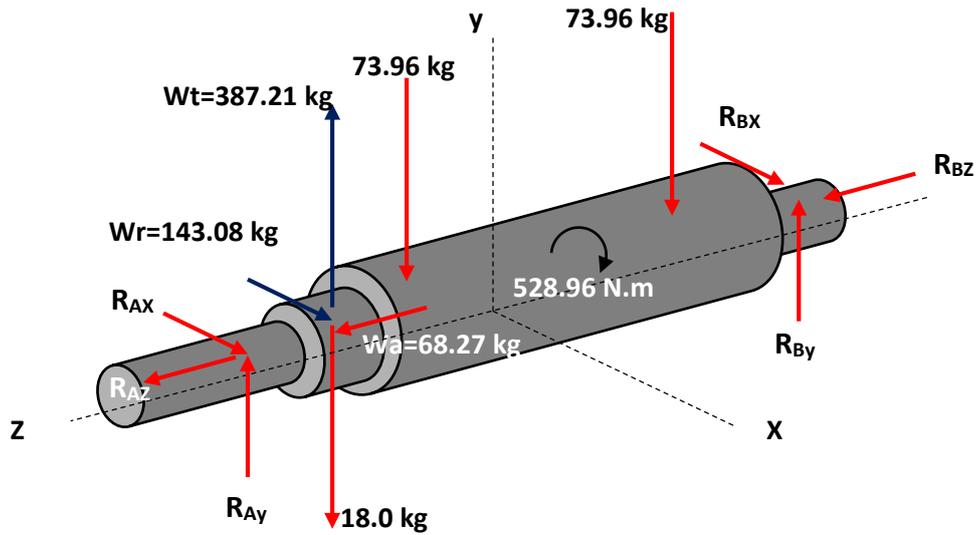
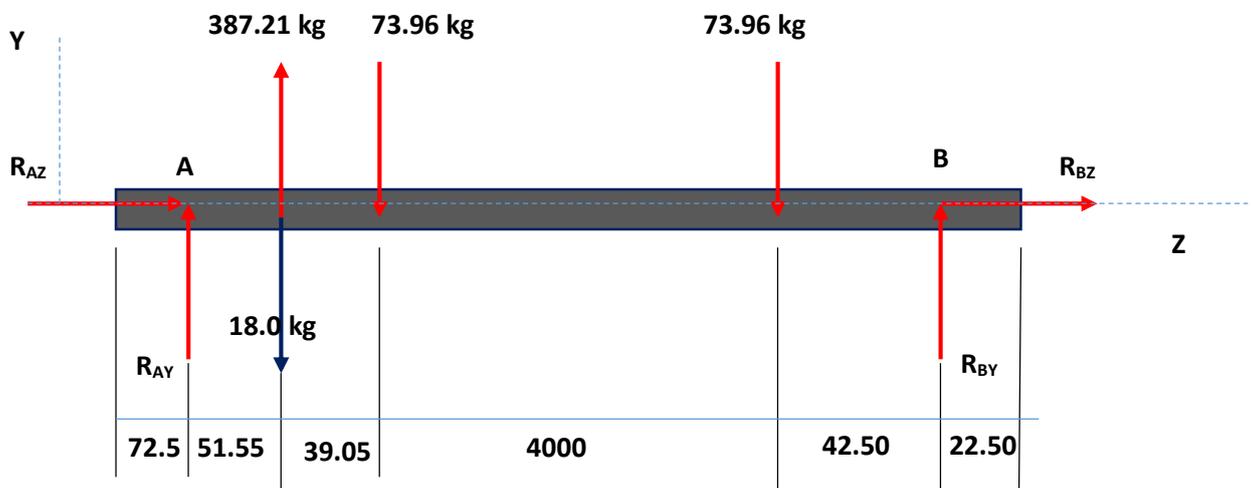


Figura 36. Distribución de Fuerzas sobre el Eje.

CÁLCULO DE REACCIONES, CORTANTE Y MOMENTO FLECTOR

En el plano Y-Z

Cálculo de Reacciones



$$\sum F_z = 0$$

$$R_{BZ} + R_{AZ} = 68.27 \text{ Kg}$$

$$\sum F_y = 0$$

$$R_{AY} - 18 - 73.96 - 73.96 + 387.21 + R_{BY} = 0 \text{ Kg}$$

$$R_{AY} + R_{BY} = -221.29 \text{ Kg}$$

$$\sum M_A = 0$$

$$-18(51.55) - 73.96(90.60) - 73.96(4090.6) + R_{BY}(4133.1) + 387.21(51.55) = 0$$

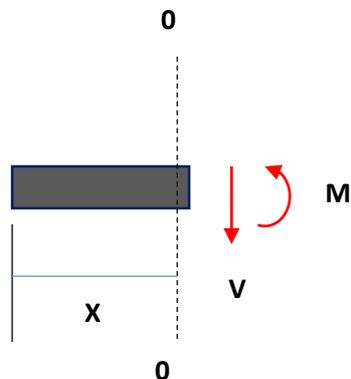
$$R_{BY}(4133.1) = 290,208.7765$$

$$R_{BY} = 70.21 \text{ kG}$$

$$\therefore R_{AY} = -291.50 \text{ kG}$$

Cálculo de cortante y momento flector

Tramo $0 \leq X \leq 72.50$



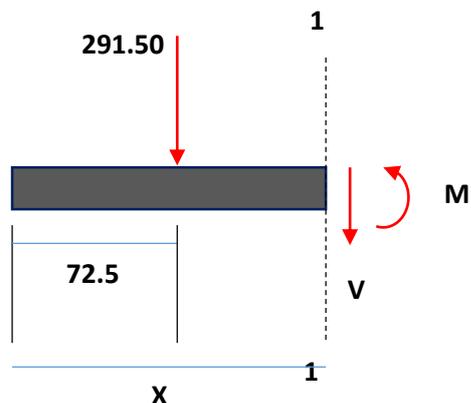
$$\sum F_Y = 0$$

$$V = 0$$

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

$$M = 0 \text{ kg.m}$$

Tramo $72.50 \leq X \leq 124.05$



$$\sum F_Y = 0$$

$$-291.50 - V = 0$$

$$V = -291.50 \text{ kg}$$

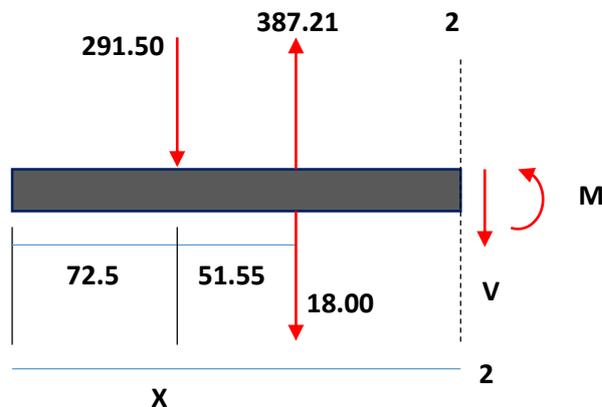
$$\sum M_{1-1} = 0$$

$$291.50(x - 72.50) + M = 0$$

$$M = -291.50(x - 72.50)$$

$$\text{Tramo } 124.05 \leq X \leq 163.10$$

$$\left\{ \begin{array}{l} X = 72.50 \quad M = 0 \text{ Kg.m} \\ X = 95.00; \quad M = -6.55 \text{ Kg.m} \\ X = 124.05; \quad M = -15.03 \text{ Kg.m} \end{array} \right.$$



$$\sum F_Y = 0$$

$$-291.50 + 369.21 - V = 0$$

$$V = 77.71 \text{ kg}$$

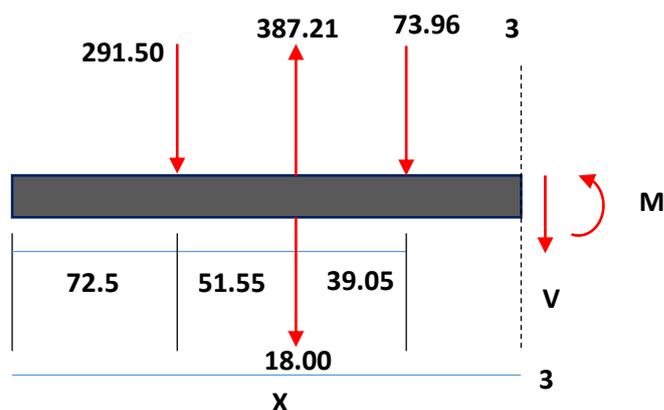
$$\sum M_{2-2} = 0$$

$$291.50(x - 72.50) - 369.21(x - 124.05) + M = 0$$

$$M = 369.21(x - 124.05) - 291.50(x - 72.50)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} X = 124.05 \quad M = -15.03 \text{ Kg.m} \\ X = 163.10; \quad M = -11.99 \text{ Kg.m} \end{array} \right.$$

$$\text{Tramo } 163.10 \leq X \leq 4163.10$$



$$\sum F_Y = 0$$

$$-291.50 + 369.21 - 73.96 - V = 0$$

$$V = 3.75 \text{ kg}$$

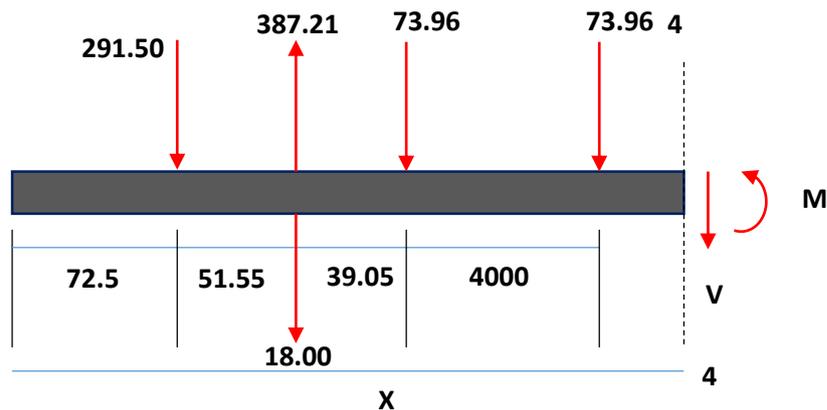
$$\sum M_{3-3} = 0$$

$$291.50(x - 72.50) - 369.21(x - 124.05) + 73.96(x - 163.1) + M = 0$$

$$M = 369.21(x - 124.05) - 291.50(x - 72.50) - 73.96(x - 163.10)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} X = 163.10 \quad M = -11.99 \text{ Kg.m} \\ X = 4163.1; \quad M = 3.01 \text{ Kg.m} \end{array} \right.$$

Tramo $4163.10 \leq X \leq 4205.6$



$$\sum F_Y = 0$$

$$-291.50 + 369.21 - 73.96 - 73.96 - V = 0$$

$$V = -70.21 \text{ kg}$$

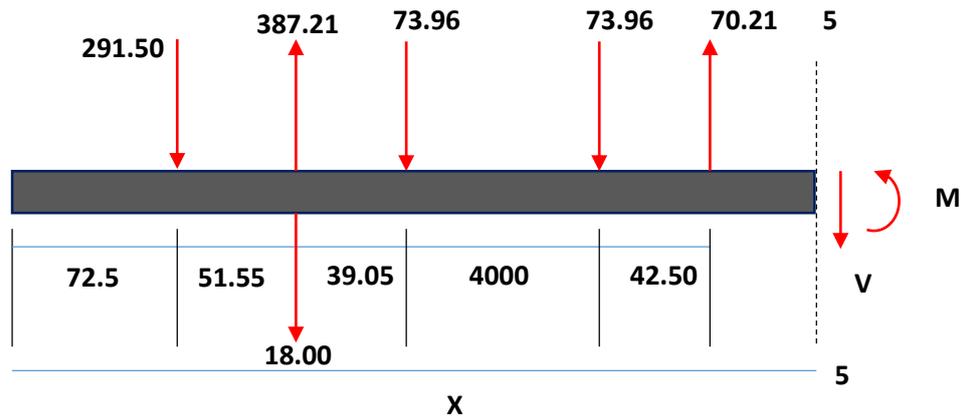
$$\sum M_{4-4} = 0$$

$$291.50(x - 72.50) - 369.21(x - 124.05) + 73.96(x - 163.1) + 73.96(X - 14163.1) + M = 0$$

$$M = 369.21(x - 124.05) - 291.50(x - 72.50) - 73.96(x - 163.10) - 73.96(x - 14163.1)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} X = 4163.10 \quad M = 3.01 \text{ Kg.m} \\ X = 4205.6; \quad M = 0.00 \text{ Kg.m} \end{array} \right.$$

Tramo $4205.6 \leq X \leq 4228.1$



$$\sum F_Y = 0$$

$$-291.50 + 369.21 - 73.96 - 73.96 + 70.21 - V = 0$$

$$V = 0.00 \text{ kg}$$

$$\sum M_{5-5} = 0$$

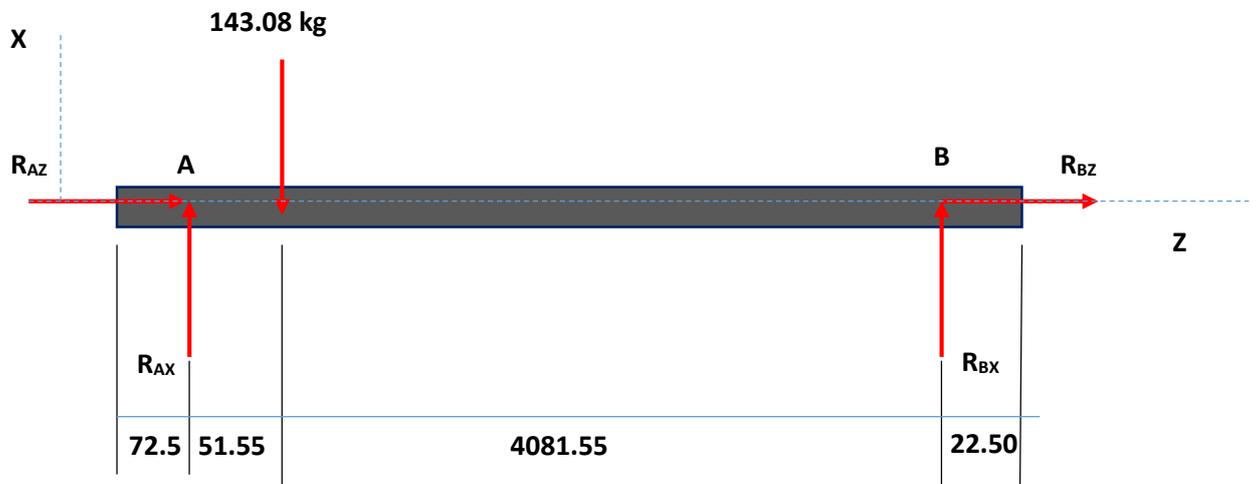
$$291.50(x - 72.50) - 369.21(x - 124.05) + 73.96(x - 163.1) + 73.96(x - 4163.1) - 70.21(x - 4205.6) + M = 0$$

$$M = 369.21(x - 124.05) - 291.50(x - 72.50) - 73.96(x - 163.10) - 73.96(x - 4163.1) + 70.21(x - 4205.60)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} X = 4205.6 \quad M = 0.00 \text{ Kg.m} \\ X = 4228.1; \quad M = 0.00 \text{ Kg.m} \end{array} \right.$$

En el plano Z-X

Cálculo de Reacciones



$$\sum F_X = 0$$

$$-143.08 + R_{AX} + R_{BX} = 0$$

$$R_{AX} + R_{BX} = 143.08$$

$$\sum M_B = 0$$

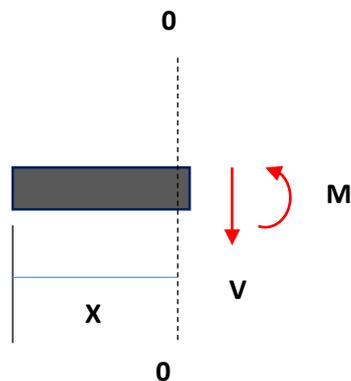
$$143.08(4081.55) - R_{AX}(4133.1) = 0$$

$$R_{AX} = 141.295 \text{ kG}$$

$$\therefore R_{BX} = 1.785 \text{ kG}$$

Cálculo de cortante y momento flector

Tramo $0 \leq X \leq 72.50$



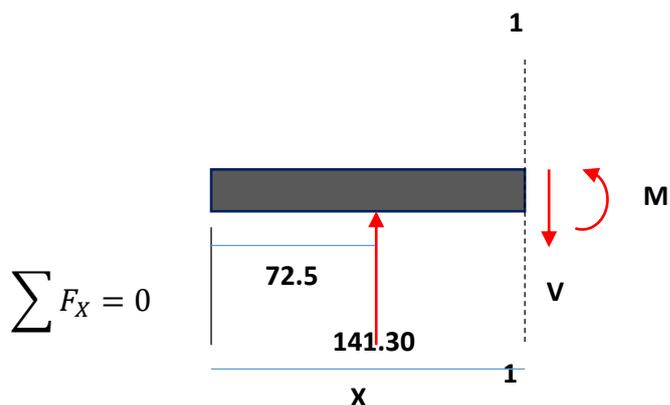
$$\sum F_X = 0$$

$$V = 0$$

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

$$M = 0 \text{ kg.m}$$

Tramo $72.50 \leq X \leq 124.05$



$$\sum F_X = 0$$

$$141.30 - V = 0$$

$$V = 141.30 \text{ kg}$$

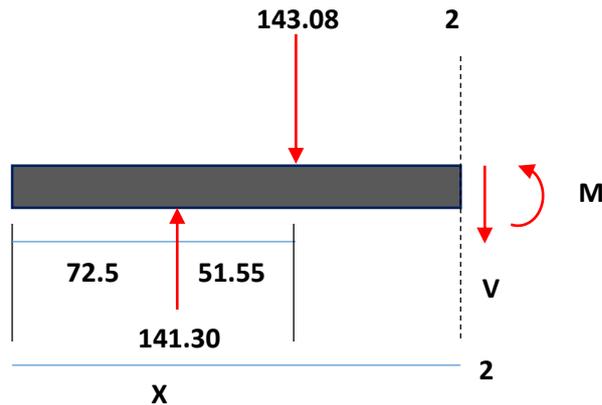
$$\sum M_{1-1} = 0$$

$$-141.30(x - 72.50) + M = 0$$

$$M = 141.30(x - 72.50)$$

$$\text{Tramo } 124.05 \leq X \leq 4205.60$$

$$\left\{ \begin{array}{l} X = 72.50 \quad M = 0 \text{ Kg.m} \\ X = 95.00; \quad M = 3.17 \text{ Kg.m} \\ X = 124.05; \quad M = 7.28 \text{ Kg.m} \end{array} \right.$$



$$\sum F_X = 0$$

$$141.30 - 143.08 - V = 0$$

$$V = -1.78 \text{ kg}$$

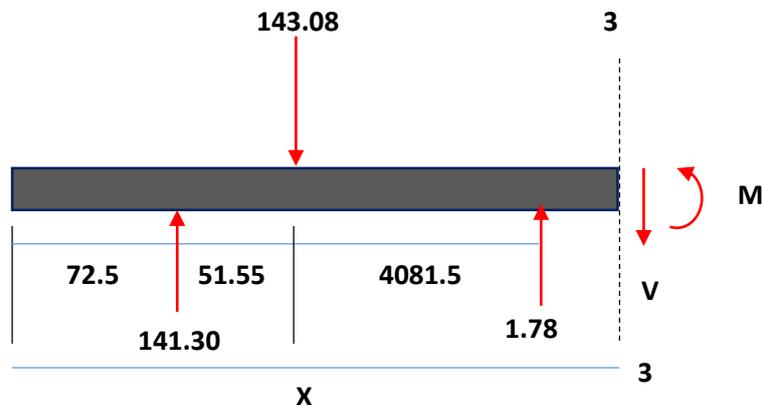
$$\sum M_{2-2} = 0$$

$$-141.30(x - 72.50) + 143.08(x - 124.05) + M = 0$$

$$M = 141.30(x - 72.50) - 143.08(x - 124.05)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} X = 124.05 \quad M = 7.28 \text{ Kg.m} \\ X = 163.10; \quad M = 7.21 \text{ Kg.m} \\ X = 4163.10; \quad M = 0.094 \text{ Kg.m} \\ X = 4205.6; \quad M = 0.02 \text{ Kg.m} \end{array} \right.$$

$$\text{Tramo } 4205.6 \leq X \leq 4228.1$$



$$\sum F_x = 0$$

$$141.30 - 143.08 + 1.78 - V = 0$$

$$V = 0 \text{ kg}$$

$$\sum M_{3-3} = 0$$

$$-141.30(x - 72.50) + 143.08(x - 124.05) - 1.78(x - 4205.6) + M = 0$$

$$M = 141.30(x - 72.50) - 143.08(x - 124.05) + 1.78(x - 4205.6)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} X = 4205.6; M = 0.02 \text{ Kg.m} \\ X = 4228.1; M = 0.02 \text{ Kg.m} \end{array} \right.$$

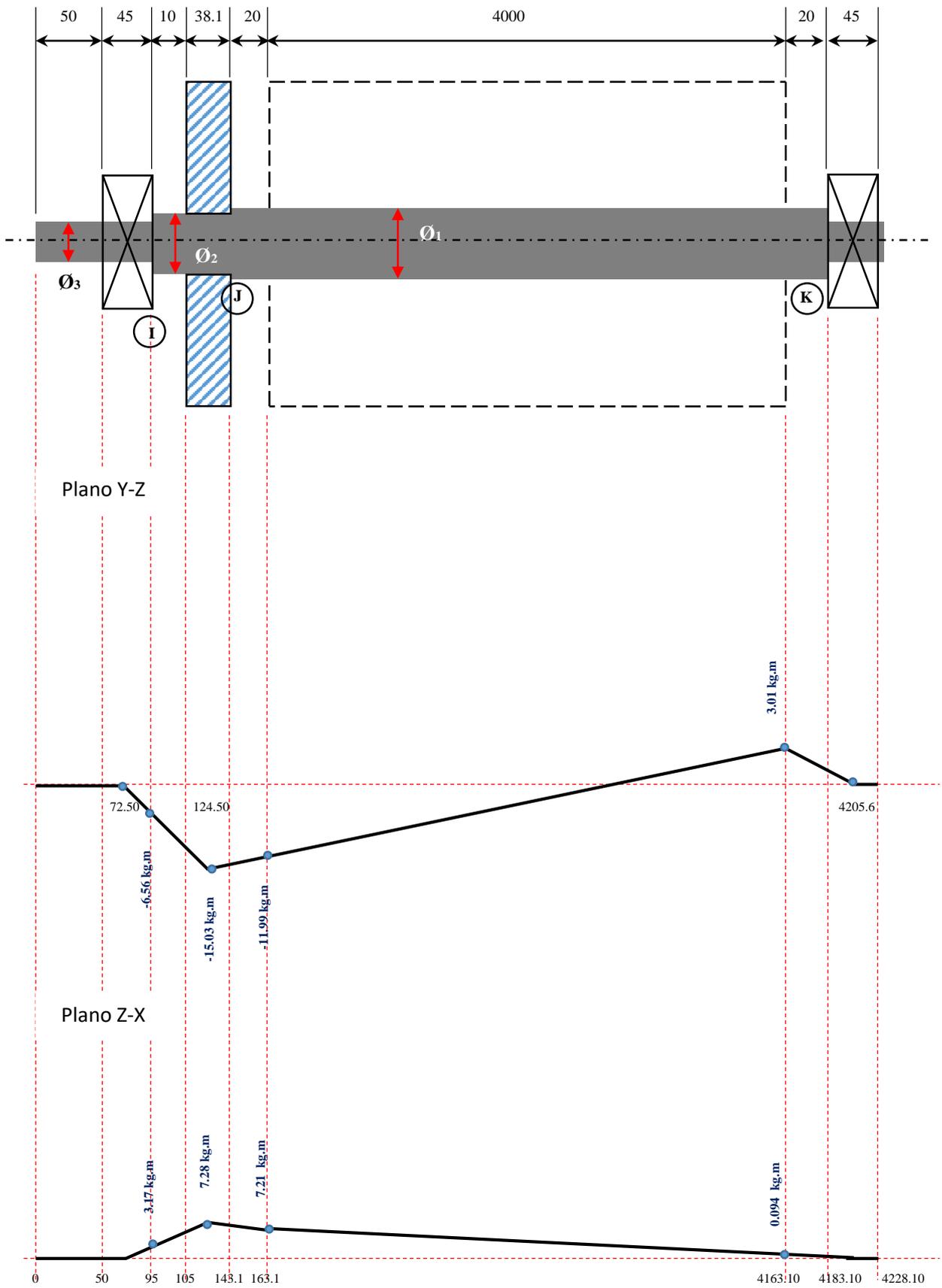


Figura 37. Diagrama de Momento flector.

CÁLCULO DEL DIÁMETRO DEL EJE UTILIZANDO EL CRITERIO DE ED-GOODMAN

Analizando el punto crítico I

a) Determinación de Momento alternante y Torque medio en la sección
En el punto crítico I, actúan los momentos flectores: en el plano Y-Z, $M_1 = -6.56$ kg.m y en el plano Z-X el momento $M_2 = 3.71$ Kg.m

El momento Total en esa zona es:

$$M_a = \sqrt{(-6.56)^2 + (3.17)^2}$$

$$M_a = 7.28 \text{ Kg.m}$$

$$M_a = 71.11 \text{ N.m}$$

Torque transmitido por la fuerza entre engranajes

La fuerza tangencial, proporcionada en los dientes de los engranajes provoca un torque sobre el eje cuya magnitud vendrá expresada por la fórmula:

$$T = W_t \frac{d_e}{2}$$

El diámetro del eje tentativo considerado para esta zona del eje, será igual al diámetro que permitiría el acoplamiento con el hueco interior de la chumacera, es decir 35 mm, de esta manera:

$$T = 3,787.26 \text{ N} \left(\frac{35 \text{ mm}}{2 \times 1000 \text{ mm/m}} \right)$$

$$T = 66.27 \text{ N.m}$$

$$\therefore M_a = 71.11 \text{ N.m y } T_m = 66.27 \text{ N.m}$$

Por otro lado se considera que $M_m = T_a = 0$

b) Determinación de Factores de concentración de esfuerzo por fatiga (K_f y K_{fs})

Para la determinación de los factores K_T y K_{TS} , utilizaremos la tabla del anexo 27, para un filete de hombro bien redondeado, de esta manera $K_T = 1.70$ y $K_{TS} = 1.50$.

La selección de la sensibilidad de la muesca, se realiza considerando que el redondeo de nuestro filete de sección de eje se hará con 5 mm y el material de construcción de mismo es un acero de más de 100 Kpsi de resistencia, por lo tanto **q= 0.85**

$$K_F = 1 + q(K_T - 1)$$

$$K_F = 1 + 0.85(1.70 - 1)$$

$$K_F = 1.595$$

Además

$$K_e = \frac{1}{K_F}$$

$$\therefore K_e = 0.6269$$

Igual se procederá para la determinación del factor de concentración de esfuerzo cortante K_{FS} , para el entalle de 5 mm y el mismo material **q= 0.90**

$$K_{FS} = 1 + q_{cortan}(K_{TS} - 1)$$

$$K_{FS} = 1 + 0.90(1.50 - 1)$$

$$K_{FS} = 1.45$$

c) Determinación del límite de resistencia a la fatiga modificado (S_e)

Se considera $S_e' = 245$ MPa, calculado anteriormente para el acero inoxidable 316 L

Factor de acabado superficial (K_a).- del anexo 04, se selecciona el valor para un acero maquinado y laminado en frío **a=4.51; b= -0.265** y de los catálogos de fabricante para el acero Inox. 316 L **Sut = 490 Mpa**

$$K_a = 4.51(490)^{-0.265}$$

$$K_a = 0.873$$

Factor de tamaño (K_b).- se determina mediante la fórmula, considerando un diámetro de 35 mm

$$K_b = 1.24d^{-0.107}$$

$$K_b = 1.24(35)^{-0.107}$$

$$K_b = 0.8476$$

Factor de carga (K_c).- se selecciona utilizando la tabla del anexo 05

$$K_c = 0.60$$

Factor de temperatura (K_d).- se selecciona utilizando la tabla del anexo 07

$$K_d = 1.010$$

Factor de Confiabilidad (K_e).- Determinado anteriormente como el recíproco de K_F

$$K_e = 0.6269$$

Factor de varios (K_f).- Se considera 1.00

$$S_e = K_a K_b K_c K_e K_d K_f S_e^1$$

$$S_e = (0.873)(0.8476)(0.60)(1.010)(0.6269)(1)(245)$$

$$S_e = 68.87 \text{ MPa}$$

d) Determinación de la sección crítica I

Aplicando ED-GOODMAN

$$d = \left\{ \frac{16n}{\pi} \left(\frac{2K_f M_a}{S_e} + \frac{[3(K_{fs} T_m)^2]^{1/2}}{S_{ut}} \right) \right\}^{1/3}$$

$$d = \left\{ \frac{16(1.50)}{\pi} \left(\frac{2(1.595)(71.1 \times 1000)}{68.87} + \frac{[3(1.45 \times 66.27 \times 1000)^2]^{1/2}}{490} \right) \right\}^{1/3}$$

$$d = 30 \text{ mm}$$

30 mm es la sección mínima que se admitiría para soportar las condiciones estipuladas para el eje, sin embargo para la máquina, en esta zona se considerará rebajar el eje total a 35 mm para poder insertarlo en el interior de la chumacera, lo que daría mayor margen de seguridad al desempeño del eje.

Analizando el punto crítico J

e) Determinación de Momento alternante y Torque medio en la sección

En el punto crítico I, actúan los momentos flectores: en el plano Y-Z, $M_1 = -15.03$ kg.m y en el plano Z-X el momento $M_2 = 7.28$ Kg.m

El momento Total en esa zona es:

$$M_a = \sqrt{(-15.03)^2 + (7.28)^2}$$

$$M_a = 16.70 \text{ Kg.m}$$

$$M_a = 163.34 \text{ N.m}$$

Torque transmitido por la fuerza entre engranajes

La fuerza tangencial, proporcionada en los dientes de los engranajes provoca un torque sobre el eje cuya magnitud vendrá expresada por la fórmula:

$$T = W_t \frac{d_e}{2}$$

El diámetro del eje tentativo considerado para esta zona del eje, será igual al diámetro que permitiría el acoplamiento con el hueco interior de la chumacera, es decir 35 mm, de esta manera:

$$T = 3,787.26 \text{ N} \left(\frac{36 \text{ mm}}{2 \times 1000 \text{ mm/m}} \right)$$

$$T = 68.17 \text{ N.m}$$

$$\therefore M_a = 163.34 \text{ N.m} \text{ y } T_m = 68.17 \text{ N.m}$$

Por otro lado se considera que $M_m = T_a = 0$

f) Determinación de Factores de concentración de esfuerzo por fatiga (K_f y K_{fs})

Para la determinación de los factores K_T y K_{Ts} , utilizaremos la tabla del anexo 28, para un filete de hombro bien redondeado, de esta manera $K_T = 2.40$ y $K_{Ts} = 2.40$. La determinación de estos factores ha considerado la fabricación de un canal chavetero en esta sección de 5/16" de ancho x 1/8" de profundidad en el eje, lo que variará aún más las condiciones de trabajo y por lo tanto la

concentración de esfuerzos es mayor, se considera además que la longitud del canal chavetero será de 38.1 mm, el espesor del cubo del engranaje.

La selección de la sensibilidad de la muesca, se realiza considerando que el redondeo de nuestro filete de sección de eje se hará con 5 mm y el material de construcción de mismo es un acero de más de 100 Kpsi de resistencia, por lo tanto **q= 0.85**

$$K_F = 1 + q(K_T - 1)$$

$$K_F = 1 + 0.85(2.40 - 1)$$

$$K_F = 2.19$$

Además

$$K_e = \frac{1}{K_F}$$

$$\therefore K_e = 0.4566$$

Igual se procederá para la determinación del factor de concentración de esfuerzo cortante K_{FS} , para el entalle de 5 mm y el mismo material **q= 0.90**

$$K_{FS} = 1 + q_{cortan}(K_{TS} - 1)$$

$$K_{FS} = 1 + 0.90(2.40 - 1)$$

$$K_{FS} = 2.26$$

g) Determinación del límite de resistencia a la fatiga modificado (Se)

Se considera $Se' = 245$ MPa, calculado anteriormente para el acero inoxidable 316 L

Factor de acabado superficial (K_a).- del anexo 04, se selecciona el valor para un acero maquinado y laminado en frío **a=4.51; b= -0.265** y de los catálogos de fabricante para el acero Inox. 316 L **Sut = 490 Mpa**

$$K_a = 4.51(490)^{-0.265}$$

$$K_a = 0.873$$

Factor de tamaño (K_b).- se determina mediante la fórmula

$$K_b = 1.24d^{-0.107}$$

$$K_b = 1.24(36)^{-0.107}$$

$$K_b = 0.8450$$

Factor de carga (Kc).- se selecciona utilizando la tabla del anexo 05

$$K_c = 0.60$$

Factor de temperatura (Kd).- se selecciona utilizando la tabla del anexo 07

$$K_d = 1.010$$

Factor de Confiabilidad (Ke).- Determinado anteriormente como el reciproco de Kf

$$K_e = 0.4566$$

Factor de varios (Kf).- Se considera 1.00

$$S_e = K_a K_b K_c K_e K_d K_f S_e^1$$

$$S_e = (0.873)(0.8450)(0.60)(1.010)(0.4566)(1)(245)$$

$$S_e = 50.00 \text{ MPa}$$

h) Determinación de la sección crítica J

Aplicando ED-GOODMAN

$$d = \left\{ \frac{16n}{\pi} \left(\frac{2K_f M_a}{S_e} + \frac{[3(K_{fs} T_m)^2]^{1/2}}{S_{ut}} \right) \right\}^{1/3}$$

$$d = \left\{ \frac{16(1.50)}{\pi} \left(\frac{2(2.19)(163.34 \times 1000)}{50.10} + \frac{[3(2.26 \times 68.17 \times 1000)^2]^{1/2}}{490} \right) \right\}^{1/3}$$

$$d = 48.38 \text{ mm}$$

48.38 mm es la sección mínima que se debe considerar para construir esta parte del eje, sin embargo para un mejor desempeño se seleccionará una sección de eje de 2 ¼", la cual se rebajará a 50 mm en la sección de acoplamiento de los engranajes y a 35 mm en la sección de acople con las chumaceras.

Selección de motor reductor como sistema de potencia de la máquina extractora de emulsión de aceite

POTENCIA REQUERIDA POR EL SISTEMA DE LA MÁQUINA

De acuerdo a los cálculos efectuados en la transmisión de la máquina se determinó que:

- a) Torque requerido (N.m): 528.96
- b) Velocidad angular requerida: 200 RPM (20.94 rad/s)
- c) Sistema de alimentación 3Ø – 440 V frecuencia 60 Hz
- d) Eficiencia de motor: 0.96

CÁLCULOS PREVIOS PARA LA SELECCIÓN DE MOTORREDUCTOR

d) Se calcula el factor de servicio considerando los datos de la tabla que se encuentra en el anexo 29, teniendo en cuenta que:

El motor impulsará cargas moderadas 24 h/día

Puede haber 8 arranques / hora

De acuerdo a la metodología propuesta por la compañía fabricante Rossi Motoriduttori, cuando la potencia es mayor a 9.2 kW, se debe afectar el factor de servicio por 1.25. El Factor de Servicio para nuestro caso, se calcula en base al Factor de Servicio por frecuencia de arranque de la máquina (F_z), en la tabla respectiva del anexo 29.

$$f_s = 1.70 \times F_z \times 1.25$$

$$f_s = 1.70 \times 1.06 \times 1.25$$

$$f_s = 2.25$$

e) Se calcula la potencia a la salida del reductor (P_2) en Kw.

$$P_2 = \frac{M_2 n_2}{955 \cdot n_{final}}$$

Dónde:

P_2 : Potencia a la salida del motor reductor en Kw

M_2 : Torque requerido a la salida del eje en N.m

n₂ : velocidad en rad/s
 η_{final} : eficiencia del motor

$$P_2 = \frac{(528.96 N.m)(20.94 rad/s)}{955.(0.96)}$$

$$P_2 = 12.08 kW$$

f) Se procede con la selección del motor reductor de la tabla del fabricante que se encuentra en el anexo 29 que está a continuación de la tabla del factor de servicio.

Es necesario indicar que la selección de la potencia depende de la disponibilidad del fabricante, en este caso después de 11 kW, el fabricante pasa a 15 kW, por lo tanto nuestra selección se dirigirá a los motores reductores de 15 kw, para un factor de servicio igual a 2.25 o superior y una velocidad de salida de 200 RPM.

195	72	3,35	MR 2I 125 - 160 L	4	7,19
196	72	1,6	MR 2I 100 - 160 L	4	7,14
196	72	2,24	MR 2I 101 - 160 L	4	7,14
214	66	1,8	MR 2I 100 - 160 L	4	6,53
214	66	2,36	MR 2I 101 - 160 L	4	6,53

En este caso para el modelo seleccionado será el **MR 2I 101-160 L**, que nos brinda 214 RPM en la salida del eje del motor reductor, un factor de servicio de 2.36, una relación de transmisión (I) de 6.53: 1, y un torque de 660 N.m (mayor a la requerida en nuestro cálculo).

El modelo seleccionado satisface los requerimientos para nuestro sistema de la extractora de emulsión de aceite.

g) Procederemos a seleccionar un variador de velocidad para poder controlar el motor del motor reductor del catálogo del Fabricante Schneider en el modelo ATV212H. Los parámetros para la selección del variador son:

Potencia de motor : 15kW (20 HP)
 Tensión : 440 V

Del Anexo N. 39 podemos seleccionar el Variador ALTIVAR ATV212HD15N4, para poder controlar el motor del motor reductor de 15 kW

Selección de Acoplamiento Flexible

ALTERNATIVA 1: ACOPLAMIENTO FLEXIBLE TIPO F

Desarrollando el procedimiento descrito anteriormente:

a) Potencia a transmitir.- se considera la potencia real del motor reductor 15 kW o 20 HP

b) Determinando el factor de servicio del acoplamiento.- Utilizaremos la tabla del anexo 30, consideremos nuestra máquina clasifica como maquinaria de procesos, Transmisiones Principales cuyo factor de servicio es 1.5, de acuerdo a la nota de la misma tabla, hay que tener en cuenta que nuestra máquina utiliza motor reductor, por lo que nuestro $F_s = 1.0$

c) Determinamos el Factor K en el diagrama del anexo 33, para una velocidad de 200 RPM, en la salida del reductor; $K = 0.4$

d) Cálculo de capacidad Básica requerida:

$$CB = 20 \times 1.0 \times 0.4$$

$$CB = 8$$

e) Acudimos a la tabla de tamaños de acoples tipo F del anexo 31 y podemos seleccionar el acople tipo: **9F**, cuyas características son:

Velocidad máxima = 4500 RPM

Agujero Max = 66.7 mm

Agujero MIN = 31.7 mm

Sería una de las opciones a escoger ya que las dimensiones del eje de la máquina son de 35 mm, estaría en el rango. Sin embargo no nos expresa la posibilidad de la transmisión de potencia

ALTERNATIVA 1: ACOPLAMIENTO FLEXIBLE TIPO FALK

- a) Potencia a transmitir.- se considera la potencia real del motoreductor 15 kW o 20 HP
- b) Determinando el factor de servicio del acoplamiento.- Utilizaremos la tabla del anexo 30, consideremos nuestra máquina clasifica como maquinaria de procesos, Transmisiones Principales cuyo factor de servicio es 1.5, de acuerdo a la nota de la misma tabla, hay que tener en cuenta que nuestra máquina utiliza motor reductor, por lo que nuestro $F_s = 1.0$
- c) Determinamos la potencia equivalente a 100 RPM con la fórmula

$$P_{100} = \frac{100 P f s}{n}$$
$$P_{100} = \frac{100 (20)(1)}{200}$$
$$P_{100} = 10$$

- d) Acudimos a la tabla de tamaños de acoples tipo F del anexo 32 y podemos seleccionar entre dos tipos de acoplamiento Falk: el **1060 T** o el 1070T, ambos cumplen con las dimensiones mínimas del agujero, sin embargo el acople 1060T sería el más económico que cumple con las exigencia ya que el Torque mínimo a transmitir es de 63.50 Kg.m (621 N.m), mientras que nuestro sistema exige 528.96 N.m

Cálculo de Sistema de agua presurizada

SELECCIÓN DE TOBERA DE AGUA PARA ARRASTRE DE ESENCIA DE LIMÓN

Una vez que las bolsas de aceite del flavedo son descubiertas, aflora el aceite contenido en ellas. Una de las técnicas que se utiliza industrialmente para poder arrastrarlo es inyectar agua a presión encima de la fruta. La técnica se consigue distribuyendo toberas inyectoras de agua, que tengan la capacidad de pulverizar el agua en ángulo, para poder cubrir un rango en la línea de desplazamiento de la fruta.

La elección de la tobera dependerá del ángulo de pulverización, la necesidad de inyección en litros/s y de la presión del sistema.

De acuerdo a los parámetros de diseño de la máquina extractora de aceite de limón se requiere inyectar 30 litros/min de agua encima de la fruta para poder arrastrar el aceite, que será separado posteriormente en la máquina centrifugas. Las toberas pueden generar diversos patrones de pulverización, se utilizarán de acuerdo a las necesidades de la aplicación

a) Selección de patrón de pulverizado

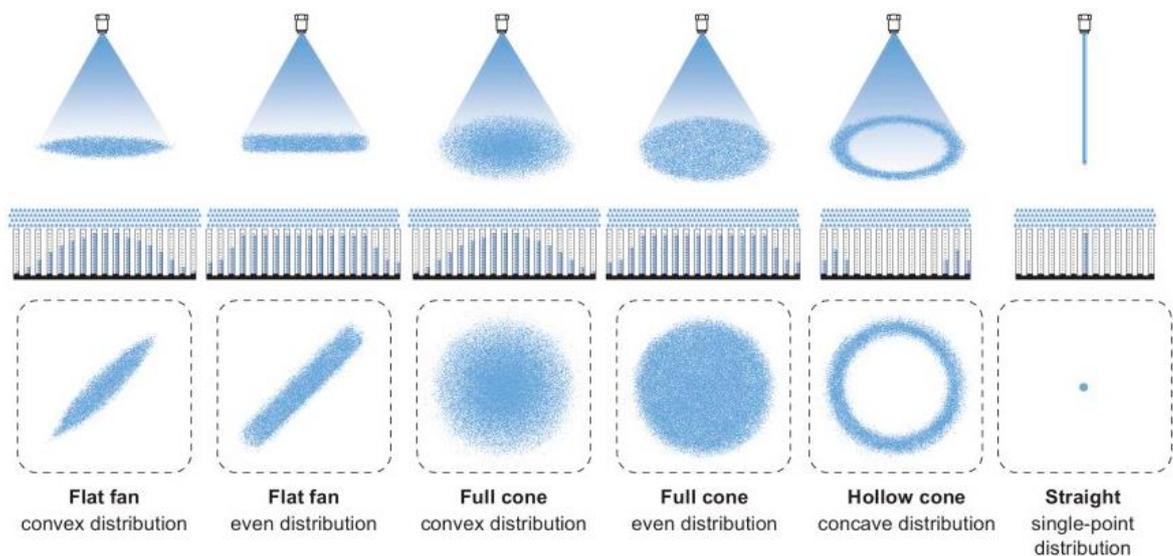


Figura 38. Diferentes patrones de pulverizado.

De la figura N. 38, nos conviene el patrón de Full Cono, distribución equitativa (Even distribution), que permitirá un rociado total sobre la superficie de raspado.

b) Selección de la Tobera en el catálogo de selección Full Cone

De la tabla del anexo N. 34, hemos seleccionado la tobera con conector de 1/8, para una presión de 6 bar (87.02 psi). Esta tobera brinda:

- capacidad de flujo agua: 1 litro/min
- presión de trabajo: 6 bares
- ángulo de Spray: 53°.

En el anexo N. 35, para una altura de posición de la tobera respecto a la fruta de 30 cm. con un ángulo de 50°, el diámetro del abanico de cobertura del chorro es de 28 cm, es decir se puede llegar a cubrir un área de 615.75 cm².

c) Determinación de número de Toberas

Teniendo en cuenta, que la superficie de trabajo de la máquina (área de roseado) será de:

Ancho (cm) = 58.40 cm

Largo (cm) = 400.00 cm

Área de roseado (cm²) = 23,360 cm²

$$n = \frac{\text{Área de roseado}}{\text{Área cubierta/tobera}}$$

$$n = \frac{23,360 \text{ cm}^2}{615.75 \text{ cm}^2/\text{tobera}}$$

$$n = 37.9374 \text{ toberas}$$

$$n = 38 \text{ Toberas}$$

Se requerirían 38 toberas, que inyectarían un flujo de agua total de **38 litros/minuto**

d) Determinación de la fuerza de impacto en la superficie

De acuerdo a la metodología propuesta por Spraying System Co, la fuerza impartida a la superficie por el Spray, se determina con la siguiente ecuación:

$$I = K \times Q \times \sqrt{P}$$

Dónde :

I : Fuerza de impacto

K : Constante

Q : Razón de flujo

P : Presión de líquido

I	lbs.(f)	kg(f)	Newtons	Newtons
K	.0526	.024	.24	.745
Q	gpm	lpm	lpm	lpm
P	psi	kg/cm ²	bar	MPa

$$I = 0.745 \times 1.00 \text{ lpm} \times \sqrt{0.6 \text{ Mpa}}$$

$$I = 0.577 \text{ Newtons}$$

La fuerza de impacto no dañaría la superficie del limón por ser una fuerza inferior a su fuerza de corte, que de acuerdo a lo manifestado por Robles (2013), en cuya tesis logró determinar la fuerza de corte en **0.59 Kg, o 5.9 Newton**. La fuerza aplicada sobre la superficie sólo ayudaría a arrastrar el aceite.

SELECCIÓN DE COMPRESOR DE AIRE PARA PRESURIZACIÓN DE SISTEMA DE INYECCIÓN

El compresor de aire, es un elemento importante en el sistema de inyección de agua para arrastre del aceite. Para poder determinar el tamaño del compresor seguiremos los siguientes pasos propuestos por Larrae y Ocampo (2015).

a) Cálculo de la altura isentrópica para el compresor

Condiciones de Trabajo del compresor: las condiciones de temperatura de succión y humedad relativa, se consideran del lugar donde se realiza la instalación, se pueden consultar en el web site: <https://es.weatherspark.com/>, para la ciudad de Sullana.

Presión de succión (Ps)	:	1 atm = 0.1013 MPa	absoluta
Temperatura de Succión (Ts)	:	35°C,	Temperatura promedio Max. Sullana
Humedad relativa	:	91 %,	mes de febrero
Presión de descarga (Pd)	:	0.8 Mpa	
Valor de exponente isentrópico	:	1.40	(Ver anexo 35)

Determinación de Temperatura de descarga:

$$T_d = T_s \left(\frac{P_d}{P_s} \right)^{(k-1)/k}$$

$$T_d = (35 + 273) \left(\frac{0.8}{0.1013} \right)^{(1.4-1)/1.40}$$

$$T_d = 555.87 \text{ K} = 282.87 \text{ }^\circ\text{C}$$

Para la determinación de los factores de compresibilidad del aire en las condiciones de succión y descarga se pueden seleccionar del diagrama del anexo 35, con los valores de las respectivas Pr y Tr (presión y temperatura reducida, respectivamente)

$$Z_s = 0.9999$$

$$Z_d = 1.0028$$

La altura isentrópica, se calculará con la siguiente relación

$$H_a = 101.972 \left[\frac{k}{k-1} \right] Z \cdot R \cdot T_s \left[\left(\frac{p_d}{p_s} \right)^{(k-1/k)} - 1 \right]$$

Dónde:

- Ha : altura isentrópica en metros
- K : valor de exponente isentrópico
- Z : factor de compresibilidad
- R : constante 0.28 KJ/Kg.K
- Ts : Temperatura de succión
- Pd : presión de descarga en MPa
- Ps : presión de succión en MPa

El valor de Z, será un valor promedio, por lo que

$$Z = \frac{Z_s + Z_d}{2}$$

$$Z = \frac{0.9999 + 1.0028}{2}$$

$$Z = 1.0009$$

$$H_a = 101.972 \left[\frac{1.40}{1.40-1} \right] (1.0009) \cdot (0.287) \cdot (35 + 273) \left[\left(\frac{0.8}{0.1013} \right)^{(1.40-1/1.4)} - 1 \right]$$

$$H_a = 25,412.45 \text{ m}$$

b) Determinación de la Potencia requerida

Se determina por medio de la fórmula:

$$P = \frac{wH_a}{367,200}$$

Dónde:

P : Potencia en kW

W : flujo másico en Kg/h

Ha : altura isentrópica en metros

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

Asumiendo que por las tuberías de pulverización, no debe haber menos de 38 litros/ minuto de agua presurizada, con un factor de seguridad de 1.5.

$$Q_s = 28.00 \text{ m}^3/\text{h}$$

Para un caudal requerido de $Q_s = 28 \text{ m}^3/\text{h}$ y de las carta psicrométrica del aire a 35°C ; $V_s = 0.889 \text{ m}^3/\text{kg}$

$$w = \frac{28}{0.889}$$

$$w = 31.49 \text{ Kg/h}$$

$$P = \frac{31.49 (25,412)}{367,200} \text{ kW}$$

$$P = 2.18 \text{ kW}$$

Para corregir la potencia en función del tipo de compresor, se puede utilizar la siguiente tabla. Consideramos que para nuestra aplicación utilizaremos un compresor alternativo comercial (pistón), pequeño con alta relación de compresión cuya eficiencia de acuerdo a Tabla N. 15 es de 86.5 % en promedio

Tabla 16. Parámetros usuales de eficiencia en compresores

Centrifugal	Without speed reducer/multiplier	98%-99%
	With speed reducer/multiplier	96%-97%
Pistón	Directly coupled large compressors with low pressure rates	90%-98%
	Small compressors with high pressure rates	84%-89%
Belt transmission		92% to 98%

Fuente: WORLD PUMPS March 2017. Selection of gas compressor

Además, si hemos considerado utilizar un compresor de pistón, debemos considerar la eficiencia del cilindro de 0.87, de acuerdo a la figura N. 39

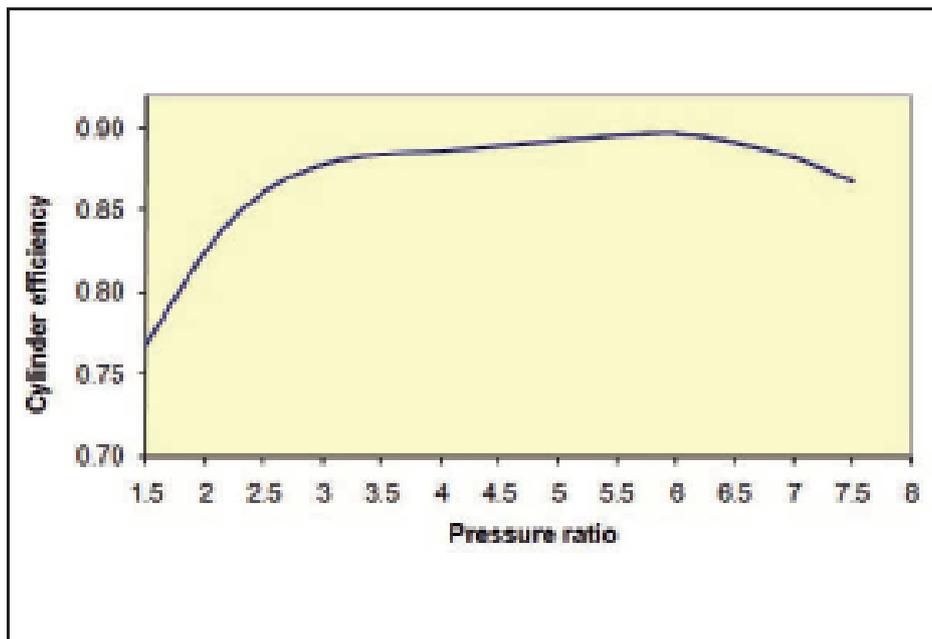


Figura 39. Eficiencia de cilindro para compresor de pistón

La potencia final quedaría como sigue:

$$P_r = \frac{P_n}{n_m \cdot n_c}$$
$$P_r = \frac{2.18 \text{ kW}}{(0.865) \cdot (0.87)}$$

$$P_r = 2.89 \text{ kW} = 3.88 \text{ hp}$$

De los catálogos de los fabricantes, después de 3 hp, la siguiente potencia disponible es 5 hp, por lo tanto de la tabla del anexo N. 36, podemos escoger el compresor con código **N5NN701LEV076**, cuyas características son:

Potencia : 5.5 Hp
Capacidad : 270 litros
Aire aspirado: 640 litros/ minuto
Cilindros : 2

Determinación de Sistema de almacenamiento de emulsión oleosa y evacuación a Tanques pulmón.

DEPÓSITO PRIMARIO PARA EMULSIÓN OLEOSA

Se está considerando como parte de la fabricación de la estructura, que soportará los demás elementos de la máquina extractora de emulsión de aceite. Su función principal es recibir la emulsión producida por el raspado del flavedo, la cual es arrastrada por una corriente de 38 litros/ min de agua presurizada.

Los detalles del depósito primario, se podrán consultar en los planos anexos al presente trabajo. La capacidad del depósito primario es de 1,459.57 litros, fabricado en plancha de acero inoxidable 316 L de 2.5 mm.

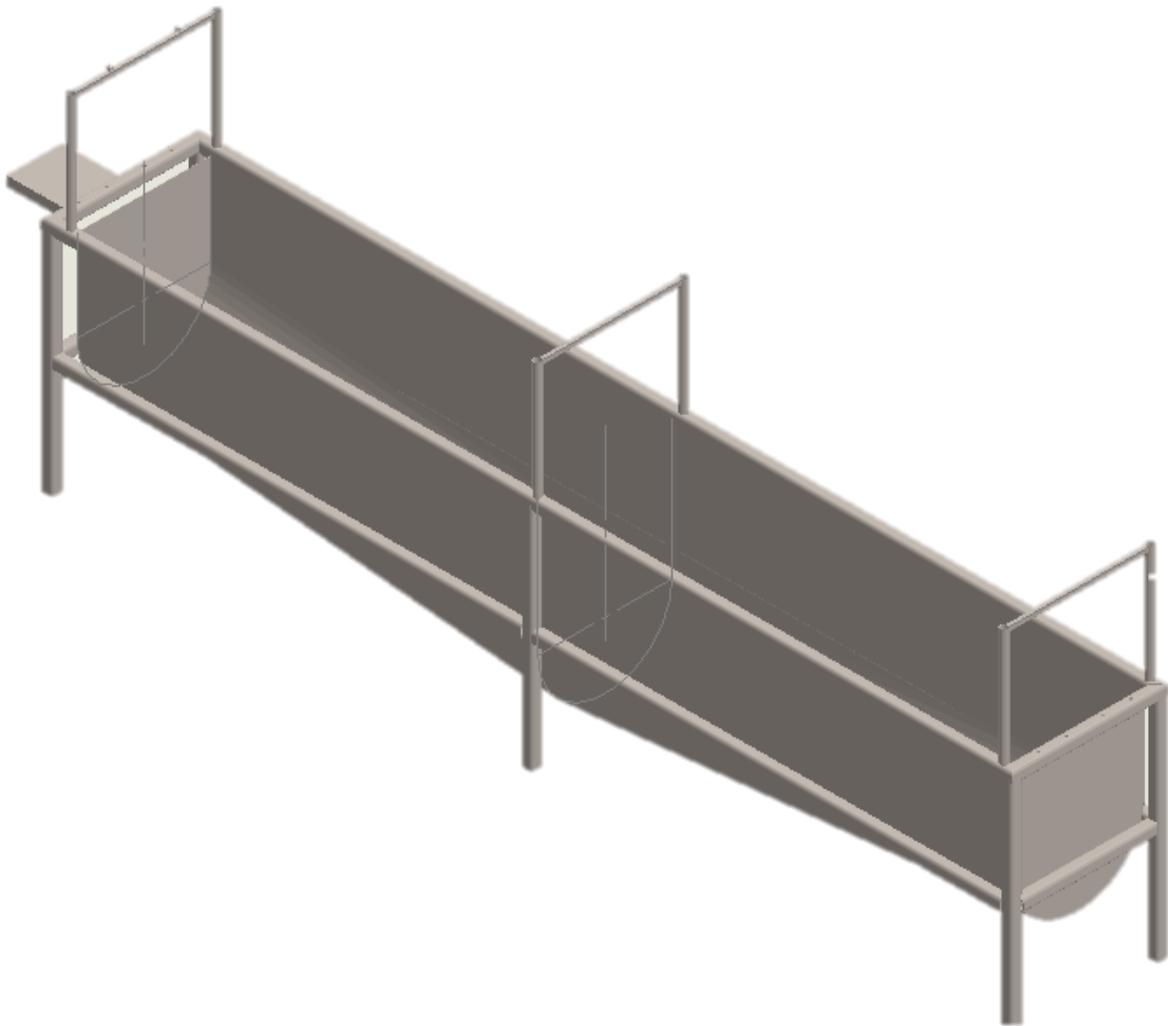


Figura 40. Detalle de depósito primario para emulsión oleosa

DETERMINACIÓN BOMBA CENTRÍFUGA PARA EVACUACIÓN A TANQUE PULMÓN

La bomba se seleccionará de un catálogo de bombas sanitarias, adecuada para trabajo con productos alimentarios.

Para la selección de la bomba, se considera las siguientes restricciones, que resultan de la disposición del depósito primario y el tanque pulmón. La figura 41, muestra la disposición y dimensiones que tiene que recorrer el fluido en el sistema de bombeo.

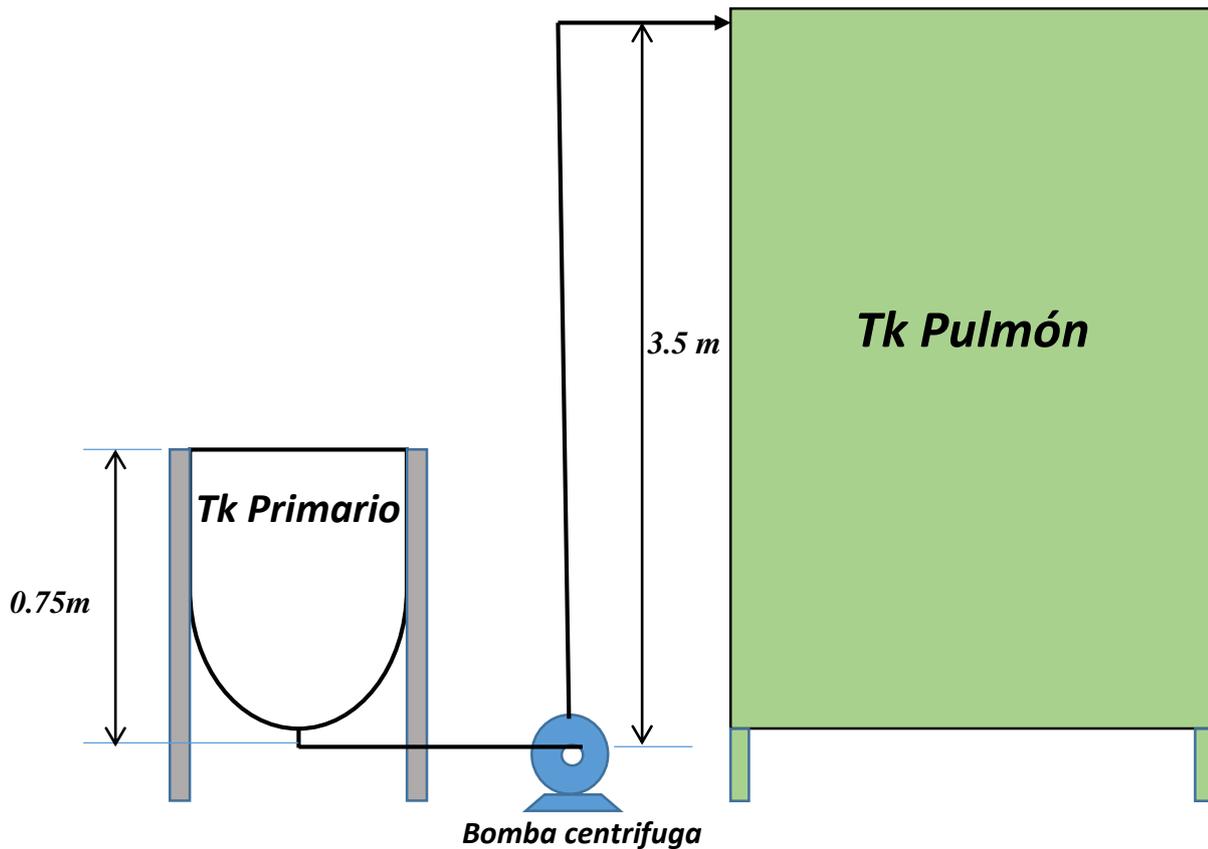


Figura 41. Disposición para la instalación de bombeo de emulsión oleosa

a) Cálculo de altura manométrica ganada en la bomba

Para el esquema mostrado la altura Total (H), es igual es la diferencia de alturas entre el espejo de agua en el punto de succión, hasta el punto de bombeo en la zona de descarga.

$$H_T = H_d - H_s + P_c$$

Dónde:

- H_t : altura manométrica total en metros de agua
- H_d : altura al espejo de agua en la descarga
- H_s : altura al espejo de agua en la succión
- P_c : pérdidas en la línea de carga por efecto de tubería y codos

Para calcular las pérdidas en la tubería, se considera, el valor tabulado por metro de tubería por el cual se desplazará la emulsión de aceite, tomados del diagrama del anexo N. 37

Para un total de 4.5 m de tubería la pérdida que se considera se estima del diagrama teniendo en cuenta un caudal de 3000 litros / hora en una tubería de 3/4" de acero inoxidable 3/16. Del gráfico resulta 350 mm c.a/ m tubería, por lo tanto

$$P_c = 0.35 \frac{mca}{m} \times 4.50m$$

$$P_c = 1.575 m$$

$$H_T = 3.50 - 0.75 + 1.575$$

$$\mathbf{H_T = 4.325 m}$$

b) Cálculo de potencia de Bomba

El caudal considerado para la bomba, se estima en función al flujo de emulsión estipulado de 38 litros/minuto. El sistema debe tener la capacidad de vaciar el depósito primario antes que se llene por completo, por lo tanto el flujo de bombeo debe ser mayor que el producido en el sistema de raspado. Así el caudal de la bomba se calcula como sigue:

$$Q_b = \frac{38.0 l}{min} \times 1.75$$

$$Q_b = \frac{66.5 l}{min} = 3990 l/h$$

La potencia de la bomba se calcula según la siguiente fórmula, según AYODELE (2019):

$$P_n = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H_T}{n_m n_v}$$

Dónde:

- P_n : Potencia nominal en Watt
P : densidad de fluido en Kg/m³, 1000 kg/m³ para el agua
g : aceleración de la gravedad 9.81 m/s²
Q : caudal en m³/s
H_t : altura manométrica total
nm : rendimiento hidráulico
nv : rendimiento volumétrico

$$P_n = \frac{1000 \text{ kg/m}^3 \cdot (9.81 \text{ m/s}^2) \cdot (1.108 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}) \cdot (4.325 \text{ m})}{0.85 \times 0.85}$$

$$P_n = 0.065 \text{ kW}$$

$$P_n = 0.087 \text{ hp}$$

Del diagrama del anexo 38, se puede seleccionar la Bomba centrífuga Sanitaria con el código AMSm70/0.37 de LEO PUMPS, con motor eléctrico de 0.5 HP de potencia, carcasa de bomba fabricada íntegramente en acero Inoxidable. Para un caudal de 60 litros/minuto, la altura dinámica alcanzada será de 15.7 m, cubriendo más de lo requerido por nuestro sistema.



Application

- It is applicable to household water supply, equipment support, pipeline pressurization, garden watering, vegetable greenhouse watering, fish farming and poultry raising, industrial and mining, water supply and drainage of enterprises and high-rise buildings, central air conditioner and centralized heating circulation system, etc.

Pump

- AISI 304 pump body
- AISI 304 shaft
- Max. liquid temperature: +85°C
- Altitude: up to 1000 m

Motor

- C&U bearing
- Motor with copper winding
- Built-in thermal protector for single phase motor
- Insulation class: F
- Protection class: IPX4
- Max. temperature: +40°C

Identification Codes

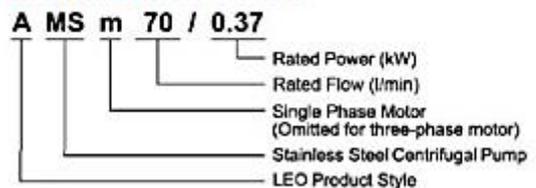


Figura 42. Características de bomba sanitaria AMSm70/0.37 de LEO PUMPS

c) Sistema de control para evacuación de emulsión a tanque pulmón
 Se propone el control del sistema de bombeo a través de un controlador Zelio SR3B101BD cuyas características se pueden verificar en el Anexo 40.

Estructura Metálica para soporte de cilindros y depósito primario

DESCRIPCIÓN DE MATERIALES

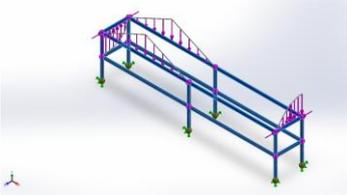
La estructura metálica se confeccionará íntegramente en Acero Inoxidable 316 L:

MESA DE SOPORTE	:	TUBO CUADRADO 2" X 2" X 0.25
DEPÓSITO PRIMARIO	:	PLANCHA LISA 2.5 MM
SOPORTE DE MOTOREDUCTOR	:	PLANCHA ½"
LÍMITE DE TRACCIÓN DE ACERO INOX	:	485,000.00 N/MM ²
LÍMITE ELÁSTICO DE ACERO INOX	:	170,000.00 N/mm ²

A continuación, se presentan la simulación realizada en SolidWorks para el análisis estático de la estructura metálica de la máquina.

De los resultados de la Tabla N. 17, se puede concluir que la estructura metálica puede soportar los esfuerzos normales a la flexión que se generan por la aplicación de las fuerzas externas que se han calculado en nuestro proceso de diseño.

Tabla 17. Propiedades de Material empleado

Referencia de modelo	Propiedades		Componentes
	<p>Nombre: AISI 316L Acero inoxidable</p> <p>Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal</p> <p>Criterio de error predeterminado: Desconocido</p> <p>Límite elástico: 1.7e+008 N/m²</p> <p>Límite de tracción: 4.85e+008 N/m²</p> <p>Módulo elástico: 2e+011 N/m²</p> <p>Coefficiente de Poisson: 0.265</p> <p>Densidad: 8027 kg/m³</p> <p>Módulo cortante: 8.2e+010 N/m²</p> <p>Coefficiente de dilatación térmica: 1.7e-005 /Kelvin</p>	<p>Sólido 1(Tubo cuadrado 2 X 2 X 0.25(2)[2])(bastidor 1),</p> <p>Sólido 2(Recortar/Extender12)(bastidor 1),</p> <p>Sólido 3(Recortar/Extender21)(bastidor 1),</p> <p>Sólido 4(Cortar-Extruir1[1])(bastidor 1),</p> <p>Sólido 5(Recortar/Extender17)(bastidor 1),</p> <p>Sólido 6(Cortar-Extruir1[2])(bastidor 1),</p> <p>Sólido 7(Recortar/Extender15)(bastidor 1),</p> <p>Sólido 8(Recortar/Extender10[2])(bastidor 1),</p> <p>Sólido 9(Recortar/Extender14)(bastidor 1),</p> <p>Sólido 10(Recortar/Extender19)(bastidor 1),</p> <p>Sólido 11(Recortar/Extender3[1])(bastidor 1),</p> <p>Sólido 12(Recortar/Extender20)(bastidor 1),</p> <p>Sólido 13(Recortar/Extender6)(bastidor 1),</p> <p>Sólido 14(Recortar/Extender8)(bastidor 1),</p> <p>Sólido 15(Recortar/Extender16)(bastidor 1),</p> <p>Sólido 16(Recortar/Extender18)(bastidor 1)</p>	
Datos de curva:N/A			

Fuente: Simulación en Solidworks 2017

Tabla 18. Resultado de Tensiones en Vigas de la estructura de la extractora

Nombre de viga	Juntas	Axial(N/m2)	Dir. de pliegue1(N/m2)	Dir. de pliegue2(N/m2)	Torsional (N/m2)	Tensión axial y de flexión en el límite superior(N/mm2)
Viga-1(Tubo cuadrado 2 X 2 X 0.25(2)[2])	1	-75699.3	-2.48E+06	-84505	429696	2,639.15
	2	-75864.4	-2.46E+06	-81101.6	-160770	2,617.65
	3	-75699.3	-5.07E+06	102191	-429696	5,251.77
Viga-2(Recortar/Extender 12)	1	90866.6	-167405	-9010.22	-108190	267.28
	2	90866.6	95275	13785.6	108190	199.93
Viga-3(Recortar/Extender 21)	1	2.11E+06	-175030	-1.32E+06	6264.26	3,599.16
	2	2.11E+06	-2.48E+06	-1.40E+07	-13676.6	18,607.90
	3	2.11E+06	444165	2.90E+06	-6264.26	5,452.40
Viga-4(Cortar-Extruir1[1])	1	-110539	-3.21E+06	-60915.4	21.879	3,382.65
	2	-110539	-3.21E+06	-60957.5	-12.8736	3,382.69
Viga-5(Recortar/Extender 17)	1	-525618	2.46E+06	2.97E+06	13494.7	5,957.03
	2	-527119	145969	278659	-5500.04	951.75
	3	-527119	-473648	-613261	5500.04	1,614.03
Viga-6(Cortar-Extruir1[2])	1	-901577	1.47E+07	64046.8	36.306	15,630.70
	2	-901577	1.47E+07	64003.4	1.644	15,630.60
Viga-7(Recortar/Extender 15)	1	90868.3	-167411	9009.18	108190	267.29
	2	90868.3	95277.9	-13787.4	-108190	199.93
Viga-8(Recortar/Extender10[2])	1	91041.1	90547.8	12426.3	-6685.18	194.02
	2	91041.1	-162816	-5698.31	6685.18	259.56
Viga-9(Recortar/Extender 14)	1	-552643	1.26E+06	20098.1	2.42572	1,830.77
	2	-552643	1.26E+06	20114.6	-2.42572	1,830.79
Viga-10(Recortar/Extender 19)	1	-403698	-14683.9	-61846.5	1380.65	480.23
	2	-406756	-16315.1	-402279	-471.939	825.35
	3	-403698	-14302.9	-161095	-1380.65	579.10
Viga-11(Recortar/Extender3[1])	1	-75862.7	-2.46E+06	81123.5	160770	2,617.76
	2	-75701	-2.48E+06	84481.5	-429697	2,639.04
	3	-75701	-5.07E+06	-102187	429697	5,251.84
Viga-12(Recortar/Extender 20)	1	2.11E+06	-2.48E+06	1.40E+07	13689.9	18,607.80
	2	2.11E+06	-175043	1.32E+06	-6265.77	3,599.18
	3	2.11E+06	444190	-2.90E+06	6265.77	5,452.44
Viga-13(Recortar/Extender6)	1	91039.4	90545.2	-12424.5	6685.54	194.01
	2	91039.4	-162810	5699.46	-6685.54	259.55
Viga-14(Recortar/Extender8)	1	116496	-265725	-17657.2	2.43073	399.88
	2	116496	-265728	-17640.4	-2.43073	399.86
Viga-15(Recortar/Extender 16)	1	-525619	2.46E+06	-2.97E+06	-13481.2	5,957.07
	2	-527120	145956	-278655	5498.5	951.73
	3	-527120	-473623	613259	-5498.5	1,614.00
Viga-16(Recortar/Extender 18)	1	-403698	-14687.2	61845.5	-1379.15	480.23
	2	-403698	-14397	136281	1379.15	554.38
	3	-406756	-16168.5	402276	467.952	825.20

Fuente: Simulación en Solidworks 2017

Estimación de Producción de la máquina extractora de emulsión de aceite de limón y balance producción.

CONFIGURACIÓN DEL RASPADOR DE PRUEBA

Para la determinación de la prueba de raspado se empleó un mecanismo pendular en cuya pesa se configuró una superficie raspadora de 44 mm de diámetro, en la figura 43, se puede apreciar el detalle de la pesa con puntas afiladas.



Figura 43. Detalle de pesa con superficie raspadora para la determinación de fuerza de raspado

Durante los eventos de prueba que evidenciaron raspado en la superficie del limón, se verificó que el área raspada muestre la presencia de albedo (membrana blanca). Para conseguir un buen raspado, se contaron el número de veces que la pesa pasa por el limón haciendo la operación hasta que se detiene. Así de esta manera se pudo observar que:

- a) El ángulo que forma el péndulo antes del preciso momento de raspar el limón con la vertical imaginaria es de 2° , igual medida de ángulo se forma cuando la pesa deja de raspar el limón

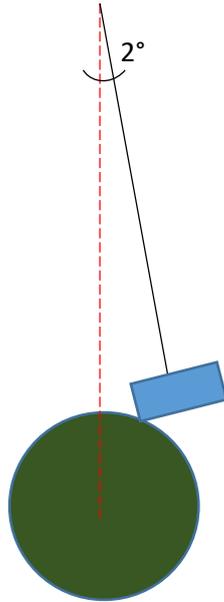


Figura 44. Disposición de pesa raspadora antes de raspar el limón

De acuerdo a lo observado, la longitud de arco del sistema de prueba que se forma en los 4°, vendrá expresado por la fórmula:

$$L_a = \theta R$$

$$L_a = \frac{4^\circ \times \pi}{180} (72 \text{ cm})$$

$$L_a = 5.02 \text{ cm}$$

La longitud de arco total que se logró para raspar completamente el limón será

$$L_T = L_a \times \text{numero de veces}$$

$$L_T = 5.02 \text{ cm} \times (6 \text{ veces})$$

$$L_T = 30.12 \text{ cm}$$

b) Para determinar el desplazamiento angular en el cilindro rascador diseñado, se considerará el radio externo a la superficie de raspado, es decir, el nuevo radio será de 13.65 cm. Por lo tanto el nuevo desplazamiento en radianes será de:

$$\theta = \frac{L_t}{R}$$

$$\theta = \frac{30.12 \text{ cm}}{13.65 \text{ cm}}$$

$$\theta = 2.2065 \text{ rad}$$

En su equivalente a vueltas o revoluciones es de 0.3511 revoluciones, para raspar un área de limón de 0.9417 cm², tal como se observa en la figura.



Figura 45. Área raspada de limón después de ejecutada la prueba

c) Para determinar el número de vueltas que se requiere para raspar el limón completamente, considerando un proceso ideal, es decir, forma de limón totalmente esférica, posicionamiento de limón adecuado en una cara diferente. Se va a considerar un área superficial promedio por limón de 60.82 cm²,

$$Vueltas = 0.3511 \text{ revol} \times \frac{60.82 \text{ cm}^2}{0.9417 \text{ cm}^2}$$

$$Vueltas = 22.67 \frac{\text{revoluciones}}{\text{limon}}$$

d) Determinación de la velocidad de procesamiento de la máquina a máxima capacidad, para ello consideramos que la velocidad máxima que imprimirá el motor reductor es de 200 RPM y que en la superficie de los rodillos se pueden colocar 9 limones que ocupan una franja de 40 mm, la eficiencia aún no probada en campo se considerará como la más baja teniendo, considerando que el limón no se distribuye uniformemente, o que puede salir fuera del cilindro por efecto de la fuerza centrífuga del rodillo, por lo tanto el rendimiento de la máquina se estima en 0.25

$$Velocidad = \frac{9 \text{ limon}}{23 \text{ vuelta} \times 40 \text{ mm}} \times \frac{200 \text{ vueltas}}{\text{minuto}} \times 4000 \text{ mm} \times 0.04 \frac{\text{kg}}{\text{limon}} \times 0.25$$

$$velocidad = 78.26 \frac{\text{kg}}{\text{minuto}}$$

$$Velocidad = 4,695.6 \frac{\text{kg}}{\text{hora}}$$

Considerando que el motor reductor puede ser controlado con un variador se puede estimar que el rango de velocidad de la máquina, será de **2300 - 4695 Kg/h**

e) Con los datos obtenidos en este estudio y los proporcionados por las investigaciones previas, elaboraremos el balance de materia, que se muestra en la siguiente figura.

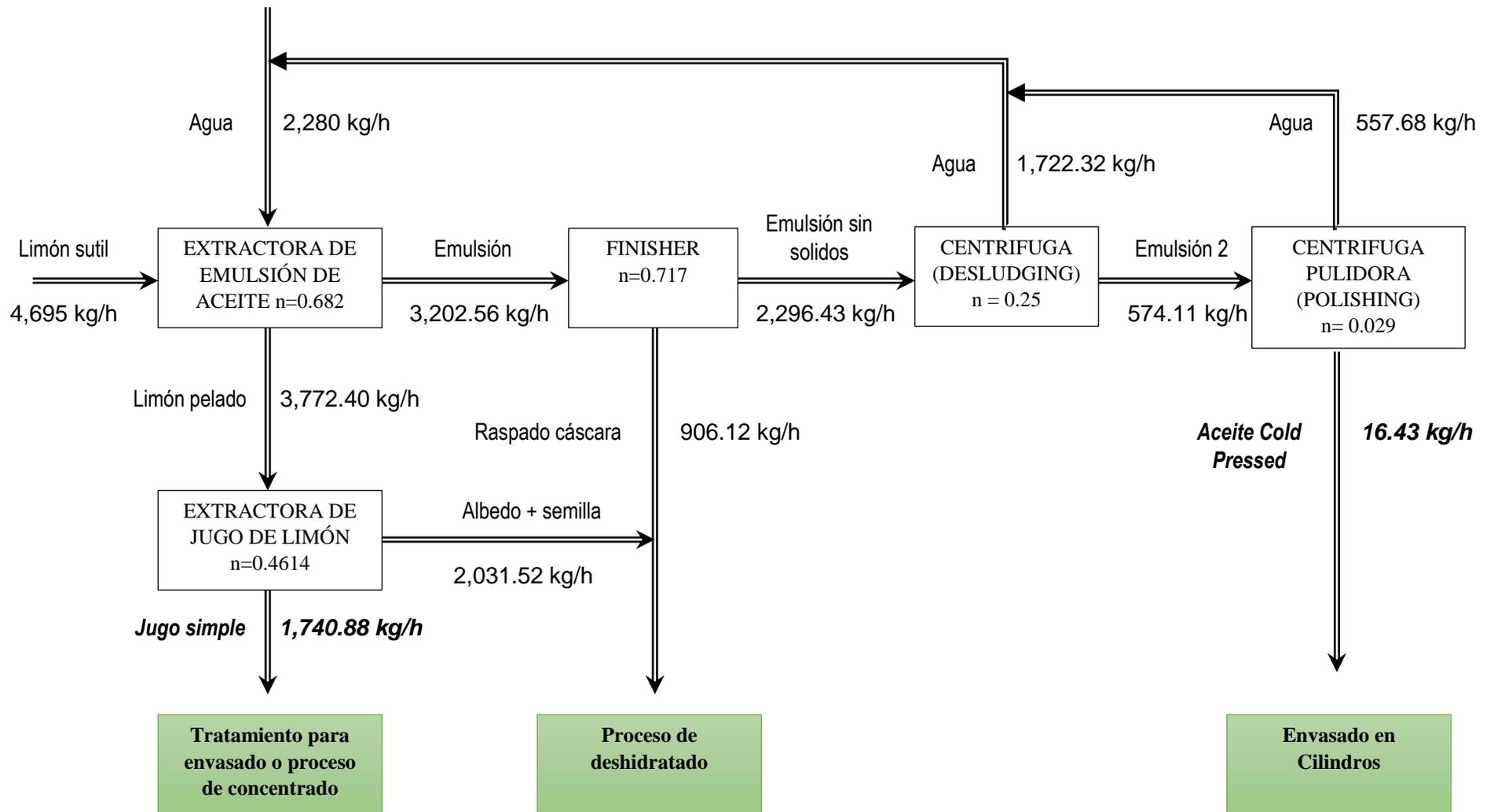


Figura 46. Balance de materia utilizando máquina extractora de emulsión de aceite de limón, en condiciones ideales de operación

Tablero de Control y fuerza para máquina extractora de emulsión de aceite de limón.

CUADRO DE CARGAS PARA LA MÁQUINA EXTRACTORA DE EMULSIÓN DE ACEITE DE LIMÓN

La potencia de la máquina extractora, será suministrada por un motor reductor de 15 kW, calculado anteriormente, el cual será controlado por medio de un variador de velocidad, asimismo se contempla un compresor de 5.50 hp, el cual estará destinado a mantener la presión del sistema de inyección de agua presurizada para arrastre del aceite, además se está considerando una bomba centrífuga sanitaria monofásica de 0.5 hp, para la evacuación de la emulsión al tanque pulmón. Todos estos artefactos conforman una potencia instalada total de 19.47 kW. En la tabla N. 19 se presenta un resumen de las cargas que se han planificado para esta máquina.

Tabla 19. Cuadro de Cargas para la máquina extractora de emulsión de aceite de limón

Artefacto Eléctrico	fases	Tensión (V)	Cantidad	Pot. (kW)	Intensidad (In)
Motor reductor MR2I101-160L	3	440	1	15.00	24.63
Compresor N5NN701LEV076	3	440	1	4.10	6.74
Bomba centrífuga AMSm70/0.3	2	220	1	0.37	1.06
Potencia Instalada				19.47	32.43

Fuente: Elaboración propia.

CUADRO DE CARGAS PARA LA PRODUCCIÓN DE ACEITE COLD PRESSED COMO SUB PRODUCTO EN LA LÍNEA DE JUGO DE LIMÓN

Es importante mencionar en este punto que para poder efectuar una evaluación económica de nuestro diseño, se requerirá tener en cuenta el uso de energía de los equipos que complementan el proceso para obtención de aceite cold pressed en la línea de jugo de limón. Los equipos que se requieren y que se encuentran instalados en planta son:

- a) Finisher o separador de sólidos: cuya función es separar los sólidos suspendidos en la emulsión de aceite luego que son bombeados desde el tanque

pulmón, con la finalidad de separar los sólidos, antes de ingresar a las centrifugas separadoras, las cuales pueden permitir un contenido no mayor del 10% de sólidos en suspensión.



Figura 47. Finisher o separador de solidos

b) Centrifuga Primaria o deslodadora (DESLUDGING), cuya función consiste en separar la fase liviana de la fase pesada. En este caso la fase liviana está constituida por el aceite en suspensión junto con otros componentes livianos, mientras que la fase pesada estará básicamente constituida por agua, obteniéndose una emulsión más concentrada.



Figura 48. Centrifuga primaria o deslodadora

c) Centrífuga secundaria o pulidora (POLISHING), que se encargará de hacer la separación refinada, obteniendo así un aceite más puro que se le conoce con el nombre de aceite cold pressed.



Figura 49. Centrífuga secundaria o pulidora

En la Tabla N. 20 se muestra el cuadro de cargas para estos equipos complementarios del proceso de aceite cold pressed

Tabla 20. Cuadro de Cargas complementarias para el proceso de obtención de aceite cold pressed

Artefacto Eléctrico	fases	Tension (V)	Cantidad	Pot (kw)	Intensidad (In)
Finisher FMC	3	440	1	7.46	12.25
Centrífuga DESLUDGING	3	440	1	26.10	42.86
Bomba desde Tanque pulmón	2	220	1	1.12	3.18
Pulidora Wetsfalia POLISHING	3	220	1	11.00	18.06
Potencia Instalada				45.68	76.35

Fuente: Elaboración propia

TABLERO DE FUERZA Y MANDO ELÉCTRICO

Los equipos eléctricos de la máquina extractora de emulsión serán controlados desde un tablero de control de fuerza y mando, cuyos diagramas eléctricos confeccionados bajo la NORMA DIN, se encuentran en los anexos de este trabajo.

a) Control y Mando para Compresor de 5.5 hp

El motor del compresor será arrancado con una conexión estrella triángulo en el lado de fuerza y comandado por 3 contactores LC1D09M7 con bobina de 220 V, los cuales entrarán en secuencia con un temporizador RE17LMBM. Para el sistema de mando se está considerando un transformador 250 VA 460V/24-220 V, además de un relé de seguridad de 14 pines en 220 V. El seccionamiento con la línea de fuerza de 440 V, se realizará con un Interruptor Termo magnético 3 x 10 A. Para la protección del motor se considera un Relé térmico de 2.5-40 A.

b) Control y Mando para Motor reductor de 20 hp

La máquina tiene la bondad de poder controlar la velocidad de giro para poder regular la calidad de la producción, esto se hará gracias a la instalación de un variador de frecuencia ALTIVAR ATV212HD15N4, a los entradas LI1 y LI2, se le conectionará con señales de pulsador de parada y marcha, la velocidad se puede controlar externamente del tablero por medio de un potenciómetro de 10 KΩ. Se está considerando para la protección del motor un Guarda motor GV3P40, sin embargo el variador de frecuencia también cuenta con un relé térmico incorporado.

c) Control y Mando para la Bomba de abastecimiento al tanque pulmón

La alimentación de la bomba sanitaria es en una tensión monofásica de 220 V, para el control de los niveles, se está considerando una Fuente Switching de 150W 220 VDC/ 24 VDC, la que permitirá alimentar un relé controlador Zelio SR3B101BD, el que permitirá el control de arranque o parada de la bomba con el ingreso de dos señales enviadas por los electro niveles de control que monitorearán los niveles del tanque alto o bajo. Se está acondicionando un Selector de tres posiciones fijas para el conmutar entre manual o automático; en

caso de falla se está considerando un botón de parada de emergencia. El Zelio controlará un contactor LC1D09M7

d) Tablero Eléctrico

Los dispositivos de control y fuerza serán alojados en un Tablero metálico con grado de protección IP66, el material de fabricación debe ser: para la Caja chapa de acero; para la Puerta: chapa de acero, junta continua de poliuretano inyectado. La superficie debe tener imprimación por inmersión, exterior texturizado, pintura estructurada Placa de montaje: galvanizada, con bisagras cerrada en todo el contorno. Dimensiones 600 x 600 x 210 mm

3. MODELAMIENTO DE LOS ELEMENTOS Y ENSAMBLE DE LA MÁQUINA EN SOFTWARE DE COMPUTADORA.

Se ha realizado el modelamiento de los elementos que conforman la máquina extractora de emulsión de aceite de limón, para comprobar su dimensionamiento y función. Los planos y los archivos digitales, se alcanzan juntos en los anexos respectivos.

Sub-Función: Raspado continuo de flavedo y transmisión mecánica de movimiento rotacional.

Cilindros paralelos de acero inox. 316L, de 11" Ø exterior con superficie abrasiva maquinada, acondicionados con eje de acero inox. 316 L, escalonado de 2.5" x 4.00 metros en la parte central para soportar el cilindro rascador, siguiente escalón solo en el extremo de potencia con 50 mm Ø x 48.10 mm para soportar los engranajes helicoidales que serán los responsables de transmitir la potencia, seguido de un último escalonado de 35 mm Ø para soportar la chumacera con canal chavetero para acoplamiento del elemento de potencia (motor reductor), el otro extremo del eje con escalón de 35 mm Ø x 45 mm para soportar la otra chumacera. Las chumaceras son SY 35 TF de SKF, mientras que los engranajes son construidos en Acero Bohler VCL 320, con 88 dientes tallados con hélice derecha en uno y con hélice izquierda en el otro, cada engrane con 1.5" de flanco, agujero central con canal chavetero de 50 mm Ø. El motor reductor que se

encuentra disponible en el mercado y que se considerará para este estudio es el Reductor de engranajes helicoidales R97 27.58 160 B5 EPLI, con motor 3Ø x 20 HP 220/380/440 V 60 Hz Epli.

El acoplamiento seleccionado para el motor reductor y el eje del engrane impulsor es el FALK 1060T10. El sistema de Potencia eléctrico será controlado con un Variador de frecuencia ATV212 15 kW 400 VTRI IP20, acondicionado en su respectivo tablero eléctrico.

4. REALIZAR LA EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA MÁQUINA EXTRACTORA DE EMULSIÓN DE ACEITE DE LIMÓN

Presupuesto para la construcción de la máquina extractora de emulsión de aceite de limón

Se consideran dos partidas: REPUESTOS-MATERIALES y SERVICIOS MANO DE OBRA.

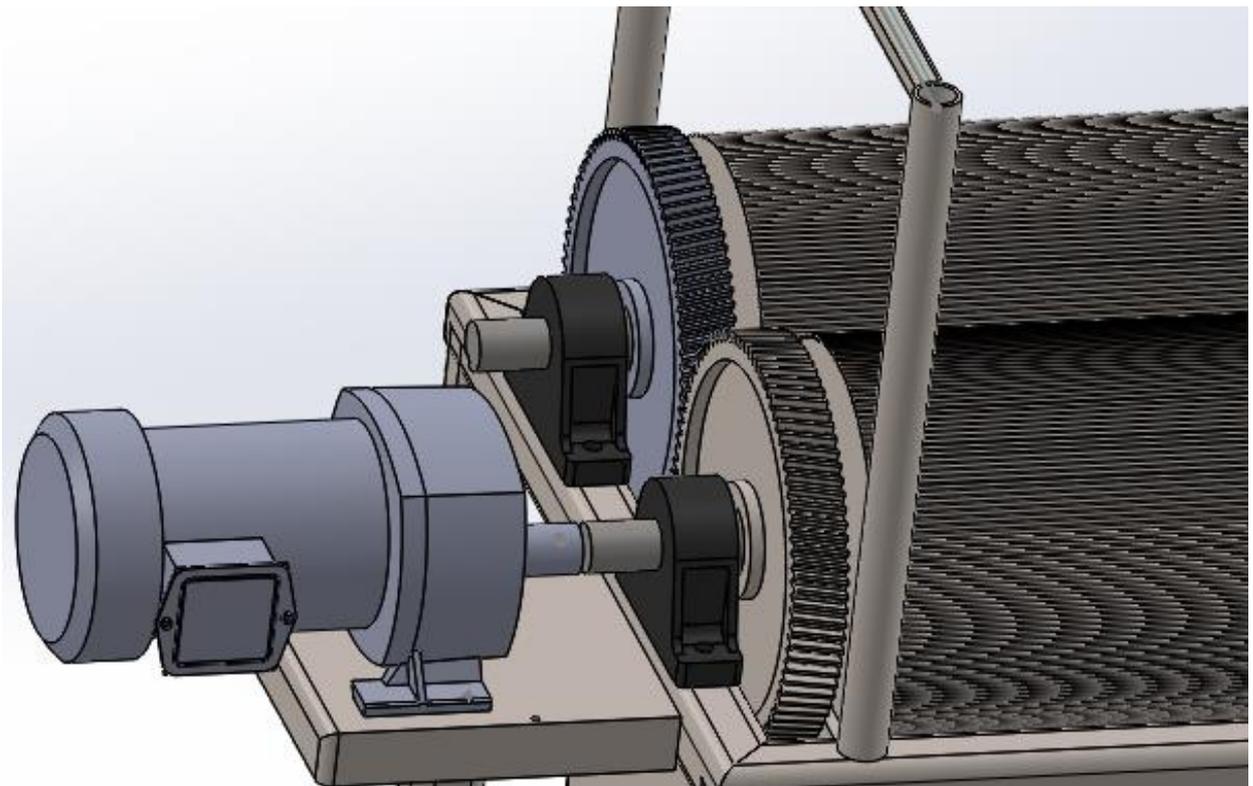


Figura 50. Disposición de los elementos de máquina de la Sub Función Raspado continuo del flavedo.

Sub-Función: Inyección de agua a presión

Se ha diseñado un sistema de inyección de agua a presión de 6 bar con 38 toberas de 1 litro/ minuto, acopladas a una red de tuberías de acero inox. ½”, para mantener la presión en el sistema se está considerando un compresor disponible en el mercado, el compresor SCHULZ de 5 HP MSV20 MAX 250 L Horizontal. Gobernado eléctricamente desde el Tablero principal de la máquina. Se contempla el reciclado de las aguas que salen de las centrífugas desludadora y pulidora respectivamente.

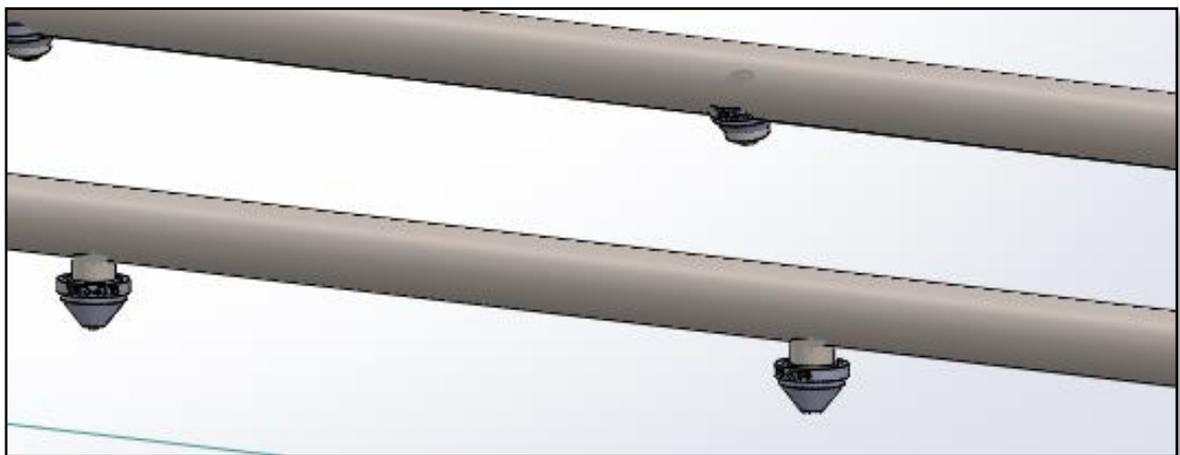


Figura 51. Toberas del sistema de inyección de agua para arrastre del aceite, acoplados en tuberías de acero inox. ½”.

Sub-Función: Almacenamiento de emulsión oleosa y evacuación a tanques pulmón.

Se ha diseñado un deposito en plancha de acero inoxidable 316L de 2.5 mm, con una capacidad de almacenamiento de 1460 litros de emulsión de aceite, se ha considerado un sistema de control automático para la evacuación de la emulsión hacia el tanque pulmón, se considera un sistema con una Electrobomba centrífuga alimentaria de 0.5 HP, tubería de succión de ½” de acero Inox. 316. El sistema lo controla un Relé Programable Regulado 6E/4S 4E ANALOG 24 VDC C/ RELOJ. Se considera en el diseño dos niveles eléctricos para enviar señal de encendido y apagado de la electrobomba.

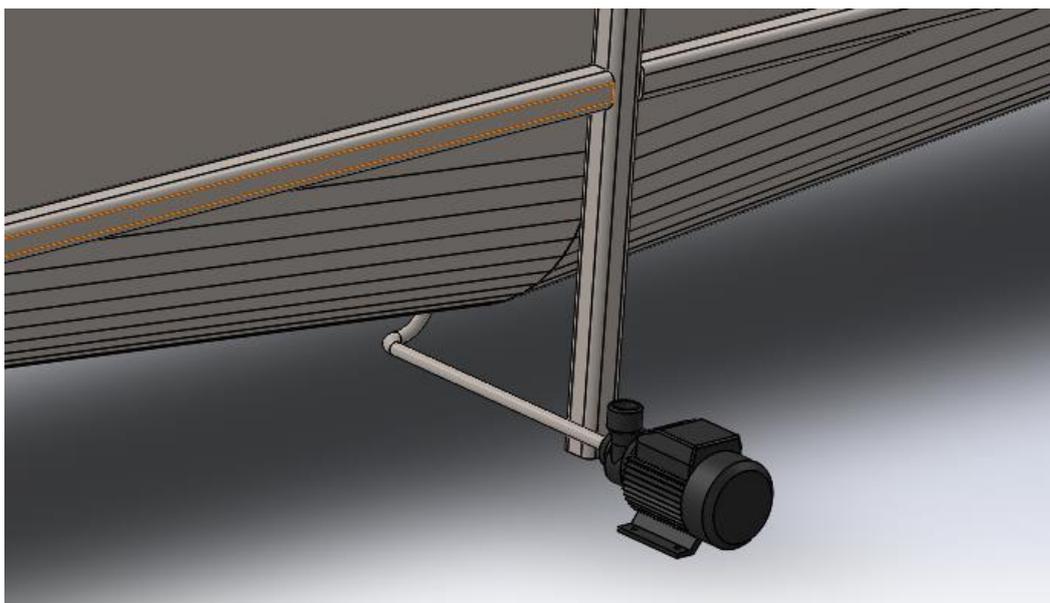


Figura 52. Tanque de Acero Inox 316 L, con Electrobomba sanitaria de 0.5 HP acoplada para bombeo hacia el tanque pulmón.

4. REALIZAR LA EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA MÁQUINA EXTRACTORA DE EMULSIÓN DE ACEITE DE LIMÓN.

Presupuesto para la construcción de la máquina extractora de emulsión de aceite de limón

Se ha cotizado todos los materiales e insumos y el servicio de mano de obra para la construcción de una unidad. En la Tabla N. 22, se puede apreciar el detalle del presupuesto

Balance de línea

De acuerdo al esquema de flujo de materia que se aprecia en la figura N. 13, la línea de proceso para la obtención de aceite cold pressed, necesitará de la implementación de los equipos detallados en la tabla N.21, siendo que en la actualidad se encuentran instalados desde los extractores hasta las pulidoras, garantizando una capacidad de procesamiento de 8,000 Kg de materia prima por hora. Para no desbalancear la línea de producción se requerirá de 02 Extractoras de emulsión en el proyecto de Agromar Industrial.

Tabla 21. *Balance de línea para obtención de aceite cold pressed de limón*

Equipo	Capacidad	Existencia	Requerimiento
Extractora de Emulsión	4.695 TM/h	0	2
Extractor de jugo	4.000 TM/h	2	0
Finisher	5.000 TM/h	2	0
Centrífuga Desludging	6.000 TM/h	2	0
Centrífuga Pulidora	50 Kg/h	2	0

Fuente: Elaboración propia

Los Equipos complementarios es decir la finisher y centrífugas para el caso del procesamiento de aceite cold pressed, se consideraran como si no existieran, sobre todo para evaluar la rentabilidad del proyecto de inversión. En la tabla N. 23, se puede ver el costo de maquinaria complementaria para el proyecto de aceite cold pressed.

Tabla 22. Presupuesto para la construcción de extractora de emulsión de aceite de limón

Descripción	Cantidad	Precio Unitario S/.	Valor Venta S/.	IGV S/.	Sub Total S/.
MATERIALES			-	-	55,705.63
Tubo de Acero Inox. 316L x 10" x 6 mtrs	2	1,516.00	3,032.00	545.76	3,577.76
Eje de Acero Inox. 316 L - 2 1/2"	2	3,852.00	7,704.00	1,386.72	9,090.72
Tubo cuadrado Acero Inox 316 L 2" x 2" x 3.175	4	226.08	904.33	162.78	1,067.11
Plancha Acero Inox. C-316 3/32 x 4 x 8	4	1,744.31	6,977.22	1,255.90	8,233.12
Chumacera de Pie 35 MM	4	57.42	229.66	41.34	271.00
Motorreductor 20 Hp reductor 6.53 : 1	1	4,836.64	4,836.64	870.59	5,707.23
Acoplamiento Flexible tipo Falk 1060T	1	965.70	965.70	173.83	1,139.53
Compresor 270 Lt x 5.5 HP / 3x440 V	1	12,381.65	12,381.65	2,228.70	14,610.35
Toberas de agua 1/8	38	39.29	1,492.99	268.74	1,761.73
Tubo de acero Inox 316 1/2 x 6 mtrs largo	2	171.19	342.38	61.63	404.01
Bomba de Agua Salmson 1/2 HP	1	1,703.25	1,703.25	306.59	2,009.84
Variador de frecuencia ALTIVAR ATV 212 15kw	1	3,547.94	3,547.94	638.63	4,186.57
Contacto Tesys 9A LC1D09M7	3	87.79	263.37	47.41	310.78
Relé programable regulable SR3B101BD	1	321.74	321.74	57.91	379.65
Interruptor Termomagnetico A9F74340	1	146.50	146.50	26.37	172.87
Plus d/emergencia Rojo XB5AS8442 Girar/Dese	1	45.00	45.00	8.10	53.10
Relé térmico 2.5 - 4 A LRd08	1	140.73	140.73	25.33	166.06
selector Maneta Cort 2POS FIJAS 1NA XB5AD21	1	32.30	32.30	5.81	38.11
Inter IC60N 2x10A A9F74210	2	67.81	135.62	24.41	160.03
Contacto 9A LC1D09M7 TeSys 220V	4	86.85	347.42	62.53	409.95
Relé 14 Pines 230 VAC encap 6A/ 4NA+4NC RXN	1	30.37	30.37	5.47	35.84
Base para relé encap 14 pines RX2M114M	1	16.68	16.68	3.00	19.69
Inter IC60N 3x10A A9F74310	1	135.14	135.14	24.33	159.47
Guardamotor 30-40 GV3P40	1	643.16	643.16	115.77	758.93
Potenciometro SZ1RV1202	1	113.40	113.40	20.41	133.81
Pulsador rasante XB5AA31 VERDE 1NA	1	23.42	23.42	4.22	27.64
Pulsador rasante XB5AA42 ROJO 1NC	1	23.42	23.42	4.22	27.64
Piloto XB5AVM3 VERDE C/LED 220 V	2	33.87	67.74	12.19	79.93
Selector maneta larga 3 POS FIJAS XB5AJ33	1	41.52	41.52	7.47	48.99
Fuente de Alimentación 100-240 VAC/24 VDC A	1	320.48	320.48	57.69	378.17
Borne 4 mm2 LINERGY PORTA FUS NEGRO NSYT	1	11.60	11.60	2.09	13.69
Control D/Nivel liquido Hermet c/Microswitch	2	40.68	81.36	14.64	96.00
Relé Térmico 0.63-1A LRD05	1	149.44	149.44	26.90	176.33
MANO DE OBRA					35,400.00
Servicio de fabricación de maquina	1	30,000.00	30,000.00	5,400.00	35,400.00
COSTO TOTAL	S/.				91,105.63
COSTO TOTAL	US \$				26,898.62

Fuente: Elaboración propia

Tabla 23. Costo de maquinaria complementaria para procesamiento de aceite cold pressed

Descripción	Cantidad	Precio Unitario S/.	Valor Venta S/.	Sub Total S/.
Centrifuga Deslodadora	2	270,960.00	541,920.00	541,920.00
Finisher	2	203,220.00	406,440.00	406,440.00
Centrifuga Pulidora	2	169,350.00	338,700.00	338,700.00
COSTO TOTAL S/.				1,287,060.00
COSTO TOTAL US \$				380,000.00

Fuente: Valorizaciones en Mercado libre

Valor de Venta de Aceite Cold pressed y Proyecciones de Ingresos

Los ingresos de materia prima para el procesamiento de jugo de limón y derivados, se obtienen de las proyecciones anuales del departamento de acopio. Sin embargo no todo el limón captado se destinará a la obtención de jugo de limón, sino que se comparte con la producción de Aceite Esencial de Limón (AEL) obtenido por proceso de destilado y que ha constituido una de las líneas de soporte del Grupo. De acuerdo a las proyecciones del total de captura de limón tipo fábrica por año sólo se ha considerado el 30 % para ser destinado a la línea de jugo de limón en la planta de Cieneguillo. La Tabla N.24, muestra los ingresos proyectados en los próximos 5 años, cortesía del departamento de Acopio de materia prima de Agromar.

Tabla 24. Proyección de captación de materia prima y porcentaje para línea de jugo de limón

Materia Prima	Miles de Toneladas por Año Proyectadas				
	2020	2021	2022	2023	2024
Conceptos de Captación MP					
Limón Fabrica Grupo Agromar	40.00	35.00	30.00	30.00	30.00
Limón para Jugo de Limón (30%)	12.00	10.50	9.00	9.00	9.00

Fuente: Dpto. de acopio

Teniendo en cuenta los rendimientos teóricos para todos los equipos considerados en el diseño, se puede determinar el flujo de producción para todos

los años. Se considera que el rendimiento en la obtención del aceite cold pressed final incluyendo perdidas será de 0.30%. La tabla N. 25, muestra la proyección de ingresos en US \$ por valorización en mercado internacional. El precio promedio del Aceite cold pressed se está considerando igual al precio del Aceite Esencial de limón US\$ 13/ lb.

Tabla 25. *Proyección de ingresos por venta de Aceite cold pressed por años.*

Producción proyección ventas	Año				
	2020	2021	2022	2023	2024
Aceite Cold Pressed Proyectada (Kg)	36,000.00	31,500.00	27,000.00	27,000.00	27,000.00
Valor Unitario en Mercado (US\$ / Kg)	28.63	28.63	28.63	28.63	28.63
Venta Aceite Cold Pressed US \$	1,030,680.00	901,845.00	773,010.00	773,010.00	773,010.00

Fuente: elaboración propia

Costos de producción de Aceite Cold pressed

Los costos que se están considerando para la evaluación económica se agrupan en: Mano de Obra, Energía y otros insumos. No se incluye costos de materia prima debido a que es un subproducto y todo su valor es cargado al jugo de limón, que es el producto principal.

MANO DE OBRA

La operación de las máquinas extractoras de emulsión de aceite pueden ser realizado por un operario, que al mismo tiempo puede controlar las Finisher, mientras que las centrifugas deslodadoras y las pulidoras pueden ser operadas por un técnico adicional. Asimismo se está considerando la media participación de un operario de envasado quien comparte labores con el envasado de jugo de limón.

El Almacenero puede compartir la atención del jugo de limón, el aceite cold pressed y los productos adicionales a la línea.

Para el costo de mano de obra, se considerar los costos de beneficios sociales adicionales a su salario bruto, entre ellos: Gratificación (2 al año), CTS (1 al año), vacación (1 al año), pago de seguro social (13 %).

Para el procesamiento de la materia prima total proyectada se contemplan 2 turnos de 8 horas cada uno por día, en 6 días a la semana, 4 semanas por mes.

ENERGÍA

La Energía es fundamental para el movimiento de las máquina, para el presente estudio se ha realizado un promedio del costo del kW-h en la planta de Cieneguillo, tomando como base los últimos recibos de pago en la empresa. Se ha logrado determinar que el costo del kW-h es de S/ 0.37. Para el cálculo de consumo se ha tenido en cuenta las potencias de los motores eléctricos de las máquinas y las horas de uso por el nivel de producción. Además se está incluyendo la estimación de costo por golpe de frio y almacenamiento en cámara por 12 días.

OTROS INSUMOS

Es importante considerar los insumos directos de producción, en este caso se emplean para el envasado Cilindros de metal revestido interiormente y bolsas plásticas de gran resistencia. El costo de cada cilindro es de US\$ 25.00 por unidad y el costo de la bolsa es de US\$ 2.00. En cada cilindro se envasan 180 Kg dentro de una bolsa de gran resistencia. Después es enviada a la cámara para el golpe de frio.

En la Tabla N. 26, se muestra el resumen de cálculo de los egresos por año

El cuadro de flujos netos de la operación se muestra en la tabla N. 27

Tabla 26. Proyección de egresos por producción de Aceite Cold pressed

Egresos

Mano de Obra Requerida	Costo en US \$ x Año				
	2020	2021	2022	2023	2024
Operación Extractora de Emulsión (0.5 ope. X S/. 1800)	3,635.08	3,163.86	2,726.31	2,726.31	2,726.31
Operación de Finisher (0.5 ope. X S/ 1800)	3,635.08	3,163.86	2,726.31	2,726.31	2,726.31
Operación de Centrifugas (0.5 ope. X S/. 1800)	3,635.08	3,163.86	2,726.31	2,726.31	2,726.31
Operador de Envasado (0.5 ope. X S/. 1400)	2,827.28	2,460.78	2,120.46	2,120.46	2,120.46
Almacenero - Camarero (0.25 Ope. X S/ 1300)	2,625.33	2,285.01	1,969.00	1,969.00	1,969.00
Total Costo Mano de Obra en US \$	16,357.84	14,237.38	12,268.38	12,268.38	12,268.38

Nota : Se considera Beneficios Sociales: CTS, gratificaciones, vacaciones y Seguro Social)

Energía Requerida para porcesamiento	Costo en US \$ x Año				
	2020	2021	2022	2023	2024
Extractora de Emulsión (19.47 kW)	7,292.32	6,380.78	5,469.24	5,469.24	5,469.24
Finisher (7.46 kW)	1,397.04	1,222.41	1,047.78	1,047.78	1,047.78
Centrifuga deslodadora (42.86 kW)	8,026.42	7,023.12	6,019.82	6,019.82	6,019.82
Centrifuga Pulidora (11 kW)	2,059.98	1,802.48	1,544.98	1,544.98	1,544.98
Camara de Frio (35.36 kW)	92.71	92.71	92.71	92.71	92.71
Almacenamiento (35.36 kw)	1,112.48	1,112.48	1,112.48	1,112.48	1,112.48
Total Costo Mano de Obra en US \$	19,980.94	17,633.97	15,287.00	15,287.00	15,287.00

Nota : Costo de kW-h en Planta Cieneguillo = S/ 0.37

Otros Insumos	Costo en US \$ x Año				
	2020	2021	2022	2023	2024
Cilindros (US\$ 25.00 /Cilindro)	5,000.00	4,375.00	3,750.00	3,750.00	3,750.00
Bolsas (US \$ 2.00 / bolsa)	400.00	350.00	300.00	300.00	300.00
Total Costo Mano de Obra en US \$	5,400.00	4,725.00	4,050.00	4,050.00	4,050.00

Total Egresos US \$	41,738.78	36,596.35	31,605.38	31,605.38	31,605.38
----------------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------

RESULTADO US \$	988,941.22	865,248.65	741,404.62	741,404.62	741,404.62
------------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------

Fuente: elaboración propia

Tabla 27. Flujo Neto Anual de la operación

Concepto	Flujo Neto por Año US\$				
	2020	2021	2022	2023	2024
Ingresos por Ventas	1,030,680.00	901,845.00	773,010.00	773,010.00	773,010.00
Egresos por Producción	41,738.78	36,596.35	31,605.38	31,605.38	31,605.38
Resultado del Ejercicio US \$	988,941.22	865,248.65	741,404.62	741,404.62	741,404.62

Fuente: elaboración propia

Determinación del VAN y TIR

Se ha utilizado una hoja de Excel para poder realizar el cálculo. La tasa de oportunidad que se ha fijado para la evaluación se ha escogido como la tasa de retorno que brindan las Financieras en este caso la Financiera OH, con una Tasa de 6.25 % de acuerdo al anexo N. 40.

Los resultado en la Tabla N. 28

Tabla 28. *Evaluación de Valor Actual Neto del Proyecto*

PERIODO	VALORES
0	-433,797.25
1	988,941.22
2	865,248.65
3	741,404.62
4	741,404.62
5	741,404.62
TASA DE OPORTUNIDAD	6.25%
VAN	USD 3,010,821.02
TIR	216%

Fuente: elaboración propia

De los Cálculos:

VAN : Se acepta el proyecto porque el VAN es mayor a cero, el proyecto devuelve al inversionista la Tasa de Oportunidad y un saldo de US\$ 3, 010,821.02.

TIR : Se acepta el proyecto en la medida que el TIR es mayor que la Tasa de oportunidad. El proyecto le puede retornar al inversionista 216 % al cabo de 5 años de operación

V. DISCUSIÓN

RESULTADO 01.- Metodología de Diseño Aplicada

Ha resultado interesante para este trabajo aplicar la metodología de diseño planteada por PALH y BEITZ, sobre todo por su flexibilidad a las múltiples situaciones en las que se puede presentar un problema en ingeniería, no ha sido difícil aplicar la metodología para el contexto del problema al que le hemos encontrado una solución en su fase de diseño preliminar. El sustento de la metodología no sólo se queda en una simple descripción cualitativa, sino que articula el proceso con técnicas de ingeniería, concordantes para nuestro tema.

Aunque la metodología ha sido aplicada en este pequeño problema de ingeniería, la forma planificada y de realimentación promete resolver problemas más complejos, que puede ser mejorado hasta llegar a un diseño definitivo muy consistente.

En esta investigación solo se ha llegado a la fase de Diseño Preliminar, adaptándose a la lista de requerimientos preliminares obtenidos en la fase de Diseño de Especificación, en concordancia con las estructuras funcionales planteadas en el diseño conceptual. El resultado ha finalizado con el diseño de los elementos mencionados en la Tabla 12. Falta la realimentación de los agentes externos para mejorar el diseño según se plantea en la metodología, pero para los fines de uso en las que la hemos aplicado el estudio es suficiente.

Cabe indicar que hasta esta fase de la metodología nuestra investigación permite evaluar el incremento en el rendimiento que podría producirse por una posible construcción de la máquina, incluso en la evaluación económica es factible la inversión con un buen retorno financiero, motivo por el cual se puede llevar el proyecto a una fase de realización y mejora constante.

En su artículo publicado en la revista científica *Innovate Food Science and Emerging Technologies*, El Kantar, Boussetta et al. (2017), se propone tratar a los cítricos con pulsos eléctricos para mejorar el rendimiento en la extracción, de hecho al tratar las cáscaras se mejora la recuperación de polifenoles con aumento de concentración de etanol bastante significativo, según el estudio los rendimiento aumentaron desde 12 mg AE/ gDM hasta 22 mg de AE/ gDM. Esta técnica

probada experimentalmente, se podría introducir como mejora significativa de nuestro diseño para incrementar la extracción de emulsión en nuestra máquina, sin llegar a cambiar mucho el diseño original que hemos presentado, asegurando aún el rendimiento propuesto en nuestro estudio.

RESULTADO 02.- Diseño de los elementos de la máquina

En el proceso de cálculo de los elementos de máquina, los procedimientos y los criterios de cálculo se encuentran casi estandarizados, Budynas (2016) nos ha permitido realizar el dimensionamiento y selección de la mayoría de elementos, el cilindro rascador que es el elemento principal de la máquina rascadora ha sido diseñado teniendo en cuenta que se comporta como una viga y como un eje al momento de realizar su trabajo de raspado. Se ha tenido cuidado de considerar las cargas y los factores necesarios para llegar a determinar un factor de seguridad adecuado. Sin embargo en nuestro estudio el coeficiente de seguridad determinado se encuentra sobredimensionado y aunque garantiza que el elemento no colapsará por esfuerzos estáticos ni dinámicos. No se ha podido seleccionar otro material u otra dimensión debido a las restricciones que se han fijado para la máquina. Los factores que modifican el límite de fatiga, han sido determinados de la manera más objetiva posible. El esfuerzo de flexión provocado en el cilindro por las cargas consideradas es de $\sigma_1=3.55$ MPa, no supera el límite de fatiga del material (Acero Inoxidable).

En cuanto a los engranajes que serán los responsables de transmitir la potencia a los cilindros rascadores, se han considerados helicoidales debido a un engrane gradual y transferencia de potencia uniforme, sin embargo producen empuje axial el cual ha tenido que ser compensado con las chumaceras diseñadas para tal efecto. Los cálculos de los esfuerzos que se presentan en los engranes tienen similitud con las fórmulas y factores que se han utilizado para diseñar ejes, lo que nos ha permitido una rápida interpretación.

Todos los cálculos de los elementos se han fijado desde un principio teniendo en cuenta la determinación de la fuerza mínima de raspado para un limón. El principio de determinación de esta fuerza se ha basado en la ley de conservación de la energía y al ser universal nos ha permitido validar nuestro procedimiento para poder determinarla.

RESULTADO 03.- Simulación de los elementos en Software

La simulación de los elementos en un programa de computadora es un procedimiento complementario, ya que los cálculos de los elementos han sido realizados con los procedimientos convencionales, sin embargo para la determinación de los esfuerzos en la estructura metálica, se ha tenido que recurrir al software para facilitar los cálculos, ya que está compuesto por varios elementos que trabajan como viga.

RESULTADO 04.-Evaluación Económica

La determinación de los indicadores para la evaluación financiera del proyecto descritos por Mesa (2013), nos manifiestan que el proyecto de construcción de nuestra máquina extractora de emulsión tiene buena rentabilidad económica, siempre que se logre obtener el rendimiento propuesto para la máquina extractora de emulsión de aceite. Este rendimiento no solo le daría viabilidad económica al proyecto, sino que técnicamente evitaría pérdidas innecesarias en las corrientes de desecho y garantizaría obtener un jugo de limón acorde con los parámetros de calidad exigidos (porcentaje mínimos de compuestos terpénicos).

Los indicadores VAN y TIR han sido útiles para describir la rentabilidad de la inversión. La evaluación del incremento en la recuperación de Aceite cold pressed es satisfactoria para la línea de producción propuesta, que contempla la inclusión de nuestro diseño y aunque no se logre obtener el 0.35 % propuesto, con solo obtener 0.1%, la inversión devolvería una rentabilidad a los 5 años de US\$ 629,490 más los intereses de 6.25% por el costo de oportunidad, lo que no se lograría con el rendimiento actual de 0.03 % de ESL cuyo VAN arroja un valor negativo de USD -203,975.60 y una TIR de -14 %, lo que indica que en las actuales condiciones, la empresa viene presentando resultados económicos adversos en la recuperación de ESL, que restan a cualquier resultado en la producción de jugo de limón.

VI. CONCLUSIONES

1. El diseño de la máquina extractora de emulsión de aceite de limón cumple con los parámetros mínimos de diseño exigidos, planteados en el objetivo 01.

2. El diseño nos ha permitido el incremento en la recuperación de aceite cold pressed, resultando muy conveniente financieramente invertir en el proyecto.

3. Al aplicar la metodología de diseño propuesta por Pahl y Beitz, se ha determinado los principios de solución de nuestra máquina extractora los que se han resumido en la Tabla 12.

- Para el raspado del flavedo, se propone cilindros de acero inoxidable 316L con dientes rascadores girando en sentidos opuestos a revoluciones máximas de 200 RPM, montados sobre ejes de acero inoxidable 316L de 2.5" escalonado, soportado por chumaceras SY 35 de SFK, adecuadas para soportar fuerzas axiales, todo el conjunto montado sobre una estructura metálica de tubo cuadrado de 2" x 2" x 0.25"

- La transmisión mecánica que produce el movimiento de ambos rodillos se ha diseñado con engranajes helicoidales de Acero VCL 320, con tratamiento térmico y endurecimiento superficial (cementado), los engranajes estarán acoplados a los ejes de los cilindros. La potencia que transmite el movimiento de los engranes lo efectuará un motor reductor de 15 kW que será controlado por un variador de frecuencia para regular la velocidad de giro de los cilindros, se utilizará acople flexible tipo Falk 1060T.

- Para el arrastre del aceite se considera un sistema de inyección de agua presurizada a 6 bar, con una dosificación de 1 litro por minuto en cada una de las 38 toberas consideradas. Para mantener la presión en el sistema se ha seleccionado un compresor libre de aceite en la corriente de aire SCHULZ MSV 20 MAX/250L horizontal de 566 litros por minuto, el agua para el sistema de inyección será derivado de la red existente de la planta, la que circula a una presión normal de 14 psi.

- El limón avanzará por lo rodillos hasta la estación de lavado gracias al diseño helicoidal tallado en los cilindros (las puntas rascadores siguen un patrón helicoidal)

- Finalmente, el aceite arrastrado con el agua presurizada será colectada en un tina colectora acondicionada en la estructura metálica de soporte de la máquina con capacidad de 1460 litros, en la parte central de la tina se ha derivado un tubería de 1/2" de acero inoxidable que alimenta una electrobomba sanitaria de 1/2 hp, que se encargará de alimentar el tanque pulmón de las emulsiones que se encuentra en planta con capacidad de 10,000 litros.

4. La Fuerza mínima de raspado que se requiere para romper las bolsas de aceite se ha determinado en 0.4961 N para un limón sutil.

5. Los esfuerzos principales que se producen en los elementos de máquina se resumen de la siguiente manera:

- CILINDRO RASCADOR:

Tensión normal max (σ_1)	:	3.55 Mpa
Tensión Cortante Max (τ)	:	2.0 Mpa
Límite de resistencia a fatiga (S_e):		92.35 Mpa
Dimensiones	:	4000 mm x 273.05 mm DIA
Material	:	Acero Inox 316 L

- ENGRANAJE HELICOIDAL:

Tensión normal max (σ_1)	:	122.66 Mpa
Esfuerzo de contacto (σ_c)	:	472.37 Mpa
Dimensiones	:	d=279.40 mm; N=88; m= 3.175 mm; F=38.1 mm $\Phi = 10^\circ$
Material	:	Acero VCL 320, con tratamiento Térmico y endurecimiento superficial

- EJE PRINCIPAL:

Límite de resistencia a fatiga (S_e):		68.87 Mpa
Dimensiones	:	$\text{Ø}1 = 2 \frac{1}{4}$ " $\text{Ø}2 = 50$ mm

Ø3 = 35 mm;

Canal chavetero en extremo

- CHUMACERAS:

Capacidad de Carga Estatica : 2.43 kN
Capacida de Carga dinámica : 9.454 kN
Dimensiones : Ø para eje = 35 mm

Material : Fundición

- ACOPLAMIENTO:

Tipo : Falk
Potencia equivalente a 100 RPM : 10 HP
Torque a transmitir : 621 N.m
Agujero Min-Max (mm) : 19-54 :

- MOTOR REDUCTOR

Potencia : 15 kW
Tensión : 440 V x 3 Ø
Factor de servicio : 2.25
Relación de transmisión (i) : 6.53
Torque : 660 N.m

- COMPRESOR DE AIRE

Potencia : 5 HP
Tensión : 440 V x 3 Ø
Capacidad : 20 CFM
Tanque : 260 Litros
Dimensiones : 540 x 1020 x 1700 mm

- BOMBA DE EMULSIÓN

Potencia : 0.5 HP
Tensión : 2200 V x 1 Ø
Capacidad : 4000 Litros/hora
Material : Acero Inoxidable

6. La capacidad de proceso de la extractora de emulsión de aceite de limón se ha estimado en: 2300 - 4695 Kg/h.
7. La potencia eléctrica total de la máquina se ha estimado en: 19.47 kW que incluye los equipos accesorios.
8. La máquina extractora de emulsión se puede fabricar localmente, los materiales se encuentran disponibles en el mercado
9. El costo de Inversión total de la máquina extractora de emulsión de aceite asciende a US\$ 26,898.62, menos que la inversión planteada inicialmente en el objetivo 01. Sin embargo por la capacidad de producción de la misma y por el balance de línea del proceso, se requeriría la construcción de 02 unidades.
10. De la evaluación financiera del proyecto, se ha determinado que resulta rentable la inversión ya que esta devuelve un VALOR NETO ACTUAL (VNA) de US\$ 3, 010,821.02 al cabo de 5 años y una TIR de 216 %.

VII. RECOMENDACIONES

1. La superficie de raspado es la razón fundamental del éxito de la máquina, por lo que tiene que realizarse en un taller con mucha experiencia que pueda ajustar el patrón de maquinado con las necesidades de afilado de las puntas raspadoras.
2. Para asegurar la efectividad de raspado, se recomienda la construcción de un modelo pequeño, para probar la efectividad, de manera que dentro de la etapa de actualización y mejora, permita eliminar puntos débiles e introducir una propuesta de mejora en el raspado de la máquina.
3. Se recomienda analizar la posibilidad de introducir dentro del modelo de la máquina el pretratamiento con pulsos de campo eléctrico para mejorar el rendimiento de recuperación.
4. Es recomendable que el sistema de evacuación de la emulsión hacia el tanque pulmón sea automatizada, para evitar desbordes o sobrecargas en la estructura de soporte de la máquina.

REFERENCIAS

ALARCON, Jenmy, ALARCON, María, TORO, María. Metodología de la Investigación Científica. 1era ed. Perú: Industria Editorial del Norte S.A. 2008. 57 pp. ISBN 2018-13645

ALCOSAR, H., REYES, P. Citrus essential oils: flavor and fragrance. -1.st ed. Singapur: John Wiley & Sons. 2010. 404 pp. ISBN 978-0-470-37218-0

ALVA, Fortunato. Diseño de elementos de máquina I. 1era ed. Perú: Pool Producciones SRL. 2008. 374 pp. ISBN 9972-50-029-2

AL-AAMRI, Maha [et al]. Chemical composition and in-vitro antioxidant and antimicrobial activity of the essential oil of Citrus aurantifolia L. leaves grown in eastern Oman. 2018. Journal of Taibah University Medical Sciences -13th Vol number 02. [Fecha de consulta 22 septiembre de 2019]. Taibah: S 2019. Disponible en: <https://www.journals.elsevier.com/journal-of-taibah-university-medical-sciences>. ISSN: 1658-3612

ANGULO, Luis. Modelo metodológico para exportar limón sutil al mercado norteamericano. Tesis para la obtención de título (Ingeniero Agrónomo). Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo, Facultad de Ciencias Agropecuarias, 2016. 142 pp

ARIAS, Luz, VANEGAS, Libardo. FALLA DE LOS MATERIALES COMPUESTOS LAMINADOS. Scientia Et Technica, vol. X, núm. 25. [Fecha de consulta 22 septiembre de 2019]. Pereira Colombia. 2004. Disponible en: <http://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/7215/4251>. ISSN: 0122-1701

ASHOK, B., THUNDIL, R., NANTHAGOPAL, K., KRISHNAN, R., & SUBBARAO, R. Ashok, B., Thundil Karuppa Raj, R., Nanthagopal, K., Krishnan, R., & Subbarao, R. (2017). Lemon peel oil – A novel renewable alternative energy source for diesel engine. Energy Conversion and Management, Vol. 139, p.110–12. [Fecha de consulta 22 septiembre de 2019]. India. 2017. Disponible en:

<https://www.journals.elsevier.com/energy-conversion-and-management>. ISSN: 0196-8904

AVILA, A., ZHANG, A., FRYER, P. Effect of surface characteristics on cleaning performance for CIP system in food processing. Volume 161, Pages 115-122. [Fecha de consulta 22 septiembre de 2019]. United Kingdom. 2019. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/journal/energy-procedia>. 1876-6102

AYODELE, T, OGUNJUYIGBE, A. Optimal selection of pumped hydro storage based renewable energy generator(s) for isolated community using binary sort and search algorithm Renewable Energy Focus. Vol 28-00. [Fecha de consulta 22 septiembre de 2019]. Nigeria: S 2019. Disponible en: <http://www.renewableenergyfocus.com/>. ISSN 1755-0084

BADII, M H, GUILLEN, A, ABREU, J. Energías Renovables y Conservación de Energía. International Journal of Good Conscience. 11(1)141-155. [Fecha de consulta 22 septiembre de 2019]. Mexico. 2016. Disponible en: <https://www.latindex.org/latindex/ficha?folio=18759>. ISSN 1870-557X.

BENITES, Luis. Las fallas en los engranajes.. [Fecha de consulta 07 diciembre de 2019]. Colombia. 1985. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4902861>. ISSN 0120-5609

BERK, Zeki. Citrus Fruit Processing. 1 ed. London U.K: Elsevier, 2016. 311 pp. ISBN: 978-0-12-803133-9

BISWAL, A., KALE, R., BALUSAMY, S., BANERJEE, R., & KOLHE, P. Lemon peel oil as an alternative fuel for GDI engines: A spray characterization perspective. Vol. 142 249-263. [Fecha de consulta 22 septiembre de 2019]. India. 2019. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/journal/renewable-energy>. ISSN 0960-1481

BUDYNAS, Richard. Diseño en ingeniería mecánica de Shigley. 9na ed. México: McGraw-Hill. 2012. 1068 pp. ISBN 978-607-15-0771-6

CERUTTI, M., NEUMAYER, F. Introducción a la obtención de aceite esencial de limón. Invenio. [Fecha de consulta 22 septiembre de 2019]. La Rioja España. 2004. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3331453.pdf>. ISSN 0329-3475

ELANCHEZHIAN, C [et al]. Design and comparison of the strength and efficiency of drive shaft made of steel and composite materials. 2018. Materials Today: Proceedings-84th Vol. [Fecha de consulta 22 septiembre de 2019]. London U.K. 2019. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/journal/materials-today-proceedings>. ISSN: 2214-7853

EL KANTAR, S., BOUSSETTA, N., LEVOVKA, N., FOUCART, F. RAJHA, H., MAROUN, R., LOUKA, N., VOROBIEV, E. Pulsed electric field treatment of citrus fruits: Improvement of juice and polyphenols extraction. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2017 doi:10.1016/j.ifset.2017.09.024

FAUCON, M. Principios de aromaterapia científica y aplicaciones prácticas en podología. EMC Podología Vol 16. [Fecha de consulta 22 septiembre de 2019]. Francia: S 2014. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/journal/emc-podologia>. ISSN 1762-827X

FLORES, R., MARTINEZ, A., SAMA, J. Análisis por elementos finitos de cargas de impacto. Estudio de caso de viga de tren de rodaje de remolque agrícola. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, Vol. 18, No. 4. [Fecha de consulta 22 septiembre de 2019]. Francia: S 2014. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93212367005>. ISSN 1010-2760

GONZÁLEZ, H., CARDONA, J., MONROY, G. Diseño de un Banco de Pruebas de Desalineamiento y Desbalanceo mecánico. Scientia Et Technica Vol. XI Num. 18. [Fecha de consulta 22 septiembre de 2019]. Pereira Colombia. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84911707019>. ISSN 0122-1701

LARRALDE, E, OCAMPO, R. Selection of gas compressors. Part 8.1 World Pumps. [Fecha de consulta 22 septiembre de 2019]. London U.K. 2017.

Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/journal/materials-today-proceedings>.

ISSN: 2214-7853

LOACHAMIN, Edison. Diseño de una máquina extractora de naranja de 12 unidades por minuto de capacidad. Proyecto previa para la obtención de título (Ingeniero Mecánico). Quito: Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Mecánica, 2010. 209 pp

MACHADO, Walter. Tratamiento biológico de residuos semisólidos y Efluentes líquidos de la industria del procesado de limón. Tesis Doctoral (Bioquímico). Burgos: Universidad de Burgos, 2015. 190 pp.

MARTINEZ, Pedro, ARZOLA, Nelson. Diseño de un engranaje con perfil de diente especial bajo criterios geométricos y de resistencia a Fatiga. Ingeniería y Desarrollo. Vol. 35 N. 02. [Fecha de consulta 21 de octubre de 2019]. Bogotá Colombia. 2017. Disponible en:

<http://rcientificas.uninorte.edu.co/index.php/ingenieria/article/view/8897/10170>.

ISSN: 0122-3461

MEHL, F, [et al.]. Differentiation of lemon essential oil based on volatile and non-volatile fractions with various analytical techniques: a metabolomic approach. Vol. 143. [Fecha de consulta 21 de octubre de 2019]. Geneva Switzerland. 2014.

Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/journal/food-chemistry/vol/143/suppl/C>.

ISSN: 0308-8146

MEZA, Jhonny. Evaluación Financiera de Proyectos. 3era ed. Bogotá: Ecoe Ediciones. 2013. 360 pp. ISBN 978-958-648-854-9

MUÑOZ, Sergio, NAVARRO, Carlos, DOMINGUEZ, Jaime. INFLUENCIA DEL COEFICIENTE DE ROZAMIENTO EN FRETTING. Researchgate. [Fecha de consulta 22 septiembre de 2019]. Sevilla, España: 2004. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/242403836_Influencia_del_coeficiente_de_rozamiento_en_fretting.

NAJDECKA, Anna, NARAYANAN, S., WIERCIGROCH, Marian. Rotary motion of the parametric and planar pendulum under stochastic wave excitation Volume 71,

Pages 30-38. [Fecha de consulta 15 de octubre de 2019]. U.K: 2015. Disponible en: <https://www.journals.elsevier.com/international-journal-of-non-linear-mechanics>. ISSN: 0020-7462

NAVARRETE, Carolina, GIL, Jesús, DURANGO, Diego, GARCIA, Carlos. Extracción y caracterización del Aceite esencial de mandarina obtenido de residuos. DYNA Vol. 77 Pages 85-92. [Fecha de consulta 15 de octubre de 2019]. Colombia: 2009. Disponible en: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/15779/20887>. ISSN: 0012-7353

NORTON, Robert. Diseño de máquinas: un enfoque integrado. 4ta ed. México: Pearson Educación. 2011. 1068 pp. ISBN 978-607-32-0589-4

OLLACHICA, Silvia. Industrialización del Zumo de naranja (CITRUS SINENSIS L. OSBECK). Informe de suficiencia (Ingeniero Químico). Lima: Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Química y Textil, 2004. 113 pp.

ORDOÑEZ, E, REATEGUI, D, VILLANUEVA, J. Polifenoles totales y capacidad antioxidante en cáscara y hojas de doce cítricos. Vol. 01. [Fecha de consulta 15 de octubre de 2019]. Trujillo, Perú: 2018. Disponible en: <http://revistas.unitru.edu.pe/index.php/scientiaagrop>. ISSN: 2306-6741

PAHL, G., BEITZ, W., FELDHUSEN, J., GROTE, K. Engineering Design: Systematic Approach. -3Rev.ed. London U.K: Springer, 2007. 629 pp. ISBN-10:1846283183

PASSARO, Catarina. Cítricos: Cultivo, postcosecha e industrialización. -1.st ed. Caldas: Corporación Universitaria Lasallista. 2012. 367 pp. ISBN 978-958-8406-17-6

PUENTE, Carlos. Determinación de las características físicas y químicas del limón sutil. Tesis para la obtención de título (Ingeniero Agroindustrial). Ibarra-Ecuador: Universidad Técnica del Norte, Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales, 2006. 50 pp

ROBLES, Luis. Diseño de un sistema mecatrónico para la extracción de zumo de limones. Tesis para la obtención de título (Ingeniero Mecatrónico). Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería, 2013. 32pp.

SAWAMURA, Masayoshi. Citrus essential oils: flavor and fragrance. -1.st ed. Singapur: John Wiley & Sons. 2010. 404 pp. ISBN 978-0-470-37218-0

SCHOBITZ, Renate, CIAMPI, Luigi, NAHUELQUIN, Yanina. Listeria monocytogenes UN PELIGRO LATENTE PARA LA INDUSTRIA ALIMENTARIA. AgroSur Vol. 37-1. [Fecha de consulta 22 septiembre de 2019]. Chile: 2009. Disponible en: <http://revistas.uach.cl/index.php/agrosur/issue/view/315>. ISSN: 0304-8802

SIVANDA, Vennan [et al]. Engineering design Featuring the Life Cycle Approach for Reconfigurable Machine Tool. 2019, Procedia CIRP-84th Vol. [Fecha de consulta 22 septiembre de 2019]. London U.K: 2019. Disponible en: <https://www.journals.elsevier.com/procedia-cirp>. ISSN: 2212-8271

UGURAL, Ansel. Mechanical design: An integrated approach. -1.st ed. United States: McGraw Hill. 2004. 416 pp. ISBN 0-07-121516-6

VISSER, J., VORAGEN, A. Pectins and pectinases, Progress in biotechnology Vol. 14. Netherlands. Elsevier. 1996. 1011 pp. ISBN 0-444-82330-1.

ZHANG, J.-W., TAN, L., ZHANG, Y.-Z., ZHENG, G.-C., XIA, Z.-N., WANG, C.-Z, YUAN, C.-S. Debittering of lemon juice using surface molecularly imprinted polymers and the utilization of limonin. Journal of Chromatography B Volume 1104, Pages 205-211. [Fecha de consulta 22 septiembre de 2019]. Chongqing China: S 2019. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/journal/journal-of-chromatography-b.1570-0232>

<https://www.freshplaza.es/article/9062341/europa-mayor-mercado-mundial-para-los-jugos-de-citricos/> (Europa mayor consumidor de Jugos de Citricos).

<http://agraria.pe/noticias/el-competitivo-mercado-de-la-exportacion-de-jugos-citricos-e-18210>

ANEXOS

Anexo 01. Registro de pruebas para determinación de fuerza de raspado de limón

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO



FICHA DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

Instrumento : Registro de pruebas para determinación de fuerza de raspado

DATOS GENERALES DEL EXPERTO

Apellidos y Nombres:

Profesión:

Actividad laboral actual :

Estimado(a) experto(a), el instrumento a validar es un registro de pruebas para la determinación de la fuerza mínima de raspado, objeto de estudio, por favor le pedimos responda las siguientes interrogantes:

- a) Considera pertinente la aplicación de este registro de temperaturas del aceite hidráulico de la prensa hidráulica, para los fines establecidos en esta investigación:

Es pertinente Poco pertinente No es pertinente

.....
.....

- b) Considera que el formato es adecuado para la recolección de datos

Es adecuado Poco adecuado No es adecuado

.....
.....

.....
Firma y Sello

DISEÑO DE MAQUINA EXTRACTORA DE EMULSION DE ACEITE
 DE LIMON PARA INCREMENTAR LA REOPERACION DE
 SUBPRODUCTOS EN AGROMAR INDUSTRIAL S.A

REGISTRO DE PRUEBAS PARA DETERMINACION DE FUERZA DE RASPADO

Item	Calibre (mm)	Peso (gr)	θ_0	Fuerza (N) F_0	θ_f	Fuerza (N) F_1	FR (N) = $F_0 - F_1$	Area raspada (mm ²)	N. Veces raspado	Observaciones
001										
002										
003										
004										
005										
006										
007										
008										
009										
010										
011										
012										
013										
014										
015										
016										
017										
018										
019										
020										

Fecha de Prueba :

Firma Testista:

ANEXO 02: PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACIÓN DE FUERZA DE RASPADO DE LIMÓN SUTIL.

OBJETIVO: Determinar la fuerza mínima que se requiere para raspar la superficie correspondiente al flavedo del limón sutil

MATERIALES:

- Limón sutil de diferentes calibres
- 01 Calibrador Vernier o Pie de Rey
- 01 Balanza gramera.
- 01 Equipo para determinación de Fuerza de Raspado
- 01 equipo de filmación portátil.
- Formato de Registro de Pruebas de raspado de limón sutil

PROCEDIMIENTO

1. Para iniciar la prueba, se procede con la medición del calibre o diámetro del limón a probar y de su peso respectivo, para luego proceder a su registro en el formato respectivo del anexo.



2. Se calibra la maquina en un ángulo de cero y se coloca el limón en la copa



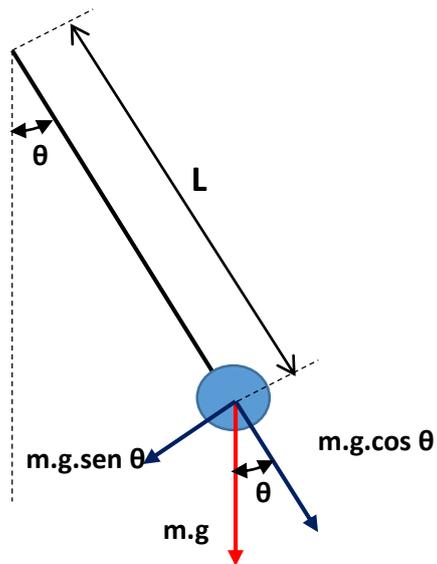
3. Una vez asegurado el limón en la copa se procede a levantar la pesa con superficie rascadora hasta que haga un ángulo inicial de 10° con respecto a la horizontal, se suelta la pesa y se verifica, si provoca o no un raspado en la superficie del limón. Si no provoca ningún efecto o se quedara estancada la pesa, se procede a repetir la prueba incrementando el ángulo inicial en 10° .
4. Repetir la prueba, hasta que la pesa rascadora, pase sin dificultad por el limón de tal manera que se impulse hasta un nuevo ángulo en el otro lado de la línea ficticia que se proyecte desde el eje del péndulo perpendicular al limón.
5. Con la filmadora grabar el suceso en el transportador acondicionado en la máquina para medir los ángulos generados.
6. Para cada nueva posición se anotará el ángulo, y se calcula la fuerza de inicial y final de la siguiente manera y teniendo en cuenta que:

Masa de la pieza con rascador = 0.50 Kg

Longitud de Péndulo = 0.72 m

Para la determinación de la fuerza de inicial y final, se hará una descomposición de la Fuerza principal actuante, en este caso el peso de la pieza con rascador ($m \cdot g$), en sus dos componentes: la Fuerza Tangencial y la Fuerza Normal, en este caso la Fuerza Tangencial es la que actuará sobre la superficie del limón para rascarlo, y continuar su avance hasta una nueva posición de energía potencial Θ_f . La fuerza neta de raspado se determinará restando la Fuerza inicial (posición Θ_0) y la fuerza final (posición Θ_f), después que paso por el limón raspando el flavedo. Este es el principio que utiliza el equipo fabricado para la determinación de la fuerza mínima de raspado.

$$F_T = m \cdot g \cdot \sin \theta$$



Cómo las fuerzas de raspado serán diferentes dependiendo de calidad de limón y posición de limón, se promedia las fuerzas encontradas para poder determinar la fuerza de raspado mínima para el limón.

7. Para determinar la velocidad angular al momento de raspar el limón, de acuerdo a NAJDECKA, NARAYANAN, y WIERCIGROCH (2015), utilizaremos la siguiente fórmula:

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{L}}$$

ANEXO 03: Dimensiones para Tubería de Acero Inoxidable sin costura 316L

DIMENSIONES Y PRESIONES DE TRABAJO DE TUBERÍA DE CÉDULA (PIPE) ASTM A312														
Diámetro Nominal NPS	Diám. Ext.		Cédula 10						Cédula 40					
			Grosor Pared		Presión Ing. Trab.		Peso Aprox.		Grosor Pared		Presión Ing. Trab.		Peso Aprox.	
	pg	mm	pg	mm	PSI	kg/m	Lb/pie	kg/m	pg	mm	PSI	kg/m	Lb/pie	kg/m
1/8	.405	10.29	.049	1.24	4270	300	.19	.28	.068	1.73	6170	434	.25	.37
1/4	.540	13.72	.065	1.65	4240	298	.33	.49	.088	2.24	5970	420	.43	.63
3/8	.675	17.15	.065	1.65	3320	233	.42	.63	.091	2.31	4810	338	.57	.85
1/2	.840	21.34	.083	2.11	3420	240	.67	1.00	.109	2.77	4610	324	.85	1.27
3/4	1.050	26.67	.083	2.11	2690	189	.86	1.28	.113	2.87	3750	264	1.13	1.69
1	1.315	33.40	.109	2.77	2830	199	1.40	2.09	.133	3.38	3510	247	1.68	2.50
1 1/4	1.660	42.16	.109	2.77	2210	155	1.81	2.69	.140	3.56	2880	202	2.27	3.39
1 1/2	1.900	48.26	.109	2.77	1920	135	2.09	3.11	.145	3.68	2590	182	2.72	4.05
2	2.375	60.33	.109	2.77	1520	107	2.64	3.93	.154	3.91	2180	153	3.65	5.45
2 1/2	2.875	73.03	.120	3.05	1380	97	3.53	5.27	.206	5.16	2390	168	5.79	8.64
3	3.500	88.90	.120	3.05	1120	79	4.33	6.46	.216	5.49	2070	146	7.58	11.30
3 1/2	4.000	101.60	.120	3.05	980	69	4.97	7.42	.226	5.74	1890	133	9.11	13.58
4	4.500	114.30	.120	3.05	867	61	5.61	8.37	.237	6.02	1750	123	10.79	16.09
6	6.625	168.28	.134	3.4	655	46	9.29	13.85	.280	7.11	1395	98	18.97	28.28
8	8.625	219.08	.148	3.76	555	39	13.40	19.98	.322	8.18	1227	86	28.55	42.57
10	10.750	273.05	.165	4.19	495	35	18.70	27.88	.365	9.27	1113	78	40.48	60.36

Fuente: Ficha técnica proporcionada por JN Aceros

INDICACIONES PARA EL TRATAMIENTO TÉRMICO

Forjar: Enfriamiento al aire 1200 - 900 °C

Apagar: Agua, aire (espeso menor a 2mm) 1020 - 1120 °C

Soldadura: El acero es fácilmente soldable, se recomienda el uso de electrodos BÖHLER UTP 316L; BÖHLER UTP FOX 316L o Varilla BÖHLER TIG 316L.

Luego de soldar, el enfriamiento brusco no es necesario.

PROPIEDADES MECÁNICAS											
Ensayo por choque sobre Probeta entall. min. Joule	Ensayo Erichsen de est. en chapa de 1 mm. en mm.	Limite de fluencia ensayada en probeta caliente min. N/mm ²				Dureza (Brinell) HB	Limite de fluencia mín. N/mm ²	Resistencia a la tracción N/mm ²	Alargamiento (L = 5d) mín. %	Contracción mín. %	
		100°	200°	300°	400°						
137	-12	167	137	118	98	160	216	490-686	45	50	
VALORES FÍSICOS											
Peso específico Kg/dm ³	Módulo de elasticidad a 20 °C Kg/mm ²	Resistencia eléctrica a 20 °C Ohm. Mm ² /m	Conductividad térmica a 20 °C cal/cm s. °C	Calor específico a 20 °C cal/g °C	Dilatación térmica 10 ⁻⁶ m/m °C entre 20 °C y						
					100°	200°	300°	400°	500°		
7.95	20.300	0.75	0.035	0.12	16.5	17.5	17.5	18.5	18.5		

Los aceros austeníticos son susceptibles de endurecer durante el maquinado y presentar magnetismo. Por ello, las herramientas deberán estar perfectamente afiladas y firmemente sujetadas. La profundidad de corte no debe ser muy pequeña.

ANEXO 04: Determinación de Factor de Acabado de Superficie para ejes

$$k_a = aS_{ut}^b$$

Acabado superficial	Factor a		Exponente b
	S_{ut} , kpsi	S_{ut} , MPa	
Esmerilado	1.34	1.58	-0.085
Maquinado o laminado en frío	2.70	4.51	-0.265
Laminado en caliente	14.4	57.7	-0.718
Como sale de la forja	39.9	272.	-0.995

De C.J. Noll y C. Lipson, "Allowable Working Stresses", en *Society for Experimental Stress Analysis*, vol. 3. núm. 2, 1946, p. 29. Reproducida por O.J. Horger (ed.). *Metals Engineering Design ASME Handbook*, McGraw-Hill, Nueva York. Copyright© 1953 por The McGraw-Hill Companies, Inc. Reproducido con autorización.

ANEXO 05: Determinación de Factor de Acabado de Carga

Tabla 6-14

Factor de carga de torsión promedio de Marin k_c de varios materiales

Material	Intervalo	n	\bar{k}_c	$\hat{\sigma}_{k_c}$
Aceros forjados	0.52-0.69	31	0.60	0.03
Aluminios forjados	0.43-0.74	13	0.55	0.09
Cu forjado y su aleación	0.41-0.67	7	0.56	0.10
Mg forjado y su aleación	0.49-0.60	2	0.54	0.08
Titanio	0.37-0.57	3	0.48	0.12
Hierro fundido	0.79-1.01	9	0.90	0.07
Al, Mg fundido, y aleaciones	0.71-0.91	5	0.85	0.09

Fuente: La tabla es una extensión de P.G. Forrest, *Fatigue of Metals*, Pergamon Press, Londres, 1962, tabla 17, p. 110, con desviaciones estándar estimadas del intervalo y tamaño de la muestra mediante la tabla A-1 en J.B. Kennedy y A.M. Neville, *Basic Statistical Methods for Engineers and Scientists*, 3a. ed., Harper & Row, Nueva York, 1986, pp. 54-55.

ANEXO 06: Determinación de Factor de Confiabilidad

Confiabilidad, %	Variación de transformación z_α	Factor de confiabilidad k_σ
50	0	1.000
90	1.288	0.897
95	1.645	0.868
99	2.326	0.814
99.9	3.091	0.753
99.99	3.719	0.702
99.999	4.265	0.659
99.9999	4.753	0.620

ANEXO 07: Determinación de Temperatura

Temperatura, °C	S_T/S_{RT}	Temperatura, °F	S_T/S_{RT}
20	1.000	70	1.000
50	1.010	100	1.008
100	1.020	200	1.020
150	1.025	300	1.024
200	1.020	400	1.018
250	1.000	500	0.995
300	0.975	600	0.963
350	0.943	700	0.927
400	0.900	800	0.872
450	0.843	900	0.797
500	0.768	1 000	0.698
550	0.672	1 100	0.567
600	0.549		

* Fuente: Figura 2-9.

ANEXO 08: Tamaños de dientes de uso general

Paso diametral

Basto	2, $2\frac{1}{4}$, $2\frac{1}{2}$, 3, 4, 6, 8, 10, 12, 16
Fino	20, 24, 32, 40, 48, 64, 80, 96, 120, 150, 200

Módulos

Preferidos	1, 1.25, 1.5, 2, 2.5, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 16, 20, 25, 32, 40, 50
Siguiente elección	1.125, 1.375, 1.75, 2.25, 2.75, 3.5, 4.5, 5.5, 7, 9, 11, 14, 18, 22, 28, 36, 45

ANEXO 09: Proporciones estándar de dientes de engranajes helicoidales

Cantidad*	Fórmula	Cantidad*	Formula
Cabeza (addendum)	$\frac{1.00}{P_n}$	Engranajes externos:	
Raíz (dedendum)	$\frac{1.25}{P_n}$	Distancia estándar entre centros	$\frac{D + d}{2}$
Diámetro de paso del piñón	$\frac{N_P}{P_n \cos \psi}$	Diámetro exterior de la rueda	$D + 2a$
Diámetro de paso del engrane	$\frac{N_G}{P_n \cos \psi}$	Diámetro exterior del piñón	$d + 2a$
Espesor del diente en el arco normal†	$\frac{\pi}{P_n} - \frac{B_n}{2}$	Diámetro de raíz (dedendum) de la rueda	$D - 2b$
Diámetro de base del piñón	$d \cos \phi_t$	Diámetro de raíz (dedendum) del piñón	$d - 2b$
		Engranajes internos:	
Diámetro de base del engrane	$D \cos \phi_t$	Distancia entre centros	$\frac{D - d}{2}$
Ángulo de la hélice de base	$\tan^{-1} (\tan \psi \cos \phi_t)$	Diámetro interior	$D - 2a$
		Diámetro de raíz (dedendum)	$D + 2b$

* Todas las dimensiones en pulgadas y todos los ángulos en grados.

† B_n es el huelgo normal.

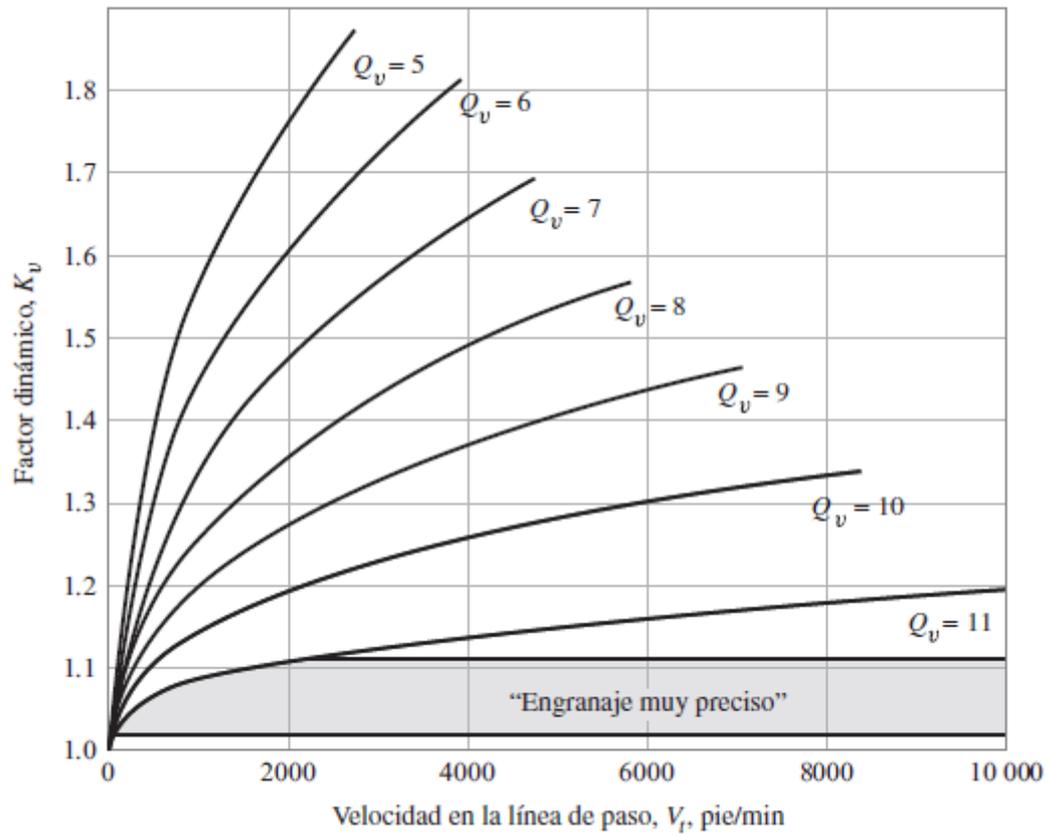
ANEXO 10: Tabla de Factores de Sobrecarga para Engranajes

Tabla de factores de sobrecarga, K_o			
Máquina impulsada			
Fuente de potencia	Uniforme	Impacto moderado	Impacto pesado
Uniforme	1.00	1.25	1.75
Impacto ligero	1.25	1.50	2.00
Impacto medio	1.50	1.75	2.25

CARACTERISTICAS DE LAS MAQUINAS

FUENTE DE PODER	
UNIFORME	MOTOR ELECTRICO, TURBINA
CHOQUES PEQUEÑOS	MOTORES DE COMBUSTION INTERNA MULTICILINDRICO
CHOQUES MEDIANOS	MOTORES DE COMBUSTION INTERNA DE UN CILINDRO
CARGAS EN LAS MAQUINAS MOVIDAS	
UNIFORME	VENTILADORES CENTRIFUGOS, AGITADORES DE LIQUIDOS, TRANSPORTADORES DE FAJAS CON ALIMENTACION UNIFORME.
CHOQUES PEQUEÑOS	SOPLADORES LOBULARES, AGITADOR DE LIQUIDOS-SOLIDO, TRANSPORTADOR DE FAJA CON ALIMENTACION VARIABLE.
CHOQUES MEDIANOS	CHANCADORAS DE MINERALES, COMPRESOR DE UN SOLO CILINDRO, TRANSPORTADORES RECIPROCANTES.

ANEXO 11: Diagrama de Cálculo de Sobrecarga para Engranajes



ANEXO 12: Fórmulas y Valores de Constantes para la determinación del Factor de distribución de carga

$$C_{mc} = \begin{cases} 1 & \text{para dientes sin coronar} \\ 0.8 & \text{para dientes coronados} \end{cases}$$

$$C_{pf} = \begin{cases} \frac{F}{10d} - 0.025 & F \leq 1 \text{ pulg} \\ \frac{F}{10d} - 0.0375 + 0.0125F & 1 < F \leq 17 \text{ pulg} \\ \frac{F}{10d} - 0.1109 + 0.0207F - 0.000228F^2 & 17 < F \leq 40 \text{ pulg} \end{cases}$$

$$C_{pm} = \begin{cases} 1 & \text{para piñón montado separado con } S_1/S < 0.175 \\ 1.1 & \text{para piñón montado separado con } S_1/S \geq 0.175 \end{cases}$$

$$C_{ma} = A + BF + CF^2 \quad (\text{vea la tabla 14-9 de los valores de } A, B \text{ y } C)$$

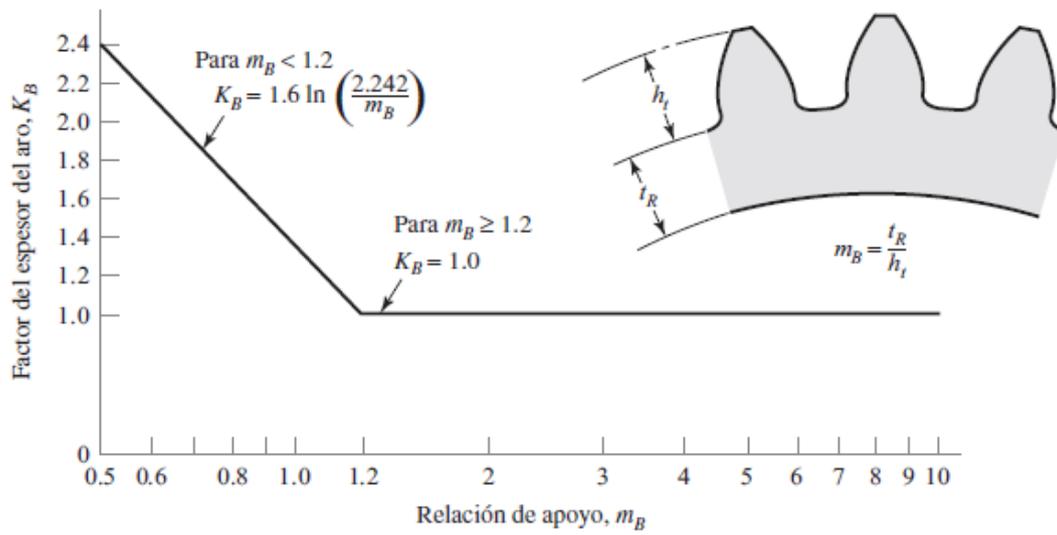
$$C_e = \begin{cases} 0.8 & \text{para engranajes ajustados durante el ensamble o si la} \\ & \text{compatibilidad se mejora mediante lapeado, o ambos} \\ 1 & \text{para todas las otras condiciones} \end{cases}$$

Condición	A	B	C
Engranajes abiertos	0.247	0.0167	$-0.765(10^{-4})$
Unidades comerciales, cerradas	0.127	0.0158	$-0.930(10^{-4})$
Unidades de precisión, cerradas	0.0675	0.0128	$-0.926(10^{-4})$
Unidades de precisión extrema, cerradas	0.00360	0.0102	$-0.822(10^{-4})$

* Vea la norma ANSI/AGMA 2101-D04, pp. 20-22, para formular en unidades SI.

ANEXO 13: Factor de espesor del aro K_B debajo del diente

$$K_B = \begin{cases} 1.6 \ln \frac{2.242}{m_B} & m_B < 1.2 \\ 1 & m_B \geq 1.2 \end{cases}$$



ANEXO 14: Factor de espesor del aro K_B debajo del diente

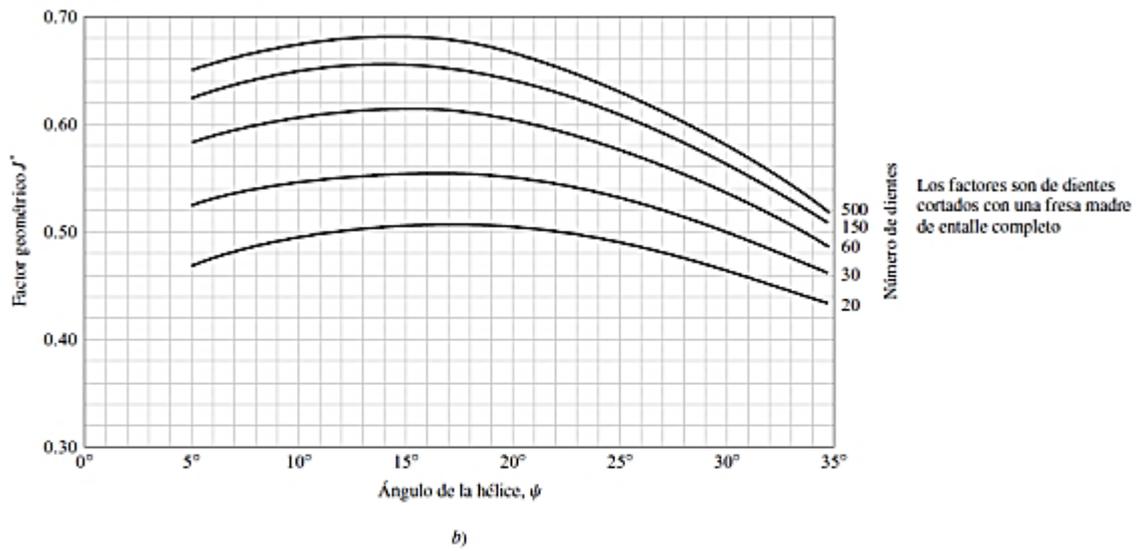
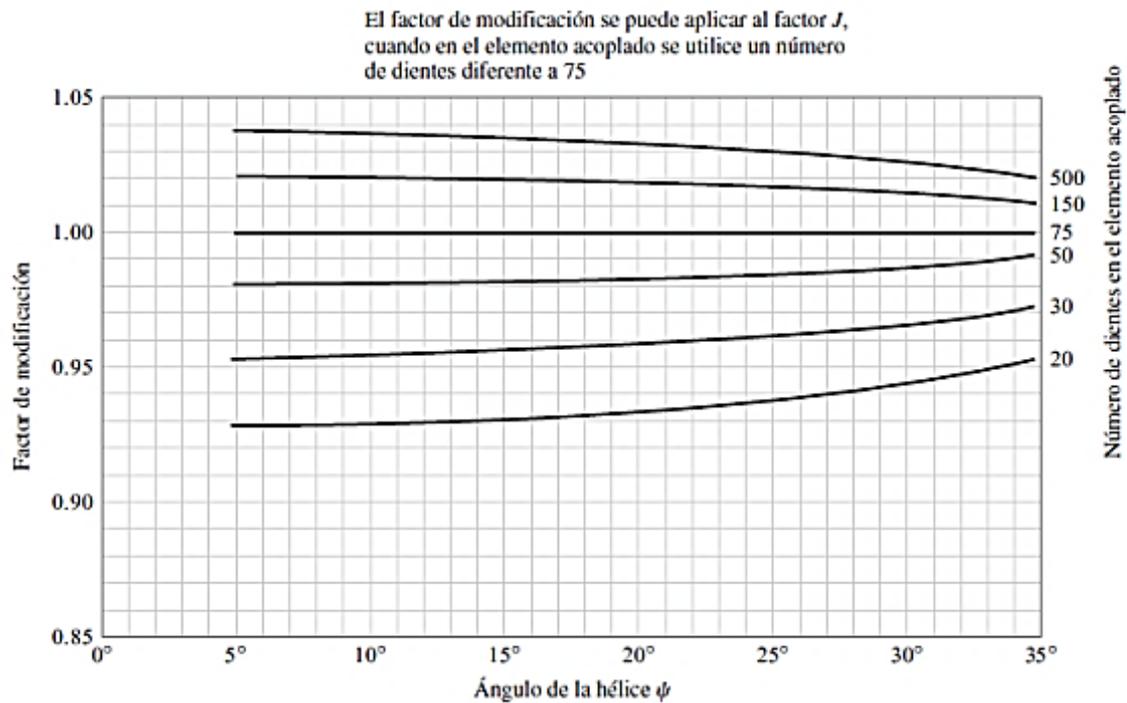


Figura 14-7

Factores geométricos J' de engranes helicoidales. (Fuente: La gráfica es de AGMA 218.01, lo que es consistente con los datos tabulares provenientes del actual AGMA 908-B89. La gráfica es adecuada para propósitos de diseño.)



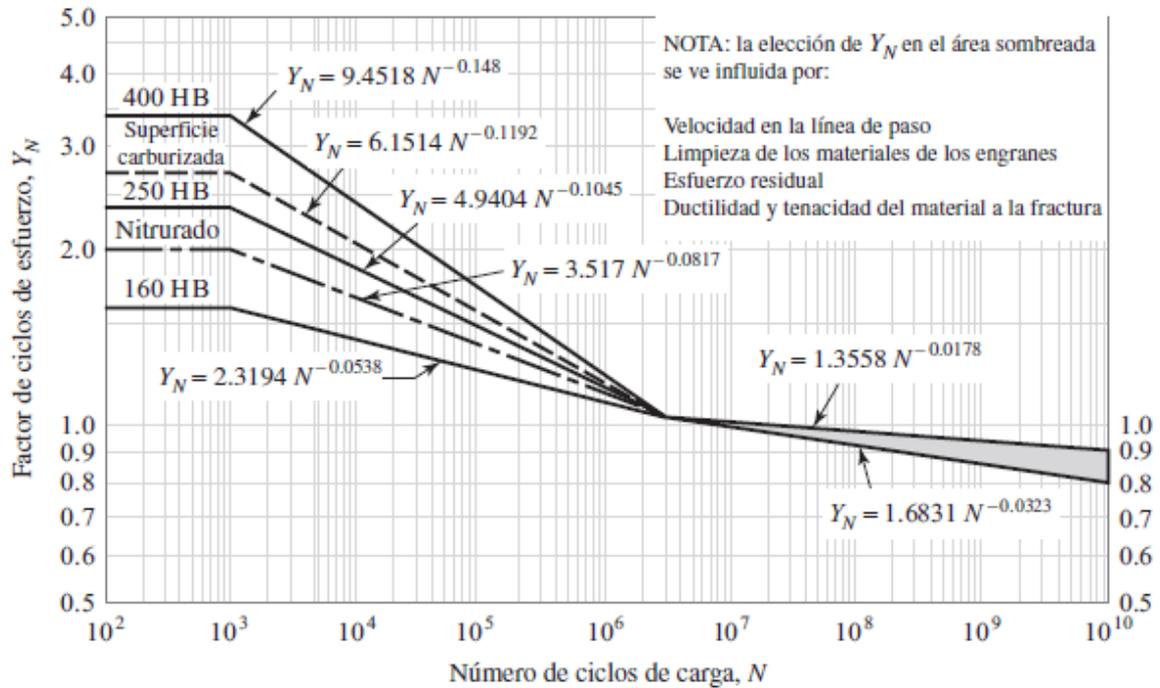
ANEXO 15: Resistencia a la flexión del acero tratado térmicamente para engranajes

Tabla 8-20 Resistencias de fatiga por flexión S_{fb}' de la AGMA, para un grupo de materiales para engranajes*

Material	Clase AGMA	Designación del material	Tratamiento térmico	Dureza superficial mínima	Resistencia a la fatiga por tensión	
					psi x 10 ³	MPa
Acero	A1-A5		Endurecido totalmente	≤ 180 HB	25-33	170-230
			Endurecido totalmente	240 HB	31-41	210-280
			Endurecido totalmente	300 HB	36-47	250-325
			Endurecido totalmente	360 HB	40-52	280-360
			Endurecido totalmente	400 HB	42-56	290-390
			Endurecido por llama o por inducción	Patrón tipo A 50-54 HRC	45-55	310-380
			Endurecido por llama o por inducción	Patrón tipo B	22	150
			Carburado y recubrimiento endurecido	55-64 HRC	55-75	380-520
			AISI 4140 Nitruado	84.6 HR15N [†]	34-45	230-310
			AISI 4340 Nitruado	83.5 HR15N	36-47	250-325
			Nitroaleación 135M Nitruado	90.0 HR15N	38-48	260-330
Nitroaleación N Nitruado	90.0 HR15N	40-50	280-345			
Cromo al 2.5% Nitruado	87.5-90.0 15N	55-65	380-450			
Hierro colado	20	Clase 20	Como está fundido		5	35
	30	Clase 30	Como está fundido	175 HB	8	69
	40	Clase 40	Como está fundido	200 HB	13	90
Hierro nodular (ductil)	A-7-a	60-40-18	Recocido	140 HB	22-33	150-230
	A-7-c	80-55-06	Templado y revenido	180 HB	22-33	150-230
	A-7-d	100-70-03	Templado y revenido	230 HB	27-40	180-280
	A-7-e	120-90-02	Templado y revenido	230 HB	27-40	180-280
Hierro maleable (perlítico)	A-8-c	45007		165 HB	10	70
	A-8-e	50005		180 HB	13	90
	A-8-f	53007		195 HB	16	110
	A-8-l	80002		240 HB	21	145
Bronce	Bronce 2	AGMA 2C	Fundido en arena	40 ksi resistencia a la tensión mín.	5.7	40
	Al/Br 3	ASTM B-148 78 aleación 954	Tratado térmicamente	90 ksi resistencia a la tensión mín.	23.6	160

[†] Escala de Rockwell 15N usada para materiales con recubrimiento endurecido; véase la sección B.4

ANEXO 16: Factor de ciclos de esfuerzo repetidamente aplicados de resistencia a la flexión



ANEXO 17: Factor de confiabilidad K_R (Fuente: ANSI/AGMA 2001-D04.)

Confiabilidad	K_R (Y_Z)
0.9999	1.50
0.999	1.25
0.99	1.00
0.90	0.85
0.50	0.70

ANEXO 18: Constantes Física de los materiales

Material	Módulo de elasticidad E		Módulo de rigidez G		Relación de Poisson ν	Peso específico w		
	Mpsi	GPa	Mpsi	GPa		lbf/pulg ³	lbf/ft ³	kN/m ³
Abeto Douglas	1.6	11.0	0.6	4.1	0.33	0.016	28	4.3
Acero al carbono	30.0	207.0	11.5	79.3	0.292	0.282	487	76.5
Acero al níquel	30.0	207.0	11.5	79.3	0.291	0.280	484	76.0
Acero inoxidable (18-8)	27.6	190.0	10.6	73.1	0.305	0.280	484	76.0
Aleaciones de titanio	16.5	114.0	6.2	42.4	0.340	0.160	276	43.4
Aluminio (todas las aleaciones)	10.4	71.7	3.9	26.9	0.333	0.098	169	26.6
Bronce fosforado	16.1	111.0	6.0	41.4	0.349	0.295	510	80.1
Cobre	17.2	119.0	6.49	44.7	0.326	0.322	556	87.3
Cobre al berilio	18.0	124.0	7.0	48.3	0.285	0.297	513	80.6
Hierro fundido (gris)	14.5	100.0	6.0	41.4	0.211	0.260	450	70.6
Inconel	31.0	214.0	11.0	75.8	0.290	0.307	530	83.3
Latón	15.4	106.0	5.82	40.1	0.324	0.309	534	83.8
Magnesio	6.5	44.8	2.4	16.5	0.350	0.065	112	17.6
Molibdeno	48.0	331.0	17.0	117.0	0.307	0.368	636	100.0
Monel metal	26.0	179.0	9.5	65.5	0.320	0.319	551	86.6
Plata niquelada	18.5	127.0	7.0	48.3	0.322	0.316	546	85.8
Plomo	5.3	36.5	1.9	13.1	0.425	0.411	710	111.5
Vidrio	6.7	46.2	2.7	18.6	0.245	0.094	162	25.4

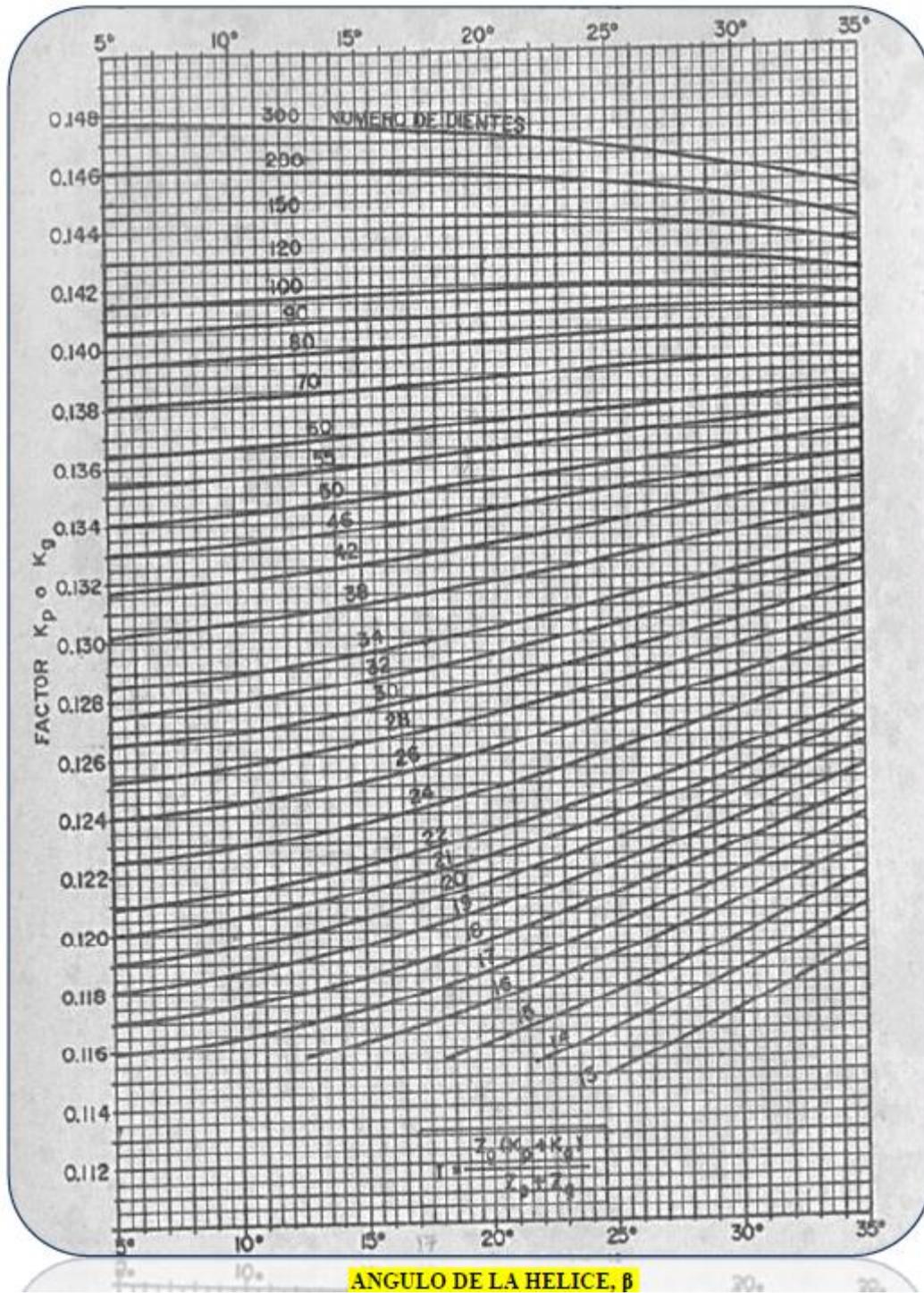
$$C_p = \sqrt{\frac{1}{\pi \left[\left(\frac{1 - \nu_p^2}{E_p} \right) + \left(\frac{1 - \nu_g^2}{E_g} \right) \right]}}$$

Dónde:

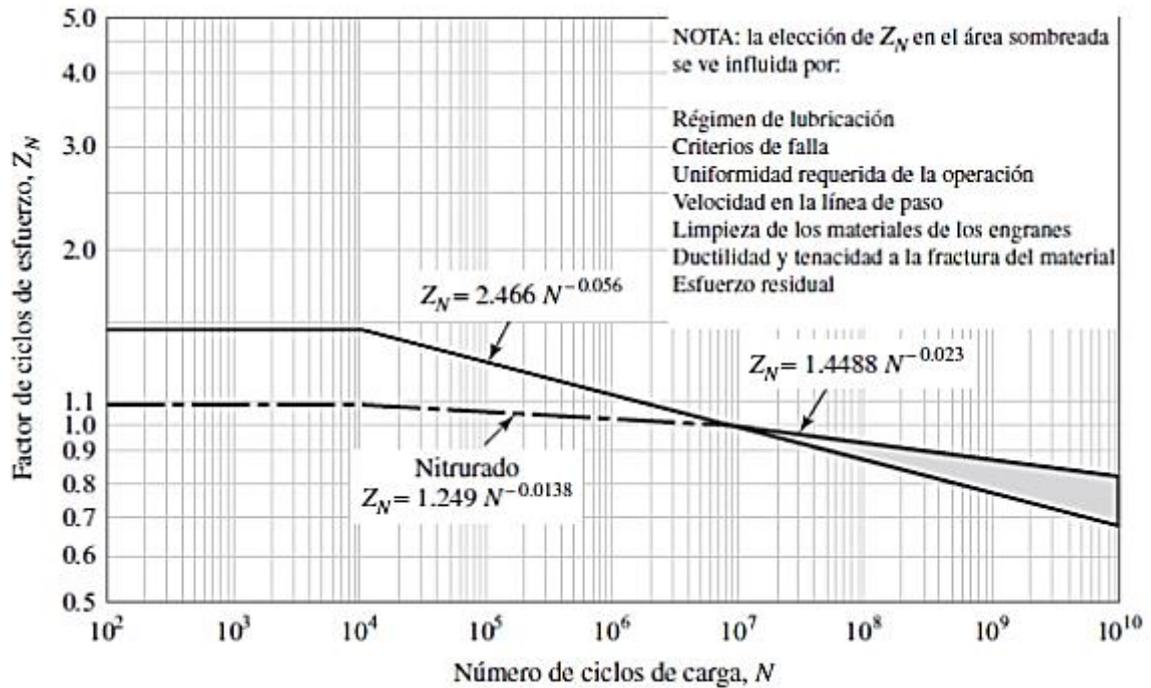
Ep y Eg : Módulo de elasticidad del material del piñón y del engranaje respectivamente

Vp y Vg : constantes de Poisson del material

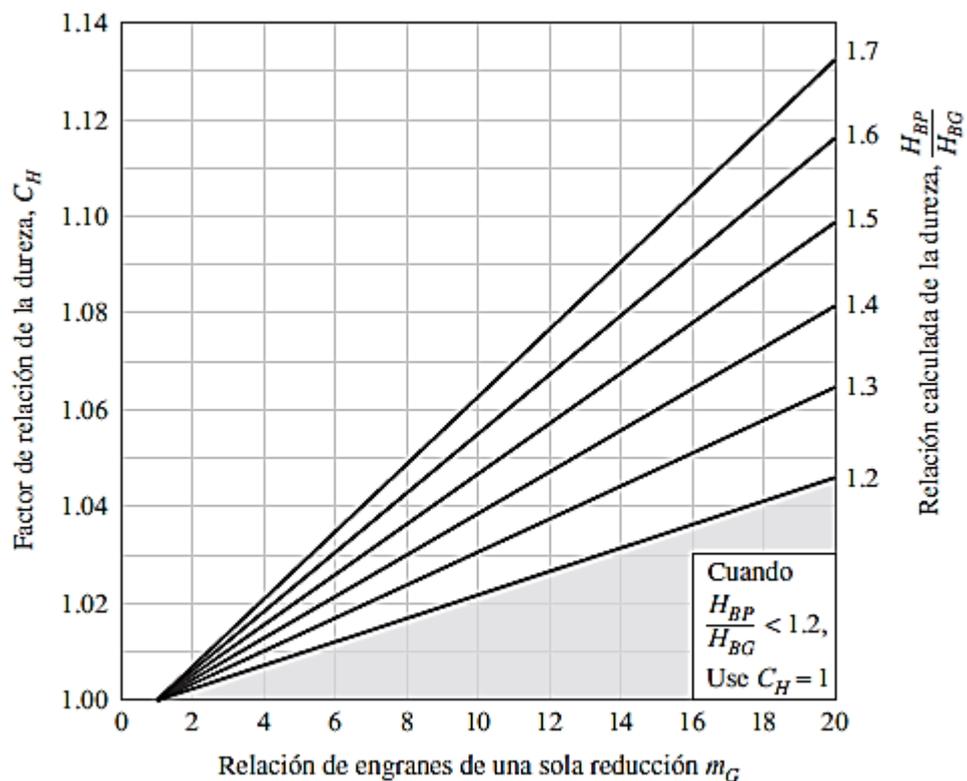
ANEXO 19: factor geométrico, i , para engranajes cilíndricos de dientes helicoidales y bi-helicoidales $\phi_n = 20^\circ$



**ANEXO 20: Factor de ciclos de esfuerzos de resistencia a la picadura Z_N.
(Fuente: ANSI/AGMA 2001- D04.)**



**ANEXO 21: Factor de la relación de dureza C_H Acero completamente
(Fuente: ANSI/AGMA 2001- D04.)**



ANEXO 22: Resistencia de contacto aplicada S_C a 10^7 ciclos y confiabilidad a 0.99 de engranes (Fuente: ANSI/AGMA 2001-D04)

Resistencia de contacto repetidamente aplicada S_C a 10^7 ciclos y confiabilidad de 0.99 de engranes de acero
Fuente: ANSI/AGMA 2001-D04.

Designación del material	Tratamiento térmico	Dureza superficial mínima ¹	Número de esfuerzo de contacto permisible, ² S_C , psi		
			Grado 1	Grado 2	Grado 3
Acero ³	Endurecido completamente ⁴	Vea la figura 14-5	Vea la figura 14-5	Vea la figura 14-5	—
	Endurecido por flama ⁵ o por inducción ⁵	50 HRC	170 000	190 000	—
		54 HRC	175 000	195 000	—
	Carburizado y endurecido ⁵	Vea la tabla 9 ⁶	180 000	225 000	275 000
	Nitruado ⁵ (aceros completamente endurecidos)	83.5 HR15N	150 000	163 000	175 000
84.5 HR15N		155 000	168 000	180 000	
2.5% de cromo (sin aluminio)	Nitruado ⁵	87.5 HR15N	155 000	172 000	189 000
Nitralloy 135M	Nitruado ⁵	90.0 HR15N	170 000	183 000	195 000
Nitralloy N	Nitruado ⁵	90.0 HR15N	172 000	188 000	205 000
2.5% de cromo (sin aluminio)	Nitruado ⁵	90.0 HR15N	176 000	196 000	216 000

Notas: Vea la norma ANSI/AGMA 2001-D04 para las referencias citadas en las notas 1-5.

¹ La dureza será equivalente a la del inicio del perfil activo en el centro del ancho de la cara.

² Vea las tablas 7 a la 10 de los factores metalúrgicos principales de cada grado de esfuerzo en engranes de acero.

³ El acero que se elija debe ser compatible con el proceso de tratamiento térmico que se seleccione y la dureza requerida.

⁴ Estos materiales se deben recocer o normalizar como un mínimo.

⁵ Los números de esfuerzo permisible que se indican se pueden utilizar con las profundidades de la superficie tratada prescritas en 16.1.

⁶ La tabla 9 de la norma ANSI/AGMA 2001-D04 es una tabulación detallada de los factores metalúrgicos principales que afectan a S_f y S_C de engranes de acero carburizados y endurecidos.

ANEXO 23: Factores de Carga radial y axial para selección de rodamientos
 (Fuente: Diseño de elementos de máquinas. Juan José Hori)

FACTORES X, Y, X₀, Y₀

SERIE	e	F _a / F _r ≤ e		F _a / F _r > e		X ₀	Y ₀
		X	Y	X	Y		
RODAMIENTOS DE BOLAS A RÓTULA							
	0.16	1.0	3.9	0.65	6.1	1.0	4.0
	0.17	1.0	3.7	0.65	5.7	1.0	4.0
	0.18	1.0	3.5	0.65	5.4	1.0	3.6
	0.19	1.0	3.3	0.65	5.1	1.0	3.6
	0.20	1.0	3.2	0.65	4.9	1.0	3.2
	0.21	1.0	3.0	0.65	4.6	1.0	3.2
	0.22	1.0	2.9	0.65	4.5	1.0	2.8
	0.23	1.0	2.7	0.65	4.2	1.0	2.8
	0.24	1.0	2.6	0.65	4.1	1.0	2.8
	0.25	1.0	2.5	0.65	3.9	1.0	2.5
	0.26	1.0	2.4	0.65	3.7	1.0	2.5
	0.27	1.0	2.3	0.65	3.6	1.0	2.5
	0.28	1.0	2.2	0.65	3.5	1.0	2.5
	0.30	1.0	2.1	0.65	3.3	1.0	2.2
	0.31	1.0	2.0	0.65	3.1	1.0	2.2
	0.33	1.0	1.9	0.65	3.0	1.0	2.0
	0.35	1.0	1.8	0.65	2.8	1.0	1.8
	0.37	1.0	1.7	0.65	2.6	1.0	1.8
	0.40	1.0	1.6	0.65	2.4	1.0	1.6
	0.43	1.0	1.5	0.65	2.3	1.0	1.6
	0.44	1.0	1.4	0.65	2.2	1.0	1.4
	0.46	1.0	1.35	0.65	2.1	1.0	1.4
	0.48	1.0	1.3	0.65	2.0	1.0	1.4
	0.50	1.0	1.25	0.65	2.0	1.0	1.3
	0.52	1.0	1.2	0.65	1.9	1.0	1.3
	0.57	1.0	1.1	0.65	1.7	1.0	1.1
	0.60	1.0	1.05	0.65	1.6	1.0	1.1
	0.65	1.0	0.97	0.65	1.5	1.0	1.0
RODAMIENTOS DE BOLAS CON CONTACTO ANGULAR							
72B, 73B	1.14	1.0	0.0	0.35	0.57	0.5	0.26
32, 33	0.86	1.0	0.73	0.62	1.17	1.0	0.63
33D	1.33	1.0	0.47	0.54	0.81	1.0	0.46
RODAMIENTOS DE RODILLOS A RÓTULA							
	0.15	1.0	4.5	0.67	6.7	1.0	4.5
	0.16	1.0	4.2	0.67	6.3	1.0	4.0
	0.17	1.0	4.0	0.67	5.9	1.0	4.0
	0.18	1.0	3.8	0.67	5.6	1.0	3.6
	0.19	1.0	3.6	0.67	5.3	1.0	3.6
	0.20	1.0	3.4	0.67	5.0	1.0	3.2
	0.21	1.0	3.2	0.67	4.8	1.0	3.2
	0.22	1.0	3.0	0.67	4.6	1.0	2.8
	0.23	1.0	2.9	0.67	4.4	1.0	2.8
	0.24	1.0	2.8	0.67	4.2	1.0	2.8

ANEXO 24: Tabla para determinación de horas de servicio de diferentes máquinas (Fuente: Diseño de elementos de máquinas. Juan José Hori)

DURACIÓN EN HORAS DE SERVICIO PARA DIFERENTES TIPOS DE MÁQUINAS	
CLASE DE MÁQUINA	HORAS
<ul style="list-style-type: none"> Electrodomésticos, máquinas agrícolas, instrumentos, aparatos técnicos para uso médico. 	300 a 3,000
<ul style="list-style-type: none"> Máquinas de uso intermitente o periodos cortos: máquinas herramientas portátiles, aparatos elevadores en talleres, máquinas para la construcción. 	3,000 a 8,000
<ul style="list-style-type: none"> Máquinas para trabajar con alta confiabilidad de funcionamiento durante periodos cortos o intermitentes: ascensores, grúas para mercancías embaladas. 	8,000 a 12,000
<ul style="list-style-type: none"> Máquinas para 8 horas de trabajo, no utilizadas totalmente: transmisiones por engranajes para uso general, motores eléctricos para uso industrial, chancadoras giratorias. 	10,000 a 25,000
<ul style="list-style-type: none"> Máquinas para 8 horas de trabajo diario totalmente utilizadas: máquinas herramientas, máquinas para trabajar madera, máquinas para la industria mecánica general, grúas para materiales a granel, ventiladores, transportadores de faja, equipos de impresión, centrifugas y separadoras. 	20,000 a 30,000
<ul style="list-style-type: none"> Máquinas para trabajo continuo, 24 horas/día: cajas de engranajes para laminadoras, maquinaria eléctrica de tamaño medio, compresoras, winches de extracción para minas, bombas, maquinaria textil. 	40,000 a 50,000
<ul style="list-style-type: none"> Maquinaria para abastecimiento de agua, hornos giratorios, máquinas cableadoras, maquinaria propulsora para transatlánticos. 	60,000 a 100,000
<ul style="list-style-type: none"> Maquinaria para fabricación de papel y pulpa de papel, máquinas eléctricas de gran tamaño, centrales eléctricas, bombas y ventiladores para minas, rodamientos para la línea de ejes de transatlánticos. 	≈ 100,000

**ANEXO 25; Tabla para determinación factores de seguridad estático
(Fuente: Diseño de elementos de máquinas. Juan José Hori)**

**TABLA N° 10
FACTORES DE SEGURIDAD ESTÁTICO S_0**

APLICACIÓN	S_0 min.
Para rodamientos con movimientos ocasionales de oscilación: <ul style="list-style-type: none"> • Palas de hélices de paso variable para aviones. • Instalaciones de compuertas de aliviaderos y esclusas. • Puentes móviles. • Ganchos de grúas grandes con cargas dinámicas pequeñas. • Ganchos de grúas pequeñas utilizadas para mercancías a granel con cargas dinámicas de cierta consideración. • Para rodamientos axiales de rodillos a rótula. 	0.5 1.0 1.5 1.0 1.6 2.0
Para rodamientos giratorios con fluctuaciones grandes de la carga aplicada o con cargas elevadas de choque durante una parte de una revolución: <ul style="list-style-type: none"> • Aplicaciones que requiera un funcionamiento suave y sin vibraciones. • Condiciones de trabajo medio, con exigencias normales de funcionamiento silencioso. • En aplicaciones con cargas de choque pronunciadas. • En aplicaciones con exigencia rigurosa de funcionamiento silencioso. • Para rodamientos axiales de rodillos a rótula. 	0.5 1.0 1.5 - 2.0 2.0 2.0

ANEXO 26: Ficha técnica de Chumacera con rodamiento de bolas Fabricante SKF

SY 35 TF

Compliance with standard

ISO

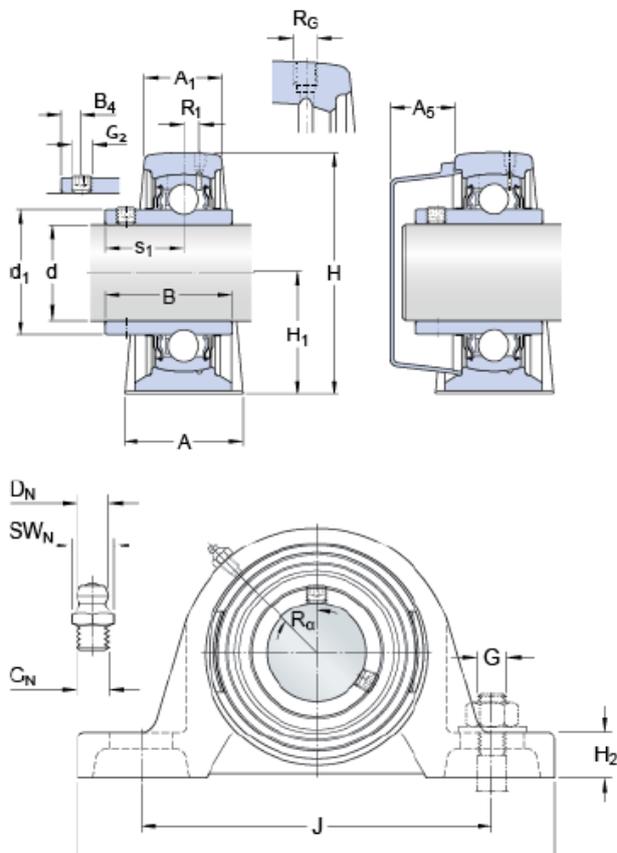
Material

Fundición

Sealing solution

Standard seals with additional fingers

Dimensiones



d	35	mm
A	45	mm
A ₁	27	mm
A ₅	24.5	mm
B	42.9	mm
H	93	mm
H ₁	47.6	mm
H ₂	19	mm
J	126	mm
J	max. 133	mm
J	min. 119	mm
L	160	mm
N	21	mm
N ₁	14	mm

ANEXO 26: Ficha técnica de Chumacera con rodamiento de bolas Fabricante SKF

Dimensions

d_1	≈	46.1	mm
B_4		6	mm

Datos del cálculo

Capacidad de carga dinámica básica	C	25.5	kN
Capacidad de carga estática básica	C_0	15.3	kN
Carga límite de fatiga	P_u	0.655	kN
Velocidad límite (con tolerancia de eje h6)		5300	r/min

Masa

Unidad de masa		1.5	kg
----------------	--	-----	----

Mounting Information

Rosca del prisionero	G_2	M6x0.75
----------------------	-------	---------

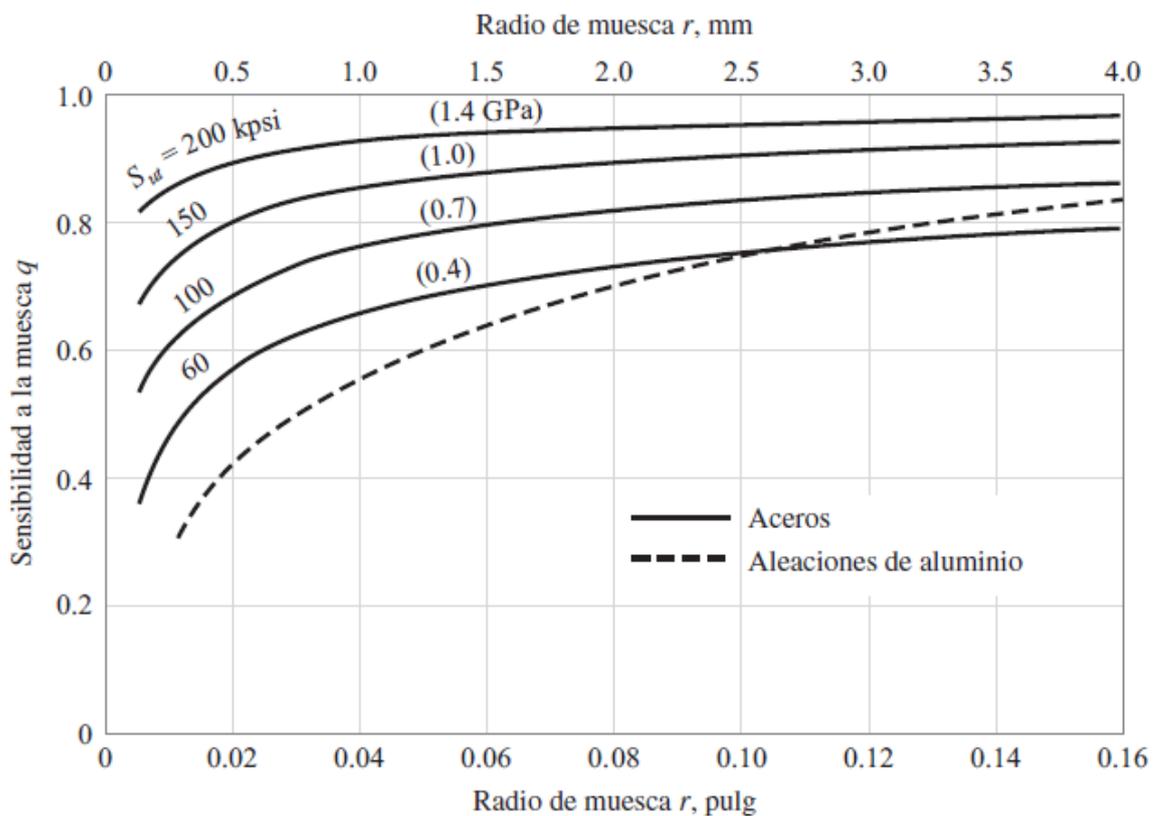
Información de montaje

Tamaño de llave hexagonal para prisionero	N	3	mm
Par de apriete recomendado para el prisionero		4	N·m
Diámetro recomendado para los tornillos de fijación, mm	G	12	mm
Diámetro recomendado para los tornillos de fijación, pulgadas	G	0.5	in

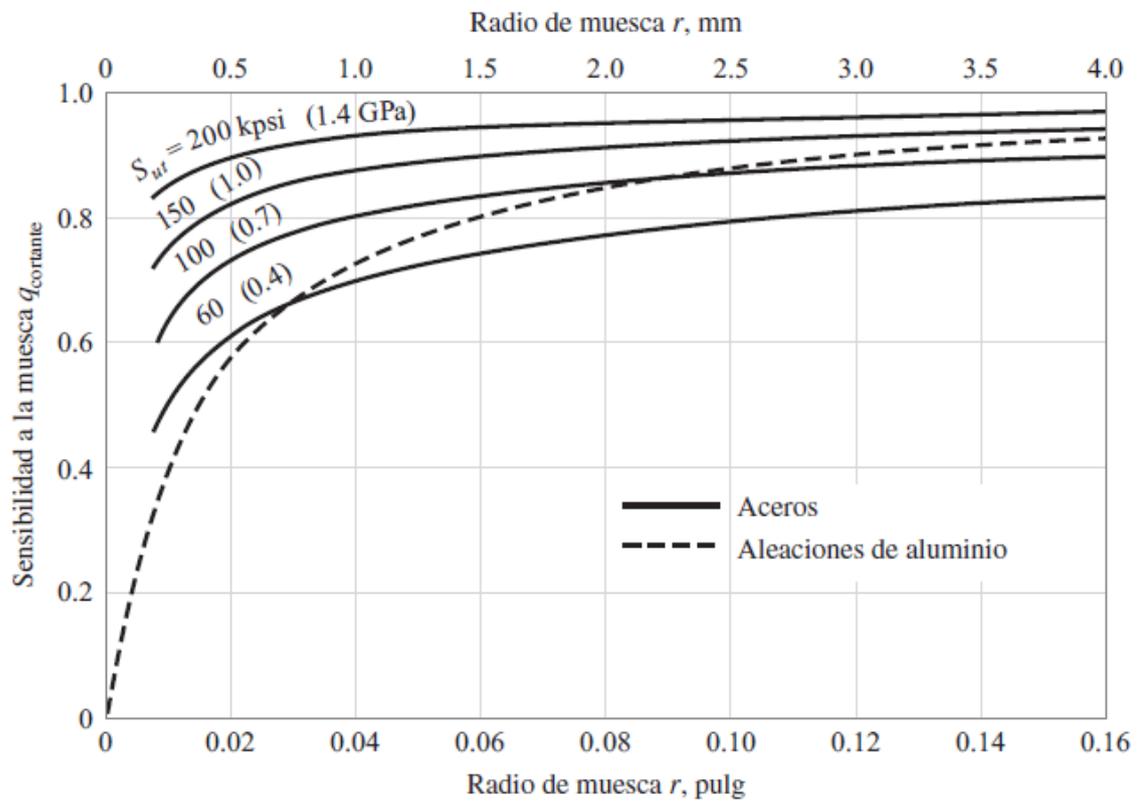
ANEXO 27: Estimaciones de factores de concentración de esfuerzo K_t , K_{ts} y curva de sensibilidad de entalle (Fuente: Budynas 2012)

	Flexión	Torsión	Axial
Filete de hombro: agudo ($r/d = 0.02$)	2.7	2.2	3.0
Filete de hombro: bien redondeado ($r/d = 0.1$)	1.7	1.5	1.9
Cuñero fresado ($r/d = 0.02$)	2.14	3.0	—
Cuñero de patín o trapezoidal	1.7	—	—
Ranura para anillo de retención	5.0	3.0	5.0

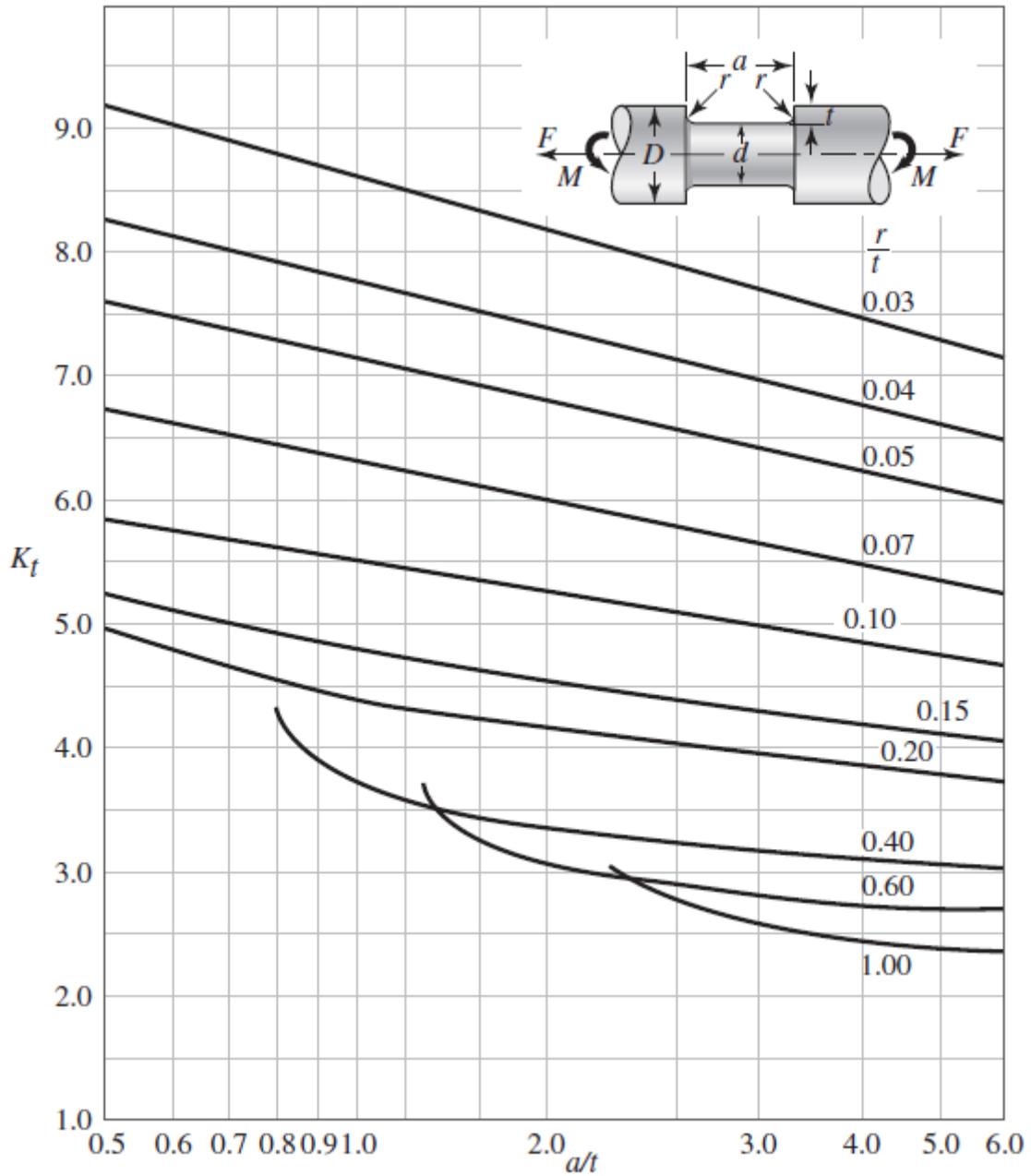
Los valores faltantes en la tabla no pueden obtenerse con facilidad.



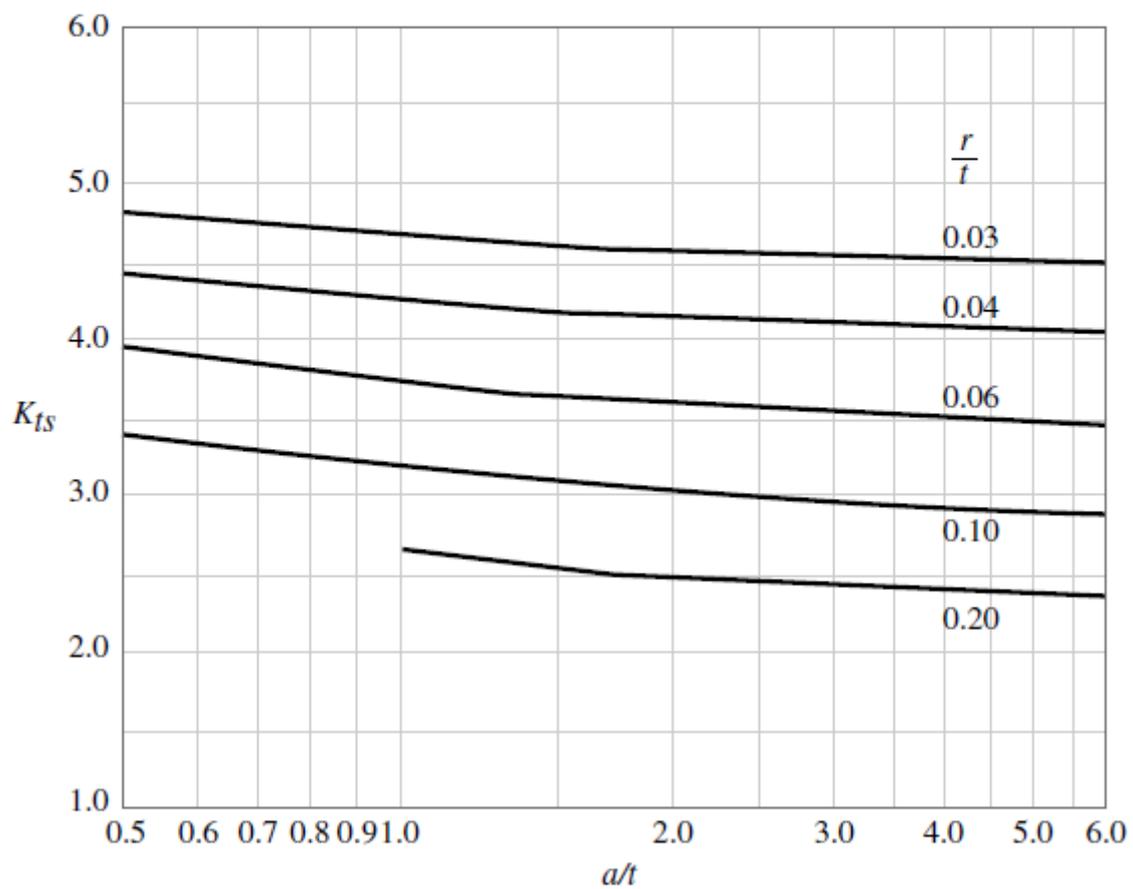
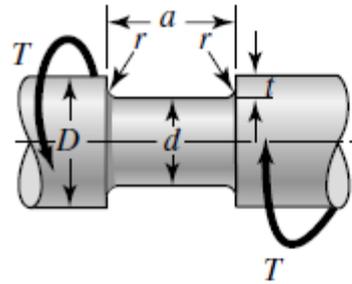
ANEXO 27: Estimaciones de factores de concentración de esfuerzo K_t , K_{ts} y curva de sensibilidad de entalle (Fuente: Budynas 2012)



ANEXO 28: Estimaciones de factores de concentración de esfuerzo K_t , K_{ts} en ejes con canales (Fuente: Budynas 2012).



ANEXO 28: Estimaciones de factores de concentración de esfuerzo K_t , K_{ts} en ejes con canales (Fuente: Budynas 2012).



ANEXO 29: Tabla de factor de servicio de motoredutores (Fuente: Rossi Motoriduttori).

Factor de servicio en función de la naturaleza de la carga y de la duración del funcionamiento (este valor debe ser multiplicado por el del cuadro de al lado).

Facteur de service en fonction de la nature de la charge et de la durée de fonctionnement (cette valeur doit être multipliée par celle du tableau ci-contre).

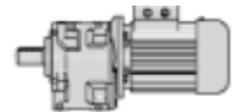
Naturaleza de la carga de la máquina accionada Nature de la charge de la machine entraînée		Duración del funcionamiento [h] Durée de fonctionnement [h]				
Ref. Réf.	Descripción Description	3 150 ≤ 2 h/d	6 300 2÷4 h/d	12 500 4÷8 h/d	25 000 8÷16 h/d	50 000 16÷24 h/d
a	Uniforme	0,8	0,9	1	1,18	1,32
b	Sobrecargas moderadas 1,6 × normal) Surcharges modérées (1,6 × normal)	1	1,12	1,25	1,5	1,7
c	Sobrecargas fuertes 2,5 × normal) Fortes surcharges (2,5 × normal)	1,32	1,5	1,7	2	2,24

...: Factor de servicio en función de la **frecuencia de arranque** relacionada con la naturaleza de la carga.

...: Facteur de service en fonction de la **fréquence de démarrage** rapportée à la nature de la charge.

Ref. carga Réf. charge	Frecuencia de arranque z [arr./h] Fréquence de démarrage z [dém./h]							
	2	4	8	16	32	63	125	250
a	1	1,06	1,12	1,18	1,25	1,32	1,4	1,5
b	1	1	1,06	1,12	1,18	1,25	1,32	1,4
c	1	1	1	1,06	1,12	1,18	1,25	1,32

8 - Programa de fabricación (motorreductores) 8 - Programme de fabrication (motoréducteurs)



P_1 kW	n_2 min ⁻¹	M_2 daN m	f_s	Reductor - Motor Réducteur - Moteur		i
1)				2)		
15	75,9	181	2,36	MR 3I 140 - 160 L	4	18,4
	76,2	180	1,4	MR 3I 125 - 160 L	4	18,4
	76,2	180	1,9	MR 3I 126 - 160 L	4	18,4
	78,3	179	2,36	MR 2I 140 - 180 L	6	11,5
	79,1	178	1,32	MR 2I 125 - 180 L	6	11,4
	79,1	178	1,7	MR 2I 126 - 180 L	6	11,4
	80,8	174	3,35	MR 2I 160 - 160 L	4	17,3
	84,7	162	1,6	MR 3I 125 - 160 L	4	16,5
	84,7	162	2,12	MR 3I 126 - 160 L	4	16,5
	88	159	2	MR 2I 126 - 180 L	6	10,2
	88,2	159	1,4	MR 2I 125 - 160 L	4	15,9
	88,2	159	1,7	MR 2I 126 - 160 L	4	15,9
	88,2	159	2,5	MR 2I 140 - 160 L	4	15,9
	98	143	3	MR 2I 140 - 160 L	4	14,3
	99	142	1,7	MR 2I 125 - 160 L	4	14,1
	99	142	2,12	MR 2I 126 - 160 L	4	14,1
	110	127	1,9	MR 2I 125 - 160 L	4	12,7
	110	127	2,5	MR 2I 126 - 160 L	4	12,7
	114	123	0,9	MR 2I 100 - 160 L	4	12,3
	114	123	1,12	MR 2I 101 - 160 L	4	12,3
	123	114	2	MR 2I 125 - 160 L	4	11,4
	123	114	2,5	MR 2I 126 - 160 L	4	11,4
	126	111	1,06	MR 2I 100 - 160 L	4	11,1
	126	111	1,32	MR 2I 101 - 160 L	4	11,1
	137	103	2,36	MR 2I 125 - 160 L	4	10,2
	137	103	3	MR 2I 126 - 160 L	4	10,2
	140	101	1,18	MR 2I 100 - 160 L	4	10
	140	101	1,5	MR 2I 101 - 160 L	4	10
	152	93	2,5	MR 2I 125 - 160 L	4	9,24
	162	87	1,32	MR 2I 100 - 160 L	4	8,67
	162	87	1,6	MR 2I 101 - 160 L	4	8,67
	167	84	2,8	MR 2I 125 - 160 L	4	8,4
	178	79	1,5	MR 2I 100 - 160 L	4	7,85
	178	79	1,9	MR 2I 101 - 160 L	4	7,85
	195	72	3,35	MR 2I 125 - 160 L	4	7,19
	196	72	1,6	MR 2I 100 - 160 L	4	7,14
	196	72	2,24	MR 2I 101 - 160 L	4	7,14
	214	66	1,8	MR 2I 100 - 160 L	4	6,53
	214	66	2,36	MR 2I 101 - 160 L	4	6,53
	217	65	3,75	MR 2I 125 - 160 L	4	6,46

P_1 kW	n_2 min ⁻¹	M_2 daN m	f_s	Reductor - Motor Réducteur - Moteur		i
1)				2)		
18,5	46,3	366	2,65	MR 3I 180 - 180 M	4	30,2
	47,6	356	1,25	MR 3I 140 - 180 M	4	29,4
	48,1	353	0,85	MR 3I 126 - 180 M	4	29,1
	51,3	331	3	MR 3I 180 - 180 M	4	27,3
	52,6	323	1,4	MR 3I 140 - 180 M	4	26,6
	53,2	319	2,12	MR 3I 160 - 180 M	4	26,3
	53,6	317	0,8	MR 3I 125 - 180 M	4	26,1
	53,6	317	1,06	MR 3I 126 - 180 M	4	26,1
	58,8	288	1,7	MR 3I 140 - 180 M	4	23,8
	59,3	286	0,9	MR 3I 125 - 180 M	4	23,6
	59,3	286	1,18	MR 3I 126 - 180 M	4	23,6
	59,3	286	2,36	MR 3I 160 - 180 M	4	23,6
	65,2	260	0,95	MR 3I 125 - 180 M	4	21,5
	65,2	260	1,32	MR 3I 126 - 180 M	4	21,5
	68,2	249	2,8	MR 3I 160 - 180 M	4	20,5
	68,6	247	1,9	MR 3I 140 - 180 M	4	20,4
	73,9	234	2,36	MR 2I 160 - 180 M	4	19
	75,9	223	2	MR 3I 140 - 180 M	4	18,4
	76,2	223	1,12	MR 3I 125 - 180 M	4	18,4
	76,2	223	1,5	MR 3I 126 - 180 M	4	18,4
	80,8	214	2,8	MR 2I 160 - 180 M	4	17,3
	84,7	200	1,25	MR 3I 125 - 180 M	4	16,5
	84,7	200	1,7	MR 3I 126 - 180 M	4	16,5
	85,8	202	1	MR 2I 125 - 180 M	4	16,3
	88	197	3,15	MR 2I 160 - 180 M	4	15,9
	100	173	2,36	MR 2I 140 - 200 LR	6	9
	101	172	3,75	MR 2I 160 - 180 M	4	13,9
	101	171	1,4	MR 2I 125 - 200 LR	6	8,91
	101	171	1,7	MR 2I 126 - 200 LR	6	8,91
	110	158	1,4	MR 2I 125 - 180 M	4	12,8
	110	158	1,7	MR 2I 126 - 180 M	4	12,8
	110	158	2,5	MR 2I 140 - 180 M	4	12,8
	122	142	3	MR 2I 140 - 180 M	4	11,5
	123	141	1,6	MR 2I 125 - 180 M	4	11,4
	123	141	2,12	MR 2I 126 - 180 M	4	11,4
	137	126	1,9	MR 2I 125 - 180 M	4	10,2
	137	126	2,5	MR 2I 126 - 180 M	4	10,2
	145	119	0,9	MR 2I 100 - 180 M	4	9,64
	145	119	1,12	MR 2I 101 - 180 M	4	9,64
	152	114	2,12	MR 2I 125 - 180 M	4	9,24

ANEXO 29: Tabla de factor de servicio de motoredutores (Fuente: Rossi Motoriduttori).

2 - Características

2 - Caractéristiques

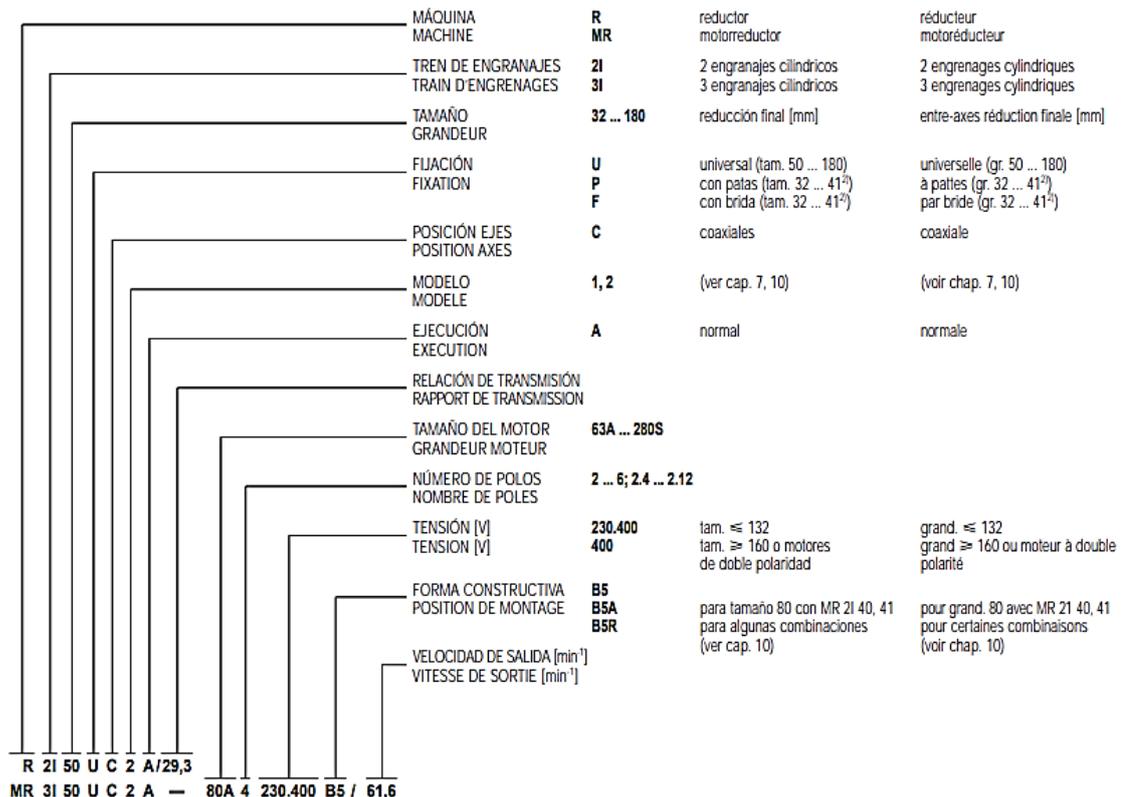
Características principales de los motores normales (excluyendo V0) y freno (excluyendo FV0) (50 Hz)

Principales caractéristiques des moteurs normaux (sauf V0) et des moteurs freins (sauf FV0) (50 Hz)

Tamaño motor Grandeur moteur	M _{fmax} = daN m 2) 4)	2 polos - pôles - 2 800 min ⁻¹)				4 polos - pôles - 1 400 min ⁻¹)				6 polos - pôles - 900 min ⁻¹)			
		P ₁ kW	J ₀ = kg m ² 2)	Z ₀ 3)	Marranque - démarr M _n = 3)	P ₁ kW	J ₀ = kg m ² 2)	Z ₀ 3)	Marranque - démarr M _n = 3)	P ₁ kW	J ₀ = kg m ² 2)	Z ₀ 3)	Marranque - démarr M _n = 3)
63 A	0,35	0,18	0,0002	4 750	2,5	0,12	0,0002	12 500	2,9	0,09	0,0004	12 500	2,7
63 B	0,35	0,25	0,0003	4 750	2,7	0,18	0,0003	12 500	2,8	0,12	0,0004	12 500	2,7
63 C	0,35	0,37*	0,0003	4 000	3	0,25*	0,0003	10 000	2,6	—	—	—	—
71 A	0,75	0,37	0,0004	4 000	3	0,25	0,0005	10 000	2,6	0,18	0,0012	11 200	2,4
71 B	0,75	0,55	0,0005	4 000	3	0,37	0,0007	10 000	2,5	0,25	0,0012	11 200	2,1
71 C	0,75	0,75*	0,0006	3 000	2,8	0,55*	0,0008	8 000	2,4	0,37*	0,0013	10 000	2,1
80 A	1,6	0,75	0,0008	3 000	2,5	0,55	0,0015	8 000	2,6	0,37	0,0019	9 500	2,1
80 B	1,6	1,1	0,0011	3 000	2,2	0,75	0,0019	7 100	2,9	0,55	0,0024	9 000	2,1
80 C	1,6	1,5 *	0,0013	2 500	2,9	1,1 *	0,0025	5 000	3	0,75*	0,0033	7 100	2,1
80 D	1,5	—	—	—	—	1,5 *	0,0028	5 000	2,9	—	—	—	—
90 S	1,6	1,5	0,0013	2 500	2,9	1,1	0,0025	5 000	3	0,75	0,0033	7 100	2,1
90 SB	1,6	1,85*	0,0014	2 500	2,8	—	—	—	—	—	—	—	—
90 L	1,6	—	—	—	—	1,5	0,0041	4 000	2,7	1,1	0,005	5 300	2,3
90 LA	4	2,2	0,0017	2 500	2,9	—	—	—	—	—	—	—	—
90 LB	4	3	0,0019	1 800	2,8	1,85*	0,0044	4 000	2,7	—	—	—	—
90 LC	4	—	—	—	—	2,2 *	0,0048	3 150	2,8	1,5 *	0,0055	5 000	2,5
100 LA	4	3	0,0035	1 800	2,7	2,2	0,0051	3 150	2,6	1,5	0,0104	3 550	2,6
100 LB	4	4 *	0,0046	1 500	3,9	3	0,0069	3 150	2,9	1,85*	0,0118	3 150	2,5
112 M	7,5 ³⁾	4	0,0046	1 500	3,9	4	0,0097	2 500	3,1	2,2	0,0142	2 800	2,9
112 MB	4	5,5 *	0,0054	1 400	3,9	—	—	—	—	—	—	—	—
112 MC	7,5	7,5 *	0,0076	1 060	3,9	5,5 *	0,0115	1 800	3,1	3 *	0,0169	2 500	2,9
132 S	7,5	—	—	—	—	5,5	0,0216	1 800	3	3	0,0216	2 360	2,3
132 SA	7,5	5,5	0,0099	1 250	2,4	—	—	—	—	—	—	—	—
132 SB	7,5	7,5	0,0118	1 120	3	—	—	—	—	—	—	—	—
132 SC	7,5	9,2 *	0,0137	1 060	3,7	—	—	—	—	—	—	—	—
132 M	15	11 *	0,0178	850	3,7	7,5	0,0323	1 180	3,2	4	0,0323	1 420	2,9
132 MB	15	15 *	0,0226	710	3,8	9,2 *	0,0391	1 070	3	5,5	0,0391	1 260	2,6
132 MC	15	—	—	—	—	11 *	0,0424	900	3,4	7,5 *	0,0532	1 000	2,4
160 MR	25	11	0,039	450	2,1	—	—	—	—	—	—	—	—
160 M	25	15	0,044	425	2,4	11	0,072	900	2	7,5	0,096	1 120	2
160 L	25	18,5	0,049	400	2,6	15	0,084	800	2,3	11	0,119	950	2,3

3 - Designación

3 - Désignation



ANEXO 30: Tabla de factor de servicio para acoplamientos tipo Falk (Fuente: Diseño de elementos de máquinas. Juan Hori Asano. 2014).

ACOPLAMIENTOS "STEELFLEX", FALK

FACTORES DE SERVICIO A USAR EN ACOPLAMIENTOS "STEELFLEX" PARA TRANSMISIONES ACCIONADAS CON MOTOR ELECTRICO O CON TURBINA

APLICACION	FACTOR
AGITADORES:	
- Horizontales y verticales	1.00
- De tornillos, hélice, paletas	1.00
ALIMENTADORES:	
- De mandil, de faja, de tornillo, de discos	1.00
- Reciprocantes	2.50
BOMBAS:	
- <i>Centrífugas:</i>	
- De velocidad constante	1.00
- Con cambio frecuente de velocidad	1.25
- De engranajes, rotatorios, de lóbulos	1.25
- <i>Reciprocantes:</i>	
- De un cilindro, simple o doble acción	3.00
- De dos cilindros, simple acción	2.00
- De dos cilindros, doble acción	1.75
- De tres o más cilindros	1.50
COMPRESORES:	
- Centrífugos	1.00
- De lóbulos, rotatorios, de paletas	1.25
- Helicoidales	1.00
- <i>Reciprocantes con volante y con transmisión por engranajes de:</i>	
- Un cilindro, simple acción	4.00
- Un cilindro, doble acción	3.50
- Dos cilindros, simple acción	3.50
- Dos cilindros, doble acción	3.00
- Tres cilindros, simple acción	3.00
- Tres cilindros, doble acción	2.00
- Cuatro o más cilindros de simple acción	1.75
- Cuatro o más cilindros de doble acción	1.75
ELEVADORES:	
- De cangilones continuos, de descarga centrífuga, de descarga por gravedad	1.25
- Escaleras mecánicas	1.00
ENTRUSORES DE PLÁSTICOS	1.50
GENERADORES, EXCITADORES	1.00
LINEAS DE EJES PARA MAQUINARIAS DE PROCESOS	1.50
MAQUINAS HERRAMIENTAS:	
- Transmisiones auxiliares	1.00
- Transmisiones principales	1.50
- Prensas, roladoras, punzonadoras	1.75
- Extrusoras, laminadoras, trefiladoras	2.00

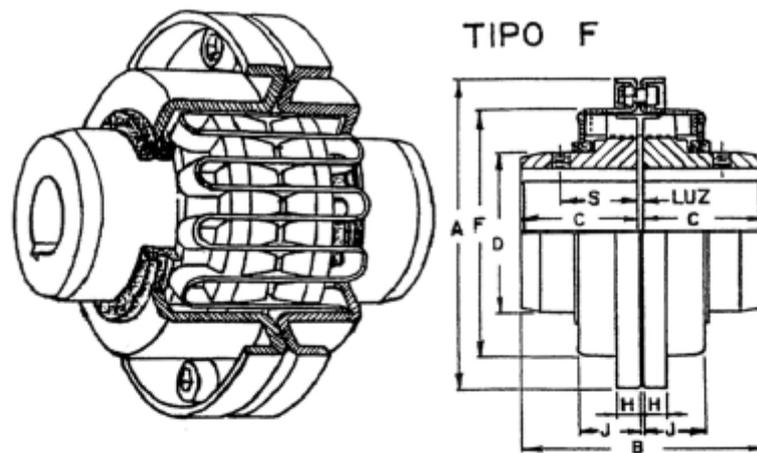
ANEXO 30: Tabla de factor de servicio para acoplamientos tipo Falk (Fuente: Diseño de elementos de máquinas. Juan Horri Asano. 2014).

APLICACIÓN	FACTOR
MAQUINAS ROTATIVAS:	
- Mezcladoras de concreto	1.75
- Molino de martillo	1.75
- Molino de tambor	1.75
- Secadores	1.75
SOPLADORES:	
- Centrífugos	1.00
- De lóbulos	1.25
TRANSPORTADORES:	
- De paletas, de fajas, de cadenas, de rastras, de tornillos	1.00
- De capachos	1.25
- De rodillos, reciprocantes	3.00
TRITURADORES:	
- De piedra o de minerales	2.50
- De caña de azúcar	2.00
VENTILADORES:	
- Centrífugos	0.75
- Para recirculación de gases	1.50
- Para torres de enfriamiento	2.00
- Para tiro inducido	2.00
WINCHES, PUENTES GRUAS, PLUMAS, TECLES	1.75
ZARANDAS:	
- Rotatorias	1.50
- Vibratorias	2.50

NOTAS:

- Los factores de servicio listados son para servicio normal de operación.
- Para transmisiones que utilicen reductores de velocidad por engranajes concretados con acoplamientos flexibles en los ejes de entrada y de salida del reductor, es posible reducir el factor de servicio para el acoplamiento del eje de entrada con respecto a la salida, solamente para los valores siguientes:
 - De 1,00 a 1,50 usar 1,00
 - Para 1,75 usar 1,25
- Para transmisiones accionadas con motores reciprocantes, y el factor de servicio listado en la tabla, agregar lo siguiente:
 - Para 4 ó 5 cilindros, agregar, 1,00
 - Para 6 ó más cilindros, agregar, 0,50
- Los factores de servicio para máquina motriz reciprocantes, son para aplicaciones en que la fluctuación del torque, no varíe de más o menos 20%. Si el torque varía más del valor indicado o donde se tenga valores cercanos a la vibración torsional crítica,

ANEXO 31: Tabla de Tamaños de acoplamiento tipo F (Fuente: Diseño de elementos de máquinas. Juan Hori Asano. 2014).



ACOPLAMIENTOS "STEELFLEX, FALK"

TAMAÑO	CAPACIDAD BÁSICA (1)	RPM MAX.	AGUJERO		PESO, KG	
			MAX. (2)	MIN. mm	ACOPL (3)	LUBRICANTE
3F	0,27	6 000	25,4	9,5	1,8	0,03
4F	0,6	6 000	31,7	11,1	2,7	0,04
5F	1,0	6 000	36,5	11,1	3,6	0,06
6F	1,4	6 000	41,3	11,1	4,5	0,08
7F	2,6	6 000	50,8	11,1	6,8	0,08
8F	5,4	5 000	60,3	12,7	13,6	0,14
9F	8,0	4 500	66,7	31,7	15,9	0,17
10F	10,5	3 750	73,0	38,1	22,7	0,17
11F	15,0	3 600	82,5	38,1	27,3	0,23
12F	23,0	3 600	98,4	50,8	34,1	0,28
13F	32,0	2 700	108,0	50,8	45,5	0,34
14F	47,0	2 500	117,5	63,5	65,9	0,68
15F	67,0	2 400	127,0	63,5	79,5	0,68
16F	93,0	2 300	139,7	63,5	97,7	0,91
17F	120	2 200	152,4	76,2	129,5	1,25
18F	150	2 100	177,8*	76,2	165,9	1,48
190F	220	2 000	203,2*	101,6	295,5	3,64

* CON CHAVETA PLANA

(1) CAPACIDAD BÁSICA= HP TRANSMITIDO x FACTOR DE SERVICIO x K

(2) CON PRISIONERO SOBRE LA CHAVETA

(3) PESO EN BRUTO

ANEXO 31: Tabla de Tamaños de acoplamiento tipo F (Fuente: Diseño de elementos de máquinas. Juan Hori Asano. 2014).

ACOPLAMIENTO "STEEFLEX", FALK, TIPO "F"

TAMAÑO	DIMENSIONES EN mm								
	A	B	C	D	F	H	J	S	LUZ
3F	94,5	85,7	41,3	39,7	65,9	10,3	22,2	28,6	3,17
4F	102,8	111,1	54,0	46,0	73,8	10,3	28,6	34,9	3,17
5F	113,5	111,1	54,0	54,0	84,9	10,3	28,6	34,9	3,17
6F	126,2	111,1	54,0	65,9	97,6	11,1	28,6	34,9	3,17
7F	142,1	111,1	54,0	74,6	113,5	11,1	28,6	34,9	3,17
8F	186,5	155,6	76,2	92,1	133,3	15,9	38,5	46,0	3,17
9F	199,2	168,3	82,5	96,8	146,0	15,9	38,5	46,0	3,17
10F	209,5	195,3	95,2	114,3	161,9	14,3	48,0	57,1	4,76
11F	226,2	195,3	95,2	125,4	178,6	15,1	48,4		4,76
12F	246,1	201,6	98,4	136,5	198,4	16,7	50,0		4,76
13F	277,8	201,6	98,4	155,6	230,2	16,7	49,2		4,76
14F	301,6	254,0	123,8	171,4	249,2	19,8	61,9		6,35
15F	349,2	260,3	127,0	184,1	256,4	26,2	62,7		6,35
16F	387,3	260,3	127,0	209,5	294,5	26,2	62,7		6,35
17F	425,4	266,7	130,2	236,5	332,6	26,2	62,7		6,35
18F	476,2	285,7	139,7	271,5	370,7	31,0	62,7		6,35
190F	545,7	387,3	190,5	304,8	412,7	34,9	92,1		6,35

ANEXO 32: Tabla de Tamaños de acoplamiento tipo Falk (Fuente: Diseño de elementos de máquinas. Juan Hori Asano. 2014)

TAMAÑO	HP A 100 RPM	CAPACIDAD DE TORQUE (Kgf-m)	RPM MAXIMO		AGUJERO (mm)		PESO BRUTO (Kgf)		LUBRICANTE (gf)
			T10	T20	MIN	MAX	T10	T20	
			1020T	0,67	4,87	4500	6000	12,7	
1030T	1,90	13,85	4500	6000	12,7	34,9	2,59	2,59	0,03
1040T	3,17	23,09	4500	6000	12,7	41,3	3,36	3,36	0,06
1050T	5,56	40,41	4500	6000	12,7	47,6	5,45	5,45	0,06
1060T	8,73	63,50	4350	6000	19,0	54,0	7,27	7,27	0,09
1070T	12,7	92,36	4125	5500	19,0	63,5	10,5	10,5	0,11
1080T	26,2	190,5	3600	4750	27,0	76,2	17,7	17,7	0,17
1090T	47,6	346,4	3600	4000	27,0	88,9	25,5	25,5	0,26
1100T	80,0	583,0	2440	3250	41,3	101,6	42,3	42,3	0,43
1110T	119	865,9	2550	3000	41,3	114,3	54,5	54,5	0,51
1120T	175	1270	2025	2700	60,3	127,0	81,4	81,8	0,74
1130T	254	1847	1800	2400	66,7	152,4	120,9	122,7	0,91
1140T	365	2655	1650	2200	66,7	177,8	178,2	180,5	1,14
1150T	508	3694	1500	2000	108,0	190,5	234,5	230,5	1,96
1160T	714	5195	1350	1750	120,7	215,9	317,3	321,8	2,82
1170T	952	6927	1225	1600	133,4	247,6	448,6	449,1	3,50
1180T	1320	9606	1100		152,4	273,0	620,5		3,77
1190T	1750	12700	1050		152,4	298,4	777,3		4,41
1200	2385	17318	900		177,8	323,8	1060		5,64
1210T	3175	23091	820		177,8	349,2	1427		10,6
1220T	4290	31173	730		203,2	374,6	1788		16,1
1230T	5555	40409	680		203,2	400,0	2271		24,1
1240T	7140	51955	630		254,0	425,4	2956		33,9
1250T	9520	69273	580		254,0	457,2	3841		50,2
1260T	11900	86591	540		254,0	495,3	4692		67,3

ACOPLAMIENTOS "STEEFLEX", FALK TIPOS T10 Y T20

ANEXO 32: Tabla de Tamaños de acoplamiento tipo Falk (Fuente: Diseño de elementos de máquinas. Juan Horí Asano. 2014)

DIMENSIONES GENERALES DE LOS ACOPLAMIENTOS "STEEFLEX", FALK, TIPO T10

TAMA- NO	DIMENSIONES EN MM							
	A	B	C	D	F	J	S	JUEGO
1020T	101,6	98,4	47,6	39,7		66,6	34,5	3,17
1030T	111,1	98,4	47,6	49,2		68,3	39,1	3,17
1040T	117,5	104,8	50,8	57,2		69,8	40,1	3,17
1050T	138,1	123,8	60,3	66,7		79,2	44,7	3,17
1060T	150,8	130,2	63,5	76,2		91,9	52,3	3,17
1070T	161,9	155,6	76,2	87,3		95,2	53,8	3,17
1080T	193,7	180,5	88,9	104,8		115,8	64,5	3,17
1090T	212,7	200,0	98,4	123,8		122,2	71,6	3,17
1100T	250,8	246,1	120,6	141,0		155,4		4,76
1110T	269,9	258,8	127,0	160,3		161,5		4,76
1120T	308,0	304,8	149,2	179,3		191,5		6,35
1130T	346,1	330,2	161,9	217,4		195,1		6,35
1140T	384,2	374,6	184,1	254,0		201,2		6,35
1150T	453,1	372,1	182,9	269,2	390,5	271,3		6,35
1160T	501,4	402,6	198,1	304,8	436,4	278,9		6,35
1170T	566,4	438,1	215,9	355,6	487,2	304,3		6,35
1180T	629,9	483,9	238,8	393,7	554,7	321,1		6,35
1190T	675,6	524,5	259,1	436,9	607,8	325,1		6,35
1200	756,9	565,1	279,4	497,8	660,4	355,6		6,35
1210T	844,5	622,3	304,8	533,4	750,8	431,8		12,7
1220T	920,7	662,9	325,1	571,5	822,2	490,2		12,7
1230T	1003,3	703,6	345,4	609,6	904,7	546,1		12,7
1240T	1087,1	749,3	368,3	647,7		647,7		12,7
1250T	1181,1	815,3	401,3	711,2		698,5		12,7
1260T	1260,9	876,3	431,8	762,0		762,0		12,7

ANEXO 33: Tabla de Tamaños de acoplamiento tipo Falk (Fuente: Diseño de elementos de máquinas. Juan Hori Asano. 2014)

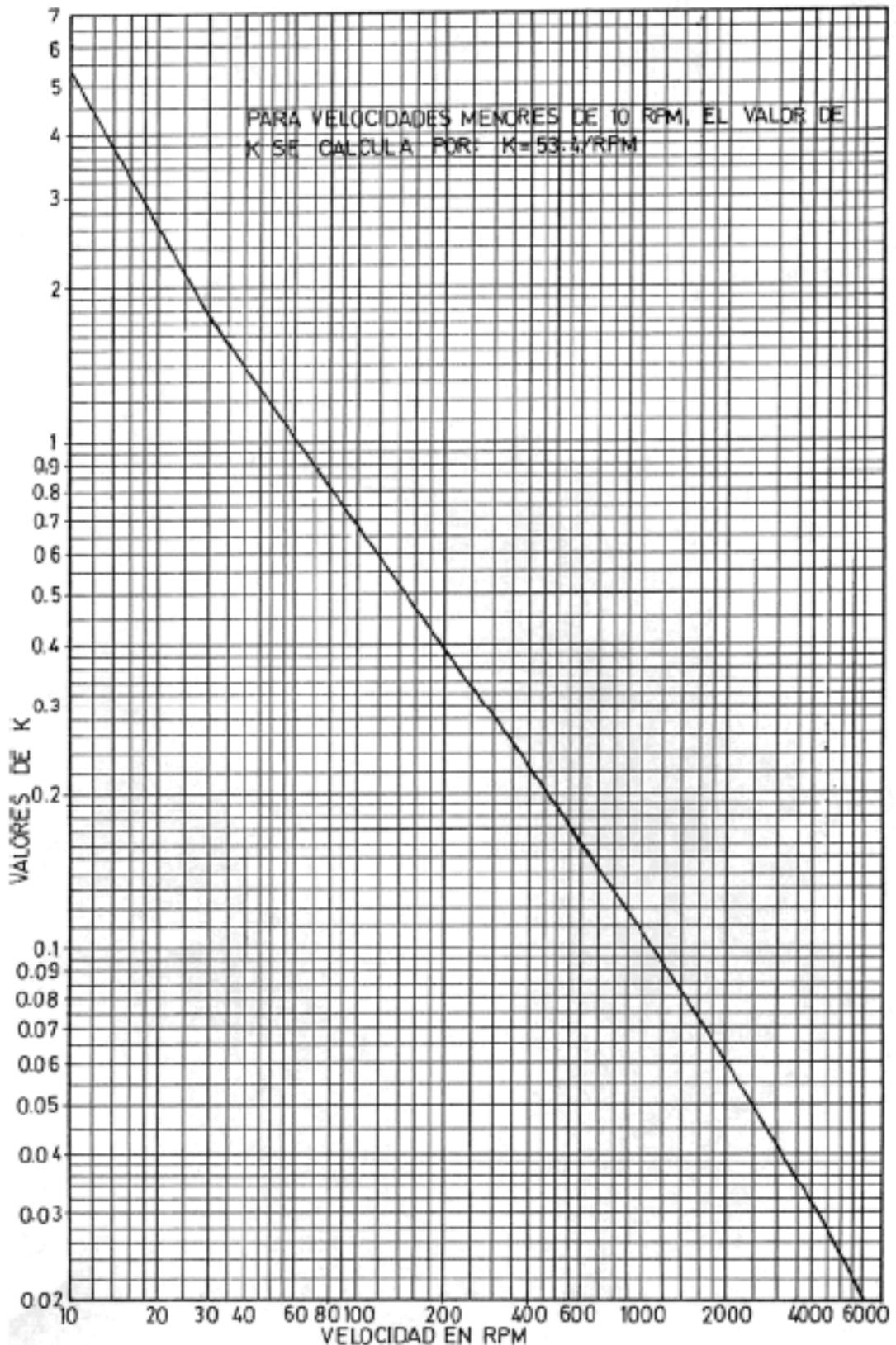


FIG.5: VALORES DE "K" PARA ACOPLAMIENTOS "STEELFEX" DE FALK, TIPO "F"

ANEXO 34: Tabla de especificaciones de trabajo de toberas pulverizadoras Full Cono. (Fuente: Fabricante Spraying System Co.)

PERFORMANCE DATA: STANDARD ANGLE SPRAY																								
Inlet Conn. (in.)	Nozzle Type										Capacity Size	Orifice Dia. Nom. (mm)	Max. Free Passage Dia. (mm)	Flow Rate Capacity (liters per minute)						Spray Angle (°)				
	Standard			Wall-Mount			Angle							0.4 bar	0.5 bar	0.7 bar	1.5 bar	3 bar	6 bar	7 bar	10 bar	0.5 bar	1.5 bar	6 bar
	G	GG	H	HH	HF	GD	HD	GCD	GA	GGA														
1/8	•	•		•		•					1	.79	.64	–	–	.38	.54	.74	1.0	1.1	1.3	–	58	53
	•	•		•							1.5	1.2	.64	.44	.49	.57	.80	1.1	1.5	1.6	1.9	52	65	59
	•	•		•		•		•	•	•	2	1.2	1.0	.59	.65	.76	1.1	1.5	2.2	2.2	2.6	43	50	46
	•	•		•		•		•	•	•	3	1.5	1.0	.88	.98	1.1	1.6	2.2	3.1	3.3	3.9	52	65	59
	•	•		•		•		•	•	•	3.5	1.6	1.3	1.0	1.1	1.3	1.9	2.6	3.6	3.8	4.5	43	50	46
									•	•	3.9	2.0	1.0	1.1	1.3	1.5	2.1	2.9	4.0	4.3	5.1	77	84	79
	•	•		•		•		•	•	•	5	2.0	1.3	1.5	1.6	1.9	2.7	3.7	5.1	5.5	6.5	52	65	59
1/4								•	•	6.1	2.3	1.3	1.8	2.0	2.3	3.3	4.5	6.2	6.7	7.9	69	74	68	
	•	•		•		•		•	•	•	6.5	2.4	1.6	1.9	2.1	2.5	3.5	4.8	6.7	7.1	8.4	45	50	46
	•	•		•		•		•	•	•	10	3.2	1.6	3.0	3.3	3.8	5.4	7.5	10.3	11.0	13.0	58	67	61
3/8				•				•	•	12.5	3.2	1.6	3.7	4.1	4.8	6.8	9.3	12.8	13.7	16.2	69	74	68	
	•	•		•		•		•	•	•	9.5	2.6	2.4	2.8	3.1	3.6	5.1	7.1	9.7	10.4	12.3	45	50	46
	•	•		•		•		•	•	•	15	3.6	2.4	4.4	4.9	5.7	8.1	11.2	15.4	16.5	19.4	64	67	61
									•	•	20	4.0	2.8	6.0	6.6	7.6	10.7	14.5	19.6	22	26	76	80	73
1/2	•	•		•		•		•	•	•	22	4.5	2.8	6.5	7.2	8.4	11.9	16.4	23	24	28	87	90	82
	•	•				•		•	•	•	16	3.5	3.2	4.7	5.2	6.1	8.7	11.9	16.4	17.6	21	48	50	46
	•	•		•		•		•	•	•	25	4.6	3.2	7.4	8.2	9.5	13.5	18.6	26	27	32	64	67	61
	•	•							•	•	32	5.2	3.6	9.4	10.4	12.2	17.3	24	33	35	41	72	75	68
									•	•	50	6.7	4.0	14.7	16.3	19.1	27	37	51	55	65	91	94	86
3/4			•	•			•				2.5	4.9	4.4	8.7	9.6	11.2	15.9	22	30	32	38	48	50	46
			•	•			•				4.0	6.4	4.4	13.9	15.4	18.0	26	35	48	52	61	67	70	63
			•	•			•				7.0	9.5	5.2	24	27	31	45	61	84	91	107	89	92	84
1			•	•			•				4.2	6.0	5.6	14.6	16.2	18.9	27	37	51	54	64	48	50	46
			•	•			•				7.0	8.3	5.6	24	27	31	45	61	84	91	107	67	68	62
			•	•							8.0	9.5	5.6	28	31	36	51	70	97	104	122	72	81	82
			•	•							10	11.9	5.6	35	38	45	64	88	121	130	153	78	90	94
			•	•							12	11.9	6.4	42	46	54	77	105	145	155	183	89	92	84

ANEXO 35: Cobertura Teórica del Spray a varias distancias. (Fuente: Fabricante Spraying System Co.)

THEORETICAL SPRAY COVERAGE AT VARIOUS DISTANCES IN INCHES (CM) FROM NOZZLE ORIFICE

Spray Angle	2 in.	5 cm	4 in.	10 cm	6 in.	15 cm	8 in.	20 cm	10 in.	25 cm	12 in.	30 cm	15 in.	40 cm	18 in.	50 cm	24 in.	60 cm	30 in.	70 cm	36 in.	80 cm	48 in.	100 cm
5°	.2	.4	.4	.9	.5	1.3	.7	1.8	.9	2.2	1.1	2.6	1.3	3.5	1.6	4.4	2.1	5.2	2.6	6.1	3.1	7.0	4.2	8.7
10°	.4	.9	.7	1.8	1.1	2.6	1.4	3.5	1.8	4.4	2.1	5.3	2.6	7.0	3.1	8.8	4.2	10.5	5.2	12.3	6.3	14.0	8.4	17.5
15°	.5	1.3	1.1	2.6	1.6	4.0	2.1	5.3	2.6	6.6	3.2	7.9	3.9	10.5	4.7	13.2	6.3	15.8	7.9	18.4	9.5	21.1	12.6	26.3
20°	.7	1.8	1.4	3.5	2.1	5.3	2.8	7.1	3.5	8.8	4.2	10.6	5.3	14.1	6.4	17.6	8.5	21.2	10.6	24.7	12.7	28.2	16.9	35.3
25°	.9	2.2	1.8	4.4	2.7	6.7	3.5	8.9	4.4	11.1	5.3	13.3	6.6	17.7	8.0	22.2	10.6	26.6	13.3	31.0	15.9	35.5	21.2	44.3
30°	1.1	2.7	2.1	5.4	3.2	8.0	4.3	10.7	5.4	13.4	6.4	16.1	8.1	21.4	9.7	26.8	12.8	32.2	16.1	37.5	19.3	42.9	25.7	53.6
35°	1.3	3.2	2.5	6.3	3.8	9.5	5.0	12.6	6.3	15.8	7.6	18.9	9.5	25.2	11.3	31.5	15.5	37.8	18.9	44.1	22.7	50.5	30.3	63.1
40°	1.5	3.6	2.9	7.3	4.4	10.9	5.8	14.6	7.3	18.2	8.7	21.8	10.9	29.1	13.1	36.4	17.5	43.7	21.8	51.0	26.2	58.2	34.9	72.8
45°	1.7	4.1	3.3	8.3	5.0	12.4	6.6	16.6	8.3	20.7	9.9	24.9	12.4	33.1	14.9	41.4	19.9	49.7	24.8	58.0	29.8	66.3	39.7	82.8
50°	1.9	4.7	3.7	9.3	5.6	14.0	7.5	18.7	9.3	23.3	11.2	28.0	14.0	37.3	16.8	46.6	22.4	56.0	28.0	65.3	33.6	74.6	44.8	93.3
55°	2.1	5.2	4.2	10.4	6.3	15.6	8.3	20.8	10.3	26.0	12.5	31.2	15.6	41.7	18.7	52.1	25.0	62.5	31.2	72.9	37.5	83.3	50.0	104
60°	2.3	5.8	4.6	11.6	6.9	17.3	9.2	23.1	11.5	28.9	13.8	34.6	17.3	46.2	20.6	57.7	27.7	69.3	34.6	80.8	41.6	92.4	55.4	115
65°	2.5	6.4	5.1	12.7	7.6	19.1	10.2	25.5	12.7	31.9	15.3	38.2	19.2	51.0	22.9	63.7	30.5	76.5	38.2	89.2	45.8	102	61.2	127
70°	2.8	7.0	5.6	14.0	8.4	21.0	11.2	28.0	14.0	35.0	16.8	42.0	21.0	56.0	25.2	70.0	33.6	84.0	42.0	98.0	50.4	112	67.2	140
75°	3.1	7.7	6.1	15.4	9.2	23.0	12.3	30.7	15.3	38.4	18.4	46.0	23.0	61.4	27.6	76.7	36.8	92.1	46.0	107	55.2	123	73.6	153
80°	3.4	8.4	6.7	16.8	10.1	25.2	13.4	33.6	16.8	42.0	20.2	50.4	25.2	67.1	30.3	83.9	40.3	101	50.4	118	60.4	134	80.6	168
85°	3.7	9.2	7.3	18.3	11.0	27.5	14.7	36.7	18.3	45.8	22.0	55.0	27.5	73.3	33.0	91.6	44.0	110	55.0	128	66.0	147	88.0	183
90°	4.0	10.0	8.0	20.0	12.0	30.0	16.0	40.0	20.0	50.0	24.0	60.0	30.0	80.0	36.0	100	48.0	120	60.0	140	72.0	160	96.0	200
95°	4.4	10.9	8.7	21.8	13.1	32.7	17.5	43.7	21.8	54.6	26.2	65.5	32.8	87.3	39.3	109	52.4	131	65.5	153	78.6	175	105	218
100°	4.8	11.9	9.5	23.8	14.3	35.8	19.1	47.7	23.8	59.6	28.6	71.5	35.8	95.3	43.0	119	57.2	143	71.6	167	85.9	191	114	238
110°	5.7	14.3	11.4	28.6	17.1	42.9	22.8	57.1	28.5	71.4	34.3	85.7	42.8	114	51.4	143	68.5	171	85.6	200	103	229	-	286
120°	6.9	17.3	13.9	34.6	20.8	52.0	27.7	69.3	34.6	86.6	41.6	104	52.0	139	62.4	173	83.2	208	104	243	-	-	-	-
130°	8.6	21.5	17.2	42.9	25.7	64.3	34.3	85.8	42.9	107	51.5	129	64.4	172	77.3	215	103	257	-	-	-	-	-	-
140°	10.9	27.5	21.9	55.0	32.9	82.4	43.8	110	54.8	137	65.7	165	82.2	220	98.6	275	-	-	-	-	-	-	-	-
150°	14.9	37.3	29.8	74.6	44.7	112	59.6	149	74.5	187	89.5	224	112	299	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
160°	22.7	56.7	45.4	113	68.0	170	90.6	227	113	284	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
170°	45.8	114	91.6	229	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Visit spray.com/sprayware for online flow rate and spray coverage calculators.

ANEXO 35: Cobertura Teórica del Spray a varias distancias. (Fuente: Fabricante Spraying System Co.)

TABLA A-2

Calores específicos de gas ideal de varios gases comunes

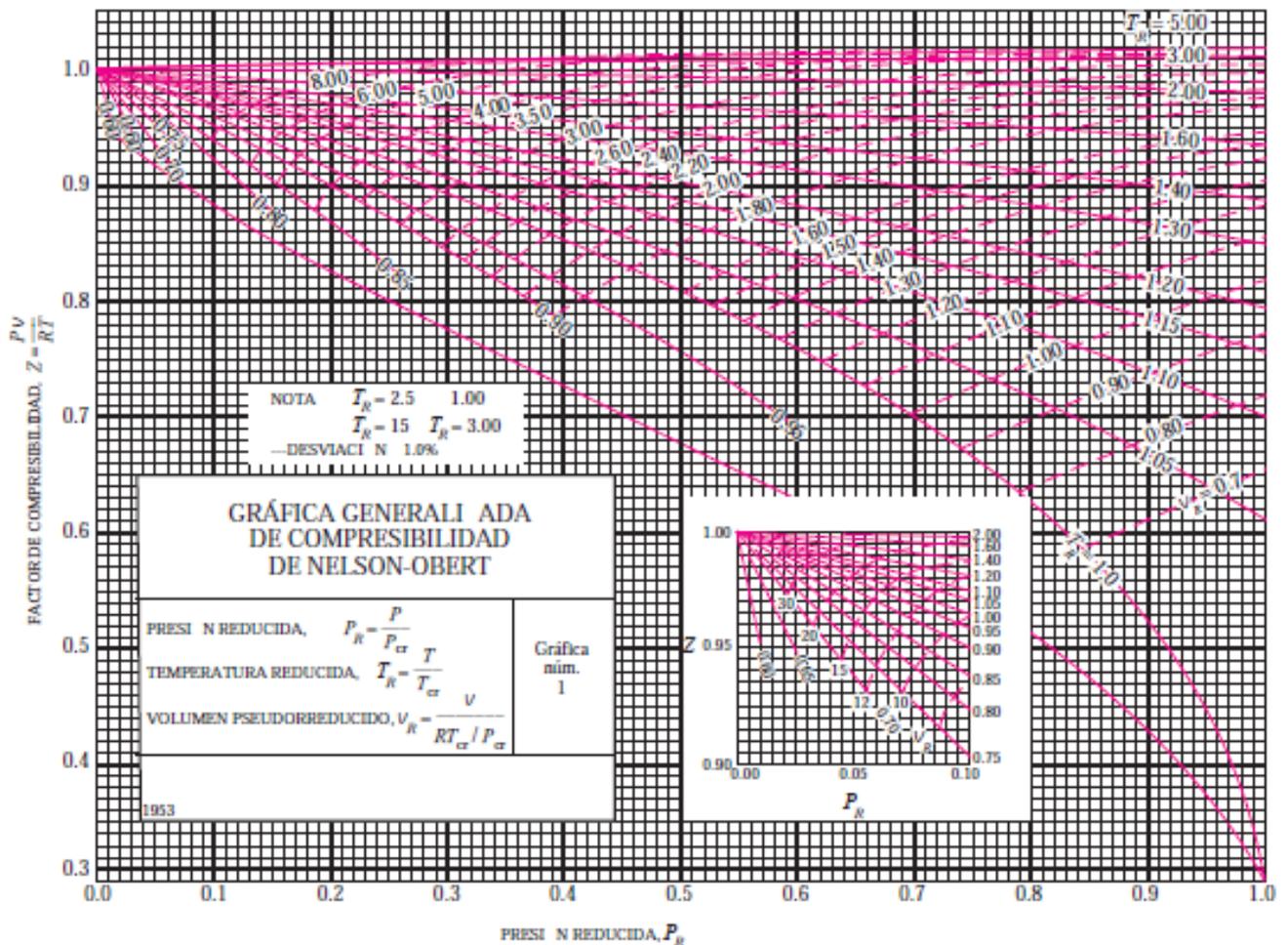
a) A 300 K

Gas	Fórmula	Constante de gas, R kJ/kg · K	c_p kJ/kg · K	c_v kJ/kg · K	k
Aire	—	0.2870	1.005	0.718	1.400
Argón	Ar	0.2081	0.5203	0.3122	1.667
Butano	C_4H_{10}	0.1433	1.7164	1.5734	1.091
Dióxido de carbono	CO_2	0.1889	0.846	0.657	1.289
Etano	C_2H_6	0.2765	1.7662	1.4897	1.186
Etileno	C_2H_4	0.2964	1.5482	1.2518	1.237
Helio	He	2.0769	5.1926	3.1156	1.667
Hidrógeno	H_2	4.1240	14.307	10.183	1.405
Metano	CH_4	0.5182	2.2537	1.7354	1.299
Monóxido de carbono	CO	0.2968	1.040	0.744	1.400
Neón	Ne	0.4119	1.0299	0.6179	1.667
Nitrógeno	N_2	0.2968	1.039	0.743	1.400
Octano	C_8H_{18}	0.0729	1.7113	1.6385	1.044
Oxígeno	O_2	0.2598	0.918	0.658	1.395
Propano	C_3H_8	0.1885	1.6794	1.4909	1.126
Vapor	H_2O	0.4615	1.8723	1.4108	1.327

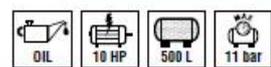
Nota: La unidad kJ/kg · K es equivalente a kJ/kg · °C.

Fuente: Chemical and Process Thermodynamics 3a. ed., por Kyle, B.G., © 2000. Adaptado con permiso de Pearson Education, Inc., Upper Saddle River, Nueva Jersey.

a) Presiones bajas, 0 P_R 1.0



ANEXO 36: Datos técnicos de compresor de pistón. (Fuente: Fabricante Suministros industriales del tajo S.A.)



NB10/10FT/500 SD

Compresores de pistón fijo

PIES ANTIVIBRATORIOS INCLUIDOS EN MODELOS DE 500 LTS

CUADRO ESTRELLA TRIANGULO INCLUIDO EN MODELOS DE 10HP.



Nuevo grupo cabezal NB, doble etapa con cilindro de hierro fundido. Amplio colector entre etapas en aluminio aleteado para mayor refrigeración.



Robusto protector de correa, diseñado para incrementar la ventilación sobre el grupo cabezal.

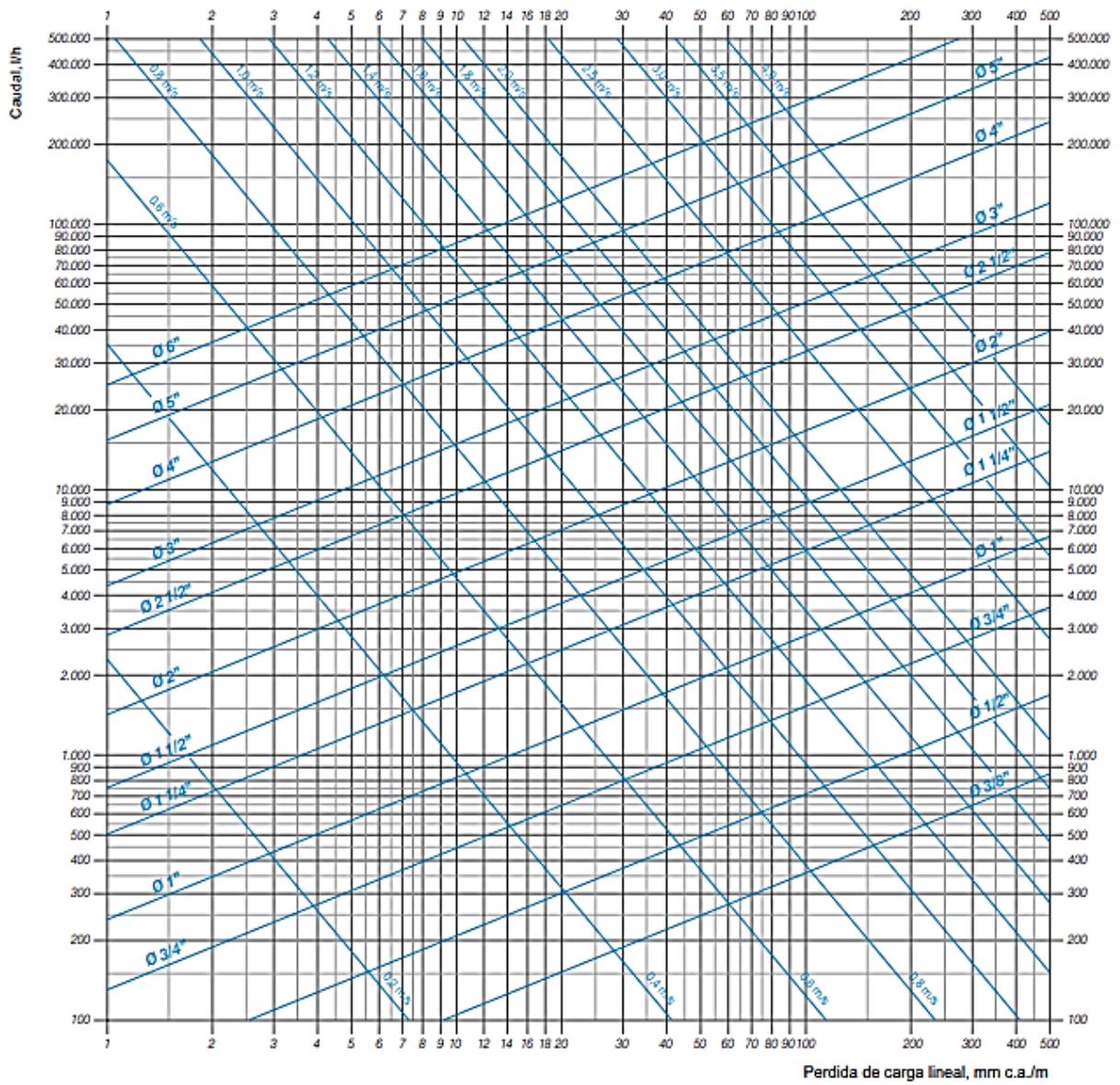


Prestaciones										
Nombre	Código	Potencia hp/kw	Caldera litros	Aire aspirado lts/min.	Volt/hz.	Lubricado	Cilindros	Presión max. bar	Dimensiones l"xh"x2	Peso kg.
GAMA 11 BAR										
NB5/5,5 FT/270 Nuair	N5NN701LEV076	5,5/4	270	640	400/TRIF/50	SI	2	11	1550x590x1100	175
NB7/7,5 FT/500 Nuair	N7TN801NUA	7,5/5,5	500	840	400/TRIF/50	SI	2	11	2080x700x1450	276
NB10/10 FT/500 Nuair SD	N1TN905NUA	10/7,5	500	1230	400/TRIF/50	SI	2	11	2080x700x1450	286
GAMA 15 BAR										
NB5/5,5 FT/270 AP	N5NN701NUA105	5,5/4	270	500	400/TRIF/50	SI	2	15	1550x590x1100	181
NB7/7,5 FT/500 AP	N7TN801NUA103	7,5/5,5	500	705	400/TRIF/50	SI	2	15	2080x700x1450	282
NB10/10 FT/500 AP SD	N1TN905NUA104	10/7,5	500	1100	400/TRIF/50	SI	2	15	2080x700x1450	302

* SD: Con cuadro estrella - triángulo.

ANEXO 37: Diagrama de pérdidas de carga en tuberías de acero

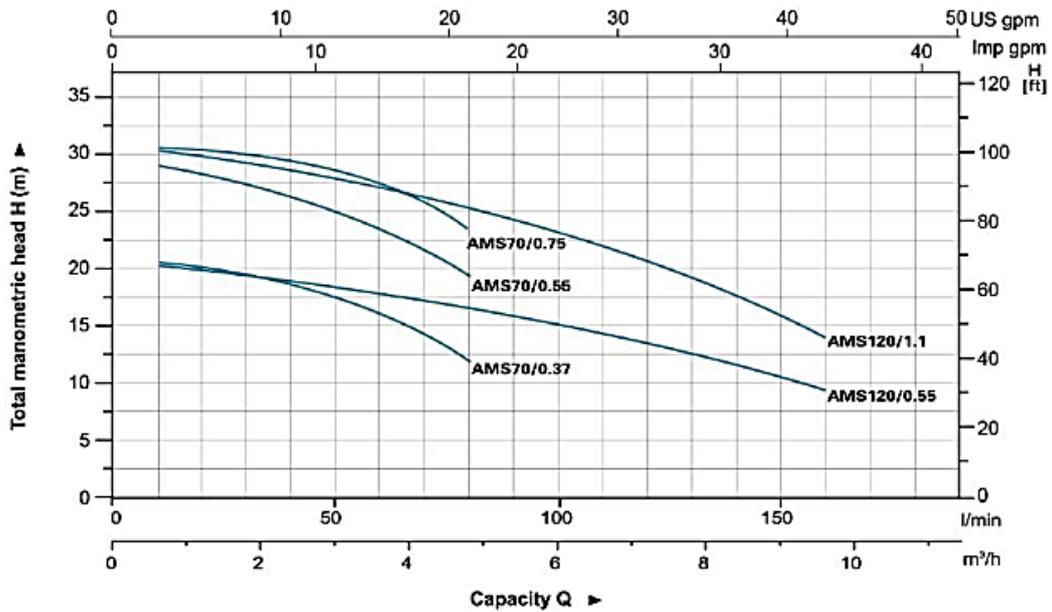
Perdida de carga continua TUBO DE ACERO (pulgadas) - Temperatura del agua = 10°C



ANEXO 38: Diagrama para selección de bombas sanitarias. (Fuente: Fabricante Leo Pumps)



Hydraulic Performance Curves



Technical Data

MODEL		POWER		Q (m³/h)	0	1.8	2.4	3.6	4.8	6	7.2	8.4	9.6	10.8
Single Phase	Three Phase	kW	HP	Q (l/min)	0	30	40	60	80	100	120	140	160	180
AMSm70/0.37	AMS70/0.37	0.37	0.5	H (m)	20.9	19.0	18.1	15.7	12.1	-	-	-	-	-
AMSm70/0.55	AMS70/0.55	0.55	0.75		29.5	27.3	26.3	23.4	19.1	-	-	-	-	-
AMSm70/0.75	AMS70/0.75	0.75	1.0		30.4	28.5	27.8	26.0	23.0	-	-	-	-	-
AMSm120/0.55	AMS120/0.55	0.55	0.75		20.2	-	-	17.9	16.6	15.1	13.3	11.2	8.7	-
AMSm120/1.1	AMS120/1.1	1.1	1.5		30.2	-	-	26.7	25.1	23.3	21.2	19.0	16.4	-

ANEXO 39: Tabla de características de variadores Altivar ATV212. (Fuente: Fabricante Schneider)

ATV212H●●●●●● - Tensión de alimentación trifásica: 380 ... 480 V 50/60 Hz
Variadores con un filtro CEM integrado, categoría C2, C3

Motor		Alimentación de red (entrada)					Variador (salida)		Referencia (5)
Potencia indicada en la placa (1)		Corriente de línea máx. (2)		Potencia aparente a 380 V	Lsc de línea máxima previsible (3)	Potencia disipada a corriente nominal	Corriente nominal (1)	Corriente transitoria máx. (1) (4)	
		a 380 V	a 480 V	kVA	kA	W	A	A	
0,75	1	1,7	1,4	1,1	5	55	2,2	2,4	ATV212H075N4
1,5	2	3,2	2,5	2,1	5	78	3,7	4,0	ATV212HU15N4
2,2	3	4,6	3,6	3,0	5	103	5,1	5,6	ATV212HU22N4
3	—	6,2	4,9	4,1	5	137	7,2	7,9	ATV212HU30N4
4	5	8,1	6,4	5,3	5	176	9,1	10,0	ATV212HU40N4
5,5	7,5	10,9	8,6	7,2	22	215	12,0	13,2	ATV212HU55N4
7,5	10	14,7	11,7	9,7	22	291	16,0	17,6	ATV212HU75N4
11	15	21,1	16,8	13,9	22	430	22,5	24,8	ATV212HD11N4
15	20	28,5	22,8	18,7	22	625	30,5	33,6	ATV212HD15N4
18,5	25	34,8	27,8	22,9	22	603	37,0	40,7	ATV212HD18N4
22	30	41,1	32,8	27	22	723	43,5	47,9	ATV212HD22N4S
22	30	41,6	33,1	27,3	22	626	43,5	47,9	ATV212HD22N4
30	40	56,7	44,7	37,3	22	847	58,5	64,4	ATV212HD30N4
37	50	68,9	54,4	45,3	22	976	79	86,9	ATV212HD37N4
45	60	83,8	65,9	55,2	22	1253	94	103,4	ATV212HD45N4
55	75	102,7	89	67,6	22	1455	116	127,6	ATV212HD55N4
75	100	141,8	111,3	93,3	22	1945	160	176	ATV212HD75N4

(1) Estos valores son para una frecuencia de conmutación nominal de 12 kHz hasta ATV212HD15M3X y hasta ATV212HD15N4 u 8 kHz para variadores ATV212HD18M3X...HD30M3X y ATV212HD18N4...HD75N4, 6 kHz para ATV212HD22N4S, para utilizar en funcionamiento ininterrumpido a una temperatura ambiente de 40 °C (104 °F). La frecuencia de conmutación se puede establecer entre 6 y 16 kHz para todos los calibres. Por encima de 8 kHz o 12 kHz, dependiendo del calibre, el variador reducirá automáticamente la frecuencia de conmutación en caso de un aumento excesivo de la temperatura. Para un funcionamiento ininterrumpido por encima de la frecuencia de conmutación nominal, disminuya la corriente nominal del variador. Consulte la página 27 para obtener información sobre las curvas de desclasificación como una función de la frecuencia de conmutación, temperatura ambiente y condiciones de montaje.

(2) Corriente en una alimentación de red con la "Corriente de entrada asignada", consulte la guía de inicio rápido.

Descripción de la referencia

Variadores de velocidad IP21 e IP55 - Tensión de alimentación trifásica de 50/60 Hz: 200 ... 240 V y 380 ... 480 V

	ATV	212	H	D30	N4	S
Denominación del producto ATV - Altivar						
Gama de producto						
Grado de protección H - producto IP21 W - producto IP55						
Calibre del variador 075 - 0,75 kW (1 HP) U15 - 1,5 kW (2 HP) U22 - 2,2 kW (3 HP) U30 - 3 kW U40 - 4 kW (5 HP) U55 - 5,5 kW (7 ^{1/2} HP) U75 - 7,5 kW (10 HP) D11 - 11 kW (15 HP) D15 - 15 kW (20 HP) D18 - 18,5 kW (25 HP) D22 - 22 kW (30 HP) D30 - 30 kW (40 HP) D37 - 37 kW (50 HP) D45 - 45 kW (60 HP) D55 - 55 kW (75 HP) D75 - 75 kW (100 HP)						
Tensión de alimentación M3X: trifásica rango 200 - 240 V N4: trifásica rango 380 - 480 V (con filtro CEM integrado C2, C3) N4C: trifásica rango 380 - 480 V (con filtro CEM integrado C1 para productos UL tipo 12/IP55 ATV212W●●●●●●)						
Modelo Slim Disponible para 22 kW (30 HP), versión IP21						

ANEXO 40: Características de Relé inteligente Zelio Logic. (Fuente: Fabricante Schneider)

Hoja de características del producto Características

SR3B101BD

relé inteligente modular Zelio Logic - 10 E S - 24 V CC – relógio - visor



Principal

Gama de producto	Zelio Logic
Tipo de producto o componente	Reles inteligente modular

Complementario

Visualización local	Donde
Número de líneas de esquema de control	0...500 con capacidad de sujeción: FBD programac 0...240 con capacidad de sujeción: Ladder programac
Tiempo de ciclo	6...90 ms
Tiempo de backup	10 años en 25 °C
Deriva del reloj	12 min/año en 0...55 °C 6 s/mes en 25 °C
Comprobaciones	Memoria de programa en cada inicialización
[Us] Tensión nominal de alimentación	24 V
Límites tensión alimentación	19,2...30 V
Corriente de alimentación	100 mA - tipo de cable: con extensiones) 100 mA - tipo de cable: sin extensión)

Zansse para determinar la adecuación o la fiabilidad de estos productos para aplicaciones específicas de los usuarios

ANEXO 40: Tasa de retorno anual de Financieras en el Perú (Fuente: <https://infomercado.pe/conoce-los-bancos-cajas-o-financieras-que-te-ofrecen-mas-intereses-por-depositar-tu-gratificacion/>)

Financieras

Entre las entidades financieras OH ofrece la mejor rentabilidad.

Entidades	Tasa anual (%)
Financiera OH S A	6.25
TFC	5.35
Proempresa	5
Crediscotia	5
Qapaq	4.5
Confianza	4

TAGS — 28 DE JULIO AHORRO DINERO FIESTAS PATRIAS FINANCIERAS FINANZAS GRATIFICACIÓN
INTERESES BANCARIOS STAFF PICK



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

Declaratoria de Originalidad del Autor

Yo, **TIMANA SILVA, VICTOR RICARDO**, egresado de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura y Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Universidad César Vallejo Chiclayo, declaro bajo juramento que todos los datos e información que acompañan al trabajo de Tesis titulado:

“DISEÑO DE EXTRACTORA DE EMULSIÓN DE ACEITE DE LIMÓN PARA EVALUAR INCREMENTO DE RECUPERACIÓN DE ACEITE COLD PRESSED EN AGROMAR INDUSTRIAL”

Es de mi autoría, por lo tanto, declaro que la Tesis:

1. No ha sido plagiado ni total, ni parcialmente.
2. He mencionado todas las fuentes empleadas; identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicado ni presentado anteriormente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

Chiclayo, 12 de Noviembre de 2020

Apellidos y Nombres del Autor TIMANA SILVA VICTOR RICARDO	
DNI: 02866046	Firma 
ORCID: 0000-0003-0333-6768	