UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL URUGUAY

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍAS CARRERA DE GRADO INGENIERÍA INDUSTRIAL



MALTERÍA COMPACTA AUTOMATIZADA

MEMORIA DE GRADO PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA LA OBTENCIÓN DEL GRADO DE INGENIERO INDUSTRIAL

Autores:

GUILLERMO M. CAPELLINO
JUAN D. OSTA

Tutor:

ING. LUCIANO FANTONI

MONTEVIDEO, FEBRERO DE 2022

Índice

Capítulo	1.	Introducción	10
1.1	Resu	ımen Ejecutivo	10
1.2	Obje	etivo general	10
1.3	Alca	nce	10
1.4	Justi	ficación del proyecto	11
Capítulo	2.	Estudio Preliminar	12
2.1	Anál	isis de mercado	12
2.1.2	1	Información general del mercado	12
2.1.2	2	Tendencias y el potencial mercado del equipo	12
2.1.3	3	Análisis FODA	13
2.1.4	4	Ofertas de productos	13
2.1.5	5	Sistemas de información	13
2.1.6	6	Mercados meta y cuantificación	14
2.2	Estu	dio del Caudal de Producción de Malta Especial	15
Capítulo	3.	Ingeniería conceptual	17
3.1	Proc	eso de malteado	17
3.1.3	1	Remojado	17
3.1.2	2	Germinación	18
3.1.3	3	Secado y Horneado	18
3.2	Mét	odos de malteado	19
3.2.2	1	Malteado en piso	19
3.2.2	2	Malteado en tambor	21
3.3	Justi	ficación del método seleccionado	22
3.4	Siste	emas y equipos requeridos	23
3.4.2	1	Sistema de movimiento	23
3.4.2	2	Sistema de ventilación	23
3.4.3	3	Sistema hidráulico	23
3.4.4	4	Equipo deshumificador	24
3.4.5	5	Equipo de refrigeración	24
3.4.6	6	Equipo generador de calor	24
3.4.7	7	Sistema de automatización	24
Capítulo 4	4.	Ingeniería básica	25
4.1	Inge	niería de proceso	25
4.1.2	1	Recibo de la cebada	25
4.1.2	2	Características del producto	25
4.1.3	3	Lavado y remojado	25

4.1.	4	Germinación	26
4.1.	.5	Secado	27
4.1.	6	Horneado	27
4.1.	7	Retiro de la malta	28
4.2	Inger	niería de automatización	28
4.3	Inger	niería mecánica	29
4.3.	1	Sistema de movimiento	29
4.3.	2	Sistema de ventilación	30
4.3.	.3	Sistema hidráulico	30
4.3.	4	Equipo deshumificador	30
4.3.	.5	Equipo de refrigeración	31
4.3.	.6	Equipo generador de calor	31
Capítulo	5.	Ingeniería de detalle	32
5.1	Inger	niería de proceso	32
5.1.	1	Carga del tambor	32
5.1.	2	Lavado y remojado	32
5.1.	.3	Germinación	34
5.1.	4	Secado	36
5.1.	.5	Horneado	37
5.1.	.6	Retiro de la malta	38
5.2	Inger	niería de automatización	39
5.2.	1	Cableado	39
5.2.	2	Descripción programa PLC	44
5.2.	.3	Programa	47
5.3	Inger	niería mecánica	47
5.3.	1	Dimensionamiento y optimizado del tambor	47
5.3.	2	Características de diseño del tambor	51
5.3.	.3	Rotación del tambor	54
5.3.	4	Transmisión de movimiento	57
5.3.	.5	Estructura de apoyo	60
5.3.	.6	Sistema hidráulico	62
5.3.	7	Sistema de ventilación	69
5.3.	8	Selección de equipo deshumidificador, de refrigeración y generador de calor.	70
Capítulo	6.	Memoria de cálculo	72
6.1	Tiem	po de desagote	72
6.2	Dime	ensionado del tambor	72
6.2.	1	Dimensiones por menor uso de material	72

	6.2.2	2	Deflectores y dimensión definitiva del tambor	73
6	.3	Esfu	erzos a tener en cuenta	74
	6.3.	1	Análisis del centro de masa del tambor	74
	6.3.2	2	Estimación de la masa del tambor en capacidad máxima	77
6	.4	Dim	ensionado del sistema hidráulico	77
	6.4.	1	Determinación del caudal	77
	6.4.2	2	Dimensionamiento de cañería	79
	6.4.3	3	Pérdidas de carga en la instalación	81
	6.4.4	4	Condiciones de bombeo	. 86
	6.4.	5	NPSH Disponible del Sistema Hidráulico	. 86
6	.5	Pérc	lidas de carga en el sistema de ventilación	. 87
6	.6	Anál	lisis energético	88
	6.6.	1	Germinación	89
	6.6.2	2	Secado	90
	6.6.3	3	Horneado	94
Сар	ítulo	7.	Bibliografía	97
Сар	ítulo	8.	Anexos	100
8	.1	Ane	xo: Lista de cervecerías artesanales nacionales	100
	8.1.	1	Lista obtenida del MIEM	100
	8.1.2	2	Lista obtenida de AMAU	101
8	.2	Ane	xo: Encuesta	103
	8.2.	1	Encuesta	103
8	.3	Ane	xo: Programa PLC	106
8	.4	Ane	xo: Informe sobre experimento Peso Hectolítrico	112
	8.4.	1	Objetivo	112
	8.4.2	2	Marco teórico	112
	8.4.3	3	Materiales	112
	8.4.4	4	Procedimiento	112
	8.4.	5	Resultados	112
	8.4.6	6	Conclusiones	113
	8.4.	7	Bibliografía	114
8	.5	Ane	xo: Informe sobre experimento de Mezclado	115
	8.5.	1	Objetivo	115
	8.5.2	2	Marco Teórico	115
	8.5.3	3	Materiales	115
	8.5.4	4	Procedimiento	116
	8.5.5	5	Resultado	117

8.5.	6 Discusiones	
8.5.	7 Conclusión	122
8.5.	8 Bibliografía	122
8.6	Anexo: Informe sobre experi	mento de Remojado123
8.6.	1 Objetivo	123
8.6.2	2 Marco Teórico	123
8.6.3	3 Materiales	123
8.6.	4 Procedimiento	123
8.6.	5 Resultados	124
8.6.	6 Análisis resultados	124
8.7	Anexo: Constructivo de coro	na y piñón125
8.7.	1 Guía	125
8.7.	2 Parámetros comunes	
8.7.	3 Engranajes	125
8.7.	4 Cargas	126
8.7.	5 Material	127
8.7.	6 Cálculo de resistencia	127
8.7.	7 Resumen de mensajes	128
8.8	Anexo: Informe análisis de te	nsiones en corona y piñón129
8.8.	1 Propiedades	129
8.8.	2 Material(es)	129
8.8.3	3 Condiciones de funcion	amiento130
8.8.4	4 Resultados	130
8.9	Anexo: Informe análisis de te	nsiones en la estructura de apoyo133
8.9.	1 Propiedades	
8.9.	2 Materiales	
8.9.	3 Condiciones de funcion	amiento134
8.9.	4 Resultados	
8.9.	5 Resumen de resultados	
8.9.	6 Figura: Coeficiente de s	eguridad136
8.10	Anexo: Informe análisis de te	nsiones en el eje de apoyo del rodamiento137
8.10	0.1 Propiedades físicas	137
8.10	0.2 Materiales	137
8.10	0.3 Condiciones de funcion	nmiento138
8.10	0.4 Resultados	138
8.11	Anexo: Informe Análisis de to	ensiones en cintas de apoyo y tambor141
8.11	1.1 Propiedades	

8.11.2	Material(es)	. 141
	· ·	
8.11.3	Condiciones de funcionamiento	. 142
8 11 4	Resultados	144
O. ± ±	resultados	

Índice de imágenes

Ilustración 1.Diagrama proceso de malteado (elaboración propia)	
Ilustración 2: Malteado en piso, tipo torre (Wilson, 2021)	
Ilustración 3: Malteado en caja (MOPOS, 2020)	21
Ilustración 4: Malteado en piso - Torre (Gigliarelli, 2008)	21
Ilustración 5: Diagrama de flujo recibo y carga de cebada (elaboración propia)	25
Ilustración 6: Diagrama de flujo lavado y remojado de cebada (elaboración propia)	
Ilustración 7: Diagrama de flujo germinación de la cebada (elaboración propia)	
Ilustración 8: Diagrama de flujo secado de la malta (elaboración propia)	
Ilustración 9: Diagrama de flujo horneado de la malta (elaboración propia)	
Ilustración 10: Diagrama de flujo retiro de la malta (elaboración propia)	
Ilustración 11: Proceso de carga al tambor (elaboración propia)	
Ilustración 12: Proceso de lavado y remojado en tambor (elaboración propia)	
Ilustración 13: Proceso de germinación en tambor (elaboración propia)	36
Ilustración 14: Proceso de secado en tambor (elaboración propia)	37
Ilustración 15: Proceso de horneado en tambor (elaboración propia)	
Ilustración 16: Proceso de extracción de la malta (elaboración propia)	
Ilustración 17: Cuadrantes del unifilar (elaboración propia)	
Ilustración 18: Unifilar PLC, cuadrante 1-1 (elaboración propia)	40
Ilustración 19: Unifilar PLC, cuadrante 2-1 (elaboración propia)	41
Ilustración 20: Unifilar PLC, cuadrante 1-2 (elaboración propia)	
Ilustración 21: Unifilar 2 PLC, cuadrante 2-2 (elaboración propia)	43
Ilustración 22: Diagrama de flujo (elaboración propia)	45
Ilustración 23: Panel de control (elaboración propia)	47
Ilustración 24: Circuito de Circulación de los Granos	
Ilustración 25: Geometría deflector (elaboración propia)	
Ilustración 26: Detalle constructivo ducto central y visor (elaboración propia)	
Ilustración 27: Detalle de abertura de escotilla (elaboración propia)	53
Ilustración 28: Tambor y cintas de (elaboración propia)	53
Ilustración 29: Eje apoyo y rodamiento (elaboración propia)	54
Ilustración 30: Base y rodamiento (FAG, 2000)	57
Ilustración 31:Corona y piñón (elaboración propia)	59
Ilustración 32: Esfuerzos sobre reticulado (elaboración propia)	61
Ilustración 33: Diseño y dimensión de la base reticulada (elaboración propia)	62
Ilustración 34: Diseño de sistema hidráulico (elaboración propia)	63
Ilustración 35: Características de rociado por a traves de un cono (full/ square) (Systems	
Ilustración 36: Selección de boquilla atomizadora (Systems, 2021)	
Ilustración 37: Dimensiones atomizador HH-SQ (Systems, 2021)	66
Ilustración 38: Selección de modelo de Bomba. (Pedrollo, 2021)	
Ilustración 39: Características de Electrobomba Pedrollo modelo CPm 150-ST4 (Pedrollo	
Ilustración 40: Diagrama de flujo (Hyun, Sungsu, & Jooyong, 2020)	
Ilustración 41: Canalización del aire (Abadía & Bartosik, 2013)	
Ilustración 42: Esquema sistema de ventilación (elaboración propia)	
Ilustración 43: Centros de masa en tambor (elaboración propia)	
Ilustración 44: Referencias para determinas semi-elipse (elaboración propia)	
Ilustración 45: Rotación del CM (elaboración propia)	
Ilustración 46: Ábaco de Moody para determinar factor de fricción (Streeter, 1999)	
Ilustración 47: Curva pérdidas de carga (Fanware, 2022)	88

llustración 48: Circuito de aire con puntos de referencia (elaboración propia)	90
Ilustración 49: En esta imagen se puede apreciar cronológicamente durante el seca-	do y el
horneado, el contenido de humedad del grano y su temperatura, al mismo tiempo que se	e indica
el funcionamiento del ventilador, el movimiento de granos y quemador (Briggs, 1998)	94
Ilustración 50: Verificación fecha de creación (elaboración propia)	103
Ilustración 51: Vista general del programa	
Ilustración 52: Primer conjunto de bloques (Imagen propia)	107
Ilustración 53: Continuación primer conjunto de bloques (Imagen propia)	
Ilustración 54: Segundo conjunto de bloques (Imagen propia)	109
Ilustración 55: Tercer conjunto de bloques, control ambiental (Imagen propia	111
Ilustración 56: cuarto conjunto de bloques, control secado y tostado (Imagen propia)	111
Ilustración 57: Lista de variables (Imagen propia)	111
Ilustración 58: Ángulo reposo cebada seca (elaboración propia)	113
Ilustración 59: Ángulo reposo cebada germinada (elaboración propia)	113
Ilustración 60: Vectores torque y fuerza (Robert, 2009)	115
Ilustración 61: Tapas del recipiente (elaboración propia)	116
Ilustración 62: Soporte (elaboración propia)	116
Ilustración 63:: Mezcla homogénea con 8 vueltas, color rojo (elaboración propia)	118
Ilustración 64: 8 vueltas, color azul (elaboración propia)	119
llustración 65: Vuelta 15, color azul (elaboración propia)	119
llustración 66: Vuelta 15, color azul (elaboración propia)	119
llustración 67: Vuelta 20, color azul (elaboración propia)	120
llustración 68: Vuelta 20, color azul (elaboración propia)	120
llustración 69: Vuelta 20, color rojo (elaboración propia)	121
llustración 70; Vuelta 10, color rojo (elaboración propia)	121
llustración 71: Cotas de las abreviaturas (elaboración propia)	126
llustración 72: Caras seleccionadas, vista 1 (elaboración propia)	130
llustración 73: coeficiente de seguridad (elaboración propia)	132
Ilustración 74: Perspectivas de fuerzas (1) aplicadas al reticulado (elaboración propia)	
Ilustración 75: Análisis de coeficiente de seguridad, vista 1 (elaboración propia)	
llustración 76: Cara seleccionada, vista 1 (elaboración propia)	138
llustración 77: Coeficiente de seguridad (elaboración propia)	140
Ilustración 78: Cara seleccionada (elaboración propia)	143
llustración 79: Fuerza remota (elaboración propia)	
Ilustración 80: Coeficiente de seguridad (elaboración propia),	145

Índice de tablas

Tabla 1: Proyección de la producción de maltas en función de los estilos (E1 a E10).	16
Tabla 2: Demanda de sistemas y equipos según etapas (elaboración propia)	23
Tabla 3: Elementos automatismo	
Tabla 4: Elementos automatismo (elaboración propia)	39
Tabla 5: Variables de entrada (elaboración propia)	44
Tabla 6: Variables de salida (elaboración propia)	
Tabla 7: Valores de seteo para el programa (elaboración propia)	46
Tabla 8: Dimensiones definitivas del tambor (elaboración propia)	
Tabla 9: Características motorreductor SEW AC FA77DRK90M4 (SEW, 2022)	60
Tabla 10: Dimensiones de cañerías según Norma ASTM A 312 (International, 2004).	64
Tabla 11: Determinación de diámetros exteriores según Schedule 5SA, elaboración	propia 65
Tabla 12: Dimensiones definitivas del tambor (elaboración propia)	74
Tabla 13: Contenido de agua según estado del arie (elaboración propia)	78
Tabla 14: Cantidad de agua necesaria a reponer (elaboración propia)	79
Tabla 15: Tiempo de reposición y tiempo de encendido de electrobomba (elaborac	ción propia).
	79
Tabla 16: Límites de velocidades según servicios requeridos. (CRANE, 1992)	80
Tabla 17: Cálculo de velocidades internas y espesor de paredes según diámetros inte	rnos. Caudal
y presión interna de la instalación (elaboración propia)	81
Tabla 18: Cálculos pérdidas de carga en circuito para llenado de tambor (elaborac	ción propia).
	84
Tabla 19: Cálculos pérdidas de carga en circuito de aspersión (elaboración propia)	85
Tabla 20: Valores fórmula de Bernoulli para circuito de llenado de tambor (elabora	ción propia).
Tabla 21: Valores fórmula de Bernoulli para circuito de aspersión (elaboración prop	-
Tabla 22: Asignación de valores para cálculo de NPSH (elaboración propia)	
Tabla 23: Diámetros, secciones y velocidades en conductos (elaboración propia)	
Tabla 24: Resultados Ecuación Hukill & Ives (Elaboración propia)	
Tabla 25: Valores de los términos para el balance de energía en germinación (
propia)	
Tabla 26: Estados de los puntos para el secado según equipo (elaboración propia)	
Tabla 27: Demanda de potencias en W (elaboración propia)	
Tabla 28: Estados ajustados de los puntos para el secado según equipo (elaboraciór	
Tabla 29: Potencia demandada en el equipo de calor (elaboración propia)	
Tabla 30: Lista MIEM (elaboración propia)	
Tabla 31: Lista AMAU (elaboración propia)	
Tabla 32: Resultados del experimento (elaboración propia)	
Tabla 33: Parámetros comunes (elaboración propia)	
Tabla 34: Engranajes (elaboración propia).	
Tabla 35: Cargas (elaboración propia).	
Tabla 36: Materiales (elaboración propia)	
Tabla 37: Factores de carga adicional (elaboración propia)	
Tabla 38: Factores de contacto (elaboración propia).	
Tabla 39: Factores de plegado (elaboración propia)	
Tabla 40: Resultados (elaboración propia).	
Tabla 41: Propiedades físicas (elaboración propia).	
Tabla 42: Configuración de malla (elaboración propia)	
Tabla 43: Materiales (elaboración propia)	
Tabla 44: Fuerza (elaboración propia)	130

Tabla 45:Fuerza y pares de reacción en restricciones (elaboración propia)	130
Tabla 46: Resumen de resultados (elaboración propia)	130
Tabla 47: Propiedades físicas (elaboración propia)	133
Tabla 48: Configuración de malla (elaboración propia)	133
Tabla 49: Características de materiales (elaboración propia)	133
Tabla 50: Valores de fuerza 1 aplicada (elaboración propia)	134
Tabla 51: Fuerza y pares de reacción en restricciones (elaboración propia)	135
Tabla 52: Resumen de resultados (elaboración propia)	135
Tabla 53: Propiedades físicas (elaboración propia)	137
Tabla 54: Configuración de malla (elaboración propia)	137
Tabla 55: Materiales (elaboración propia)	137
Tabla 56: Fuerza remota 1 (elaboración propia)	138
Tabla 57: contactos de bloqueo (elaboración propia)	138
Tabla 58:Fuerza y pares de reacción en restricciones (elaboración propia)	138
Tabla 59: Resumen de resultados (elaboración propia)	139
Tabla 60: Propiedades físicas (elaboración propia)	141
Tabla 61:Objetivo general y configuración (elaboración propia)	141
Tabla 62: Configuración de malla (elaboración propia)	141
Tabla 63: Materiales (elaboración propia)	141
Tabla 64: Gravedad (elaboración propia)	142
Tabla 65: Fuerza remota (elaboración propia)	143
Tabla 66: Fuerza y pares de reacción en restricciones (elaboración propia)	144
Tabla 67: Resumen de resultados (elaboración propia)	144

Capítulo 1. Introducción

1.1 Resumen Ejecutivo

Este proyecto de grado analiza los requerimientos que atañen al proceso de malteado de cebada con el fin de escalar la productividad a un nivel micro. El enfoque principal es el desarrollo de un equipo capaz de lograr las distintas etapas del proceso hasta obtener un determinado tipo de cebada malteada según la demanda.

Del análisis correspondiente se espera que el equipo sea capaz de generar 2 toneladas de cebada malteada al mes, realizando cuatro ciclos completos de producción.

Las condiciones intrínsecas al ciclo de malteado pueden ser modificadas para lograr la obtención de malta base y/o especiales de manera autónoma.

Palabras claves: cebada, malteado en tambor, malta.

1.2 Objetivo general

El objetivo general de este proyecto es encontrar el sistema de malteado que mejor se adapte a las necesidades de los productores cerveceros. Una vez dimensionada la demanda y necesidades, se diseña desde el punto de vista ingenieril un equipo capaz de obtener distintas variantes de cebada malteada, de manera compacta y con la mayor independencia posible.

De este modo esta memoria pone en manifiesto la búsqueda de una solución para aquellos productores cerveceros que requieren una materia prima a escala de su producción y de los espacios físicos de las respectivas plantas elaboradoras. La investigación de fenómenos internos en el diseño seleccionado del equipo, así como sus requerimientos de proceso y mecánicos para tal fin son resueltos desde la Ingeniería Industrial.

1.3 Alcance

Como alcance de este proyecto se aborda lo siguiente:

- Estudios preliminares: análisis de tendencias y requerimientos del mercado, ofertas de productos, y sistema de información.
- Ingeniería conceptual: descripción del proceso de malteado, selección del tipo de proceso y su justificación, equipos requeridos para cada etapa del proceso.
- Análisis técnicos: capacidad de producción y dimensiones del equipo.
- Análisis energético: requerimientos termodinámicos para las etapas de malteado.
- Ingeniería básica: ingeniería de proceso, ingeniería mecánica e ingeniería de automatismo.
- Ingeniería de proceso: dimensionamiento del equipo, selección de equipos que requiere el proceso, y condiciones de operación.
- Ingeniería mecánica: diseño y dimensionado de parte motriz y móviles, diseño y dimensionado estructural de tambor de malteado y estructura soporte. Dimensionado y diseño de sistema hidráulico y de ventilación.

- Ingeniería de detalle: selección de elementos motrices y rodamientos, selección de equipo deshumidificador, selección de equipo climatizador de aire, selección de equipo quemador indirecto, selección de sistema de bombeo y accesorios.
- Ingeniería de automatismo: diseño del sistema de control y automatismo.
- Investigaciones experimentales para análisis de fenómenos en la cebada malteada.
- Queda fuera del alcance de este proyecto el estudio de viabilidad económica, así como la ingeniería eléctrica.

1.4 Justificación del proyecto

La tendencia actual del mercado de cervezas artesanales permite la diversificación de marcas elaboradoras, potencializando la competencia. Este nuevo nicho ha traído consigo una escala industrial controlada que permite a estas empresas, de alcance regional o nacional, incurrir en equipos modernos y compactos para la elaboración de cervezas. Los volúmenes mensuales de producción para este mercado oscilan entre los 15.000 litros hasta alcanzar los 150.000 litros.

Este volumen de productividad les permite diversificar su gama de productos mediante la elaboración de distintos estilos de cerveza. Para ello se requiere una materia prima diferenciada, es decir, se requieren maltas "especiales" de cualidades distintas a la malta base, y esto a raíz de las características adquiridas en el proceso de malteado.

Una vez entendidas las necesidades de este sector, se diseña un recipiente de malteado al cual se le añaden diversos equipos periféricos que son necesarios para cada etapa del proceso. Como otra necesidad demandada por el sector, se entiende que una limitante es la disponibilidad de superficie dentro de los propios recintos de elaboración, por lo tanto este conjunto, que conforman una "maltería compacta", no debe superar los 9 metros cuadrados de área como objetivo.

La propia elaboración de la materia prima en las cervecerías artesanales les permitiría a estas empresas analizar los costos entre adquirir del mercado exterior las maltas "especiales" y los costos de la elaboración propia al extender su valor agregado.

Capítulo 2. Estudio Preliminar

2.1 Análisis de mercado

El análisis de mercado desarrollado para este proyecto permite obtener la información respecto a la producción de cerveza, el rendimiento de las maltas, los costos y los tipos más utilizados de las maltas especiales particularmente; así como también obtener indicios sobre el interés de potenciales adquisidores de un equipo de malteado de estas características.

2.1.1 Información general del mercado

Hoy en día las malterías nacionales solo ofrecen en el mercado local maltas base estilo Pilsen, comercializada por "M.O.S.A" (Maltería Oriental S.A), mientras que las maltas especiales son importadas de diversas partes del mundo, sin posibilidad de adquirirlas en el mercado nacional debido a que su elaboración a granel no resulta rentable para las malterías locales de gran escala, a razón de la demanda. Como una solución a este problema, por ejemplo, la empresa cervecera "Cabezas Bier" lleva adelante un proyecto para producir sus propias maltas especiales. Desde la Asociación de Microcervecerías Artesanales del Uruguay "AMAU" y la firma elaboradora "Mastra" también se aprecia interés en proyectos de esta categoría.

Las cervecerías artesanales del país con un volumen de producción que los ubica entre los mayores productores adquieren las maltas especiales directamente del mercado extranjero, mientras que productores más pequeños recurren a distribuidores de insumos locales, como pueden ser "Atahualpa Insumos" o "Almacén Cervecero", entre otros; los dos distribuidores mencionados fueron entrevistados para conocer su interés en el proyecto y mostraron conformidad con la idea de adquirir una maltería compacta y automatizada.

Las maltas especiales más utilizadas a nivel nacional son: Cara Hell, Caramunich II, Caramunich III, Munich, Munich II, Cara Aroma, Vienna, Cara Amber, Carapils, Carared.

2.1.2 Tendencias y el potencial mercado del equipo

En la actualidad la tendencia del mercado nacional cervecero ha explotado el nicho de las cervezas artesanales compitiendo contra las marcas industrializadas. Las nuevas plantas compactas, con producciones en volúmenes muy inferiores a las industriales, han desarrollado los gustos por las bebidas diferenciadas.

Muchos emprendimientos han surgido en los últimos tiempos, adquiriendo equipos necesarios para tal fin, incluso existiendo empresas proveedoras dedicadas exclusivamente a atender este nicho de mercado mediante la venta de insumos para la cocción de cerveza.

El desafío económico de este segmento de micro y medianas empresas es un constante análisis, dada la alta competitividad y la solvencia en función del volumen vendido.

En estas líneas, la adquisición de maltas especiales importadas para diferenciar sus productos de la competencia se ha presentado como un reto financiero con la carga impositiva que esto implica.

El equipo desarrollado en este proyecto pretende abarcar dos perspectivas para este segmento de empresas. La primera es una mejor solvencia de los costos en la obtención de las maltas especiales para las cocciones, desarrollando un equipo "compacto" para generación de un volumen óptimo de las mismas, permitiendo una proyección económica rentable en comparación con la compra de las maltas importadas.

En segundo término, las empresas interesadas podrán ampliar su cadena de valor al obtener su materia prima de manera "artesanal" según sus propias conveniencias.

2.1.3 Análisis FODA

Fortalezas

- Un equipo de malteado con una ventaja económica en la producción de cebada malteada a pequeña escala.
- Su alcance abarca a los emprendimientos de cervecerías artesanales diseminadas en todo el país.
- Acrecienta el valor agregado del producto artesanal.
- Sus requerimientos y diseño se adecúan a la escala de las plantas del segmento.

Oportunidades

- Solventar los gastos de importación de las maltas especiales.
- Nuevas tendencias hacia las bebidas diferenciadas de las industriales.
- Proliferación de medianas empresas en el segmento de cervecerías artesanales.
- Nuevas asociaciones que agrupan a los productores del segmento que se interesan en proyectos innovadores.

Debilidades

Costo de inversión inicial.

Amenazas

- Las malterías nacionales podrían ofertar maltas especiales en el mercado uruguayo.
- Los distribuidores de maltas especiales importadas podrían bajar sus costos.

2.1.4 Ofertas de productos

Como se mencionó en el <u>Apartado 2.1.1 Información general de mercado</u>, solo se comercializa malta base Pilsen de origen nacional, la cual puede ser adquirida a U\$D 750 más IVA la tonelada. También puede adquirirse malta base importada, como es el caso de "Finest Maris Otter Ale", producida por Crisp Malting Group y que se encuentra en el mercado a \$U 140.000 la tonelada, también podemos encontrar la "Pilsen Castle 2RP" producida por Castle Malting y que en el mercado nacional se puede adquirir a U\$D 1250 más IVA la tonelada.

La lista de maltas especiales ofrecidas a nivel nacional son todas de origen extranjero, dado el gran crecimiento del mercado de cervezas artesanales se puede encontrar una gran variedad de maltas con diversos orígenes. Las cervecerías artesanales que adquieren maltas especiales al por mayor, consiguen precios de entre U\$D 1,3 a U\$D 2 por kg de malta (la cual viene en empaques de 25 kg).

2.1.5 Sistemas de información

Para la realización de este estudio, el plan de investigación de mercado se basó en fuentes de información primaria. Para esto se realizaron entrevistas con proveedores de insumos para la elaboración de cerveza y se llevó a cabo una encuesta por medio de Google Forms (ver <u>Anexo</u>

<u>8.2: Encuesta</u>), en la cual participaron cervecerías artesanales y los resultados de la misma se presenta en el apartado siguiente.

2.1.5.1 Resultados validados por la encuesta

Como resultados de la encuesta, las empresas que respondieron afirman tener una producción de entre diez mil y sesenta mil litros mensuales de cerveza. El rendimiento de la malta oscila entre 3,5 a 4,5 litros por kg de malta.

La adquisición de las maltas especiales es 100% de origen extranjero en todos los casos, con un costo de entre U\$D 1,30 a U\$D 4 por cada 25 kg, el cual es un tipo de empaque convencional adquirido. Esta variación depende de la cantidad que se adquiera y del empaque de la misma, como también de la unión de empresas para comprar al por mayor y así obtener un mejor precio.

En cuanto a la adquisición de malta base, el 100% de los productores encuestados adquieren maltas nacionales. Los precios a los que son adquiridas estas, rondan entre U\$D 680 y U\$D 750 por tonelada, siendo esta comercializada en bolsones de 1 T (Big-Bags). En promedio esta malta se utiliza a razón de entre 70% a 90% dentro del total de maltas empleadas en una cocción de cerveza.

Los tipos de maltas especiales más utilizados se pueden apreciar en el siguiente gráfico:

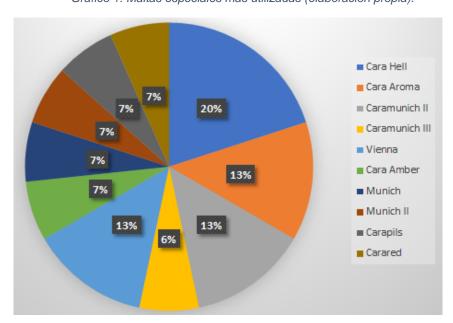


Gráfico 1: Maltas especiales más utilizadas (elaboración propia).

Las cuatro maltas más utilizadas son: Cara Hell, Cara Aroma, Caramunich II y Vienna.

Las cervecerías encuestadas se mostraron dispuestas a invertir en una maltería compacta para producir sus propias maltas y consideran que 450 kg de malta especial producida por ciclo del equipo es suficiente para cubrir su demanda, pero es insuficiente para producir malta base.

Además, por lo general estarían dispuestas a compartir el equipo para la producción de maltas especiales.

2.1.6 Mercados meta y cuantificación

Este producto tiene como mercado meta a aquellas firmas elaboradoras de cerveza artesanal, las cuales estén dispuestas a producir sus propias maltas, base y/o "especiales"; incorporando este equipo a su línea de producción o mediante la asociación de varias micro empresas que estén dispuestas a adquirir una producción de malta diferenciada.

Realizando una búsqueda en la página web del Ministerio de Industria, Energía y Minería del Uruguay "MIEM", se obtuvo una lista de marcas registradas (ver <u>Anexo 8.1 Lista de cervecerías nacionales artesanales</u>) asociadas a las palabras, "beer", "cerveza", "chela" y "birra" que se encontraban dentro de la clase Niza 32, la cantidad encontrada fue de 39 marcas.

La lista anterior está compuesta por cervecerías artesanales del Uruguay, asimismo en un correo enviado por el MIEM, indicaba que "no hay obligación de registrar marcas, tal vez no aparezcan todas" por lo que se consultó la página web de AMAU (Asociación de Microcervecerías Artesanales del Uruguay) (AMAU, 2021), lugar del cual se extrajo una nueva lista (ver <u>Anexo 8.1 Lista de cervecerías nacionales artesanales</u>) comprendida por 36 cervecerías.

En total, combinando ambas listas y quitando las marcas repetidas, se contabilizan 68 marcas asociadas a la producción de cerveza artesanal.

2.2 Estudio del Caudal de Producción de Malta Especial

A partir de un estudio del mercado nacional de cervecerías artesanales, primeramente, se relevan los volúmenes de producción. Las de mayor porte, tales como las firmas "Volcánica" o "Cabezas Beer", producen un volumen mensual entorno a los 40.000 L y 150.000 L respectivamente; por otro lado, en empresas de menor producción, se haya la firma "Beer Bros", que produce 15.000 L al mes.

A efectos cuantitativos para la estimación del caudal de producción en la maltería a desarrollar, se proyecta que la misma deberá satisfacer a una cervecería que sea capaz de elaborar 30.000 L mensuales. En una entrevista con un representante de "Beer Bros", este mencionó que aceptaría unirse a otras cervecerías con el fin de producir maltas especiales por lo que suponer una producción de 30.000 L mensuales de cerveza es adecuado.

Del total producido en una cervecería, generalmente se elaboran 5 estilos distintos de cervezas por mes. En cada receta se emplea entre 10% y 20% de maltas especiales, siendo el resto malta base. Dentro de estos porcentajes de "especiales", se puede encontrar que una misma receta utiliza entre 2 y 5 estilos de maltas especiales. A su vez, es posible que una misma malta se use en otras recetas, como es el caso de la malta de trigo la cual se encuentra presente en todas las cocciones. Se puede suponer entonces que son necesarios 10 estilos de maltas para la producción mensual (Gomez, 2019).

Según la calidad de la cerveza dada por la intensidad de cuerpo, aromas, sabor y alcohol, entre otras características, el rendimiento esperado por kilogramo de malta (mezcla de maltas) normalmente es de 3 L a 5 L de cerveza (Gomez, 2019).

El ciclo de producción de una malta tarda aproximadamente una semana en completarse, por lo que en un mes se pueden llevar a cabo 4 ciclos. Esto implica que son necesarios dos meses y medio para producir los 10 estilos de maltas especiales que demanda la producción mensual de cerveza. Si proyectamos en el tiempo la producción de los tipos de maltas especiales, se puede observar en la Tabla 1 la distribución completa. Con el fin de tener un stock suficiente para cocinar cerveza, en cada ciclo de malteado se debe cubrir la cantidad demandada de malta para 2,5 meses.

Tomando los 30.000 L mensuales, con un rendimiento de 4 L/kg de malta, dato extraído de la encuesta presente en el <u>Apartado 2.1.5.2</u>, se determina el uso de 7.500 kg de maltas para cubrir la producción. Se emplea en promedio un 15% de maltas especiales, obteniendo así 1.125 kg de estas. Tomando en cuenta que se usan 10 tipos de maltas especiales para cubrir todas las recetas de una cervecería, quedan 112,5 kg de cada malta, pero como es necesario cubrir dos meses y medio de demanda, cada ciclo de malteado ha de producir 280 kg de maltas. Este razonamiento

puede visualizarse en la Tabla 1, donde E1 a E10 simbolizan los 10 estilos de malta a producir, proyectados en el tiempo y considerando que por mes se pueden producir 4 ciclos de malteado, consecuentemente, en una semana se cubre la demanda de ese estilo para 2,5 meses, y así sucesivamente hasta tener todos los estilos de malta necesarios (el estimado son 10 estilos), luego se repite el ciclo.

A fin de otorgarle versatilidad de producción a la cervecería, se estima que la malteadora debería producir entre 300 kg y 500 kg de maltas especiales por ciclo. Como complemento se tiene en cuenta que los bolsones en los que se comercializa la cebada son de 500 kg o de 1000 kg, si se deseara una cantidad mayor a esta última, se dispensa a granel. Por lo tanto, para este proyecto se opta por un ciclo de producción de 500 kg máximo de cebada inicial.

Tabla 1: Proyección de la producción de maltas en función de los estilos (E1 a E10)

	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	
Semana 1	E1	E5	E9	E3	E7	E1	
Semana 2	E2	E6	E10	E4	E8	E2	
Semana 3	E3	E7	E1	E5	E9	E3	
Semana 4	E4	E8	E2	E6	E10	E4	

Capítulo 3. Ingeniería conceptual

3.1 Proceso de malteado

El malteado de un cereal es una transformación que se lleva a cabo en un grano cosechado, hasta convertirse en materia prima para un proceso. En el caso de la producción de cerveza, esta es viable gracias al malteado de la cebada. En síntesis, el fermento de cerveza se vale de la fuente de nutrientes que surgen en el germen del grano durante el malteado, y del cual posteriormente se nutrirá la levadura.

Si se estudia la naturaleza del grano, el mismo guarda en su interior una reserva energética (llamado endospermo) para nutrir el embrión que será la futura planta. Este endospermo contiene unas grandes estructuras de almidón, contenidas por proteínas y carbohidratos. La germinación del grano consiste en descomponer el material proteico, gracias a la activación de enzimas existentes en la capa de la cáscara. Esta acción enzimática, estimula el desarrollo del embrión en su crecimiento del tallo, o mejor denominado acrospiro. Las enzimas son catalizadores de los procesos bioquímicos en los organismos vivos. Ciertas características físicas, como la temperatura, acidez, o humedad, pueden estimular su acción o pueden inhibirlas.

El proceso de malteado del grano de cebada se separa en tres grandes pasos: remojado del grano con agua, germinación, y por último el horneado. En la Ilustración 1 se ejemplifica el proceso de malteado en las tres etapas

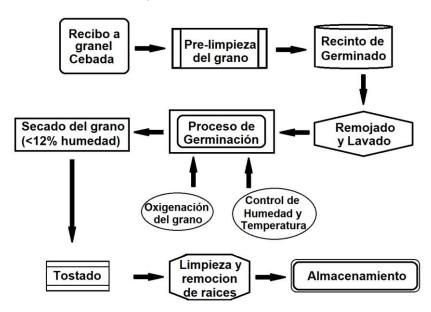


Ilustración 1.Diagrama proceso de malteado (elaboración propia).

3.1.1 Remojado

Una vez que se tenga el grano de cebada libre de impurezas y clasificado por el tamaño, pasa a la zona de remojado, donde se lo sumerge en un baño de agua, ya sea por inundación o por aspersión. Este proceso se lleva a cabo de manera intermitente en intervalos de una a dos horas, a modo de limpiar e hidratar el grano y así comenzar a activar las enzimas que se encuentran dentro de él, preparándolo para la germinación.

Además de la hidratación, es igualmente importante el aireado entre los intervalos de remojado. El aireado permite el ingreso forzado de oxígeno al ambiente de control, ya que el oxígeno es un

elemento indispensable para la etapa de germinación, permitiendo la "respiración" del grano. La oxigenación del grano permite que el embrión de la planta no muera por falta del mismo.

Inicialmente el grano de cebada posee un 12% de humedad, y luego de la hidratación puede llegar a valores del 43% al 48%. Esto evidentemente aumenta el volumen del grano, pudiendo alcanzar hasta un 40% extra de su volumen inicial (Mallett, 2014).

3.1.2 Germinación

Una vez que la cebada está completamente hidratada y el grano se encuentra activado, puede ser movida a un área especialmente dedicada al germinado o mantenerse en el mismo lugar, considerando que esta última sea un área multipropósito. El agua es drenada completamente, y luego el grano está listo para comenzar la germinación, donde la química interna de su naturaleza será modificada en una degradación de su estructura proteica gracias a la acción de las enzimas.

A medida que el grano germina, se desarrollan las raíces del mismo. Este lecho de cebada ramificadas debe ser movido (revuelto), de manera de mantener separados los granos, evitando una masa única. De lo contrario, los brotes de las raíces se enredan impidiendo el pasaje de aire, perjudicando la respiración de los granos. La germinación debe culminar cuando el brote de la raíz alcance un largo estimado de una vez y media el tamaño del grano.

3.1.3 Secado y Horneado

Luego de la germinación, el proceso subsiguiente depende del tipo de malta a obtener. Para ello, se controla el nivel de humedad que debe tener el grano germinado y a continuación puede ser secado y/o horneado.

La etapa de secado es tan importante como las anteriores, ya que de esta etapa depende el destino de la malta obtenida. Las manipulaciones de la temperatura, junto con un porcentaje alto de humedad en el grano, puede provocar que las enzimas se desnaturalicen. Pero al deshidratar el grano y luego elevar la temperatura, las enzimas sobreviven en mayor número y luego podrán ser activadas en el proceso de elaboración de cerveza. Un detalle no menor es que estas enzimas vienen naturalmente en la cebada malteada y no pueden ser adquiridas en el mercado, también por el hecho de ser enzimas no se regeneran, pero sí pueden ser activadas y desactivadas.

El motivo de aumentar la temperatura, aún con humedad elevada en el grano, radica en que se producen reacciones de Maillard dentro del grano, las cuales pueden generar colores, sabores y aromas muy variados, tales como chocolate, café, caramelo, bizcocho, etc.

Otro motivo igualmente importante del secado es el proceso de "marchitar" las raíces a medida que pierden humedad, es decir se deshidratan. Durante la extracción de la humedad superficial, las raíces se secan y quedan levemente ligadas al embrión del grano; esto permite su fácil remoción posterior. Este proceso de evaporación permite remover el contenido de agua líquida que se halla dentro del grano, y a medida que se reduce el contenido de la misma, esta migra hacia la superficie.

Aquí entran en juego los tres factores fundamentales a controlar, el tiempo, la temperatura, y la humedad; ya que la etapa de secado influye directamente en las enzimas, pudiendo llegar a destruirlas o inhibirlas.

Los factores de humedad y temperatura se gobiernan desde la calidad del aire que es forzado hacia el ambiente de control. De esta manera, un ingreso y secado de aire frío (a temperatura de punto de rocío) permite la extracción efectiva de la humedad, y preserva el contenido

enzimático. Por otro lado, un aire con alta temperatura permite alterar la estructura de las enzimas, como anteriormente se mencionó.

Dentro de los distintos estilos de maltas que se pueden crear, las maltas claras, por ejemplo, se producen usando grandes caudales de aire a bajas temperaturas durante la etapa de horneado. Mayores niveles de humedad y temperatura pueden producir maltas oscuras. El secado inicial a bajas temperaturas seguido de un curado a altas temperaturas produce sabores muy diversos. Las maltas muy pálidas se pueden curar en horno a temperaturas cercanas a los 76 ºC y las maltas oscuras pueden alcanzar temperaturas finales superiores a 175 ºC.

El proceso de horneado no se puede llevar a cabo directamente con gases de combustión, debido a que el Óxido de Nitrógeno (NOx) es producido durante la combustión cuando hay presencia de Nitrógeno. El NOx reacciona con las aminas libres de los granos de malta verde para producir Nitrosaminas, las cuales son cancerígenas.

3.2 Métodos de malteado

Como ya se ha descrito el proceso de malteado se puede descomponer en la etapa de remojo, germinación y horneado. Para esto existen diferentes sistemas de malteados, los cuales se pueden clasificar según la cantidad de procesos que se llevan a cabo en una misma unidad o recipiente (Mallett, 2014).

Consecuentemente se tiene:

- SGKVs (stepping, germination, kilning vessels)
- SGVs (stepping, germination vessels)
- GKVs (germination, kilning vessels)

Los equipos pueden disponerse de forma más o menos horizontal, pero es común que se dispongan unos encima de otros en forma de torre para aprovechar la gravedad (Mallett, 2014).

3.2.1 Malteado en piso

El malteado en piso es un método usualmente usado para la producción a gran escala. Como el nombre lo indica, la cebada se coloca en el piso dentro de una piscina, el cual dependiendo de la etapa del proceso contará con diversas características.

Dentro del malteado en piso existen dos grandes variantes, una de ellas es el malteado en "caja" y la otra es el malteado "circular". Generalmente cada etapa de malteado se lleva a cabo en recipientes o áreas separadas, pero también pueden encontrarse sistemas SGKVs, SGVs y GKVs. Tener las etapas de malteado separadas permite una producción continua, ya que se pueden implementar las tres etapas en simultáneo.

Para visualizar el malteado en caja, puede imaginarse una gran piscina, mientras que el método circular se puede apreciar como un gran silo el cual cuenta con divisiones que forman varios niveles.

En ambas variantes la etapa inicial de remojado puede realizarse por aspersión de agua o por inundación, en caso de ser por inundación el agua se inyecta desde abajo para remover el grano y hacer flotar elementos no deseados (paja, granos chuzos, otras impurezas), los cuales son arrastrados por la corriente de agua y retirados.

Para cualquiera de estas disposiciones, como es sabido la oxigenación es un proceso primordial, para esto se inyecta aire desde abajo de la cama de grano para oxigenar el mismo, según el tipo de remojado que se haga, en caso de estar inundado se puede inyectar aire desde abajo para

lograr un efecto de arrastre de la suciedad, de otra forma se puede desagotar el agua e inyectar el aire desde abajo para garantizar una buena oxigenación. Una vez finalizado el remojo del grano, este se mueve a otra zona donde se realizará la germinación; allí la cebada es removida con un sistema de sinfines los cuales recorren toda el área donde está depositado el grano, evitando que las raíces se entrelacen y formen un bloque.

Cumplido el tiempo de germinación la malta es movida al área de horneado donde obtiene las características finales según el tipo de malta. Finalmente se separan las raíces y es almacenada.

El transporte de la cebada de una etapa a otra difiere mucho, en el esquema circular generalmente se hace por el centro y en las piletas un sinfín avanza desde un extremo levantando el grano.

A continuación, se encuentran una serie de imágenes que permiten una visualización de los métodos mencionados.



Ilustración 2: Malteado en piso, tipo torre (Wilson, 2021)



Ilustración 3: Malteado en caja (MOPOS, 2020)

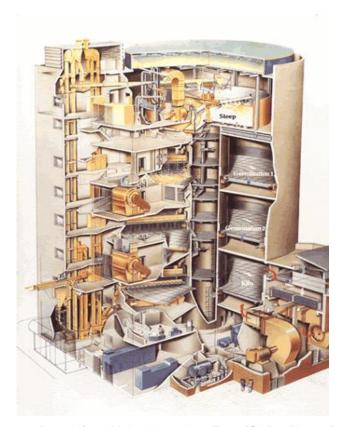


Ilustración 4: Malteado en piso - Torre (Gigliarelli, 2008)

3.2.2 Malteado en tambor

Durante años la búsqueda de confeccionar los recipientes para llevar a cabo los procesos de malteado condujo a que se idearan maneras muy diversas para mezclar y airear completamente la masa a maltear. Este desafío en manipular los granos apuntaba a la mala homogenización del

proceso de malteado por lo que la implementación de plataformas empinadas o tanques con bases cónicas permitían arrastrar la masa de granos y mediante algún sistema mecánico revolverla o reubicarla para lograr un dinamismo dentro del recinto.

Otros estudios llegaron a implementar tubos aireadores internos a los recintos que mediante mecanismos giratorios lograban a la vez mezclar los granos. De modo similar se implementaron regadores que permitían una circulación de agua dentro de la masa de granos.

En una escala de producción menos masiva que el malteado en piso, pero en un ambiente más controlable, se pueden utilizar tambores cerrados para llevar a cabo las etapas del malteado dentro del mismo.

Los tambores o también denominados rodillos son recipientes cilíndricos que rotan sobre rodamientos, accionados por algún sistema de corona solidaria al cilindro o cadena, más algún sistema de movimiento proveniente de un motor eléctrico.

Indefectiblemente los sistemas de tambor resultan ser bastante más complejos en diseño que un proceso de malteado "estático" de piso, debido a que por ejemplo, se debe tener compuerta o algún sistema de extracción del grano desde el interior, conjugado con el movimiento rotacional el cual debe ser fijado en determinado punto para efectuar las cargas y descargas.

No obstante, estos diseños de tambores adolecen de una descarga total del grano. Y en desafiante manera se deben implementar ingresos de agua y aire, hacia el interior desde un punto fijo mientras el tambor este en rotación. Para suplir estos inconvenientes muchos implementaron diversos diseños como la utilización de un cilindro interno de malla o perforado que contenga el grano.

Sin embargo, la reducción hacia un volumen más acotado de producción es un factor conveniente para evitar cilindros tan amplios; en los comienzos se implementaban tambores de capacidad entre 10 T a 12 T de granos o más, con un promedio de dimensiones de 3,5 m de diámetro y 7 m de largo. Otra opción vista en tiempos pasados era la utilización de tambores en paralelo, conectados a una misma red de agua y aire, pero independientes entre sí.

Los niveles de automatización actuales y la centralización por ambientes más controlados, con el fin de obtener determinada especificidad de malta, ha dado mayor cabida a este tipo de tecnología en el malteado. Todos los pasos desde la carga, rotación, la aspersión de agua, la descarga de la misma, y la inyección de aire requieren de utilizar equipos mecánicos fácilmente gobernables. Además de la optimización de los equipos de frío y calor para manipular las condiciones del aire.

3.3 Justificación del método seleccionado

Se opta por un malteado en tambor, ya que este método permite llevar a cabo todas las etapas en un mismo volumen, esto hace que el diseño sea más complejo, pero reduce la cantidad de materiales y espacio necesario. Además, el proceso es el más homogéneo porque el grano se encuentra en constante movimiento y no tiene que esperar a que los sinfines lo remuevan en cada ciclo, como sucede en el malteado en piso.

También al estar todos los granos en movimiento, estos reciben la misma cantidad de calor uniformemente, de lo contrario si se encontraran en un lecho, los granos que se encuentren más cerca de las fuentes de cambio térmico, brindado por el ingreso de aire, se encontrarán en condiciones diferenciales hasta que sean removidos, además la energía disipada a través del suelo y las paredes, sumada a la energía disipada por convección, conducción y radiación es mayor en el malteado en piso que en tambor. De igual modo que la energía no alcanza a todos los granos por igual, la introducción de agua pulverizada no abarca a la totalidad de los granos.

Otra ventaja no menor que ofrece este método es que por el grado de homogeneidad que se logra es el único que permite la confección de maltas oscuras o negras.

El método de mezclado requiere menor cantidad de piezas móviles, por lo que el mantenimiento será menor. En el caso del tambor se tiene el mecanismo de sujeción de este y el que acciona su movimiento, mientras que, si fuera malteado en piso, se tiene el mecanismo de sujeción de los sinfines, el mecanismo de movimiento de cada sinfín y el movimiento circular o longitudinal del conjunto para revolver toda el área.

El mateado en tambor ofrece un mayor cuidado de la raíz en la etapa de germinación ya que en la mezcla el grano se frota contra sí mismo y no contra el sinfín. Por otra parte, este rozamiento de grano contra grano remueve y dificulta el crecimiento de hongos:

El buen efecto de limpieza del tambor tiene como objetivo especial remover esporas de mohos ubicadas sobre la superficie de los granos de cebada (Kunze, 2006).

3.4 Sistemas y equipos requeridos

Para el método de malteado seleccionado, se analizan las opciones de equipos según cada etapa del proceso, los cuales permitan alcanzar el objetivo deseado.

En la tabla siguiente se marcan con color verde los sistemas y equipos requeridos por cada etapa del proceso.

Equipos y sistemas	Requerimiento por etapa						
Equipos y sistemas	Remojado	Germinación	Secado	Horneado			
Sistema de movimiento							
Sistema de ventilación							
Sistema hidráulico							
Equipo deshumidificador							
Equipo refrigeración							
Equipo generador de calor							
Sistema de automatización							

Tabla 2: Demanda de sistemas y equipos según etapas (elaboración propia).

Como se demuestra, se cumple que los sistemas y determinados equipos son demandados en más de una etapa, y a su vez existe la simultaneidad de estos.

3.4.1 Sistema de movimiento

Se requiere de un mecanismo que permita rotar el tambor a la velocidad adecuada para el correcto funcionamiento.

3.4.2 Sistema de ventilación

Se debe contar con un sistema que permita la circulación de aire para que oficie de transporte energético para las determinadas etapas, y a su vez es primordial la aireación para la activación y germinación de los granos.

3.4.3 Sistema hidráulico

Es necesario un sistema hidráulico que permita el ingreso de agua al tanque; en primera instancia para el lavado y remojado el cual dará paso a la activación enzimática del grano. Posteriormente en la germinación es necesario humidificar la masa de granos.

3.4.4 Equipo deshumificador

El equipo deshumificador es necesario para disminuir la humedad en la etapa de germinación (en caso de ser necesario); y por otro lado durante el proceso de secado se requiere extraer la mayor cantidad de agua del tambor a modo de deshidratar los granos.

3.4.5 Equipo de refrigeración

Se requiere de un equipo capaz de bajar la temperatura interna de los granos a fin de mantener una correcta germinación y evitar incurrir en un deterioro de la calidad del producto final.

3.4.6 Equipo generador de calor

Para lograr alcanzar temperaturas internas mayores a los 50° C y hasta los 250°C se debe utilizar un equipo que cuente con una fuente energética considerable.

3.4.7 Sistema de automatización

Para llevar a cabo todos los procesos con el fin de obtener un producto de calidad sin la necesidad de contar con personal permanente, se incluye el sistema de automatización que controlará el conjunto de equipos para lograr la malta objetivo.

Capítulo 4. Ingeniería básica

4.1 Ingeniería de proceso

4.1.1 Recibo de la cebada

Los productores cerveceros adquieren la cebada del mercado local compartimentada por medio de "Big Bags" de 500 kg o 1000 kg. La manipulación de los "Big Bags" depende de las maniobras operativas con las que cuenta la empresa, normalmente se eleva la mercadería con determinado equipo de elevación hacia una tolva. Fuera de estos tamaños, depende del proveedor con el que cuenten y las fracciones comerciales pautadas.

En este diseño de equipo, el ingreso de la mercadería hacia el interior del tambor se debe realizar por la compuerta manual, la cual estará posicionada en la parte superior vertical. Escapa del alcance de este proyecto el modo de carga del tambor ya que depende de los elementos que disponga quien lo opere.

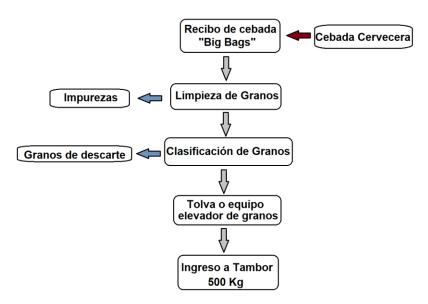


Ilustración 5: Diagrama de flujo recibo y carga de cebada (elaboración propia).

4.1.2 Características del producto

Las características finales y la calidad de malta para generarse con el diseño de este proyecto, dependerá de las necesidades de la empresa y los conocimientos pertinentes del maestro maltero con el que se cuente.

El equipo de malteado compacto será capaz de generar desde malta base hasta maltas especiales como "negra" o "chocolate".

En este proyecto según el estudio del apartado <u>2.2 Estudio del Caudal de Producción de Malta Especial</u> un ciclo de producción será en batchs de 500 kg (máximo) de cebada.

4.1.3 Lavado y remojado

La cebada se adquiere de los puntos de ventas agropecuarios o directamente de productores bajo los estándares de calidad del mercado nacional. No obstante, es una política común el lavado con agua previo al proceso de malteado. Con esto se limpia principalmente la tierra contenida en los granos.

El contacto de los granos de cebada con el agua, más allá de limpiarlos, los hidrata, permitiendo dar inicio paulatino a la germinación. Para esto se inunda en agua hasta cubrir todos los intersticios de los granos, mediante el sistema hidráulico, luego se debe impartir movimiento de rotación a fin de mejorar el lavado.

De este modo, el objetivo del remojado es hidratar la masa de granos, pero para ello se renueva el agua cada una a dos horas tal como se mencionó en el <u>Apartado 3.1.1 Remojado</u>.

Una vez transcurrido el tiempo necesario del remojado, se debe vaciar la totalidad del agua interna para dar lugar a la respiración del grano. Para ello, se utiliza el sistema de ventilación, que permite el ingreso forzado de oxígeno al ambiente de control. La oxigenación del grano permite que el embrión de la planta no muera por falta de este.

Nuevamente, se repite el proceso de inundación con agua y posterior aireación, esto de dos a tres veces consecutivas.

Mediante el sistema de automatismos incorporado, se permite el control del sistema hidráulico, ventilación y de movimiento para los parámetros preestablecidos en el programa.

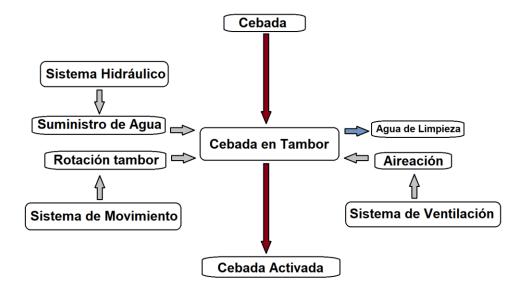


Ilustración 6: Diagrama de flujo lavado y remojado de cebada (elaboración propia).

4.1.4 Germinación

Una vez terminada la etapa anterior se da comienzo a la germinación controlada. Donde el sistema de automatización monitorea y activa cada sistema o equipo según las necesidades ambientales del proceso.

El sistema de movimiento rotacional del tambor permite obtener una germinación homogénea y evita el entrelazamiento de raíces a medida que estas crecen. Como detalle, el movimiento constante de la masa de granos evita la formación de hongos.

El sistema de ventilación se encarga de suministrar aire renovado a los granos, y además dicho circuito permite transportar el aire en las condiciones de temperatura y humedad, acondicionado por los equipos de deshumifición y de refrigeración, situados dentro del circuito de ventilación.

Un requerimiento de la etapa de germinación es la humidificación de los granos para evitar la deshidratación durante la aireación, esto se lleva a cabo gracias al sistema hidráulico.

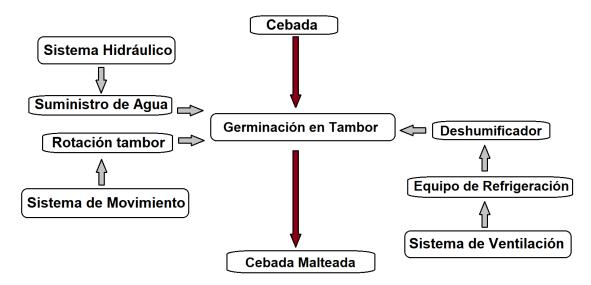


Ilustración 7: Diagrama de flujo germinación de la cebada (elaboración propia).

4.1.5 Secado

Una vez finalizada la germinación, dependiendo del tipo de malta a producir, se debe secar la masa de granos mediante el equipo deshumificador. De este modo se logra extraer el agua del aire; luego el aire con bajo contenido de agua se reingresa al tambor para nuevamente captar humedad y así secar el grano. Para este paso es necesario el movimiento rotacional del tambor y el sistema de ventilación.

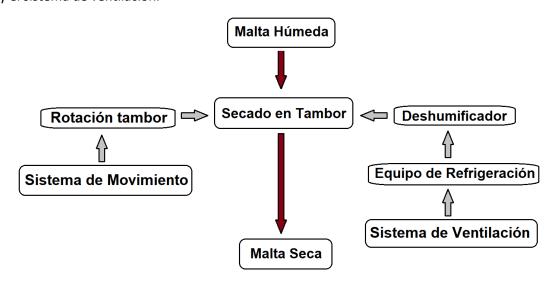


Ilustración 8: Diagrama de flujo secado de la malta (elaboración propia).

4.1.6 Horneado

En la etapa de horneado se logra tostar los granos malteados para lograr distintas variedades de maltas especiales según la configuración y parametrización del automatismo.

Este proceso es llevado a cabo mediante el sistema de ventilación en conjunto con el equipo generador de calor. Este último eleva la temperatura del aire a fin de hacerlo circular a través de los intersticios de la masa de granos y elevar la temperatura de los mismos.

Al igual que en los procesos anteriores, es necesario el sistema de movimiento, para lograr un tostado homogéneo de los granos.

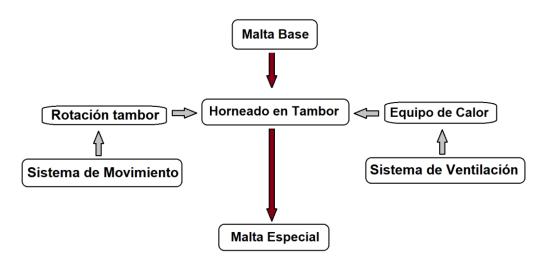


Ilustración 9: Diagrama de flujo horneado de la malta (elaboración propia).

4.1.7 Retiro de la malta

Una vez finalizado el proceso de malteado, a la humedad de almacenamiento, 12% HRG o menor, la misma es retirada del tambor por una compuerta posicionada en la parte inferior, para que el material caiga por gravedad dentro de una tolva con un mecanismo que permita retirar el grano de esta y guiarla hacia un equipo de limpieza para la remoción de las raíces.

Una vez separadas las raíces de la malta, esta última se coloca en empaques de conveniente manipulación, normalmente en bolsas con una capacidad de 25 kg y de plastillera.



Ilustración 10: Diagrama de flujo retiro de la malta (elaboración propia).

Se recuerda que escapa del alcance de este proyecto el equipo de extracción y limpieza de la malta.

4.2 Ingeniería de automatización

El Sistema de automatización se compone de un equipo ABB contando con un PLC AC500 PM564-ETH, expansión de y un Panel de control CP 600.

Téngase en cuenta que los sensores a instalarse en el tambor deben ser resistentes al agua y soportar hasta 250 °C

A continuación, se presenta una tabla con los elementos a adquirir y sus cantidades.

Tabla 3: Elementos automatismo

Sensores	Cantidades
PLC AC500 PM564-ETH	1
Expansión de entradas y salidas digitales	1

Sensores	Cantidades
Panel de control CP 600	1
Sensor flujo aire	1
Sensor temperatura	3
Sensor humedad en grano	1
Sensor posición	1

Por más detalles constructivos y de programación dirigirse al <u>Apartado 5.2 Ingeniería de</u> automatización

4.3 Ingeniería mecánica

4.3.1 Sistema de movimiento

El movimiento rotacional que ha de recibir la masa de granos, se debe a el diseño del tambor y del mecanismo capaz de impartirle el movimiento a este. Para ello se requiere de una estructura dimensionada para soportar los esfuerzos involucrados, con los debidos apoyos.

El mecanismo se compone de una fuerza motriz impuesta por un motor de energía eléctrica y una caja reductora capaz de transmitir movimiento a un piñón, el cual interactúa con una corona solidaria al tambor.

4.3.1.1 Tambor

Se debe adquirir un tambor (cilindro y dos tapas) construido en acero inoxidable 304 de 2 mm de espesor. El cilindro debe tener un largo de 1250 mm y un diámetro de 1480 mm, para lograr una capacidad de 2152 L. Los detalles constructivos de diseño se encuentran en el <u>Apartado 5.3.2 Características de diseño del tambor</u>.

4.3.1.2 Estructura de apoyo

Se debe adquirir una estructura reticulada a utilizarse como base de apoyo del tambor y otros elementos. Construido de perfiles PNC 100x50 y PNI 100 según el diseño desarrollado en el <u>Apartado 5.3.5 Estructura de apoyo</u>.

4.3.1.3 Cintas de apoyo, ejes de apoyo y rodamientos

El tambor debe contar con dos cintas que permitan la rodadura sobre los ejes de apoyo. Dichas cintas, abulonadas al perímetro del tambor, deben ser construidas en acero AISI 1045 225 RECO¹ con dimensiones de ancho en 50 mm y un espesor de 15 mm. Por más detalles consultar el Apartado 5.3.2.3 Cintas de apoyo.

Se deben construir cuatro ejes de apoyo en acero AISI 1045 225 RECO mediante el torneado de una pieza única como se detalla en el <u>Apartado 5.3.3.1 Ejes de apoyo</u>.

Sobre cada eje de apoyo se montarán dos rodamientos rígidos de bola de una hilera, que permiten la rotación del conjunto. Los rodamientos deben contar con diámetro interno de 12 mm, para una revolución de la pista interna de 34,35 rpm. La carga radial con la que se cuenta es 5,64 kN, la carga axial de 0.98 kN, y la carga dinámica de 2,82 kN. Se montarán y se fijarán a la estructura reticulada mediante soportes de pie del tipo brida pedestal de acero fundido.

Se sugiere la selección del rodamiento FAG tipo S de la serie 162, con soporte P16203/12.

¹ 225 es la dureza de Brinell y RECO hace alusión al tratamiento térmico de recocido, ver <u>Tabla 55</u>.

4.3.1.4 Piñón y corona

Se debe adquirir un piñón y una corona construidos en acero AISI 1045 225 RECO², el piñón se debe montar sobre el eje de salida del motorreductor, mientras que la corona se debe abulonar a una de las tapas (la opuesta a la que tiene el visor). Por más detalles constructivos, dirigirse al Apartado 5.3.4.2 Diseño de la corona y piñón.

4.3.1.5 Motorreductor

El motorreductor por instalarse debe soportar un torque crítico de $989,2\ Nm$ impartida en la corona, y con una velocidad de salida en eje del motorreductor inferior a 7,4 rpm. Por ello debe ser un motorreductor del tipo doble tornillo sin fin.

Se sugiere adquirir el motorreductor AC FA77DRK90M4 de la marca SEW, el cual debe instalarse con un motor de 0,75 kW y utilizarse a 1430 rpm, a fin de obtener los requisitos deseados.

Por más detalles constructivos referirse al Apartado 5.3.4 Transmisión de movimiento.

4.3.2 Sistema de ventilación

El sistema de ventilación se compone de una turbina impulsora centrífuga de aire capaz de entregar 5,8 MPa y un caudal de 540 m³/h. Además, deben adquirirse 25 m de tubos galvanizados de 150 mm de diámetro, 6 codos curvos de 90° para esta sección, 1 m de tubo en acero inoxidable 304 de 2 mm de espesor con perforado de ranuras de 2 mm y 6 damper motorizados. La alimentación debe ser en conexión a línea monofásica de 230 Vca 50 Hz.

Se sugiere instalar la turbina modelo AATVC 500 2,2kW 3400 de Fanware ya que según las especificaciones del fabricante se cumple con lo requerido para esta instalación.

Por más detalles constructivos referirse al Apartado 5.3.7 Sistema de ventilación.

4.3.3 Sistema hidráulico

Se requiere de una instalación hidráulica para suministrar el agua necesaria para el proceso de lavado y remojado, más el control de la humedad interna al tambor durante la etapa de germinación.

El sistema debe contar con bomba impulsora centrífuga capaz de entregar un caudal de 0,625 L/s (37,5 L/min) y superar una carga máxima 23,26 m.c.a. La alimentación debe ser en conexión a línea monofásica de 230 Vca y 50 Hz.

Según el diseño planteado se deben adquirir 5 m de tubos con sección de 3/4" en Schedule 5SA. El material será de acero inoxidable AISI 304. Se ha de contar con 7 codos roscados de 90°, de acero inoxidable AISI 304.

Como accesorios se debe instalar un recipiente de almacenamiento de agua de 300 L, y una boquilla de aspersión para el atomizado interno del tambor, una válvula de tres vías con accionamiento por servomotor y una válvula esférica con accionamiento por servomotor.

4.3.4 Equipo deshumificador

En la etapa de secado y para controlar la humedad durante la germinación, se debe retirar el agua de los granos mediante la extracción de aire saturado (próximo al 100% de humedad). Para esto el equipo debe sustraer 5,6 kW del aire por metro cubico de aire que ingrese al sistema (aire con 60% HR y 20 °C) a fin de bajar su contenido de agua, la cual se drenará fuera del sistema de ventilación. A su vez, el equipo debe operar a un caudal de 540 m³/h.

² 225 es la dureza de Brinell y RECO hace alusión al tratamiento térmico de recocido, ver <u>Tabla 55</u>.

El equipo a instalarse debe ser un sistema de refrigeración, donde la alimentación ha de ser en conexión a línea monofásica de 230 Vca 50 Hz. Se sugiere adquirir el equipo marca BAXI modelo RZGND70, con unidad evaporadora a instalarse dentro del circuito del sistema de ventilación. Esta marca cuenta con al menos un representante en Uruguay, por lo que puede ser adquirido en el mercado local

El equipo requerido, será capaz de extraer agua del aire, a razón de 14,5 ml/h cuando el aire ingresa a 5 °C y 60% HR, y debe extraer 28 ml/h con el aire ingresando a 30 °C y 60% HR.

El fabricante del equipo seleccionado especifica una potencia de refrigeración máxima de 8,2 kW para el equipo seleccionado, por lo que es aceptable instalarlo y se tendrá un coeficiente de seguridad de 1,5 para este equipo.

Por más detalles sobre la selección del equipo, dirigirse al Apartado 5.3.8.

4.3.5 Equipo de refrigeración

El aumento de la temperatura interna debido a la propia germinación de los granos debe ser reducida por un equipo de refrigeración. Debe seleccionarse un sistema de refrigeración tal que el evaporador pueda retirar del circuito 4,8 kW y suministrar 6,2 kW al funcionar como bomba de calor.

Pero este quipo también será utilizado como bomba de calor durante el secado y la demanda energética del proceso en esta etapa es de 8,4 kW, por lo tanto, debe adquirirse uno tal que al funcionar como bomba de calor entregue esta última potencia al sistema, cuando sea necesario refrigerar durante la germinación con este equipo, la energía retirada del sistema será más que suficiente. El mismo debe ser capaz de manejar un caudal de 540 m³/h de aire, ingresando a 20 °C y 60% HR

La alimentación debe ser en conexión a línea monofásica de 230 Vca 50 Hz Se sugiere adquirir el equipo marca BAXI modelo RZGND100, con unidad evaporadora a instalarse dentro del circuito del sistema de ventilación. Esta marca cuenta con al menos un representante en Uruguay, por lo que puede ser adquirido en el mercado local.

El fabricante del equipo seleccionado especifica una potencia de refrigeración máxima de 13 kW para el equipo seleccionado, por lo que es aceptable instalarlo y se tendrá un coeficiente de seguridad de 1,5 para este equipo.

Por más detalles sobre la selección del equipo, dirigirse al Apartado 5.3.8.

4.3.6 Equipo generador de calor

Para lograr temperaturas en las que sea posible hornear o tostar, para generar maltas "negras", se debe adquirir un equipo que sea capaz de suministrar una potencia de 31 kW al aire.

Para ello el quemador debe ser del tipo indirecto, y ser capaz de manejar un caudal de 540 m³/h de aire, ingresando a 20 °C y 60% HR. El suministro energético ha de ser en conexión directa a gas GLP.

Se sugiere adquirir el quemador indirecto de la compañía Comtherm Ltd., el modelo HEM.

Por más detalles referirse al <u>Apartado 5.3.8 Selección de equipo deshumidificador, de</u> refrigeración y generador de calor.

Capítulo 5. Ingeniería de detalle

5.1 Ingeniería de proceso

5.1.1 Carga del tambor

En este diseño de equipo, el ingreso de la mercadería hacia el interior del tambor se debe realizar por la compuerta manual. Desde el panel de control HMI se debe accionar manualmente el motorreductor hasta posicionarlo de modo que la compuerta corrediza quede verticalmente en la parte superior del equipo.

Escapa del alcance de este proyecto el modo de carga del tambor ya que depende de los elementos que disponga quien lo opere. La recepción de la cebada puede diferir según el proveedor y como se comercialice esta. Normalmente se entrega en "Big Bags" de 500 kg o 1000 kg, y en tal caso se puede elevar el bolsón y descargarlo dentro de una tolva que dirija los granos hacia el interior del tambor. De lo contrario utilizar algún equipo de elevación de granos móvil o lo que esté al alcance de la cervecería que adquiera el tambor de malteado.

De igual modo, es conveniente emplear una limpiadora y clasificadora de granos, con el fin de retirar impurezas y obtener granos de iguales dimensiones de modo que la futura germinación sea homogénea. Ya que diferentes tamaños de granos germinan a diferentes velocidades provocando una disminución de la calidad de la malta obtenida.

Una vez cargados los 500 kg de cebada (12% HRG), como máximo, dentro del tambor, esta ocupará el 50% del volumen según el diseño exprofeso del tambor.

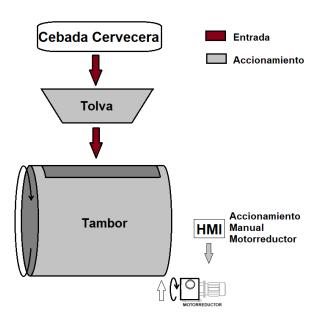


Ilustración 11: Proceso de carga al tambor (elaboración propia).

5.1.2 Lavado y remojado

Para la etapa inicial de malteado se debe inundar en agua el grano contenido dentro del tambor; esto permite el lavado de los granos y su hidratación que activa las enzimas que se encuentran dentro de estos, preparándolos para la germinación.

Primeramente, la electrobomba del sistema hidráulico suministra el agua hacia dentro del tambor a un caudal de 0,625 L/s. Para ello el caudalímetro asociado debe detener el llenado al contabilizar 300 L.

Al unísono el tambor comienza a rotar permitiendo el movimiento de la masa de granos, generando rozamiento entre estos, limpiándose sus superficies. Para esto se activa el sistema de movimiento mediante el encendido del motorreductor que imparte movimiento en la corona.

El movimiento rotacional durante el lavado y remojado se mantiene durante una hora, con el tambor rotando a 30 rph. Transcurrido este tiempo, el tambor se detiene en una posición determinada por el sensor de posición, una vez allí posicionado se activa la válvula esférica de desagote que permite drenar el agua hacia un desagüe preestablecido en la planta cervecera. El tiempo estimado para el desagote es de 15 minutos, según se analizó en Apartado 6.1 Tiempo de desagote de la memoria de cálculo. Luego de esto la válvula se cierra, y el tambor está listo para el siguiente paso.

Transcurrido el tiempo de desagote, se inicia la etapa de venteo que permite la renovación del aire interior, generando así la oxigenación adecuada del grano. Para esto se acciona el sistema de ventilación, de modo que se encienda la turbina direccionando el flujo forzado por el circuito hacia el exterior. Al mismo tiempo el sistema de movimiento se activa, para que el flujo de aire interno permita incidir sobre todos los granos. La oxigenación del grano permite que el embrión de la planta no muera por falta de este.

Este proceso se cumple durante una hora, y transcurrido el lapso se detiene nuevamente en el sensor de posición.

Nuevamente, se repite el proceso de inundación y la posterior aireación, cumpliéndose el ciclo tres veces consecutivas.

Inicialmente el grano de cebada posee un 12% de humedad, y luego de la hidratación puede llegar a valores del 43% al 48%. Esto evidentemente aumenta el volumen del grano, pudiendo alcanzar hasta un 40% de su volumen inicial (Mallett, 2014).

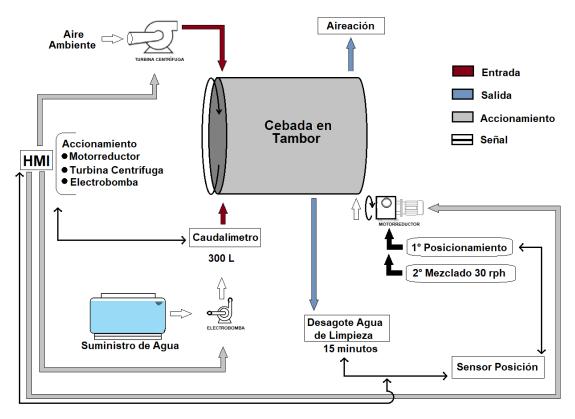


Ilustración 12: Proceso de lavado y remojado en tambor (elaboración propia).

5.1.3 Germinación

Para una correcta germinación se debe controlar con precisión las condiciones ambiente internas del tambor. Si las condiciones de humedad y temperatura son las adecuadas, se produce el crecimiento de la raíz.

El sistema de control mediante el humedímetro y la medición de la temperatura gobierna las condiciones internas. Si la temperatura aumenta a medida que la masa de granos germina, esto debido a que la geminación es una reacción exotérmica, se debe corregir la temperatura ambiente actuando sobre el equipo de refrigeración incluido en el sistema de ventilación.

Así mismo, si la humedad interna disminuye con el tiempo, debido a la adsorción de agua que realiza el grano y la humedad extraída durante la aireación, se debe suministrar agua de reposición en modo llovizna. En caso opuesto, si la humedad se excede se debe retirar el aire saturado y sustituirse con aire seco, ya que una concentración excesiva de agua puede descomponer el grano.

A medida que las raíces crecen, las mismas comienzan a enredarse a tal punto que si no existiera el movimiento entre sí de los granos para que los separe, la masa se convierte en un "bloque" desregulándose la homogeneidad de la geminación, inhibiendo la aireación y consecuentemente la muerte enzimática de aquellos granos internos a la masa, que no reciben la humedad y oxígeno adecuado.

Para evitar esto, el sistema de movimiento se activa generando la rotación del tambor a 30 rph, y así la circulación de los granos entre sí. Adicionalmente, el movimiento continuo de la masa de granos evita la proliferación de hongos que perjudican la calidad del proceso.

El sistema de ventilación juega un rol importante en este proceso ya que cumple con variados propósitos. Principalmente, se requiere de la renovación interna del oxígeno mediante el flujo forzado de aire. Para esto se enciende la turbina que suministra un caudal de 540 m³/h.

Para la etapa de germinación, que se extenderá por cinco días, el sistema de movimiento y ventilación se encenderán al mismo tiempo durante una hora, en intervalos repetitivos cada una hora (una hora encendido, una hora apagado), si es que no se vieran alteradas las condiciones internas de temperatura y humedad, de lo contrario se activarán los sistemas y equipos para corregir el estado interno.

Por otro lado, el sistema de ventilación incorpora el equipo de refrigeración, el cual mediante el intercambio aire-gas refrigerante, realizado en la evaporadora, logra disminuir la temperatura del aire a suministrarse al tambor en caso de que la temperatura interna aumente por encima del valor seteado.

La selección de la temperatura de germinado dependerá del maestro maltero, entendiendo que la temperatura afecta el tiempo del germinado y así las propiedades conseguidas. Como proceso estándar de la germinación, la temperatura oscila entre 12°C y 20°C.

Adicionalmente en la estación de invierno donde las temperaturas de aire ambiente y agua a proporcionar pueden ser bajas, el equipo de refrigeración puede invertir el ciclo y brindar un aumento de la temperatura del aire hacia el tambor, si es que la temperatura interna es muy baja empobreciendo el tiempo de germinado.

Como tercer punto dentro del sistema de ventilación, se incorpora a dicho circuito, el equipo deshumificador. Este, en caso de que la humedad interna del grano propasara el 45%, es capaz de brindar aire seco al tambor para captar humedad y liberarla al ambiente externo.

Otro requerimiento en la etapa de germinación es la hidratación de los granos. Se debe evitar la deshidratación durante la aireación para oxigenar. El sistema lógico, mediante el humedímetro interno del tambor, actuará sobre el sistema hidráulico para corregir la situación, si es que la humedad desciende por debajo del 30%. Así, se activará la electrobomba y donde previamente se posicionará la electroválvula hacia el circuito de aspersión. Una boquilla atomizadora brinda una "llovizna" que empapara la masa de granos hasta que el humedímetro llegue al valor seteado, y se interrumpe el agregado de agua.

La germinación debe culminar cuando el brote de la raíz alcance un largo estimado de una vez y media el tamaño del grano. El maestro maltero estima el tiempo en función de sus objetivos y puede variar este tiempo de crecimiento. Se realizarán muestras o el uso del visor que se encuentra en el tambor.

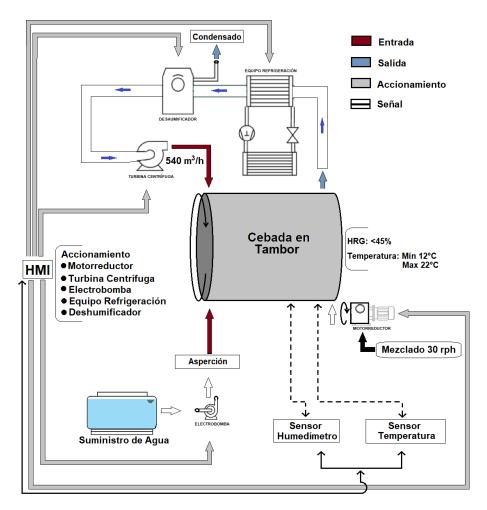


Ilustración 13: Proceso de germinación en tambor (elaboración propia).

5.1.4 Secado

El proceso de secado de los granos germinados tiene como objetivo detener el proceso de germinación en el momento conveniente. Esto se realiza mediante la sustracción del agua a modo de detener la acción enzimática, mientras que en el interior del grano yace el almidón desarrollado el cual hace que el grano crezca en tamaño.

Para lograr el proceso se debe emplear el sistema de ventilación en el circuito que combina el equipo deshumificador y el equipo de acondicionamiento térmico, ya que se permite ingresar al volumen de control aire seco (a una temperatura de 44 °C) y lograr la extracción efectiva de la humedad.

El tiempo del proceso es en función del tipo de malta a elaborar, el cual será establecido por el maestro maltero. Además, la calidad final de la malta dependerá de su contenido de humedad; por ejemplo, si se busca obtener malta base (para almacenar) el contenido de humedad debe ser del 12%.

Con la extracción de agua de la masa de granos se logra "marchitar" las raíces, ya que estas pierden humedad y terminan deshidratándose, quedando levemente ligadas al embrión del grano, para que en la etapa final sean separadas de la malta.

La condición ambiente interna del tambor, según se analiza en el <u>Apartado 6.6 Análisis</u> <u>energético</u>, tiene en cuenta que la temperatura del grano no debe exceder los 38 °C para guardar su naturaleza. Por otro lado, se establece que el estado del aire al ingreso del tambor debe

comprenderse en una temperatura entre los 20°C a los 44 °C máximo, con un contenido de HR menor o igual a 15%.

A la salida del tambor, se estima que la HR del aire sea de 90 % y la temperatura del grano en dicho momento será próxima a los 20 °C (dependiendo de las condiciones ambientales externas), donde además la HRG decaerá a medida que el grano se seca.

Durante este proceso se debe rotar el tambor a 30 rph mediante el sistema de movimiento, de modo de movilizar la masa de granos para que todos queden expuestos a la inyección de aire, y además el movimiento entre ellos comienza a desprender las raíces generadas durante la germinación.

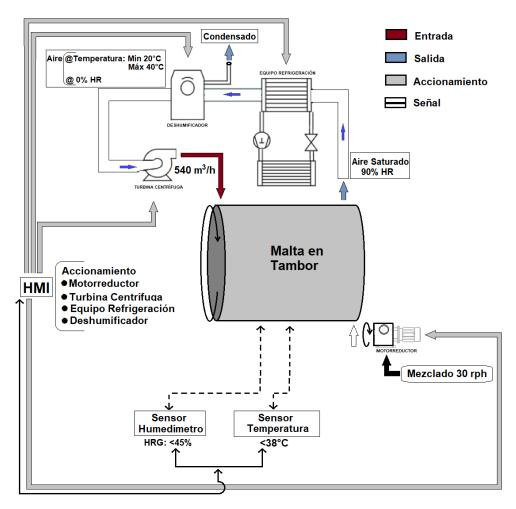


Ilustración 14: Proceso de secado en tambor (elaboración propia).

5.1.5 Horneado

La etapa final para lograr la elaboración de una malta especial surge en el proceso de horneado de los granos. Las reacciones químicas internas del grano al estar expuestos a condiciones ambiente de temperatura elevada y el consecuente fenómeno evaporativo de la humedad del grano configuran el estilo de malta especial que se busca.

En la etapa de horneado se logra tostar los granos malteados para lograr distintas variedades de maltas especiales según la configuración y parametrización que establezca el maestro maltero. Debido a que las variedades dependen del tiempo en que se desea desarrollar el proceso, la temperatura de tostado, y la humedad buscada. De hecho, previo a la etapa de secado se puede pasar directamente a la de horneado, para lograr un tostado particular donde una fuente de

calor considerable en breve tiempo evapore la humedad del grano; de lo contrario distintas configuraciones resultaran en variedad de sabores finales.

Para este proceso se requiere del sistema de ventilación como vía energética del equipo generador de calor. Este último eleva la temperatura del aire a fin de hacerlo circular a través de la masa de granos y elevar la temperatura de estos. Para maltas claras se requieren grandes caudales de aire a bajas temperaturas, cercanas a los 76 °C; mientras que para lograr maltas oscuras se requiere de temperaturas superiores a los 175 °C hasta los 250 °C. Esto determina que en el proceso se debe controlar la temperatura.

Para este proyecto es importante contar con una fuente energética rentable y que procure una eficiencia adecuada, dentro de los requerimientos del proceso.

El sistema de movimiento debe incluirse para la rotación de la masa de granos, logrando un tostado uniforme (30 rph como configuración preestablecida).

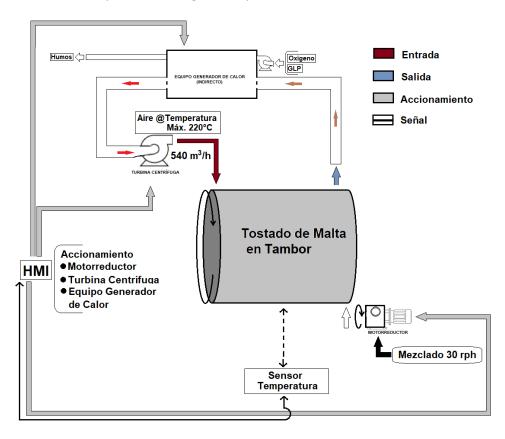


Ilustración 15: Proceso de horneado en tambor (elaboración propia).

5.1.6 Retiro de la malta

En este equipo, la extracción de la malta desde el tambor se debe realizar por la compuerta manual. Utilizando el panel de control HMI se debe accionar manualmente el motorreductor hasta posicionarlo de modo que la compuerta corrediza quede verticalmente en la parte inferior del equipo.

La malta cae por gravedad en una tolva, la cual con un mecanismo debe ser transportada al equipo encargado de la remoción y extracción de las raíces, dejando la malta libre de impurezas.

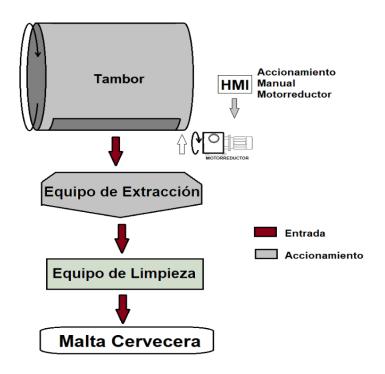


Ilustración 16: Proceso de extracción de la malta (elaboración propia).

Escapa del alcance de este proyecto el equipo de extracción y limpieza de la malta.

5.2 Ingeniería de automatización

El hardware del sistema de automatización se compone de un PLC marca ABB y modelo AC500 PM564-ETH y un Panel de control CP 651. Además, se deben añadir módulos de entrada y salida, tal que se tengan al menos: cuatro entradas analógicas (AI 561), ocho salidas digitales (DO 561) y dos entradas digitales (DI 561).

Téngase en cuenta que los sensores a instalarse en el tambor deben ser resistentes al agua y soportar hasta 250 °C.

Posteriormente, se presenta una tabla con los elementos que componen el sistema y sus cantidades.

Sensores	Cantidades
PLC AC500 PM564-ETH	1
Expansión de entradas y salidas digitales	1
Panel de control CP 651	1
Sensor flujo aire	1
Sensor temperatura	3
Sensor humedad en grano	1
Sensor posición	1

Tabla 4: Elementos automatismo (elaboración propia).

5.2.1 Cableado

A continuación, se presentan en las siguientes imágenes el unifilar del cableado pertinente al sistema de automatización, para mejorar su visualización el mismo se dividió en 4 cuadrantes de la forma que se muestra en la siguiente ilustración.

Cuadrante 1-1 Cuadrante 1-2 Cuadrante 2-1 Cuadrante 2-2

Ilustración 17: Cuadrantes del unifilar (elaboración propia).

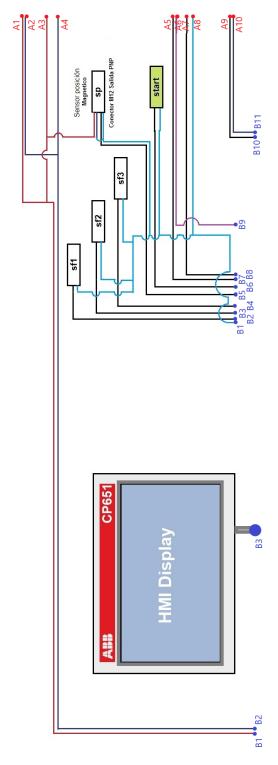


Ilustración 18: Unifilar PLC, cuadrante 1-1 (elaboración propia).

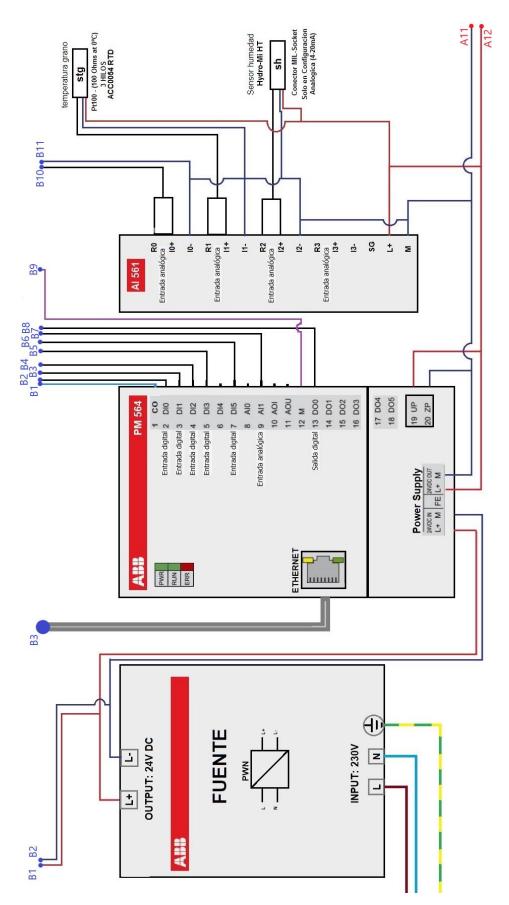


Ilustración 19: Unifilar PLC, cuadrante 2-1 (elaboración propia).

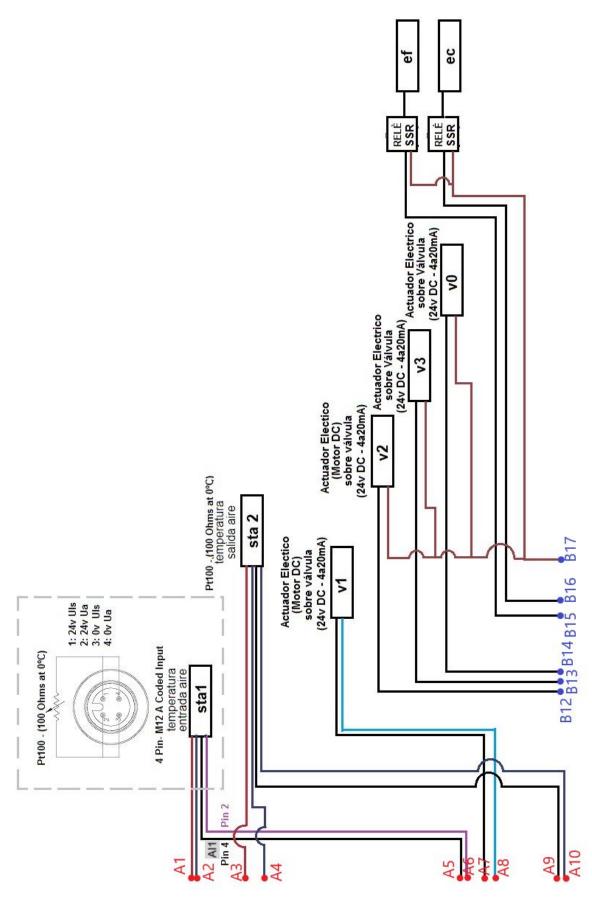


Ilustración 20: Unifilar PLC, cuadrante 1-2 (elaboración propia).

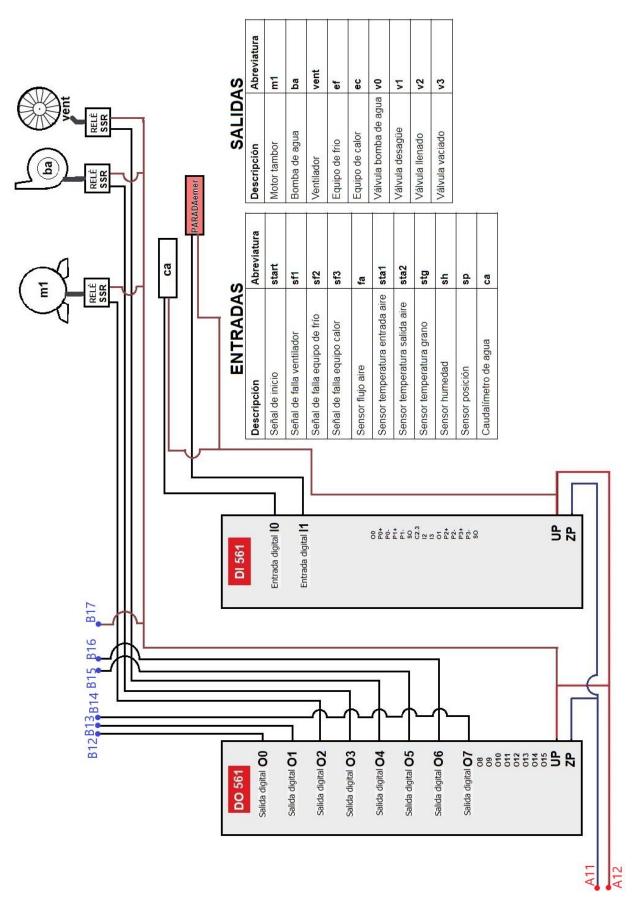


Ilustración 21: Unifilar 2 PLC, cuadrante 2-2 (elaboración propia).

5.2.2 Descripción programa PLC

A continuación, se procede a mencionar las variables de entrada y salida (ver Tabla 5 y Tabla 6) a efecto de tener presente los equipos y elementos involucrados en el proceso, los mismos se muestran distribuidos en la Ilustración 20: Diagrama de flujo (imagen siguiente).

Para el desarrollo de este programa de PLC, se contemplan las señales y actuadores de las válvulas de carga y descarga del tambor. Se destaca que estos equipos periféricos para carga y descarga de granos escapan del alcance de este proyecto, no obstante, se incorporan al diseño para futura implementación.

Tabla 5: Variables de entrada (elaboración propia).

Descripción	Abreviatura	Tipo
Señal de inicio	start	BOOL
Señal de falla ventilador	sf1	BOOL
Señal de falla equipo de frío	sf2	BOOL
Señal de falla equipo calor	sf3	BOOL
Sensor flujo aire	fa	BOOL
Sensor temperatura entrada aire	sta1	INT
Sensor temperatura salida aire	sta2	INT
Sensor temperatura grano	stg	INT
Sensor humedad	sh	INT
Sensor posición	sp	BOOL
Caudalímetro de agua	ca	INT

Tabla 6: Variables de salida (elaboración propia).

Descripción	Abreviatura	Tipo
Motor tambor	m1	BOOL
Bomba de agua	ba	BOOL
Ventilador	vent	BOOL
Equipo de frio	ef	BOOL
Equipo de calor	ec	BOOL
Válvula bomba de agua	v0	BOOL
Válvula desagüe	v1	BOOL
Válvula llenado	v2	BOOL
Válvula vaciado	v3	BOOL

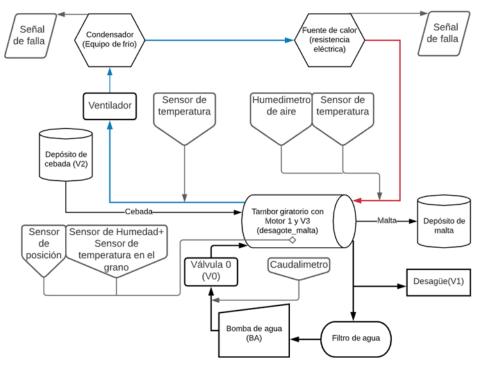


Ilustración 22: Diagrama de flujo (elaboración propia).

5.2.2.1 Pasos que debe realizar el equipo en el programa para maltear

- 1. START: El equipo se encuentra apagado esperando a ser encendido
- 2. **LLENADO Cebada**: Abrir la válvula llenado (**v2**) durante un tiempo determinado para dejar ingresar la cebada al tambor.
- 3. **LLENADO Agua**: Apertura de la válvula bomba de agua (**v0**) y encendido de la bomba de agua (**ba**) hasta completar los 300 L de agua.
- 4. **AGITAR**: Encendido Motor 1 (**m1**) a 30 rph durante 1 h. Luego posicionar tambor en 0 (donde se encienda **sp**) y apagar **m1**
- 5. **DESAGOTE Agua**: el tambor debe estar en posición 0, luego abrir válvula desagüe (**v1**) durante 1h y cerrar la misma cumplido el tiempo.
- 6. Repetir pasos 3, 4 y 5 (manteniendo el orden) dos veces más.
- 7. **GERMINACIÓN:** Mantener durante 5 días (valor seteable en pantalla: stp 1) las siguientes condiciones en el tambor operando la **ba**, ventilador (**vent**), equipo de frío (**ef**), equipo calor (**ec**) y **m1**:
 - a. Humedad del grano: 40% a 60% (rango seteable en pantalla: stp 2 y stp 3)
 - b. Temperatura del grano: 12 °C a 20 °C (rango seteable en pantalla: stp 4 y stp 5)
 - c. Tambor a 30 rph
- 8. **SECADO:** En 6 h bajar la humedad del grano a un máximo de 12% (valor seteable en pantalla: stp 6) operando el **ef**, **ec**, **vent** y **m1** (tambor a 30 rph).
- 9. **TOSTADO:** Encender **m1** (mantener el tambor a 30 rph), elevar la temperatura del grano a 180 °C (valor seteable en pantalla: stp 7) y mantener durante 1 h (valor seteable en pantalla: stp 8).
- 10. Posicionar el tambor en 0, luego abrir válvula vaciado (v3) durante 1 h.

En paralelo a los pasos antes mencionados se debe tener en cuenta la existencia del botón de parada de emergencia, el cual al ser activado detiene todo equipo que está en funcionamiento. Cuando la orden de reinicio es activada el proceso debe continuar desde el mismo punto y tiempo que tenía al momento de activar la señal de emergencia, lo mismo ha de suceder con las señales de falla de los equipos.

5.2.2.2 Elementos para visualizar en pantalla

Se deberá tener las tres señales de falla en la pantalla con una luz indicadora mencionando el elemento que falla, ej. "Falla Equipo Frío" más la luz de emergencia general con un botón para activarla de ser necesario. Se deberán encontrar también un botón de "START" y el de "Re-inicio" (a usarse para desactivar la parada de emergencia). Se deben presentar también un par de relojes que indiquen la humedad y temperatura del grano.

Serán visibles las etapas del malteado, las cuales se mostrarán con luces que se enciendan a medida que el proceso avance, las etapas a mostrar son: llenado cebada, lavado y remojo, germinación, horneado, vaciado tambor. También han de presentarse con luces los equipos que se enciendan (válvula llenado, bomba de agua, motor del tambor, válvula desagüe, ventilador, equipo de frio, equipo de calor), estas luces se encenderán cuando el equipo se encuentre activo. Al lado de cada una de estas luces se encontrará un botón para forzar el movimiento del equipo.

Cada botón incorporado a la pantalla deberá llevar una luz de confirmación de color verde que se encienda cuando la señal sea enviada. Los mismos se han de mantener presionados para que se genere la señal a excepción del botón de emergencia.

En la parte superior de la pantalla se encontrará un botón que llevará a otra pantalla (pantalla 2) en esta se encuentra el mismo botón, pero llevará a la pantalla anterior (pantalla 1).

En la pantalla 2 se encontrará todo lo referido al seteado ya advertido en la descripción de las tareas del programa. Se presentarán 3 configuraciones básicas (Pilsen, Caramelo y Dark Cristal) en forma de botón y luz de confirmación indicando cual está seleccionada, y además se encontrará un cuarto botón para el seteo personalizado el cual será introducido por el operario desde la pantalla. En la tabla siguiente se presentan los valores de seteo para cada configuración.

Set Point (stp)	Pilsen	Caramel	Dark Cristal
1	5	6	5
2	40	40	40
3	60	60	60
4	15	15	15
5	20	20	20
6	12	60	30
7	40	80	120
8	1	0	0.5

Tabla 7: Valores de seteo para el programa (elaboración propia).

En la siguiente imagen se presenta una previsualización de la pantalla principal del panel de control desarrollado en el programa Automation Builder de ABB.

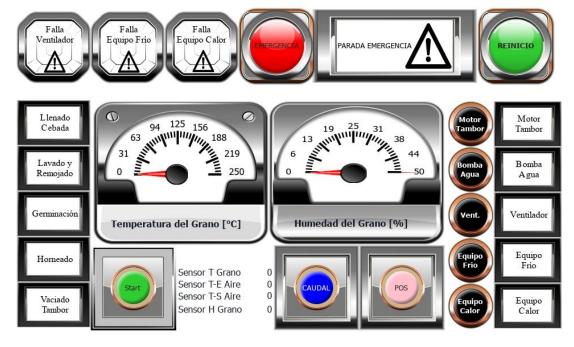


Ilustración 23: Panel de control (elaboración propia).

5.2.3 Programa

El programa se elaboró en lenguaje de bloques utilizando el programa Automation Builder de ABB, por razones de tamaño y formato, el mismo se encuentra como imágenes en el Anexo 8.3

5.3 Ingeniería mecánica

5.3.1 Dimensionamiento y optimizado del tambor

5.3.1.1 Primera estimación de volumen

Para producir 450 kg de malta, es necesario iniciar con 500 kg de cebada seca, la cual ocupa 763 L, dado que al germinar el volumen se incrementa, según el experimento de peso hectolítrico (ver <u>Anexo 8.4</u>) se tendrán 1633 L. Como condición del experimento de mezclado (ver <u>Anexo 8.5</u>) el volumen ocupado en el tambor no debe ser superior al 75% de este, por lo que el tambor ha de tener 2032 L.

En el <u>Apartado 6.2 Dimensionado del tambor</u>, se presentan las ecuaciones utilizadas para obtener la mínima área a utilizar para el volumen requerido (2032 L), donde las medidas a emplear son 1,37 m de diámetro y largo, dando lugar a 8,88 m² de área.

Estas medidas serán sometidas a cambios, ya que luego, dentro del cilindro se introducen los deflectores y otros elementos que ocupan volumen, por lo que el tamaño del cilindro se incrementará. Y se puede apreciar en los apartados siguientes.

5.3.1.2 Estudio de mezclado

El mezclado de sustancias sólidas particuladas se logra al cambiar las posiciones relativas de estas debido a un movimiento impuesto externamente. En este proyecto se analiza el objetivo del mezclado de los granos de cebada con la meta de alcanzar una mezcla homogénea para que las distintas etapas del proceso de malteado se cumplan uniformemente para todos los granos.

Se pueden reconocer tres clases o mecanismos de mezclado de sólidos particulados dentro de un recipiente de mezcla. Por *convección*, donde la masa de partículas se desplaza en conjunto

de un lugar a otro, esto implica un mezclado a una escala a granel, sin alcanzar un mezclado en una escala micro entre una misma sustancia o en adición a otra. La mezcla por difusión tiene como objetivo que las partículas se proyecten de manera aleatoria variando sus posiciones en variadas direcciones. Se alcanza una efectiva homogenización a nivel microscópico, pero el traslado de las partículas por la totalidad de la masa resulta lenta o nula.

La mezcla por *deslizamiento* o también denominada por *cizallamiento*, contempla el traslado a través de planos de deslizamiento sobre la misma masa, donde esto puede deberse a diferentes velocidades de traslado de las partículas, considerándose muchas veces como un subgrupo de la mezcla convectiva. Este fenómeno se observa en los movimientos de partículas contenidas en recipientes cilíndricos en movimiento rotacional, por ejemplo.

En este caso estudiado de la cebada en un tambor en rotación, y bajo el análisis de (Barbosa, Ortega, Juliano, & Yan, 2005), estos tres fenómenos de mezclado se dan en simultáneo. Iniciándose el movimiento de las partículas con un mecanismo convectivo, tal como se observó incluso experimentalmente (Ver Anexo 8.5 Experimento de Mezclado), las partículas comienzan a deslizarse desde una altura superior hacia la base del cilindro, en un plano paralelo al eje rotacional del recipiente. La pendiente de deslizamiento está dada por el tipo de material, y es ligeramente mayor al ángulo de reposo. Posteriormente, se encuentra un mecanismo de difusión de la masa, lo que permite que de allí en adelante se logre una interacción aleatoria entre los granos; acrecentada por la proyección de granos si es que la velocidad de rotación fuese muy elevada.

Es notorio resaltar, que una eficiencia total de mezcla jamás podrá ser alcanzada, punto donde se la denominaría mezcla Binaria, es decir que todos los granos tengan, independientemente de su posición relativa, las mismas condiciones de germinación. Entonces es más factible buscar lo que se denomina un grado de mezcla, que varía según las sustancias y geometrías de los dispositivos, donde el objetivo más optimista es alcanzar un grado lo más aleatorio posible.

Es posible gracias a muchos autores poder describir la trayectoria y comportamiento de los granos dentro de un recipiente cilíndrico horizontal en rotación, pero en una visión más amplia según el objetivo a alcanzar por este trabajo, es más directo entender el circuito de circulación de los granos en rotación, para poder adaptar los elementos que permiten gobernar el proceso de malteado, ver ilustración a continuación:

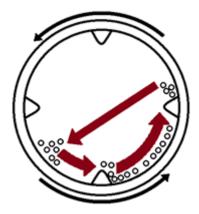


Ilustración 24: Circuito de Circulación de los Granos

5.3.1.3 Deflectores y dimensión definitiva del tambor

El diseño de los sistemas de mezcla no se basa en principios científicos bien establecidos y no hay ningún método disponible para la selección del mezclador. De hecho, la selección de este es principalmente un proceso de prueba y error con la debida consideración a la experiencia previa. El diseño de un sistema mezclador normalmente implica la selección del tipo de elementos que

se espera funcionen mejor, seguido de pruebas de laboratorio en ellas. Para cotejar mezcladores se han establecido criterios científicos para comparar los resultados de las mezclas. Las principales consideraciones son:

- Velocidad de mezcla
- Requisitos de energía
- Eficiencia
- Métodos de diseño
- Criterios de ampliación

Además de las consideraciones anteriores, deben tenerse en cuenta los propósitos de la operación de mezclado, las propiedades del material a mezclar, los problemas de mantenimiento, los costos unitarios y de funcionamiento, y otros asuntos relacionados a la mezcla también deben estar bien definidos. La prioridad de cada uno de estos factores depende de los casos individuales. (Barbosa, Ortega, Juliano, & Yan, 2005).

Según lo antes mencionado, para este equipo de malteado se considera que alcanzar una mezcla homogénea cada una hora es suficiente ya que durante el experimento sobre la densidad de la masa de granos se observó que los granos más cercanos a la superficie (que se encontraban en el recipiente cilíndrico) eran los primeros en generar raíces, este crecimiento se dio durante la noche cuando el grano no era mezclado, durante el día el grano era mezclado a intervalos de 2 a 4 hs para lograr una germinación lo más pareja posible. Sin embargo, como se puede ver en las imágenes del Experimento de Mezclado (ver <u>Anexo 8.5</u>), se aprecian granos con un desarrollo mayor en sus raíces, por lo tanto, para obtener un germinado más parejo es conveniente usar intervalos de mezclado de 1 hora. Este tiempo en conjunto con las revoluciones necesarias (obtenidas en el experimento de mezclado, ver <u>Anexo 8.5</u>) para obtener una mezcla homogénea en el peor caso (capacidad al 75%) dan como resultado una velocidad de 20 rph, sin embargo, en el libro Malt (Mallett, 2014) se menciona el uso de 30 rph, por lo que el orden de revoluciones es similar y se opta por usar 30 rph.

En cuanto a los requisitos energéticos, los mismos estarán ligados a la renovación de aire, acondicionamiento interno para favorecer la germinación, y la aislación del equipo. Los deflectores incidirán en el tiempo que tome obtener la mezcla homogénea, pero los granos no necesariamente llegarán a las condiciones objetivo de humedad y temperatura en un menor tiempo, ya que esto depende de la fisiología del grano y de la energía suministrada.

La eficiencia del mezclador afecta los resultados esperados directamente, ya que, si se toma un volumen de control dentro de la masa de granos, y este no se mezcla con los demás granos o no recibe las condiciones ambientales adecuadas, entonces el producto final será de una calidad inferior. Los bafles usados en el Experimento de Mezclado (ver <u>Anexo 8.5</u>) lograron el nivel de mezcla objetivo, por lo que son aptos para usarse.

Entre otras consideraciones y siendo la principal en este caso, el propósito de mezclado no es único, pero las 3 principales razones radican en:

- 1. Evitar la formación de una masa sólida producto del entrelazado de las raíces.
- 2. Acondicionar adecuadamente todos los granos en un tiempo no perjudicial para
- 3. Impedir el desarrollo de hongos en el grano.

Mientras se desarrolló el Experimento de Mezclado (ver <u>Anexo 8.5</u>), dos de estos propósitos fueron cumplidos, solo se falló en el acondicionamiento de los granos, por las razones mencionadas anteriormente (mezcla a intervalos, temperatura, humedad y renovación de aire no controlada). Consecuentemente los deflectores usados en el experimento son útiles.

El mezclador cilíndrico tiene un recipiente tubular montado en su interior. Los deflectores internos o las barras elevadoras se montan a lo largo de las paredes internas del recipiente. (Barbosa, Ortega, Juliano, & Yan, 2005). La mezcladora gira y los deflectores internos levantan y airean suavemente el material evitando que se deslice por el fondo de la mezcladora; también quitan los grumos del material. (Barbosa, Ortega, Juliano, & Yan, 2005). En lo antes mencionado se describe el equipo y deflectores usados durante el experimento, así como parte de su función.

Por lo tanto, se decide emplear barras paralelas colocadas longitudinalmente, con el fin de evitar el deslizamiento del grano, preservando la distancia del arco que separaba las paletas en el Experimento de Mezclado (ver <u>Anexo 8.5</u>), la misma está determinada por la siguiente ecuación:

$$Separación = \frac{\pi * D}{4}$$

Donde la separación para el experimento era de 39 cm, así, si se usan 8 deflectores en el volumen seleccionado la separación de los mismos es de aproximadamente 54 cm.

Dado que la bibliografía encontrada indica que los deflectores deben ser determinados experimentalmente, y con el fin de ahorrar material y mano de obra, se opta por usar 4 deflectores de forma piramidal. Una vez construida, si el grano se desliza durante la primera prueba, luego de vaciar el equipo, se podrán añadir 4 deflectores más, sumando así un total de 8 y manteniendo la simetría.

Cada deflector será piramidal con base rectangular y tendrá las siguientes dimensiones:

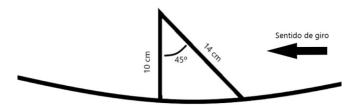


Ilustración 25: Geometría deflector (elaboración propia).

La geometría antes descripta, ayuda a que el deflector arrastre el grano y lo suelte desde la altura, donde la cara de empuje coincide con la pendiente de caída del grano al momento en el que el deflector comienza a salir de la masa de granos.

El largo del deflector irá de extremo a extremo, por lo tanto, cada deflector ocupará un volumen de 13,7 L.

Uno de estos deflectores se fabricará de chapa perforada de 2 mm y actuará como filtro del grano para realizar el desagote de agua por una de las tapas.

Proyectando el hecho de que sea necesario añadir otros 4 deflectores, en caso los 4 iniciales no sean suficientes, se dimensiona nuevamente el tamaño del tambor para recuperar el espacio ocupado por los deflectores (teniendo en cuenta que se pueden instalar 8 como máximo).

Es necesario entonces aumentar el volumen en 109,6 L, se decide aumentar 120 L (correspondientes a 8 kg de malta seca) considerando posibles instalaciones de caños y sensores dentro del grano. Esto incrementa el volumen total del tambor en 2152 L.

Consecuentemente el tambor tendrá 1400 mm de diámetro y de largo, como se detalla en el <u>Apartado 6.2 Dimensionado del tambor</u>.

Si el cilindro (sin las tapas) fuese a construirse a partir de una única chapa, la misma debería ser de 1400 mm x 4400 mm. En el mercado local se pueden encontrar chapas de hasta 1250 x 2500 mm, por lo que no se llegaría al tamaño necesario, una solución a este problema sería soldar una extensión para llegar a 1400 mm de largo y usar 2 chapas para obtener el perímetro necesario (4400 mm).

A fin de reducir costos en la fabricación y materiales a usar, se decide que las medidas del tambor pasan a ser de 1250 mm de largo, por 1480 mm de diámetro.

Descripción	Abreviatura	Medidas y unidades
Volumen	V	2150 L
Largo	I	1250 mm
Diámetro	D	1480 mm
Espesor de chapa	е	2 mm
Perímetro Lateral	Р	4650 mm

Tabla 8: Dimensiones definitivas del tambor (elaboración propia).

Nota: Sobran 1250 mm x 350 mm de chapa que pueden emplearse para hacer uno de los deflectores.

5.3.1.4 Estimación de la masa del tambor en capacidad máxima

Con las dimensiones y criterios adoptados en el <u>Apartado 6.3 Esfuerzos a tener en cuenta</u> se estudian las magnitudes de masa de los elementos a tener en cuenta para el posterior dimensionamiento de la estructura de apoyo.

En síntesis, para el dimensionamiento de la estructura, en su conjunto de piezas móviles y reticulado, deben ser capaces de tolerar un peso máximo de 2002 Kg.

5.3.2 Características de diseño del tambor

5.3.2.1 Selección de material para el tambor

El elemento comúnmente utilizado en la industria alimenticia es el acero inoxidable 304 dadas sus cualidades ante la corrosión o ambientes adversos, más el grado de importancia que asume la higiene interna del tambor en este caso.

La producción de malteado del grano requiere de niveles de humedad significativamente altos, un acero inoxidable se constituye de una alineación con cromo que inhibe la acción del oxígeno circundante con el propio hierro. La utilización de galvanizados y anticorrosivos estaría injustificada ante el desgaste que provocarían los propios granos sobre las paredes del recipiente.

Se considera a la vez que, en la etapa de germinado, secado o cocción del grano, es importante mantener la atmósfera gaseosa "pura" librándola de cualquier contaminación de gases provenientes de materiales expuestos a tal proceso. Por eso se descarta cualquier protección por proceso de pintado.

Un punto no menor, es la porosidad de los elementos utilizados, al igual que sus uniones y soldaduras, ya que es conveniente no retener material contaminante (sedimentos) o materia que se degrade, especialmente en lugares de difícil acceso para limpieza manual sin el uso de productos químicos, ya que al usar materiales no porosos la limpieza puede hacerse con agua y cepillos, adicionalmente se puede usar un detergente suave.

En conclusión, se opta por utilizar acero inoxidable 304, como material comercializado para los fines anteriormente descriptos, siendo su costo en mercado más conveniente.

5.3.2.2 Detalles constructivos del tambor

Dentro del tambor se hayan los cuatro deflectores triangulares de 100 mm de alto y 140 mm de hipotenusa (45° entre paredes) y ocupando el largo total del tambor. Uno de estos deflectores debe construirse en chapa perforada en forma de ranura, con una apertura de 2 mm. En una de las tapas laterales debe ubicarse una salida para acople de válvula 1" posicionada dentro del área del deflector perforado y lo más alejada del centro posible permitiendo el correcto desagote de agua.

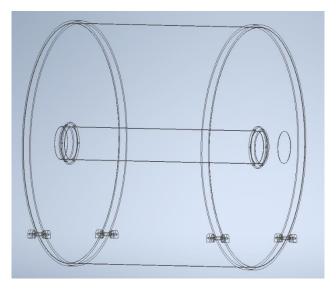


Ilustración 26: Detalle constructivo ducto central y visor (elaboración propia).

En una de las tapas laterales debe incluirse un visor para control ocular. A su vez, las tapas laterales contarán con una perforación concéntrica de diámetro 200 mm donde se colocará un tubo construido en acero inoxidable 304 de espesar 2 mm. Dicho tubo albergará en su interior las canalizaciones del sistema de ventilación e hidráulica, así como los respectivos cableados de sensores. El tubo se mantendrá fijo mientras el tambor rota concéntricamente entorno a este. Entre el tubo central y las tapas laterales del tambor se colocar una junta de teflón que impida la fuga de agua y resista la temperatura interna de horneado. Ver siguiente imagen.

Para la carga y descarga de los granos, se debe incluir en el tambor una escotilla con corredera. La misma se ubica entre los deflectores y cuenta con dimensiones 1000 mm de largo por 1000 mm de ancho, construido en forma cilindrada para acompañar el perímetro del tambor. Debe contar con un sello de teflón para evitar las fugas de agua y resistir las temperaturas de horneado. Contará con una cerradura del tipo abrazadera de palanca. El material constructivo de la escotilla debe ser igual al considerado en el tambor.

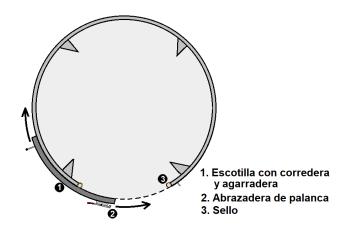


Ilustración 27: Detalle de abertura de escotilla (elaboración propia).

5.3.2.3 Cintas de apoyo

Se cuenta con dos cintas de apoyo, las cuales van montadas rodeando el tambor, formando así un anillo, cumplen la función de ser pistas de rodamiento y un refuerzo para la estructura del tambor, impidiendo que el mismo colapse. Las mismas fueron diseñadas en el programa Autodesk Profesional Inventor, en conjunto con el tambor y sobre estas se realizó un análisis de tensiones; con el objetivo de verificar que el coeficiente de seguridad de la estructura fuese superior y cercano a 2. Para esto se tomó la condición más crítica determinada en el <u>Apartado 6.3 Esfuerzos a tener en cuenta</u>. El análisis mencionado puede encontrarse en el <u>Anexo 8.11 Informe análisis de tensiones en cintas de apoyo y tambor.</u>

Finalmente se diseñan las cintas con un ancho de 50 mm y un espesor de 15 mm, fabricadas en acero AISI 1045 225 RECO³.

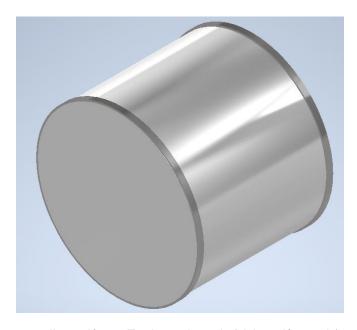


Ilustración 28: Tambor y cintas de (elaboración propia).

³ 225 es la dureza de Brinell y RECO hace alusión al tratamiento térmico de recocido, ver <u>Tabla 55</u>.

5.3.3 Rotación del tambor

5.3.3.1 Ejes de apoyo

Para el diseño de los ejes, sobre los cuales el tambor va a apoyarse y rotar, se opta por un eje entero a ser rebajado, donde los extremos del eje se montan sobre rodamientos, por lo cual el diámetro menor de este se hace variar en función del diámetro interno de los rodamientos disponibles. El mismo se diseña para hermanar con las cintas de apoyo, debe ser capaz de impedir desplazamientos horizontales del tambor y soportar los esfuerzos críticos determinados en el <u>Apartado 6.3 Esfuerzos a tener en cuenta</u>, de donde se determina que, para el dimensionamiento de los apoyos, en su conjunto de piezas móviles y estructura, deben ser capaces de tolerar un peso máximo de 2002 Kg entre los cuatro apoyos. De este modo cada apoyo debe tolerar 500,5 Kg cada uno.

El diseño de este se implementa en el programa Autodesk Profesional Inventor, y se le realiza un análisis de tensiones (con los esfuerzos antes mencionado) para verificar que el coeficiente de seguridad sea cercano y mayor a 2. Este análisis puede encontrarse en el <u>Anexo 8.10: Informe análisis de tensiones en el eje de apoyo del rodamiento</u>.

A continuación, se presenta una imagen donde se puede apreciar el diseño final del mismo con las medidas en milímetros. El material es acero AISI 1045 225 RECO⁴.

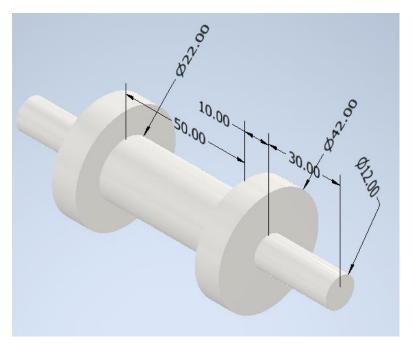


Ilustración 29: Eje apoyo y rodamiento (elaboración propia).

5.3.3.2 Velocidad de giro de rodamiento

La velocidad de rotación del tambor para llevar a cabo el proceso de malteado es de 30 rph, es decir de 0,5 rpm. Por lo tanto, su velocidad angular está determinada en 0, 05236 rad/s.

Por otro lado, la altura de la pista de rodadura más el radio del tambor de mezcla, suman un radio de 755 mm; de modo que, con la velocidad angular, nos permite determinar la velocidad tangencial en 39,58 mm/s.

⁴ 225 es la dureza de Brinell y RECO hace alusión al tratamiento térmico de recocido, ver <u>Tabla 55</u>.

La velocidad tangencial del tambor se impone sobre el casquillo de apoyo; donde esta aloja al eje de rotación que gira gracias a los rodamientos. Por lo tanto, con la velocidad tangencial impuesta y el radio del casquillo de 11 mm, se tiene que la pieza de apoyo gira sobre sí misma a una velocidad angular de 3,598 rad/s, es decir 34,35 rpm.

5.3.3.3 Dimensionado de Rodamientos

Para este proyecto el estudio que concierne a los rodamientos se prioriza ante la necesidad de rotación del tambor durante el proceso de malteado. Los cuatro soportes deben cotar con una instalación de rodamientos específicos para dicha exigencia. El método de análisis se basa en la norma DIN ISO 281 y se encuentra absorbida por los catálogos publicados por compañías como FAG o SKF que facilitan la elección de dichos elementos rodantes.

5.3.3.4 Análisis de rodamiento

La selección del rodamiento adecuado tiene como punto de partida el diseño del dispositivo donde se va a aplicar. De esta manera la primera dimensión a tener en cuenta es el diámetro interno del agujero para que se inserte en el eje que conforma el apoyo del tambor, el cual posee un diámetro de 12 mm.

El análisis de solicitaciones requiere determinar la velocidad existente entre las dos pistas. Para ello, considerando una revolución de la pista interna de 34,35 rpm, el movimiento relativo entre ambas pistas es mayor a 10 rpm, por lo que la solicitación no se considera estática, sino dinámica.

Entre tanto se considera la carga aplicada sobre los rodamientos según el propósito a cumplir. En este caso la carga de importancia es la radial, y en menor medida la axial.

5.3.3.5 Disposición de los rodamientos

5.3.3.5.1 Disposición fijo-libre

El eje de rotación debe ser fijado y posicionado mediante el empleo de dos rodamientos tales que le den apoyo radial y contención axial.

La elección para este trabajo consta del empleo de una disposición de rodamientos Fijo-Libre, donde el apoyo fijo impide un movimiento axial tolerando cargas radiales, mientras que el apoyo libre permite desplazamientos y tolerancias axiales.

Para el apoyo fijo, es necesario un rodamiento radial con buena tolerancia de carga combinada, para que guíe el eje axialmente y tolere las cargas axiales exteriores; para ello se emplean los del tipo hilera de bolas.

Para el apoyo libre, se requiere un rodamiento que tolere el desplazamiento axial sin involucrarse en las cargas axiales, es decir, se requiere que el rodamiento tenga un desplazamiento interno axial. Para estos casos, se emplean rodamientos de rodillos cilíndricos con pestaña en uno de sus aros (tipo N o NU).

5.3.3.5.2 Disposición ajustada y disposición flotante

La implementación de una disposición ajustada requiere de una fijación cruzada, donde uno de los rodamientos se fija axialmente en un sentido y el otro rodamiento en el sentido opuesto. Para esto se emplean dos rodamientos de bolas de contacto angular, o más comúnmente rodamientos de rodillos cilíndricos cónicos en disposición simétrica ("X" u "O"). Esta clase de arreglo de rodamientos se emplean en ejes cortos que requieran de una gran precisión, lo cual no sería el caso de este apoyo simple.

Una disposición flotante se emplea cuando no se requiere una precisión en el desplazamiento axial del eje. Si bien se lleva a cabo como implementación más económica que la disposición ajustada, para este proyecto no es necesario determinar una distancia de movimiento axial o flotación guiada.

5.3.3.6 Análisis de solicitación

Es necesario analizar el criterio de carga y solicitación para definir el tipo de rodamiento ideal para este trabajo. La carga esencial a tolerar es la carga radial donde los rodamientos de rodillos cilíndricos soportan mayores valores que los de bola de misma dimensión; y un análisis similar entre los rodamientos espaciados con jaulas y los completamente llenos, donde estos últimos son los recomendados para el propósito de este trabajo.

5.3.3.6.1 Carga radial

La carga radial a tolerar por cada apoyo es de 5,64 kN, por lo que al emplear dos apoyos de rodamientos en cada uno de los cuatro ejes, cada rodamiento debe ser capaz de tolerar 2,82 kN de carga radial.

5.3.3.6.2 Carga axial

Para determinar la carga axial sobre cada eje, se plantea el hipotético caso en que exista un desnivel de la base ya sea a causa del terreno donde se coloque el equipo o por falta de regulación de nivel. Para ello, se estima una inclinación de diez grados respecto a la horizontal, y entendiendo que cada uno de los cuatro apoyos debe tolerar 576 kg, por trigonometría se entiende que dicho apoyo en dirección del eje transfiere una carga de 0.98 kN.

5.3.3.7 Rodamiento rígido de bolas

Un rodamiento de bolas de una sola hilera y no despiezable o rígido, se emplean ante cargas radiales y axiales. Son los rodamientos más comunes, económicos y de aplicabilidad muy variada. En esta selección para el proyecto, se considera este tipo para emplearlo como apoyo fijo al eje.

5.3.3.8 Carga dinámica

Según la norma DIN ISO 281 en la que se basan las bibliografías consultadas, una solicitación dinámica se centra en la fatiga y deterioro del rodamiento. Para esto, se emplean cálculos para el dimensionamiento que empleen la seguridad contra la fatiga.

La capacidad de carga dinámica "C" se encuentra determinada en los catálogos de tablas para cada rodamiento, al igual que la capacidad de carga estática, "Co". Por otro lado, la carga dinámica teórica equivalente "P" se calcula a partir de la carga axial y la carga radial requerida.

$$P = X \times Fr + Y \times Fa$$

Donde:

- P Carga Dinámica Equivalente [kN]
- Fr Carga Radial [kN]
- Fa Carga Axial [kN]
- X Factor Radial (Indicado en las tablas para cada rodamiento)
- Y Factor Axial (Indicado en las tablas para cada rodamiento)

Los valores de X e Y se determina según el catálogo FAG, a partir de un factor "f0" tabulado para cada rodamiento, multiplicado por el cociente de la carga axial "Fa" sobre la capacidad de carga estática del rodamiento seleccionado.

Eligiendo un rodamiento de la serie 618,160 o 161; se obtiene que f0=16,3. Por lo tanto X=1 e Y=0.

Así, la carga dinámica está determinada en 2,82 kN.

5.3.3.9 Selección rodamiento rígido de bolas

Referenciado al fabricante FAG, se selecciona a través de su catálogo, el rodamiento de bolas rígido con agujero interno de 12mm, normalizado en DIN 625.

5.3.3.10 Montaje de rodamientos

5.3.3.11 Selección

Buscando una presentación y diseño del apoyo como conjunto, se analiza implementar soportes para montar los rodamientos. Dichos soportes se construyen sobre fundición gris, o una chapa de acero estampada. Su aplicación permite una utilización sencilla y facilitando el mantenimiento del rodamiento o recambio.

En este proyecto, se emplea el uso de soportes de pie del tipo brida pedestal de acero fundido, permitiendo la unión mediante bulones a la estructura reticulada. Se componen de rodamientos rígidos de bolas sellados (obturados) a ambos lados y con pista exterior de superficie esférica. Esta clase de soportes se emplean para cargas elevadas al permitirse aprovechar la capacidad del rodamiento como apoyo.

Normalmente se emplean para ejes cortos, como es el caso de este estudio, y como un soporte de rodamiento fijo. Para la determinación de la carga dinámica equivalente se emplean los mismos cálculos anteriores de rodamientos de bolas.

Ilustración 30: Base y rodamiento (FAG, 2000)

Nuevamente a partir del diámetro interno de 12mm y un ajuste normal se emplea el catálogo FAG se corrobora que la capacidad dinámica máxima del rodamiento es de 9,5 kN (Pág. 514). Por lo tanto, se selecciona el rodamiento FAG tipo S de la serie 162, con soporte P16203/12. Las características se detallan en la siguiente tabla.

Los rodamientos del tipo S de FAG, se normalizan según ISO 9628 y DIN 626-1; y los soportes bajo ISO 3228 Y DIN 626-2. Se deberán emplear dos en cada extremo del eje de apoyo, y se fijan con anillos excéntricos proporcionados por el fabricante. El montaje es prácticamente del tipo rodamiento fijo, ya que las dilataciones en este estudio son nulas.

Esta serie de rodamientos, según el fabricante no requieren de mantenimiento, remplazando todo el elemento rodante, igualmente los soportes de fundición cuentan con un engrasador o alemite (tipo GU1), para dirigir la grasa por los orificios de lubricación del aro exterior.

5.3.4 Transmisión de movimiento

El movimiento rotacional del tambor debe ser impuesto por un mecanismo de transmisión de movimiento, donde el trabajo necesario provenga de un motor eléctrico acoplado mediante una

caja reductora (motorreductor). Para la determinación de la potencia requerida en el motor eléctrico es necesario determinar el torque necesario de acuerdo con la distribución interna de la masa. Para ello se analiza el torque crítico en el siguiente apartado.

5.3.4.1 Torque Crítico

Al estudiar la distribución interna de la masa, basándose en el <u>Apartado 6.3 Esfuerzos a tener en cuenta</u>, se analizan los tres casos citados. La distribución de los respectivos centros de masa varía de acuerdo a la capacidad ocupada y la pendiente de reposo de los granos. De acuerdo al movimiento por la búsqueda de una posición de equilibrio del tambor, el motor debe entregar un torque tal de igualar el torque gravitacional sobre el tambor, y superar este para generar el movimiento de mezclado.

Bajo la ecuación que define al torque como magnitud, se analiza desde el eje rotacional del tambor, y mediante el radio al punto de aplicación del peso para cada caso, se extrae el torque del tambor.

Es así que se busca el caso más crítico de las tres situaciones planteadas. Para el "caso 1" mientras la masa de granos esté inundada en agua, el centro de masa se ubica verticalmente, colineal al peso. Pero para el "caso 2", donde se ocupa un 50% del volumen del tambor y en la situación de encontrarse la masa de 500 Kg formando la pendiente de deslizamiento, se tiene que esta masa genera un torque de:

$$\tau_{caso 2} = 989,2 Nm$$

Para el "caso 3", donde el volumen de masa germinada ocupa el 75% de la capacidad y se tiene un peso de 995 Kg, el torque generado es:

$$\tau_{caso 3} = 842,5 Nm$$

Por lo tanto, el caso más crítico de torque generado por el tambor cargado es de 989,2 Nm.

5.3.4.2 Diseño de la corona y piñón

Una corona solidaria al tambor permite darle movimiento rotacional a este. La corona se adosa a la periferia del cilindro del tambor sobre un voladizo o reborde en una de las caras que oficia de "tapa", y se constituye por segmentos que se anclaran mediante bulones a este reborde. La misma se localiza en el extremo opuesto del tambor donde se encuentra el visor.

El piñón se monta sobre la salida del motorreductor, y se engrana sobre la corona.

Estos elementos se diseñaron en el programa Autodesk Profesional Inventor, teniendo en cuenta los esfuerzos determinado en el apartado anterior, con el objetivo de emplear la menor cantidad de material y lograr que el coeficiente de seguridad sea mayor a 2, esto se puede apreciar durante el uso de la herramienta Análisis de tensiones, el resultado de este análisis se encuentra en el <u>Anexo 8.7 Constructivo corona y piñón</u> y en el <u>Anexo 8.8 Informe análisis de tensiones en corona y piñón</u> se encuentran los detalles constructivos.

A continuación, se presenta una imagen del conjunto.



Ilustración 31:Corona y piñón (elaboración propia).

5.3.4.3 Selección de Motorreductor

La implementación de una caja reductora o motorreductor permite la transmisión del movimiento entre el motor eléctrico, con su par y velocidad de giro nominal entregado en el eje, a una velocidad y par deseado para la rotación del tambor.

Con el torque provocado por el tambor y la velocidad rotacional requerida para el proceso (velocidad constante de 0,5 rpm), se analiza qué transmisión reductora se requiere. Como primera instancia se busca reducir la velocidad nominal del eje del motor eléctrico a una velocidad tal que la corona del tambor sea de 0,5 rpm, esto depende de la relación entre coronapiñón y las rpm en el eje del motorreductor. Igualmente se analiza aquella reducción que incremente sustancialmente el torque necesario para la rotación. Una vez aproximados estos valores se diseña el engranaje entre la salida de la reducción y la corona, a modo de ajustar ambas velocidades y obtener el torque requerido.

En un ejercicio de iteración entre las revoluciones de tambor, las revoluciones del eje del reductor y el diámetro de piñón, se determinó una velocidad de salida del reductor en 7,4 rpm. Mediante la ayuda de distintos catálogos de firmas fabricantes de reductores.

Contemplándose que se debe superar el torque crítico de 989,2 Nm sobre la corona y hallándose una velocidad de salida del rotor inferior a 7,4 rpm, se sugiere adquirir el motorreductor AC FA77DRK90M4 de la marca SEW, la cual cuenta con representación en Uruguay. Este motorreductor debe instalarse con un motor de 0,75 kW y utilizarse a 1430 rpm, a fin de obtener 7,2 rpm y 990 Nm a la salida según el fabricante (ver tabla siguiente), lo cual condice con lo requerido y deja a este equipo con un factor de seguridad cercano a uno

Tabla 9: Características motorreductor SEW AC FA77DRK90M4 (SEW, 2022)

Datos técnicos FA77DRK90M4		
Caracteristicas	Valor	Unidad
Velocidad nominal del motor	1430	1/min
Velocidad de salida	7,2	1/min
Índice de reducción total	198,31	
Par de salida	990	Nm
Factor de servicio SEW-FB	1,50	
Posición de montaje	M1	
Pintura imprimación/CapaFinal	7031 Azul grisáceo (55170310)	
Posición de conexión/caja de bornas	0	0
Entrada de cable/ Posición del conector	x	
Eje hueco	50	mm
Cantidad de lubricante 1er reductor	5,9	Litro
Potencia del motor	0,75	kW
Factor de duración	S1-100%	
Clase eficiente	IE1	
Eficiencia (50/75/100% Pn)	61 / 70,5 / 73,8	%

5.3.5 Estructura de apoyo

La estructura de apoyo consiste en un reticulado el cual fue diseñado en el programa Autodesk Profesional Inventor, con el objetivo de emplear la menor cantidad de material y lograr que el coeficiente de seguridad sea mayor a 2; esto se puede apreciar durante el uso de la herramienta Análisis de tensiones, el resultado de este análisis se encuentra en el Anexo 8.9 Informe análisis de tensiones en la estructura de apoyo.

Otra condicionante en el diseño era poder contar con una zona libre debajo del tambor para poder colocar el desagüe y la extracción de malta, por lo que se opta por un diseño en "V" como refuerzo de la estructura, en vez de una cruz "San Andrés" por ejemplo o un reticulado similar.

Además, el peso del tambor debe distribuirse estructuralmente de la forma más equilibrada posible sobre los apoyos. Debido a que, al presentar apoyos muy cercanos entre sí, se incrementa el valor de la componente vertical y reduce la horizontal, pero un análisis inercial del conjunto como un todo arroja inestabilidad vertical. Y en caso de distanciar los apoyos, se gana estabilidad, pero el incremento del esfuerzo horizontal puede requerir refuerzos en la estructura; por lo tanto, se opta por apoyos separados a 90° desde el centro del tambor. Ver imagen siguiente.

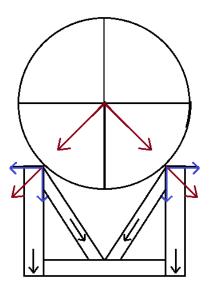


Ilustración 32: Esfuerzos sobre reticulado (elaboración propia).

También se tiene en cuenta la variación del centro de masa, tomada del apartado "Esfuerzos a tener en cuenta", a fin de verificar que el mismo quede dentro del área comprendida entre los apoyos, y usar los datos del apartado mencionado para simular los esfuerzos en Autodesk Inventor.

El reticulado se compone de perfiles PNC 100x50 y PNI 100, estos últimos ubicados en la parte inferior, donde se une la "V", ya que su geometría es ideal para el tipo de esfuerzos al que se someterá. Ver diseño y dimensiones en la imagen siguiente.

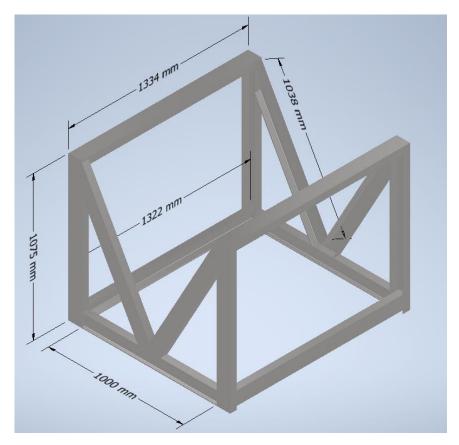


Ilustración 33: Diseño y dimensión de la base reticulada (elaboración propia).

Debajo de la base, se deben colocar 4 apoyos niveladores, con el fin de ajustar la inclinación del tambor en caso de presentarse un suelo desnivelado.

5.3.6 Sistema hidráulico

5.3.6.1 Requerimiento hidráulico para el proceso de malteado

Para el proceso de malteado de la cebada, es necesario distinguir dos etapas donde el aditamento de agua hacia dentro de tambor cumple un rol principal. En primera instancia se debe inundar el grano para la etapa de remojado, y en segunda instancia gobernar la humedad relativa dentro del propio grano durante la germinación.

A continuación, se presentan las situaciones en las que se demanda agua por parte del proceso de malteado y la calidad del agua.

Proceso 1: Remojado del grano

Tal como se mencionó en el <u>Apartado 5.1.2 Lavado y remojado</u> y <u>Anexo 8.6 Experimento de remojado</u> de este documento, la masa de granos se debe someter a un remojado mediante inmersión en agua, en intervalos de una a dos horas. El volumen de agua requerido para esta etapa es de 300 L por cada remojado. A su vez, se entiende como tiempo razonable para su llenado unos 8 minutos (480 s). Esto arroja un caudal de 0,625 L/s.

Proceso 2: Germinación del grano

Una vez que comenzó la hidratación del grano mediante el proceso anterior, se sucede la etapa de germinado, donde la atmosfera debe ser controlada para mantener una humedad relativa del grano (HRG) de 46%. Dicha humedad será corregida mediante la adición extra de agua en calidad de aspersión o lluvia. La reposición de agua debe efectuarse en 5,4 L/h según la recirculación de aire por el tambor. No obstante, se determina que para los cálculos hidráulicos

de este proceso, se puede emplear el caudal 0.625 L/s. Para más detalles se sugiere ver el Apartado 6.4.1 Determinación del caudal.

Condiciones del agua

El requerimiento de calidad de agua está sujeto a los estándares de la empresa que implemente dicho equipo. Esto en el entendido que las plantas elaboradoras de cerveza utilizan el suministro de la red sanitaria directa (OSE), con un debido proceso de filtrado ya sea por carbono o ablandamiento del agua, según las condiciones del suministro del que se disponga, así como los criterios de calidad de la empresa elaboradora.

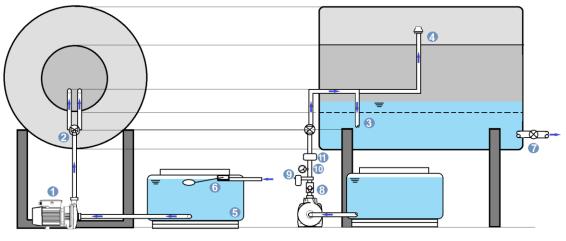
En estas líneas para el fluido a bombear se asumen en las siguientes características:

- Temperatura de circulación: 25°C
- Viscosidad @ 25°C: 0,000891 kg/m.s
- Calidad/Concentraciones: Según Reglamento Bromatológico Nacional (Decreto 375/2011).

5.3.6.2 Diseño del circuito

El diseño para el circuito del sistema hidráulico se debe acoplar a las necesidades de diseño del tambor. Para ello se modelan las cañerías necesarias de modo de adecuarse a un espacio lo más cercano al equipo.

La adecuación de este responde a los diseños de sanitaria para la industria alimenticia o farmacéutica.



- 1- Bomba
- 2- Válvula de tres vías
- 3- Descarga para llenado rápido
- 4- Boquilla Atomizadora
- 5- Tanque de Succión
- 6- Válvula automática de llenado 10- Manómetro
- 7- Descarga de Tambor 8- Válvula Antiretorno
- 9- Presostato Mecánico
- 11- Caudalímetro

Ilustración 34: Diseño de sistema hidráulico (elaboración propia).

Como diseño se incorpora un tanque del cual la bomba succione el agua, de manera de asegurar su plena alimentación. Dicho recipiente cuenta con un sistema de llenado continuo mediante una válvula automática con flotador.

La impulsión del fluido se dirige a una válvula de tres vías comandada automáticamente donde se selecciona el proceso 1 o 2 por el PLC. A su vez es requerido un caudalímetro para contabilizar el caudal necesario de ingreso.

Para el proceso 1 se utiliza una carga directa al tambor; mientras que para el proceso 2 se requiere de una boquilla atomizadora para el control de la humedad durante el germinado. A su vez el circuito para el remojado debe contar con un válvula manual para la descarga completa de agua del tambor. La misma se posiciona sobre el deflector construido en de chapa perforada, el cual oficia de filtro de grano para el desagote hacia una línea de desagüe sanitaria de las instalaciones edilicias donde se encuentre el equipo.

5.3.6.3 *Cañería*

Para dimensionar el diámetro necesario para las cañerías, se debe tener en cuenta que el fluido que se pretende transportar es incomprensible, en este caso agua. La selección del diámetro interno de una instalación determina la velocidad por el interior de los mismos. Al tratarse de un sistema de bombeo, las velocidades muy inferiores pueden incurrir en incrustaciones no deseadas, o de lo contrario, velocidades muy elevadas pueden resultar abrasivas para las caras internas de la cañería.

El diámetro interno del caño, según se calcula en el <u>Apartado 6.4.2 Dimensionamiento de cañería</u>, debe comprenderse entre los limites mencionados. Por otor lado, debe tenerse en cuenta la presión máxima interna de trabajo, para así determinar el espesor de pared necesaria según el material seleccionado.

Para la selección del material de la tubería de agua se busca un acero inoxidable austenítico tal como se requiere para el tambor. Por esto, se requiere de un material con resistencia a la corrosión, e incrustaciones, y a modo que permita la soldabilidad de accesorios.

Se selecciona el acero AISI 304 dado su bajo contenido de carbono, siendo las tuberías sanitarias en dicho material las más utilizadas en la industria alimenticia y farmacéutica, donde es el área alimenticia en el que se incluye el malteado de este proyecto y su posterior elaboración cervecera.

No se requiere de aceros inoxidables AISI 304L o 316, ya que las exigencias químicas de este proceso no lo ameritan para este caso, al igual que económicamente. Las cañerías de termofusión de polipropileno si bien son económicas, no son recomendadas para uso industrial alimenticio, como es el foco de este proyecto; además de su complexión estructural más frágil como conjunto.

De este modo, en la selección de cañería comercial para este sistema hidráulico, se toma la norma ASTM A 312 como determinante de dimensiones y construcciones. En la siguiente tabla se muestra un extracto de valores de diámetros y cédulas correspondientes estandarizadas.

Tabla 10: Dimensiones de cañerías según Norma ASTM A 312 (International, 2004).

NPS Designator	Outside [Diameter		Nominal Wall Thickness											
	in.	mm	Schedule 5SA	ı	Schedule	10S ^A	Schedu	le 40S	Schedu	ıle 80S					
			in.	mm	in.	mm	in.	mm	in.	mm					
1/8	0.405	10.29			0.049	1.24	0.068	1.73	0.095	2.41					
1/4	0.540	13.72			0.065	1.65	0.088	2.24	0.119	3.02					
3/8	0.675	17.15			0.065	1.65	0.091	2.31	0.126	3.20					
1/2	0.840	21.34	0.065	1.65	0.083	2.11	0.109	2.77	0.147	3.73					
3/4	1.050	26.67	0.065	1.65	0.083	2.11	0.113	2.87	0.154	3.91					
1.0	1.315	33.40	0.065	1.65	0.109	2.77	0.133	3.38	0.179	4.55					
11/4	1.660	42.16	0.065	1.65	0.109	2.77	0.140	3.56	0.191	4.85					
11/2	1.900	48.26	0.065	1.65	0.109	2.77	0.145	3.68	0.200	5.08					
2	2.375	60.33	0.065	1.65	0.109	2.77	0.154	3.91	0.218	5.54					

Como se tiene que la presión interna es considerablemente baja resulta un espesor de pared pequeño, por lo que se escoge un espesor según Schedule 5SA (espesor de 1,65 mm) como medida mínima estándar. De este modo, para el rango de diámetros internos comprendido por los cálculos, se obtiene la siguiente tabla de diámetros externos según el espesor anteriormente seleccionado:

Tabla 11: Determinación de diámetros exteriores según Schedule 5SA, elaboración propia.

Diámetro Interno [mm]	Diámetro Exterior [mm] según Schedule 5SA
20,0	23,30
21,5	24,80
23,0	26,30
24,5	27,80

De este modo, según la <u>Tabla 10</u>, el diámetro comercial que logra suplir las exigencias del dimensionamiento es el caño de ¾", con diámetro exterior de 26,67 mm en Schedule 5SA.

Resultando una velocidad interna de 1,5 m/s, comprendida entre los limites anteriormente mencionados en los cálculos de dimensionamiento, al escogerse un diámetro interno de 23 mm.

Como observación constructiva, en los extremos de los caños deben soldarse casquillos cónicos empipados y con extremos machos roscados, para permitir el armado de las cañerías. A su vez, las uniones de los caños se harán mediante racores roscables de unión hembra. Estos accesorios deben ser de misma calidad de material que los caños (acero inoxidable 304). (Roscas DIN 2999).

5.3.6.4 Accesorios

Para el direccionamiento de las cañerías se utilizarán fittings roscados de 90°. Su construcción será en acero inoxidable según diámetro de cañería escogido, 3/4"; y el material será al igual que las cañerías en acero inoxidable AISI 304, por las razones anteriormente mencionadas.

Para el control de humedad durante el germinado es necesario introducir agua (en cantidades controladas) mediante aspersión. Para analizar las características que ofrecen los atomizadores de agua, el estudio se basa en el manual de la compañía Spraying System Co. en el apartado "Key considerations in spray nozzle selection and performance optimization".

Se selecciona un atomizador de agua que genere un cono lleno con esparcimiento cuadrado, esto en el entendido de colocar una de estas boquillas verticalmente en el interior del tambor, capaz de cubrir toda el área de dicho recipiente. El mismo se adosa a la cañería interna, de ser necesario utilizando una entre rosca. El material constructivo de la boquilla debe ser de inoxidable (AISI 304), manteniendo el criterio de material empleado en la instalación.



Ilustración 35: Características de rociado por a traves de un cono (full/ square) (Systems, 2021).

A modo de ejemplo, se sugiere seleccionar una boquilla atomizadora modelo HH-SQ de la marca Spraying System Co. o similar, según las siguientes características:

		MANCE 6-SQ A				ULLJE	T® NOZZ	LES										
Inlet	Nozzle Type		Nozzle Type		Capacity	Orifice Dia.	Max. Free		F	ow Rate	Capacit	y (liters p	er minut	e)		Spi	ay Angle) (°)
Conn. (in.) G-SQ GG	GG-SQ	HF	I-SQ	Size	Nom. (mm)	Passage Dia. (mm)	.4 bar	.5 bar	.7 bar	1.5 bar	3 bar	6 bar	7 bar	10 bar	.5 bar	1.5 bar	6 bar	
	•	•		•	3.6SQ	1.6	1.3	1.1	1.2	1.4	1.9	2.7	3.7	4.0	4.7	40	52	47
1/8	•	•		•	4.8SQ	1.9	1.3	1.4	1.6	1.8	2.6	3.6	4.9	5.3	6.2	48	63	57
	•	•		•	6SQ	2.4	1.3	1.8	2.0	2.3	3.2	4.5	6.1	6.6	7.8	60	66	60
	•	•		•	10SQ	2.8	1.6	2.9	3.3	3.8	5.4	7.4	10.2	11.0	13.0	62	67	61
1/4	•	•		•	1280	3.2	1.6	3.5	3.9	4.6	6.5	8.9	12.3	13.2	15.5	70	75	68
				•	14.5SQ	3.9	1.6	4.3	4.7	5.5	7.8	10.8	14.8	15.9	18.8	78	82	75
3/8	•	•		•	18SQ	4.0	2.4	5.3	5.9	6.9	9.7	13.4	18.4	19.8	23	71	75	68
1/2	•	•		•	29SQ	5.6	3.2	8.5	9.5	11.1	15.7	22	30	32	38	71	75	68
1/2				•	36SQ	6.4	3.2	10.6	11.8	13.7	19.5	27	37	40	47	78	82	75
3/4				•	50SQ	6.7	4.4	14.7	16.3	19.1	27	37	- 51	- 55	65	71	75	68
1				•	106SQ	9.9	5.6	31	35	40	57	79	109	117	137	78	80	73

Ilustración 36: Selección de boquilla atomizadora (Systems, 2021).

DIMENSIONS AND WEIGHTS

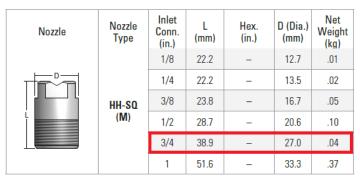


Ilustración 37: Dimensiones atomizador HH-SQ (Systems, 2021).

Con estos datos se permite tener un valor del coeficiente de fricción que genera la respectiva perdida de carga de un rociador:

$$K = \frac{Q}{\sqrt{P}}$$

Donde:

- Q es el caudal por la boquilla [lpm]
- P presión de trabajo por la boquilla [bar]

Esto arroja que para el atomizador (57 lpm a 1,5bar), se tiene un coeficiente de fricción por el orificio de la boquilla de 46,5.

5.3.6.5 Condiciones de bombeo

La electrobomba que se debe emplear para suministro de agua hacia el tambor, cualesquiera las dos etapas anteriormente mencionadas, debe ser capaz de suministrar los caudales requeridos y a su vez la carga de sistema. Para esto se toma en cuenta las situaciones más críticas, donde el mayor caudal requerido es de 0,625 L/s (37,5 L/min); y la carga máxima requerida es de 23,26 m.c.a. Donde se tiene que $NPSH_{disponible}$ = 10,32 m.c.a.

Las condiciones hidráulicas para este proyecto, se desea vencer las pérdidas de carga del sistema al suministrar el agua de un punto de suministro hacia el tambor, por lo que se requiere incrementar la altura estática. Para ellos se implementan las rotodinámicas; siendo que las de desplazamiento positivo se emplean en incrementar considerablemente la presión aguas abajo del circuito, siendo no aplicables al flujo de agua que se busca.

De este modo se selecciona para tal fin una turbobomba de modo de incrementar la energía del agua, transformando la energía motora recibida, contando con rodete e impulsor.

Dadas las determinadas condiciones de diseño de sistema de bombeo, se escoge una electrobomba del tipo centrífuga radial, ya que existe una amplia gama en el mercado y su uso es extensivo, en particular para el bombeo de agua limpia y sanitaria.

Como ejercicio para la selección de una bomba centrífuga se selecciona el modelo a partir de la ficha técnica de la familia de Electrobombas Pedrollo serie CP-ST (Pedrollo, 2021), de acuerdo con las exigencias de diseño:

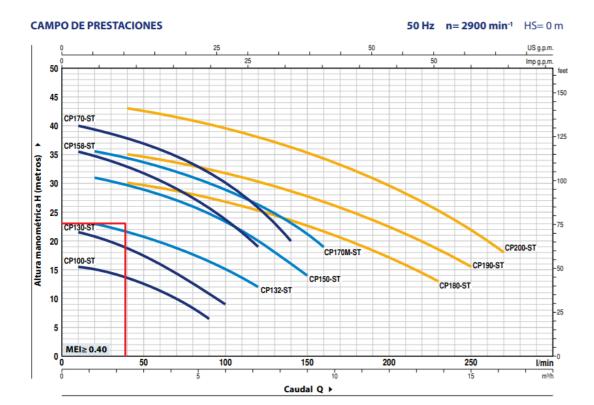


Ilustración 38: Selección de modelo de Bomba. (Pedrollo, 2021).

Por lo tanto, se selecciona un modelo superior inmediato a los requerimientos de este equipo, siendo necesaria la Electrobomba Pedrollo modelo CPm 150-ST4, la cual posee el cuerpo de la bomba, rodete y eje fabricados en acero inoxidable 304, dado su uso industrial con fines alimenticios y de agua potable.

Sus características son:

MODELO POTENCIA (P2)			m³/h	0	0.6	1.2	2.4	3.6	5.4	6.0	7.2	8.4	9.0	9.6	12	13.8	15	16.2				
Monofásica	Trifásica	kW	HP	•	Q I/min	0	10	20	40	60	90	100	120	140	150	160	200	230	250	270		
CPm 100-ST4 CPm 100-ST6	CP 100-ST4 CP 100-ST6	0.25	0.33	IE2		16	15.5	15	13.5	11.2	6.5											
CPm 130-ST4 CPm 130-ST6	CP 130-ST4 CP 130-ST6	0.37	0.50			22.5	21.5	20.8	18.8	16	10.8	9										
CPm 132-ST4 CPm 132-ST6	CP 132-ST4 CP 132-ST6	0.55	0.75	IE3		24	-	23	21.5	19.8	16.5	15	12									
CPm 150-ST4	CP 150-ST4	0.75	1			22		21	29.8	28	24.8	23.2	20	16	14							
CPm 150-ST6	CP 150-ST6	0.73	'	IE3		32		31	29.0	20	24.0	23.2	20	10	14							
CPm 158-ST4 CPm 158-ST6	CP 158-ST4 CP 158-ST6	0.75	1					36.5	35.5	34.5	33	31	26.2	24	19							
CPm 170-ST4 CPm 170-ST6	CP 170-ST4 CP 170-ST6	1.1	1.5				H metros	41	40	39.2	37.8	36	32	30	25.8	20						
CPm 170M-ST4 CPm 170M-ST6	CP 170M-ST4 CP 170M-ST6	1.1	1.5	IE3		36.5	-	35.5	34.3	33	30	29	26.4	23	21	19						
CPm 180-ST4 CPm 180-ST6	CP 180-ST4 CP 180-ST6	1.1	1.5			31.5	-	-	30	29.2	27.5	26.8	25.2	23.5	22.5	21.5	17	13				
CPm 190-ST4 CPm 190-ST6	CP 190-ST4 CP 190-ST6	1.5	2	IE3		37	-	-	35	34	32.2	31.5	30.2	28.7	27.8	27	22.7	18.5	15.5			
CPm 200-ST4 CPm 200-ST6	CP 200-ST4 CP 200-ST6	2.2	3			45	-	-	43	42	40.2	39.5	38	36.5	35.5	34.5	29.8	25.5	22	18		

Q = Caudal H = Altura manométrica total HS = Altura de aspiración
 ▲ Clase de rendimiento del motor trifásico (IEC 60034-30-1)

Ilustración 39: Características de Electrobomba Pedrollo modelo CPm 150-ST4 (Pedrollo, 2021).

De este modo la electrobomba seleccionada demanda una potencia de 1 HP, cumpliendo con los requisitos de caudal y carga.

5.3.6.6 Condición de no cavitación

Independientemente de la bomba seleccionada para el requerimiento de este sistema hidráulico, debe considerarse que la instalación deja una energía disponible de 10,32 m.c.a $(NPSH_{disponible}=10,32 \text{ m.c.a})$, y a su vez considerar que la energía necesaria por el modelo seleccionado sea menor a la del sistema. De este modo se asegura la no cavitación de la bomba, fenómeno que depara en el daño del impulsor de esta, para el caudal de funcionamiento.

A modo de ejemplo, la electrobomba seleccionada Pedrollo modelo CPm150-ST4, para un caudal de 37, 5 L/min posee por catálogo un $NPSH_{requerido}$ de 2,5 m.c.a.

Entonces se cumple la condición de no cavitación:

$$NPSH_{disponible} = 10,32 \text{ m. c. a} > NPSH_{requerido} = 2,5 \text{ m. c. a}$$

5.3.7 Sistema de ventilación

El pasaje de aire a través de la cama de granos que se encuentra en el tambor genera una pérdida de carga estática, dicha pérdida se ve afectada por la humedad del grano, altura de la cama de granos a atravesar, deposición de los granos, área a atravesar, velocidad del flujo de aire, factor de forma y densidad de partículas (estos dos últimos quedan determinados por tratarse de cebada).

Para asegurarse de tener una distribución pareja del aire en el grano se debe considerar que "el aire siempre avanza por el camino más corto, las zonas entre conductos podrían quedar sin suficiente ventilación (Abadía & Bartosik, 2013)

Por lo tanto, bajar con ductos desde el centro, cual si fueran lanzas de aireación, no es una posibilidad, ya que el camino más corto que tiene el aire es alrededor del ducto y no solo eso, sino que la masa de granos al comportarse como un fluido en movimiento (por la rotación del tambor) genera una zona de baja presión en el lado opuesto al que el grano impacta contra la lanza. Esto se puede apreciar en la siguiente imagen, donde en negro se representa la zona de baja presión, lo que para el aire significa una zona de baja resistencia por la cual subir a la superficie.

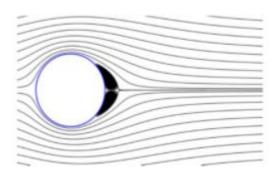


Ilustración 40: Diagrama de flujo (Hyun, Sungsu, & Jooyong, 2020)

Se opta entonces por un sistema que genere una cortina de aire ascendente, para ello se debe abastecer con aire a un conducto perforado. El mismo debe disponerse, en posición horizontal y en la zona más profunda de la masa de granos (cuando estos se mueven), dejando un espacio libre entre los deflectores y éste con el fin de evitar que los granos se dañen.

Dado que, en las tapas del tambor, el grano es más propicio a tener las temperaturas del ambiente, hacer circular mayor cantidad de aire por esa zona, asegura que el mismo se encuentre a la temperatura objetivo. Por lo que se opta por un ducto distribuidor de aire sin sección ciega, una representación de esto se encuentra en la siguiente imagen, donde se aprecia el efecto de un conducto con y sin sección ciega.



Ilustración 41: Canalización del aire (Abadía & Bartosik, 2013)

La succión del aire (para extraerlo del tambor) se instalará lo más alejada de la cama de granos (sin estar en contacto con estos), y centrada respecto a las tapas, ya que, de instalarse en cualquier otro lugar del tambor, el flujo de aire a través de la cama de granos no sería uniforme.

Las pérdidas de carga para este sistema son de 5753 Pa para un caudal de 540 m³/h, según se establece en el Apartado 6.5 Perdidas de carga en el sistema de ventilación.

La imagen siguiente representa esquemáticamente el sistema de ventilación, con el fin de ofrecer una ayuda visual de este.

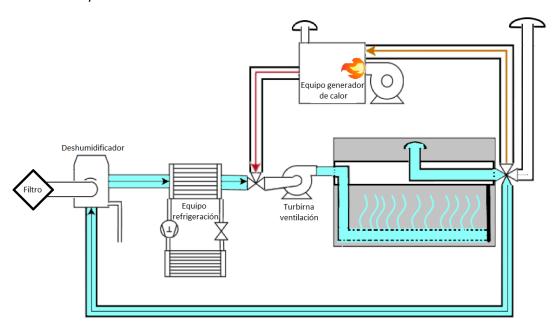


Ilustración 42: Esquema sistema de ventilación (elaboración propia).

5.3.8 Selección de equipo deshumidificador, de refrigeración y generador de calor.

En el <u>Apartado 6.6 Análisis energético</u>, se determinaron las potencias demandadas para cada equipo en diferentes situaciones, en particular para la etapa del secado se planteó el uso de dos equipos que operan de forma distinta. Si para el equipo de refrigeración tomamos un COP (coeficiente de rendimiento) de dos, entonces la potencia consumida de la red eléctrica entre el deshumidificador evaporativo y el equipo de refrigeración es de aproximadamente 6,3 kW en el caso más crítico, mientras que, si se opta por la configuración con sistema desecante, la potencia

consumida es de aproximadamente 12 kW para un equipo que entregue aire en las condiciones solicitadas y esta potencia consumida es solamente en el equipo deshumidificador de silicagel.

Consecuentemente deberán instalarse 2 equipos de refrigeración, uno que retire 5,6 kW del aire para secarlo, y otro que entregue 8,4 kW con el fin de elevar su temperatura.

Con este último equipo, se cubre ampliamente la energía requerida durante la germinación bajo cualquier situación.

El equipo de calor, a raíz del análisis energético, se sabe debe entregar una potencia de 31 kW. Dado que se utilizará a razón de 6 hs por semana no es viable pensar en instalar una caldera puesto que el ahorro energético es ínfimo comparado con la inversión y los costos de mantenimiento. Tampoco es posible instalar un quemador directo ya que como se explicó al principio de este documento al final del <u>Apartado 3.1.3 Secado y Horneado</u>, se generan NOx, los cuales reaccionan con la malta generando un producto cancerígeno.

Las opciones posibles a considerar son, instalar una resistencia interna en el tambor, en la parte superior, donde queda el espacio libre con aire, en este caso, no sería necesario la recirculación de aire, lo que evitaría pérdidas de calor por los ductos de ventilación, y el equipo sería un símil a una K-Ball (método usado para obtener las maltas más oscuras). La otra opción es instalar un quemador indirecto y hacer circular aire en un circuito cerrado con el tambor.

Debe recordarse que todos estos equipos operarán con un caudal de 9 m³/min.

Capítulo 6. Memoria de cálculo

6.1 Tiempo de desagote

Para determinar el tiempo de desagote del agua que se encuentra en el interior del tambor debido a la etapa de lavado y remojado del grano. Se debe tener en cuenta que los granos elevan el nivel de agua, aumentando así la presión en la descarga y a su vez el grano auspicia como un filtro para el agua generando pérdidas de carga. Por falta de bibliografía sobre este tema, se opta por suponer que el tambor solo contiene los 300 L de agua y se desprecia el volumen de los deflectores.

En este caso planteado, el nivel de agua se encuentra a una altura de aproximadamente 0,29 m, medido desde la parte inferior. Para determinar esta altura se utilizó la siguiente ecuación:

$$\frac{V}{H} - \frac{\pi R^2}{2} = (h - R)\sqrt{2Rh - h^2} + R^2 \sin^{-1}\left(\frac{h - R}{R}\right)$$

Donde V es el volumen (0,3 m³), H es la longitud del tambor (1,25 m), R es el radio (0,74 m) y h es la altura del nivel mencionado (0,29 m) que se obtiene al resolver la ecuación anterior.

A partir de la manipulación de la ecuación de Torricelli, se puede obtener una ecuación para determinar el tiempo de vaciado para un cilindro horizontal (ninguna de las tapas se apoya sobre la superficie), dicha ecuación es la siguiente:

$$\frac{2}{3}\sqrt{(2R-h)^3} + C = \frac{\sqrt{(2g)}\pi r^2 t}{2H}$$

Donde t es el tiempo de vaciado a determinar, r es el radio del orificio de salida (0,03 m estimado para válvula de 1"), C es una constante a determinada por las condiciones iniciales (t=0 s y h=0,29 m) y resultando en C=-0,865. Los vales de H y R se mantienen iguales a la ecuación anterior.

Consecuentemente el tiempo de vaciado para los 300 L es de t=67 s

Si se supone el peor caso posible, donde el tambor se encuentre completamente lleno (h=1,48 m) el tiempo de vaciado es de t=240 s, igual a 4 minutos.

Por lo que es razonable permitir una duración de 15 minutos para el desagote del agua en la etapa de lavado y remojado del grano, dando lugar a un completo vaciado y escurrimiento del agua.

6.2 Dimensionado del tambor

6.2.1 Dimensiones por menor uso de material

Para producir 450 kg de malta, es necesario iniciar con 500 kg de cebada seca, la cual ocupa 763 L, dado que al germinar el volumen se incrementa, según el experimento de peso hectolítrico (ver <u>Anexo 8.4</u>) se tendrán 1633 L. Como condición del experimento de mezclado el volumen ocupado en el tambor no debe ser superior al 75% de este, por lo que el tambor ha de tener 2032 L.

A continuación, se presentan las ecuaciones utilizadas para obtener la mínima área a utilizar para el volumen requerido (2032 L), donde:

- A= Área del tambor
- V= volumen del tambor

- r= Radio del tambor
- h= Altura del tambor

$$V = \pi r^{2}h \to h = \frac{V}{\pi r^{2}} \to r = \sqrt{\frac{V}{\pi h}}$$

$$A = 2\pi * r * h + 2\pi r^{2}$$

$$A(r) = 2\pi * r * \frac{V}{\pi r^{2}} + 2\pi r^{2}$$

$$A(r) = 2 * \frac{V}{r} + 2\pi r^{2}$$

$$A'(r) = 2 * \frac{-V}{r^{2}} + 4\pi r = 0 \to r = \left(\sqrt[3]{\frac{V * 2}{4\pi}}\right) \to r = 0.686 \ m \ y \ h = 1.37 \ m \to A = 8,88 \ m^{2}$$

Ahora se realizan las mismas cuentas anteriores, pero con el área en función de la altura.

$$A(h) = 2\pi * \sqrt{\frac{V}{\pi h}} * h + 2\pi \frac{V}{\pi h}$$

$$A(h) = 2 * \sqrt{V h \pi} + 2 \frac{V}{h}$$

$$A'(h) = 2\pi * \frac{1}{2\sqrt{V h \pi}} * V \pi - 2 \frac{V}{h^2}$$

$$\pi * \frac{1}{\sqrt{V h \pi}} * \pi - \frac{2}{h^2} = 0 \rightarrow h = \frac{2^{\frac{2}{3}} * V^{\frac{1}{3}}}{\pi} \rightarrow h = 0.640 \text{ m y } r = 1,00 \text{ m} \rightarrow A = 10,3 \text{ m}^2$$

Consecuentemente las medidas a utilizar son 1,37 m de diámetro y largo, dando lugar a 8,88 m² de área.

6.2.2 Deflectores y dimensión definitiva del tambor

La geometría seleccionada para los deflectores incurre en un volumen de 13,7 L. Al utilizarse cuatro deflectores, se dimensiona nuevamente el tamaño del tambor para recuperar el espacio ocupado por los deflectores (teniendo en cuenta que se pueden instalar 8 como máximo). Es entonces necesario aumentar el volumen en 120 L adicionales contemplado los deflectores y elementos internos.

$$Vtotal = V_{Libre} + V_{Deflectores}$$

$$Vtotal = 2032 L + 120 L = 2152 L$$

Consecuentemente se tiene una dimensión de diámetro *D*:

$$D = \sqrt[3]{\frac{Vtotal * 4}{\pi}} \rightarrow D = 1.4 m$$

De este modo, el tambor tendrá 1,40 m de diámetro y de largo.

A fin de reducir costos en la fabricación y materiales a usar, se decide que las medidas del tambor pasan a ser de 1,25 m de largo, por 1,48 m de diámetro según medidas estándares de chapas en el mercado. Esto arroja un nuevo volumen del tambor.

$$V_{Tambor} = \frac{\pi D^2 l}{4} \rightarrow V_{Tambor} = 2.15 m^3$$

Tabla 12: Dimensiones definitivas del tambor (elaboración propia).

Descripción	Abreviatura	Medidas
Volumen	V	2150 L
Largo	I	1250 mm
Diámetro	D	1480 mm
Perímetro Lateral	Р	4650 mm

6.3 Esfuerzos a tener en cuenta

6.3.1 Análisis del centro de masa del tambor

Existen tres posibles casos en cuanto al peso que se albergará dentro del tambor, e indefectiblemente las posiciones del centro de masa de los mismos, considerando se trabaja a capacidad máxima de producción.

- Caso 1: Proceso de lavado y remojo del grano.
- Caso 2: Grano seco dentro del tambor
- Caso 3: Grano germinado y húmedo.

En el proceso de lavado y remojo del grano (Caso 1), tal como se describió en el capítulo "Proceso de malteado", el grano en su capacidad máxima (500 kg de cebada seca) se inunda en agua, y basados en el experimento Peso Hectolítrico (ver <u>Anexo 8.4</u>), serán necesarios 301 L de agua para cubrir los granos con la misma.

A medida que el proceso de lavado avanza el grano absorbe agua, entonces es necesario plantear la situación al final del proceso de lavado, antes de retirar el agua. Consecuentemente se analiza el porcentaje de humedad absorbido por el grano, es decir, la capacidad del grano de retener agua. Dicha capacidad se debe considerar como parte del peso propio del grano a medida que se lo somete al lavado. Según el análisis Experimento Remojado (ver Anexo 8.6), la humedad máxima alcanzada por el grano en base húmeda es inferior al 50 % HRG. Esto se debe a que en el experimento 6,3 kg de cebada seca, al final del proceso pesaban 10,7 kg, por lo que se tiene entonces:

$$\frac{20.4 - 10.9}{20.4} * 100 = 46.5 \% HG$$

Se toma este valor para determinar el aumento general del peso del grano húmedo al finalizar el lavado. Consecuentemente 500 kg (base húmeda) de cebada absorberán 349 kg de agua (350 L), esto sumado a los kilos de agua añadidos para el lavado en la etapa final, los cuales contabilizan 397 L (397 kg), suman un total de 1246 kg (de agua más cebada) contenido dentro del tambor.

El grano al absorber agua incrementa su volumen hasta ocupar el 75 % del espacio interno del tambor. Así, se aborda el cálculo del centro de masa separando el área del círculo (considerando una sección transversal) en 3 partes de 25% cada una.

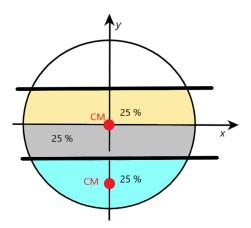


Ilustración 43: Centros de masa en tambor (elaboración propia).

Por simetría las 2 partes centrales tendrán su centro de masa en el eje de revolución del tambor como se aprecia en la imagen anterior; mientras que la restante (porción celeste claro de la imagen anterior) se puede determinar como la distancia r-b (ver la siguiente imagen) más la distancia del centro de masa de la semi-elipse restante de la parte inferior de la sección del tambor. El tamaño de esta semi-elipse se determina a partir del siguiente sistema de ecuaciones y en la imagen se aprecia quienes son las variables mencionadas:

 $r^2 = a^2 + (r - b)^2$

$$\frac{\pi ab}{2} = \frac{\pi r^2}{4} \Rightarrow 2ab = r^2$$

Ilustración 44: Referencias para determinas semi-elipse (elaboración propia).

Entonces se tiene a=663.6~mm~y~b=412.6~mm, consecuentemente el centro de masa de la semi-elipse medido desde el origen de coordenadas es: $y=(r-b)+\frac{4b}{3\pi}=740-412.6+175=502.4~mm$

donde $\frac{4b}{3\pi}$ es el baricentro de una semielipse.

Consecuentemente el centro de masa (para el 75% de volumen ocupado por cebada germinada) se determina con la siguiente ecuación:

$$CM = \frac{0.5 * 0 + 0.25 * 502.4}{1} = 125.6 \, mm$$

Al tratarse de una masa de granos con agua, la dinámica como una masa total se ve afectada, acercándose más al comportamiento del agua; por lo que el grano se distribuirá de forma homogénea dejando la superficie plana y nivelada, en caso de encender el mezclador el ángulo de reposo se mantendrá en 0º para esta situación (se asemeja al comportamiento de arenas movedizas).

Por lo tanto, el centro de masa a capacidad máxima quedará sobre la línea vertical que pasa por el centro del tambor.

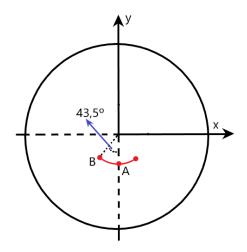
A continuación, se analiza el <u>caso 2</u>, para el cual solo se tiene la masa de grano sin adición de agua, por lo que hay 500 kg. Mientras se encuentre en reposo el centro de masa se halla en el mismo lugar que el caso 1, sin embargo, cuando se gire el tambor, el centro de masa se encontrará a la misma distancia del centro, pero perpendicular a la línea formada por el ángulo de reposo (40º es el ángulo máximo alcanzado según experimento 1: Peso Hectolítrico). Por lo tanto, usando el sistema de coordenadas propuesto en la imagen anterior, las coordenadas del centro de masa son:

- $\bullet \quad x = -sen(40) * \frac{2D}{3\pi}$
- Se mantiene equidistante de ambas tapas según la coordenada z.

Finalmente en el <u>caso 3</u> se tendrán 995 kg de grano germinado ocupando un volumen de 1632 L en el tambor (75 % de su capacidad), la pendiente de caída para este caso es de 43,5º.

Dado que el volumen ocupado en este caso es igual al del caso 1, y como la distribución de la masa es homogénea, el centro de masa se encuentra a la misma distancia del centro que en el caso 1, por lo que se tienen 125,6 mm desde el centro del tambor al centro de masa

A medida que el tambor gira, este centro de masa se desplaza hasta que la superficie de la masa comienza a deslizar debido a que alcanzó la inclinación de la pendiente de caída, por ende, la distancia del centro de masa al origen de coordenadas dispuesto en el eje de giro, se puede ver como un arco de radio 125,6 mm tal y como se aprecia en la siguiente imagen:



Las coordenadas del punto A son $y = -125,6 \, mm$, mientras que para el punto B se tendrá:

- $x = -86.4 \, mm$
- $y = -91.1 \, mm$

6.3.2 Estimación de la masa del tambor en capacidad máxima

El cuerpo cilíndrico del tambor se constituye a partir de dos chapas de acero inoxidable 304 de 2 mm de espesor. Las medidas comercializadas de dimensión 1250 x 2500 (mm) tienen un peso estimado de 49,6 Kg. Por lo tanto, se estima un peso de 99,2 Kg para el cuerpo cilíndrico.

Cada deflector requiere un área total de 0,3 m², de los cuales en esta estimación se considera la utilización de ocho deflectores de acero inoxidable 304, incluyendo el "deflector" especial para desagüe considerado constructivamente igual al resto. Se considera que 1 m² de acero inoxidable 304 de 2 mm de espesor tiene un peso de 15,94 Kg, de este modo se tiene un peso total de deflectores de 38,25 Kg.

Por otro lado, se consideran las tapas del tambor como tapas circulares sólidas, empleando unos 3,44 m² de acero inoxidable 304 de 2 mm; totalizando un peso de 54,8 Kg.

En este análisis se tienen en cuenta las pistas de rodadura o aros, constituidos de acero al carbono 1045, este material tiene una densidad de 7,84 g/cm³. La dimensión del aro de rodadura posee como sección transversal un ancho de 50 mm en una altura de 15 mm. Proyectado un recorrido sobre el perímetro del cilindro del tambor, empleando un largo de 4400 mm. Por lo tanto, el peso de ambas pistas de rodadura suma 34,5 Kg.

En capacidad máxima el tambor será cargado con 500 kg de cebada (en base húmeda), esta masa se ve incrementada de acuerdo a como se explica en el <u>Apartado 6.3.1 Análisis del centro de masa del tambor</u>, caso 1, donde se tienen 1237 Kg de cebada y agua ocupando el 75 % del volumen de tambor.

No obstante, dado que se proyecta el peso total del equipo para un posterior dimensionado de los elementos solicitados, es necesario plantear un caso extremo de llenado del tambor en un estado fuera del proceso normal.

Esta situación sucedería en caso de una falla del sensor de nivel, provocando que el tanque se inunde de agua durante el lavado del grano, en el caso crítico, Caso 1 de "esfuerzos a tener en cuenta", el volumen de aire (25% del volumen del tambor) será ocupado por el agua, sumando así 538 kg extras.

En síntesis, se tiene un peso máximo de 2002 Kg.

6.4 Dimensionado del sistema hidráulico

6.4.1 Determinación del caudal

Se analizan los caudales requeridos en ambos procesos "1" y "2"; por un lado, para el llenado de 300 L de agua del tambor se establece una demora de 8 minutos como tiempo razonable. Esto arroja un caudal necesario de 0,625 L/s.

Por otro lado, el "proceso 2" requiere la reposición de agua durante el germinado, como medida para corregir la fuga de humedad provocada por el arrastre de la aireación del sistema de ventilación. Para la etapa de germinación se necesita un caudal de aire de 0,15 m³/s.

Las condiciones de ingreso y salida del aire a través del tambor, determinando la masa de agua contenida según el estado del aire (Kg H₂O/m³ Aire), están dadas por:

		[kg H20/m3 aire]
Condiciones de Ingreso	H ₂ 0 en aire 60% @ 5°C	0,004
de Aire a Tambor	H ₂ O en aire al 60% @ 30°C	0,019

H₂O en aire Saturado

@ 16°C

H₂O en aire 90% @

18°C

0,014

0,014

Tabla 13: Contenido de agua según estado del arie (elaboración propia).

Para determinar la cantidad de agua a reponer debido al arrastre de la ventilación, se toman los casos de entrada con 0,004 Kg $\rm H_2O/m^3$ Aire, y la salida con 0,014 Kg $\rm H_2O/m^3$ Aire. De este modo unos 0,010 Kg $\rm H_2O/m^3$ Aire se extraen del tambor debido a la ventilación. Así con el flujo de aire necesario de 0,15 $\rm m^3/s$ más la cantidad de agua determinada que se extraen, arroja un flujo masico de agua salido del tambor, de 0,0015 Kg $\rm H_2O/s$. Es decir, unos 1,5 mL/s, que son 5,4 L/h o en un lapso de 10 horas son 54 L.

Por otro lado, si se analiza el contenido de agua en masa de granos, en la condición crítica de HRG, o previa al germinado según el <u>Anexo 8.6 Experimento de remojado</u> se debe tener el 46% HRG. Si se plantea la ecuación de la humedad relativa se tiene:

$$HRG = \frac{Mt - Ms}{M_t} \times 100$$

Donde:

- M_t es la masa total
- M_s es la masa seca ($M_{grano\ seca}$)

Condiciones de Salida

de Aire en Tambor

Entonces con 46% de HRG, se tiene:

$$46\% = \frac{M_t - M_{grano \, seca}}{M_t} \times 100$$

Si se asume que la masa de granos introducidos al tambor es una masa seca de 500 Kg de cebada (0% HRG), se despeja de la ecuación anterior la masa total, obteniendo 925,9 Kg de masa total.

A su vez, la masa total es la sumatoria de la masa seca más la masa húmeda (masa de agua):

$$M_t = M_{grano\ seca} + M_{grano\ h\'umeda}$$

De donde al despejar la masa de grano húmeda, se tiene: $M_{grano\ h\'umeda}=$ 425,9 Kg

Así, luego en la condición límite de 46% de HRG, la masa de agua absorbida es de 425,93 Kg o lo que equivale a 425,93 L que se deben mantener como condición interna del tambor.

Esto permite, que bajo una variación en el porcentaje de HRG, donde 35% es el límite inferior, se determina la masa de agua necesaria a reponer para reestablecer el estado al 46% de HRG,

en el entendido que el flujo de aire y su arrastre hagan descender el valor de HRG interno; según siguiente tabla:

Tabla 14: Cantidad de agua necesaria a reponer (elaboración propia).

Humedad de Grano HRG (%)	Contenido de H2O en grano según HRG [kgH2O]=[L H2O]	Diferencia respecto (HRG)@46% [kg H2O]=[L H2O]	Cantidad de Agua a reponer [L H2O]
35%	269,23	156,70	156,70
40%	333,33	92,59	92,59
45%	409,09	16,84	16,84

De este modo si para el "proceso 2" se selecciona el caudal de 0,625 L/s del "proceso 1", se puede determinar cada cuanto tiempo se debe suministrar la cantidad de agua a reponer según el estado del HRG y dado el flujo masico de agua salido del tambor, de 0,0015 Kg H_2O/s .

Y por otro lado, si es coherente el tiempo en que se mantendrá encendida la electrobomba con dicho caudal para suplir el agua faltante.

Esto se plantea en la siguiente tabla:

Tabla 15: Tiempo de reposición y tiempo de encendido de electrobomba (elaboración propia).

Humedad de Grano HRG (%)	Intervalo de Tiempo para Reposición Necesaria (según Caudal 0,625L/s) [hrs]	Tiempo de Bomba Encendida según Caudal Elegido [min]	
35%	29,02	4,18	
40%	17,15	2,47	
45%	3,12	0,45	

Se concluye que según el caudal seleccionado para el llenado del tambor en el "proceso 1", es coherente que dicho caudal pueda abastecer el agua requerida para el "proceso 2" mediante la aspersión para el control de la germinación.

Además, el tiempo de encendido de la electrobomba en función de este caudal, para un seteo de HRG de entre 35% a 40%, no demanda un tiempo de encendido excesivamente breve, que de lo contrario podría resultar contraproducente para la electrobomba.

6.4.2 Dimensionamiento de cañería

Para dimensionar el diámetro necesario para las cañerías de agua, se debe tener en cuenta que el fluido que se pretende transportar es incomprensible, y además se entiende que la selección del diámetro de una instalación determina la velocidad por el interior de los mismos.

Al tratarse de un sistema de bombeo, velocidades muy inferiores pueden incurrir en incrustaciones no deseadas, o de lo contrario, velocidades muy elevadas pueden resultar abrasivas para las caras internas de la cañería.

Consultado el libro Flujo de Fluidos en Válvulas, Accesorios y Tuberías (CRANE, 1992), se presentan los límites a considerar para un sistema de bombeo en la siguiente tabla.

Tabla 16: Límites de velocidades según servicios requeridos. (CRANE, 1992)

Servicio	Velocidad	
Alimentación de calderas		
Succión de bombas y líneas de descarga Servicios generales	1.2 a 3.0 m/s (4 a 10 pie/s)	
Distribución de agua potable	hasta 2.1 m/s (7 pie/s)	

De este modo se selecciona un diámetro de cañería, para un caudal requerido de 0,625 L/s.

Por otro lado, la velocidad por dentro de la cañería está dada por la ecuación:

$$v = \frac{4 * Q}{\pi * D_{int}^2}$$

Donde:

- v [m/s] es la velocidad del fluido
- Q [m³/s] es el caudal interior por la cañería
- D_{int} [m] es el diámetro interior de la cañería

A su vez, para la selección del caño a instalar, es necesario determinar el espesor de pared para el material seleccionado (acero inoxidable AISI 304) y el caudal máximo necesario para la instalación (Q=0,625 L/s).

Para ello, se utiliza la siguiente fórmula para la determinación del espesor de pared de un caño delgado sometido a presión interna, donde la tensión longitudinal es determinante:

$$t = \frac{P * D_{int}}{2 * S_t}$$

Donde:

- t [cm] es el espesor de pared
- P [Kg/cm²] es la presión interna del caño
- D_{int} [cm] es el diámetro interior de la cañería
- S_t es la tensión de fluencia del material

De este modo, para el acero inoxidable AISI 304 seleccionado, se tiene un límite de fluencia de 2460 Kg/cm², y se escoge un coeficiente de cálculo de 1,4 basado en la resistencia de fluencia. Esto arroja una tensión de 1757,1 Kg/cm².

Además, se considera que la presión máxima de la instalación será según el "proceso 2" de 1,5 bar, es decir 15,29 Kg/cm².

Los resultados de la siguiente tabla muestran los cálculos de velocidades internas de la cañería para distintos diámetros internos, y el espesor de pared para dicho diámetro y condiciones de operación mencionadas.

Tabla 17: Cálculo de velocidades internas y espesor de paredes según diámetros internos. Caudal y presión interna de la instalación (elaboración propia).

Diámetro Interno [m]	Velocidad Interna [m/s] (Q=0,000625m3/s)	Espesor de Pared [cm] (P= 1,5bar=15,29Kg/cm2)
0,0140	4,06	0,0061
0,0155	3,31	0,0067
0,0170	2,75	0,0074
0,0185	2,33	0,0080
0,0200	1,99	0,0087
0,0215	1,72	0,0094
0,0230	1,50	0,0100
0,0245	1,33	0,0107
0,0260	1,18	0,0113
0,0275	1,05	0,0120
0,0290	0,95	0,0126
0,0305	0,86	0,0133

En la zona coloreada se resaltan los diámetros comprendidos en los límites de un sistema de bombeo mencionado anteriormente. La selección definitiva en base a las cañerías comerciales depende de los diámetros de fabricación según norma constructiva.

6.4.3 Pérdidas de carga en la instalación

Dada las irreversibilidades existentes a través de un sistema de bombeo, se debe determina la pérdida de carga de la instalación. Para ello, se utiliza la ecuación de Darcy-Weisbach:

$$h_f = f * \frac{L}{D} * \frac{v^2}{2 * g}$$

Donde:

- h_f es la pérdida de carga [m.c.a]
- f factor de fricción del fluido
- L es el largo de la cañería [m]
- D el diámetro interno de cañería [m]
- v la velocidad media interna del fluido [m/s]

Para determinar el factor de fricción, el mismo depende de la rugosidad relativa y del número de Reynolds.

La rugosidad relativa interna de las tuberías seleccionadas viene dada por la rugosidad absoluta ϵ , que para este diseño se toma ϵ =0,046 mm (acero comercial), y el diámetro interno (D= 23 mm). La rugosidad relativa se expresa como:

$$\frac{\varepsilon}{D} = 0.181 * 10^{-3}$$

Por otro lado, el número de Reynold se determina mediante:

$$Re = \frac{v * D}{v} = \frac{4 * Q}{\pi * D * v}$$

Donde:

- Q es el caudal requerido [m3/s]
- ν la viscosidad cinemática [m2/s] @ 25°C / ν = 1,004 * 10^{-6} m^2/s

De este modo se obtiene que Re=34461, siendo un fluido en régimen turbulento.

Recurriendo al ábaco de Moody, se determina que el factor de fricción f=0.0235.

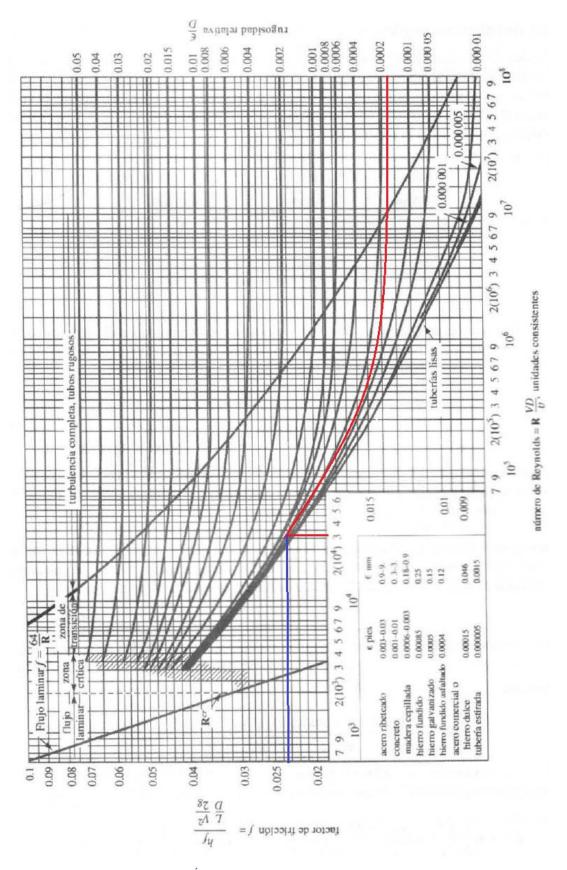


Ilustración 46: Ábaco de Moody para determinar factor de fricción (Streeter, 1999).

Bajo estas condiciones se comienza a determinar las pérdidas de carga que se tiene en este diseño de sistema de bombeo. Para esto se determinan las energías específicas tanto de la

succión como de la descarga, constituyendo la Carga Estática del sistema. Además, se calculan las Cargas Dinámicas del sistema mediante las pérdidas de carga de la succión y descarga.

Para el cálculo de las pérdidas de carga dinámicas, se distinguen de las pérdidas localizadas y distribuidas, por lo tanto, se tiene la siguiente fórmula:

$$h_f = \sum k * \frac{v^2}{2 * g} + f * \frac{L}{D} * \frac{v^2}{2 * g}$$

Donde:

- h_f es la pérdida de carga [m.c.a]
- k Coeficiente de pérdida de carga de cada pieza
- g aceleración gravitatoria [m/ s^2]

Además, de la velocidad interna del fluido v, el factor de fricción f, el largo de la tubería en estudio L (pudiendo utilizarse la longitud equivalente de la pieza), y el diámetro interno de tubería D.

El sistema hidráulico según el diseño planteado en este proyecto determina dos circuitos que comparten parte del recorrido hasta la válvula de tres vías, la cual selecciona si es llenado del tambor o proceso de aspersión de agua. A su vez se debe distinguir el tramo de succión y la descarga de la bomba.

En la siguiente tabla se plantean las pérdidas de carga por cañería y accesorios del circuito del "proceso 1" para llenado del tambor, mediante los largos equivalentes o los coeficientes de pérdidas asociados.

Tabla 18: Cálculos pérdidas de carga en circuito para llenado de tambor (elaboración propia).

	Pieza/Tramo	Largo del tramo	Coef. Pedida K	Perdida <i>h f</i> Darcy- Weisbach(m.c.a)
	Succión recta cuadrada	-	0,35	0,0404
SUCCIÓN	tramo recto 1	0,5	-	0,06
SUCCION	codo corto succión	-	0,9	0,1039
	tramo recto 2	0,75	-	0,09
	<u> </u>	Total Pérdida de Carga Succión hfs	0,29	
	tramo recto 3	1	-	0,12
	Válvula 3 vías	-	0,9	0,10
DESCARGA	tramo recto 4	0,5	-	0,06
DESCARGA	codo ingreso tambor	-	0,9	0,10
	Total linea Interna para llenado	0,81	-	0,10
	Codo corto llenado	-	0,9	0,10
			Total Pérdida de Carga Descarga hfd	0,58

Del otro modo, se plantea el circuito para la aspersión de agua obteniéndose la siguiente tabla:

Tabla 19: Cálculos pérdidas de carga en circuito de aspersión (elaboración propia).

	Pieza/Tramo	Largo del tramo	Coef. Pedida K	Perdida <i>h f</i> Darcy- Weisbach(m.c.a)
	Succion recta cuadrada	-	0,35	0,0404
SUCCIÓN	tramo recto 1	0,5	-	0,06
SUCCION	codo corto succión	-	0,9	0,1039
	tramo recto 2	0,75	-	0,09
			Total Pérdida de Carga Succión hfs	0,29
	tramo recto 3	1	-	0,12
	Valvula 3 vías	-	0,9	0,10
	tramo recto 4	0,5	-	0,06
DESCARGA	codo ingreso tambor	-	0,9	0,10
	Total Linea Interna Boquilla	1,22	-	0,14
	Codo corto Boquilla	-	0,9	0,10
	Boquilla Atomizadora	-	47	5,43
			Total Pérdida de Carga Descarga Aspersor hfd	6,06

Por otro lado, se determina la energía específica bajo la fórmula del Teorema de Bernoulli en la ley de conservación de la energía entre el pelo de agua de succión y el de descarga, en unidades de m.c.a. Así se determinar las pérdidas de carga estáticas mediante:

$$\frac{P}{\gamma} + \frac{v^2}{2 * g} + z$$

Donde:

- $^{P}/_{\gamma}$ Es la energía potencial elástica $^{v^{2}}/_{2*g}$ Es la energía cinética
- z Es la energía potencial gravitatoria.

Así para el circuito de llenado del tambor se considera:

Tabla 20: Valores fórmula de Bernoulli para circuito de llenado de tambor (elaboración propia).

P1 succión [Pa]	0
P2 descarga [Pa]	0
Densidad ρ [kg/m³]	1000
Gravedad [m/s ²]	9,8
Diferencia Altura Pelos de	
Agua: Z2-Z1 [m]	1,8
Velocidades v2=v1 [m/s]	0

Mientras que para el circuito de aspersión se tiene:

Tabla 21: Valores fórmula de Bernoulli para circuito de aspersión (elaboración propia).

P1 succión [Pa]	0
P2 descarga [Pa] según	
boquilla seleccionada	150000
Densidad ρ: [kg/m3]	1000
Gravedad [m/s2]	9,8
Diferencia Altura Pelos de	
Agua: Z2-Z1 [m]	1,6

Aquí se hace la consideración del diferencial de presión entre la succión y boca de salida, como cero. A su vez, las velocidades relativas de succión y descarga son iguales e iguales a cero.

La pérdida de carga de la instalación queda entonces:

$$H_{SISTEMA} = \frac{P_d - P_s}{\gamma} + \frac{v_d^2 - v_s^2}{2 * g} + (z_d - z_s) + h_{fs} + h_{fd}$$

Se tiene que para el circuito de llenado del tambor una pérdida de carga del sistema de 2,68 m.c.a. Mientras que para el circuito para la aspersión por la boquilla atomizadora, se tiene una carga del sistema de 23,26 m.c.a; resultando este valor el más crítico para la selección de la bomba.

6.4.4 Condiciones de bombeo

La electrobomba que se debe emplear para suministro de agua hacia el tambor, cualesquiera las dos etapas anteriormente mencionadas, debe ser capaz de suministrar los caudales requeridos y a su vez la carga de sistema.

$$H_{SISTEMA} = H_{BOMBA}$$
 [m.c.a.]

Para esto se toma en cuenta las situaciones más críticas, donde el mayor caudal requerido es de 0,625 L/s (37,5 L/min); y la carga máxima requerida es de 23,26 m.c.a.

6.4.5 NPSH Disponible del Sistema Hidráulico

Se analizan las condiciones energéticas de la carga neta "positiva" de aspiración para este diseño de bombeo.

$$NPSH_{disponible} = 10^5 * \frac{P_{liq}}{\gamma} + z_{asp} - h_{fs} - \frac{P_{vapor}}{\gamma}$$

Donde:

- γ peso específico del agua $[N/m^3]$
- $P_{liq}/\gamma = P_{atm}/\gamma$ presión sobre el líquido en el reciente, en este caso es atmosférica [mca]
- z_{asp} altura geométrica desde pelo de agua hasta boca de succión [m.c.a]
- P_{vapor}/γ presión de vapor a 25°C. [mca]
- $h_{f,s}$ es la pérdida de carga de la instalación en succión [m.c.a]

Tabla 22: Asignación de valores para cálculo de NPSH (elaboración propia).

	[m.c.a]
P atm/ γ	10,33
Pvapor/γ @ 25°C	0,32
Z succion	0,6
H f succion	0,29

Para ello las condiciones son una succión desde un tanque contiguo según el diseño:

$$NPSH_{disponible}$$
= 10,32 m.c.a.

6.5 Pérdidas de carga en el sistema de ventilación

Para determinar las pérdidas de carga, se tienen en cuenta la línea de circulación más crítica, se contemplan las pérdidas de carga asociadas a los conductos, codos, equipos, filtro y en el pasaje del aire a través de los granos.

"Por lo general, el aire se suministra a una velocidad de 300 a 400 pies³/min (8,5 a 11,3 m³/min) por cada tonelada, lo que genera un flujo de aire lineal a través del grano de 10 a 15 pies/min (aproximadamente 3-4,6 m/min)." (Briggs, 1998). Para el equipo en cuestión, se opta por un flujo de aire de 18 m³/min por tonelada, y siendo que la capacidad del equipo objeto de este proyecto es de 500 kg, se tendrá un **caudal de aire de 9 m³/min.**

Si se pretende que por el tambor circulen 540 m³/h, lo que es igual a 0,15 m³/s (40% HR, 20°C, 1atm) y la velocidad dentro de los ductos debe ser menor a 12 m/s, a fin de evitar ruidos teniéndose en cuenta que la ventilación es lo que más uso se le da durante el proceso de producción. A continuación, se presenta una tabla de diámetros de sección, para distintos ductos y las velocidades que generan.

Diámetro tubería[m]	Área sección [m2]	Velocidad por sección [m/s]	Área descarga [m2]	Velocidad descarga [m/s]
0,1	0,008	19,1	0,14	1,07
0,15	0,018	8,49	0,21	0,71
0,2	0,031	4,77	0,28	0,54

Tabla 23: Diámetros, secciones y velocidades en conductos (elaboración propia).

De la tabla anterior se determina que el diámetro del conducto debe ser de 15 cm.

Para determinar las pérdidas de carga a través de los granos, los autores Hukill and Ives (Hukill & Ives, 1955) "proposed an empirical equation which accounts for the non-linear nature of the resistance airflow data. The equation is of the form:

$$\Delta P = \frac{c \times Q^2}{Ln(1+d \times Q)}"$$

Donde $Q \in [0,001~a~2,0]m/s$, $c = 2,14*10^4 \frac{Pa \times s^2}{m^3}$ y d = 13,2~s/m

Tabla 24: Resultados	Ecuación F	Hukill & Ives	(Elaboración propia)

Método	Constantes a-b-c-d	∆ P [Pa]
Hukill & Ives	c=21400	4611
	d=13,2	

El valor de las pérdidas de carga queda determinado por la tabla anterior (4611 Pa), este valor es coincidente con la tabla presentada en ASAE (ASABE, 2016), si para la cebada extendemos la

línea y tomamos como velocidad de flujo 0,7 m/s, el punto de intersección queda entre 4000 y 5000 Pa, lo que es coincidente con el resultado de la ecuación presentado en la tabla.

Para determinar el ventilador, a las pérdidas de carga anteriores deben de sumarse las de los tubos de ventilación que conectan los equipos. Para estos se supone un largo de 18 m y 5 codos, correspondiente al tramo más largo. Según el catálogo técnico de Salvador Escoda (Scoda, 2018), las pérdidas de carga, para la cañería recta de acero galvanizado es de 9 Pa/m, mientras que en los codos se tendrá 98 Pa. Por consiguiente, las pérdidas de carga en los tramos rectos y codos totalizan un total de 652 Pa.

La pérdida de carga en filtros, considerando la colocación de un filtro seco (el cual retiene partículas de polvo y polen), suponemos se usa un filtro capaz de retener partículas mayores a 0,5 micras, el cual genera una pérdida de carga de 25 mm c.d.a/m². Estimamos un área de 0,5 m² de sección a fin de tener un tamaño acorde a los equipos, una velocidad reducida por el filtro, y una relación vida útil y costo adecuada. Por lo que tenemos 50 mm c.d.a, equivalentes a 490 Pa de caída de presión.

Finalmente, sumando las pérdidas de carga asociadas al flujo por los granos (4611 Pa), a los ductos (652 Pa) y al filtro (490 Pa), se tiene un total de **5753 Pa**, suponiendo que los equipos a instalarse en la línea de ventilación traen un ventilador que permite vencer su propia pérdida de carga. En la siguiente imagen se presenta la curva de pérdidas de carga para el sistema de ventilación propuesto.

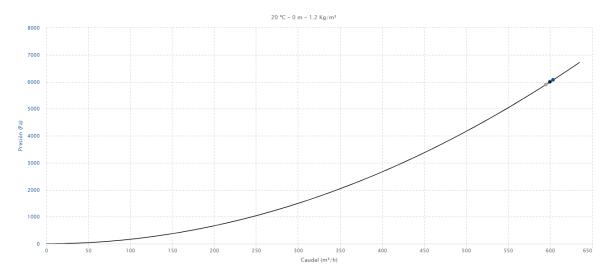


Ilustración 47: Curva pérdidas de carga (Fanware, 2022).

6.6 Análisis energético

Dependiendo de la época del año y la etapa del proceso que nos encontremos se requerirán diferentes valores de energía. Es por ello que se analizarán los 3 procesos (germinado, secado y horneado) durante el invierno y el verano.

Las condiciones ambientales se toman observando los datos estadísticos en el sitio de INUMET (INUMET, 2021). Se tiene que las temperaturas mínimas alcanzadas en invierno son de -2,5 °C, mientras que la temperatura mínima media mensual en invierno es de 8,2 °C. En verano la temperatura máxima alcanzada en promedio es de 38,8 °C y la temperatura máxima media mensual en verano es de 26,5 °C. Por lo tanto, se opta por tomar 5 °C como temperatura ambiente mínima en invierno y 30 °C como temperatura máxima en verano.

La velocidad del aire en el circuito de ventilación es de 9 m³/min, la misma se tomó del <u>Apartado</u> 6.5 <u>Perdidas de carga en el sistema de ventilación.</u>

6.6.1 Germinación

Se debe tener en cuenta que durante la germinación (4 días) el grano debe mantenerse a una temperatura de 16±4 °C, mientras que la humedad relativa del grano durante la germinación debe mantenerse a 40±10%.

Durante el germinado, la situación menos favorable se encuentra cuando el grano está al 46% HRG, ya que además de la masa del grano (500 kg), se tiene la masa de agua (426 kg) absorbida por el grano, esta situación es la que requiere mayor energía.

Además, "Durante la germinación del grano, el enfriamiento lo proporciona el paso de aire húmedo y una cierta cantidad de evaporación. (...) La tasa promedio de producción de calor es de 1,81 kJ/s por tonelada de cebada seca" (Briggs, 1998). Pero debe considerarse que en verano no alcanza solo con ventilar, ya que la energía acumulada internamente en el tambor comienza a aumentar, por lo que es preciso retirar energía del aire que ingresa al tambor. Debe recordarse que la ventilación, además de controlar la temperatura, cumple la función de oxigenar los granos.

Se desestima el uso del equipo deshumidificador durante esta etapa, ya que el pasaje de aire no saturado retira humedad del grano, y este equipo tendrá su mayor exigencia durante la etapa de secado.

Otra consideración no menor es que no se debe hacer un lavado de granos con una temperatura elevada de agua, ya que "un proceso de remojado con agua a temperatura elevada propicia una germinación irregular, la cual no es deseada" (Briggs, 1998).

Durante la germinación, se toma como volumen de control al cilindro del tambor, donde la variación de energía cinética y potencial se desprecian, y se considera la:

- Energía entrante y saliente con el aire (aire seco + humedad)
- Energía generada durante la germinación
- Energía disipada a través de las paredes
- Energía aire acondicionado

Se tiene que, la temperatura interna en el tambor es homogénea e igual a 16 °C, en el entendido de que el tambor se encuentra girando y por lo tanto mezclando los granos. Adicionalmente, a la salida del tambor se estima que el aire sale saturado a 16 °C, mientras que el ingreso es con HR=60% y la temperatura depende de si es invierno o verano.

En consecuencia, se logra determinar la energía adicional en la ventilación para mantener la temperatura y humedad objetivos en el grano (T=16±4 °C y HRG=40±10%),

Se plantean a continuación las ecuaciones de balance de masa y energía:

Balance masa aire seco: $\dot{m}_{a1} = \dot{m}_{a4} = \dot{m}_a$

Balance masa de agua: $\dot{m}_a \times \omega_1 = \dot{m}_a \times \omega_2$

Balance de energía: $\dot{Q}_{equipo} = \dot{m}_a \times h_1 + \dot{Q}_{germ} + \dot{Q}_{disipada} - \dot{m}_a \times h_4$

Donde ω es la relación de humedad en gramos de humedad por kg de aire seco, $\dot{Q}_{germ}=905~W$ y la energía disipada se determina con ecuaciones de conducción y convección planteando una resistencia equivalente obteniendo así:

$$\dot{Q}_{disipada} = \dot{Q}_{DisCilindro} + \dot{Q}_{DisTapas} = \Delta T \times \left(\frac{1}{0.33} + \frac{1}{0.29}\right)$$

Tal que ΔT es la variación de la temperatura entre el interior y el ambiente circundante al tambor.

Las condiciones del aire son $\dot{m}_a=0.19~\frac{kg}{s}$, $h_4=45.5~\frac{kJ}{kg_a}$, y las entalpías en el ingreso son $h_1=13.1~\frac{kJ}{kg_a}$ para el invierno y $h_1=71~\frac{kJ}{kg_a}$ en verano.

Los puntos mencionados (1 y 4) se encuentran en la siguiente imagen:

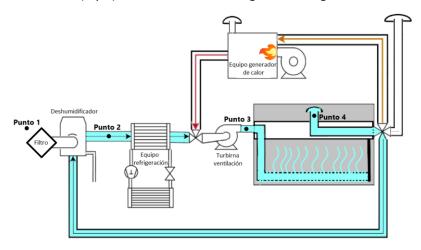


Ilustración 48: Circuito de aire con puntos de referencia (elaboración propia).

En la siguiente tabla se encuentran las energías sumadas, discriminando por estación crítica del año:

Tabla 25: Valores de los términos para el balance de energía en germinación (elaboración propia).

Estación	$\dot{m}_a \times (h_1 - h_4)$ [W]	$\dot{m{Q}}_{germ}$ [W]	$\dot{Q}_{disipada}$ [W]	\dot{Q}_{equipo} ⁵ [W]
Invierno	-6156	905	-71	-5322
Verano	4845	905	90	5840

Consecuentemente el equipo de refrigeración debe operar como bomba de calor en invierno, suministrando 5322 W al sistema, y como equipo de refrigeración en verano, sustrayendo 5840 W.

6.6.2 Secado

Para el secado del grano, se debe ingresar al tambor con aire a baja HR, esto se logrará condensando la humedad del aire. Para ello puede usarse un equipo de refrigeración o uno desecante (de silicagel).

Se analiza en este apartado el uso de ambas opciones para determinar la conveniencia, ya que, en caso de usar un equipo de refrigeración, el aire se enfría para condensar la humedad y debe volver a elevarse su temperatura para mantener las condiciones de la etapa de secado.

Físicamente, el agua que contiene el grano migra hacia la superficie de este por una diferencia de concentración, a medida que la temperatura del grano sea mayor, la velocidad de migración

⁵ Convención de signo: un valor negativo representa energía saliente del volumen de control.

del agua se ve incrementada debido a que el agua pasa a un estado de vapor con mayor rapidez. Se debe tener en cuenta que la temperatura del grano en esta etapa no ha de exceder los 38 °C, porque de lo contrario las enzimas existentes en el grano perecerían.

"This cooling is important; for example, the in-grain temperature of damp barley should never exceed about 38 °C (ca. 100 °F) for any substantial period of time. Often higher air temperatures are used for drying barley; for example, it is often recommended that the temperature of the drying air should not exceed 49 °C (120 °F)." (Briggs, 1998)

Se establece entonces que la temperatura máxima de ingreso al tambor no debe exceder los 49 °C y como cota mínima se estiman 20 °C con el fin de mejorar el secado, ya que a muy bajas temperaturas el proceso de secado se extendería en el tiempo. Por lo que se estima adecuado, considerar una temperatura de ingreso de 44 °C.

A la salida del tambor, se plantea que la HR del aire sea de 90 %, esto se debe a que a medida que el grano contiene menos agua, la misma demora más tiempo en migrar desde el interior del grano hacia la superficie; según el autor Briggs, a 45 °C se estima un 96% de HR en el aire que rodea el grano cuando el mismo contiene 43 % de HRG, por lo tanto al bajar la HRG (producto del secado) y al trabajar con una temperatura de 20 °C, la HR del aire circundante al grano decrece y a consecuencia se estima razonable promediar (a lo largo del proceso de secado) la HR del aire a la salida del tambor, en un 90%.

"Then, in the (mis-named) free-drying stage, with an air-on temperature of 50-60 °C (122-140 °F) for example, water is removed from the malt without much 'restriction' at an approximately linear rate. Because drying conditions are comparatively steady, the airflow can be adjusted so that the air-off has an RH approximating to 90-95%." (Briggs, 1998).

Si el valor real promedio resultara ser superior, el proceso demora menos tiempo en finalizar, y en caso de ser inferior, sucederá lo contrario con la duración del secado, y para aprovechar energía, si las condiciones de humedad y temperatura exterior son contraproducentes comparadas con las de la salida del tambor, se puede optar por recircular. Como ejemplo de esto considere que la humedad relativa a la salida es inferior a la del ambiente a temperaturas iguales, en esta hipotética situación conviene recircular.

Para el cálculo del análisis energético se tomó el volumen de control compuesto por el tambor (cilindro), el equipo deshumidificador y el equipo de acondicionamiento térmico, este último es empleado para controlar la temperatura funcionando como bomba de calor.

En base a lo anterior se puede determinar la demanda energética para el deshumidificador y el equipo de acondicionamiento térmico (para que este entregue 44 °C en la temperatura del aire). De ser necesario elevar más la temperatura, por encima de las capacidades del equipo determinado para la etapa de germinación, puede encenderse el sistema de horneado.

Se toma el tambor como un volumen de control adiabático, para así suponer que, en el proceso de secado interno, la entalpía es constante. Sin embargo, en el balance energético se considera la transferencia de energía (por conducción y convección) entre el tambor y el ambiente circundante.

Se considera que un evaporador genere un diferencial de temperatura de 15 $^{\circ}$ C entre su entrada y salida, a partir de esto se restringe su uso a condiciones ambientales donde la HR del aire y su temperatura superen el 60% y los 15 $^{\circ}$ C.

En cuanto al equipo desecante, supongamos tiene la misma capacidad de extracción de agua en el aire que el sistema evaporativo, y además el sistema de regeneración de la silicagel ocasiona un aumento de temperatura en el aire suministrado, el cual suponemos es de 15 °C, este dato

se extrajo comparando diversos catálogos de estos equipos para la capacidad de deshumidificación establecida.

A continuación, se presenta una tabla con los estados de cada punto que se encuentran representados en la imagen anterior (44). La tabla discrimina por el tipo de equipo a usar y por la estación del año.

Tabla 26: Estados de los puntos para el secado según equipo (elaboración propia).

			Evapora	dor	
Estación	Puntos	Temperatura [°C]	Humedad [%]	Entalpía (h) [kj/kg aire seco]	ω [g H ₂ O/ kg aire seco]
	1	15	60	32	6,5
Invierno	2	0	100	10	3,75
mvierno	3	44	7	54	3,75
	4	19	100	54	13,75
	1	30	60	71	16
Verano	2	15	100	42	10,75
verano	3	44	19	72	10,75
	4	24	100	72	19
			Desecai	nte	
Estación	Puntos	Temperatura [°C]	Humedad [%]	Entalpía [kj/kg aire seco]	ω [g H ₂ O/ kg aire seco]
	1	15	60	32	6,5
Invierno	2	30	15	40	3,75
ilivierno	3	44	7	54	3,75
	4	19	100	54	13,75

Se plantean a continuación las ecuaciones de balance de masa y energía:

30

45

44

24

Balance masa aire seco: $\dot{m}_{a1} = \dot{m}_{a4} = \dot{m}_a$

1

2

3

4

Balance masa de agua:

Verano

• En el deshumidificador: $\dot{m}_a \times (\omega_1 - \omega_2) = \omega_{Aire_retirada}$

60

18

19

100

71

73

72

72

16

10,75

10,75

19

• En el tambor: $\dot{m}_a \times (\omega_4 - \omega_3) = \omega_{Grano_retirada}$

Balance de energía, con el volumen de control comprendiendo los elementos de la imagen: $\dot{Q}_{Des}+\dot{Q}_{AA}+\dot{Q}_{Tambor}=0$

Potencia del deshumidificador con evaporador:

$$\dot{Q}_{Des} = \dot{Q}_{DesE} = \dot{m}_a \times (h_2 - h_1) - \dot{m}_a \times (\omega_1 - \omega_2) h_{\omega_retirada}$$

La entalpía del agua retirada ($h_{\omega_retirada}$), se determina suponiendo que el agua se encuentra en estado líquido a la temperatura del punto 2, entonces $h_{\omega_retirada}=4,18\times T_2$

Potencia acondicionamiento de aire: $\dot{Q}_{AA} = \dot{m}_a \times (h_3 - h_2)$

Energía en el tambor: $\dot{Q}_{Tambor} = \dot{Q}_{Disipada} + \dot{Q}_{Secado_Grano}$

$$\dot{Q}_{disipada} = \dot{Q}_{DisCilindro} + \dot{Q}_{DisTapas} = \Delta T \times \left(\frac{1}{0.33} + \frac{1}{0.29}\right)$$

Donde \dot{Q}_{Secado_Grano} se establece a partir de las condiciones anteriores y se vuelven a determinar las condiciones para el punto 4, donde se tiene la siguiente ecuación:

$$h_4=rac{\dot{Q}_{Secado_Grano}}{\dot{m}_a imes 1000}+h_3\left[kJ/kg_{Aire_Seco}
ight]$$
 y suponiendo el aire continúa saliendo saturado.

A continuación, se presenta una tabla con los valores de los términos que integran la ecuación del balance de energía, donde se mantiene la convención del signo (un valor negativo representa energía saliente del volumen de control).

	Estación	\dot{Q}_{Des} [W]	\dot{Q}_{AA} [W]	$\dot{Q}_{Disipada}$ [W]	$\dot{Q}_{Secado_Grano} \ [extsf{W}]$
Sist.	Invierno	-4180	8360	-26	-4154
Evaporativo	Verano	-5573	5700	39	-166
Sist.	Invierno	1487	2660	-26	-4121
Desecante	Verano	-124	-190	39	275

Tabla 27: Demanda de potencias en W (elaboración propia).

A continuación, se vuelve a plantear la tabla con los valores de los estados de cada punto, pero con los datos presentados para el punto 4 ajustados (los demás valores se mantienen iguales a la tabla 22).

Tabla 28: Estados			

			Evapora	dor	
Estación	Puntos	Temperatura [°C]	Humedad [%]	Entalpía (h) [kj/kg aire seco]	Relación de humedad agua aire (ω) [g H ₂ O/ kg aire seco]
	1	15	60	32	6,5
Invierno	2	0	100	10	3,75
IIIVIEITIO	3	44	7	54	3,75
	4	11	100	32	8,2
	1	30	60	71	16
Verano	2	15	100	42	10,75
verano	3	44	19	72	10,75
	4	23,5	100	71	18,5
			Desecai	nte	
Estación	Puntos	Temperatura [°C]	Humedad [%]	Entalpía [kj/kg aire seco]	ω [g H₂O/ kg aire seco]
	1	15	60	32	6,5
Inviorno	2	30	15	40	3,75
Invierno	3	44	7	54	3,75
	4	11	100	32	8,2
Vavana	1	30	60	71	16
	2	45	18	73	10,75
Verano	3	44	19	72	10,75
	4	24	100	73	19

En condiciones de una renovación constante del aire, el proceso de secado llevaría 99 hs en invierno y 57 hs en verano, aproximadamente. Una opción razonable para ahorrar energía y reducir los tiempos del proceso de secado es que durante la germinación se programe el ciclo, para que llegue al final de este con la humedad límite (30% HRG), y si la etapa de secado tiene una como objetivo 12% HRG, entonces los tiempos de secado se reducen a 49 hs para el invierno y 28 hs para el verano.

Siendo 50 hs de secado un tiempo razonable según un proceso de secado y horneado planteado por Briggs en su libro (ver imagen siguiente).

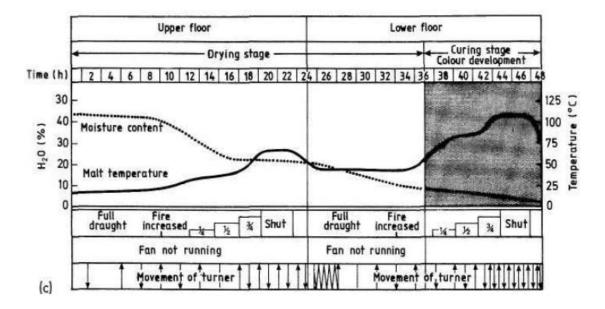


Ilustración 49: En esta imagen se puede apreciar cronológicamente durante el secado y el horneado, el contenido de humedad del grano y su temperatura, al mismo tiempo que se indica el funcionamiento del ventilador, el movimiento de granos y quemador (Briggs, 1998).

En el sistema de secado por condensación (sistema de refrigeración), no se platea la reutilización del evaporador (de la bomba de calor) y condensador que no están en la línea de ventilación, de incluirse se tendría un ahorro energético, pero implica adquirir más ductos y dampers para su control con el sistema de automatización, con el fin de regular certeramente la temperatura fraccionando el pasaje de aire por cada equipo, así como controlar la renovación adecuada de aire.

6.6.3 Horneado

Durante el horneado se plantea un circuito cerrado para el aire con el fin de optimizar el proceso, de lo contrario la potencia necesaria para el equipo a realizar esta tarea sería mayor en caso de hacerse con aire fresco.

La situación crítica se da cuando se opera en invierno (se favorecen las pérdidas de calor por conducción y convección), además el tipo de malta a elaborar influye, ya que para obtener diferentes maltas las condiciones físicas a las que se debe someter el grano varían. Se toman como casos más demandantes elaborar una malta Caramelo o una malta Chocolate. Para hacer una malta Caramelo el grano no debe secarse cuando finaliza la etapa de germinación, por lo que se eleva la temperatura de la malta verde hasta los 90 °C (incluida el agua que contiene el grano, HRG= 46%). Mientras que para elaborar una malta Chocolate o tostada intensa, el grano es secado hasta que HRG= 12%, y luego se calienta hasta 250 °C. La permanencia del grano a

esta temperatura puede variar a criterio del maestro maltero y la malta objetivo que se desee, pero se estima que como máximo la temperatura debe mantenerse durante 3 hs. Se considera prudente estimar que el grano alcance su temperatura objetivo en 3 hs, este tiempo es razonable, ya que como se aprecia en la imagen anterior (ilustración 45), el autor Briggs plantea que el horneado se lleve a cabo en 10 hs.

El calor específico (C_p) de la malta, según el autor Bala (Bilash Kanti, 1983), puede considerarse constante ante la variación de la temperatura, y se determina con la siguiente ecuación: $C_p = 1,651 + 0,04116 \times HRG \ [kJ/kgK]$, donde HRG es el porcentaje de humedad relativa del grano.

El calor específico del agua se considera constante con valor de 4,18 kJ/kgk.

A continuación, se lista un punteado de condiciones para la producción de los tipos de malta mencionados:

Malta Caramelo:

- o Temperatura inicial 16 °C
- Masa de agua en el grano con 46% HRG
- Masa seca de cebada
- Temperatura final 90 °C

Malta Chocolate:

- o Temperatura inicial 16 °C
- Masa de agua en el grano con 12% HRG
- Masa seca de cebada
- Temperatura final 250 °C

Como el circuito planteado es cerrado, un balance de masa no es necesario, a continuación, se plantea un balance de energía para conocer la potencia demandada para esta etapa, teniendo en cuenta que la energía perdida por la disipación de la misma hacia el ambiente circundante al tambor se toma como constante y con las temperaturas finales correspondientes a cada estilo de malta. Lograr llegar a la temperatura objetivo, demanda más energía que mantener dicha temperatura, puesto que para mantenerla solo hay que aportar la energía que se disipa al ambiente.

$$\frac{\Delta Q_{Masa_granos} + \Delta Q_{Masa_agua}}{3 \times 3600} + \dot{Q}_{Disipada} = \dot{Q}_{Equipo_calor}$$

Tal que $\Delta Q = m \times Cp \times \Delta T$ y

$$\dot{Q}_{disipada} = \dot{Q}_{DisCilindro} + \dot{Q}_{DisTapas} = \Delta T \times \left(\frac{1}{0.33} + \frac{1}{0.29}\right)$$

Utilizando los datos anteriores se expresan en la siguiente tabla los valores para los términos planteados en la ecuación del balance de energía.

Tabla 29: Potencia demandada en el equipo de calor (elaboración propia).

	\dot{Q}_{Masa_granos} [kW]	$\dot{Q}_{Masa_agua} \ ext{[kW]}$	$\dot{Q}_{Disipada}$ [kW]	$\dot{Q}_{Equipo_calor} \ ext{[kW]}$
Malta Caramelo	12,14	12,20	0,55	24,89

	\dot{Q}_{Masa_granos} [kW]	Q _{Masa_agua} [kW]	$\dot{Q}_{Disipada}$ [kW]	$\dot{Q}_{Equipo_calor} \ ext{[kW]}$
Malta Chocolate	23,24	6,18	1,59	31,01

Consecuentemente, la potencia requerida a suministrarse al aire ha de ser de 31,01 kW en el caso más crítico, que es producir malta chocolate en invierno.

Capítulo 7. Bibliografía

- Abadía, B., & Bartosik, R. (2013). *Manual de buenas prácticas en poscosecha de granos*. Buenos Aires: Ediciones INTA.
- AMAU. (2021). *Uruguay, Asociación de Microcervecerías Artesanales del*. Obtenido de https://www.amau.uy/
- Anderson, J. A. (1962). Barley and Malt. Londres: Academic Press Inc.
- Arias, G. (1991). *Calidad industrial de la cebada cervecera*. Montevideo: INIA Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria.
- ASABE. (2016). Resistance to Airflow of Grains, Seeds, Other Agricultural Products, and Perforated Metal Sheets. ASAE.
- Barbosa, G., Ortega, E., Juliano, P., & Yan, H. (2005). *Food Powders*. New York: Academic/Plenum Publishers.
- Bilash Kanti, B. (1983). Deep Bed Drying of Malt. Newcastle: University of Newcastle.
- Birrapedia. (2021). *Birrapedia*. Obtenido de https://birrapedia.com/cervecerias/de-uruguay?cl_tipo=ce
- Briggs, D. E. (1998). Malts and Malting. Londres, Reino Unido: Blackie Academic & Professional.
- Budynas, R. G., & Keith Nisbett, J. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. México: Mc Graw Hill.
- Caffaratti, S. (2021). *Somos Cerveceros*. Obtenido de http://somoscerveceros.com/2011/03/01/malteado-y-tostado/
- Carlos, I. (2004). Capacidad de almacenaje. Buenos Aires: Amarillo.
- CRANE. (1992). Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberias. México: McGraw-Hill.
- FAG. (2000). Rodamientos FAG Catálogo WL 41 520/3 SB. Montevideo: FAG.
- Faires, V. M. (1998). Diseño de elementos de máquinas. Barcelona: Montaner y Simon, S.A.
- Fanware. (2022). Fanware by Casals. Obtenido de https://www.casals.com/es/fanware/50/fans/771-aatvc-500?freq=50&flow=600&pressure=611.8297&temperature=20&height=0&variant=770
- Garcia Olmedo, F. (1980). El malteo de la cebada. Sección Técnica, 4.
- Gigliarelli, P. (2008). Malteado. Revista Mash, 4.
- Gomez, A. (7 de 2019). Producción de Cerveza. (G. Capellino, Entrevistador)
- Hukill, W., & Ives, N. (1955). Radial airflow resistance of grain. Agricultural Engineering.
- Hyun, A., Sungsu, L., & Jooyong, L. (23 de 06 de 2020). *MDPI*. Obtenido de Numerical Analysis of Drag Force Acting on 2D Cylinder Immersed in Accelerated Flow: https://www.mdpi.com/2073-4441/12/6/1790/htm
- ibérica, T. (2021). *Maltas Cerveceros*. Obtenido de http://www.maltascerveceros.com/sobre-nosotros/

- INCO. (2021). *INCO*. Obtenido de http://www.inco.com.uy/home2016/productos/fittings-roscados/codos/
- International, A. (2004). ASTM A312: Standard Specification for Seamless, Welded, and Heavily Cold Worked Austenitic Stainless Steel Pipes. West Conshohocken: ASTM International.
- INUMET. (2021). *INUMET*. Obtenido de https://www.inumet.gub.uy/clima/estadisticas-climatologicas/tablas-estadisticas
- Kunze, W. (2006). Tecnología para Cerveceros y Malteros. Berlín, Alemania: VLB Berlin.
- Mallett, J. (2014). *Malt. A Practical Guide from Field to Brewhouse.* Colorado: Brewers Publications.
- Pedrollo. (10 de 11 de 2021). *Pedrollo*. Obtenido de the spring of life: https://www.pedrollo.com/public/allegati/CP%200.25-2.2%20kW_ES_50Hz.pdf
- Pérez, E. S. (2010). Determinación de la temperatura y caudal de aire para el secado de malta en lecho profundo en la empresa maltería peruana S.A.C. Trujillo, Perú: Universidad nacional de Trujillo.
- Perry, R. (1999). Perry's chemical engineers handbook. New York: McGraw-Hill.
- Petters, H. I. (1988). *Studies on the microbiology of barley malt production.* Edinburg: Heriot-Watt University.
- RENAPRA. (2021). Red Nacional de Protección de Alimentos. Obtenido de https://mascapacitacionencerveza.wordpress.com/ingredientes-esenciales-cebadamalteada/
- Robert, R. D. (2009). Física 1. México: Patria.
- Scoda, S. (2018). Manual Práctico de Ventilación. Barcelona: S&P.
- SEW. (03 de 03 de 2022). SEW Eurodrive. Obtenido de https://www.sew-eurodrive.com.uy/os/catalog/products/drives/acgearmotor/default.aspx?language=es _ES&country=UY
- SKF. (2019). Rodamientos. Montevideo: Grupo SKF.
- Streeter, V. L. (1999). Mecánica de fluidos. Santafé de Bogota: McGraw-Hill.
- Systems, S. (10 de 11 de 2021). Sparaying Systrem Co. Obtenido de Experts in Spray Technology: https://www.spray.com/-/media/dam/industrial/usa/salesmaterial/catalog/cat75hyd_metric.pdf
- TFT. (2022). Obtenido de http://hosclima.com/wp/wp-content/uploads/Deshumidificadores Adsorci%C3%B3n Hosclima.pdf
- THYSSENKRUPP. (2022). Obtenido de https://www.thyssenkrupp-steel.com/media/cl/media/aceros/aceros_de_f_cil_mecanizaci_n/barras_de_aceros_i noxidable/aisi_304.pdf
- Timoshenko, S., & Young, D. H. (1951). *Engineering mechanics*. Tokyo, Japón: Tosho Inasatsu Printing Co.
- VIVESCIA, G. (2021). Malteurop. Obtenido de https://www.malteurop.com/en/de-lorge-au-malt

- Wijngaard, H., Ulmer, H., & Neumann, M. (2005). The Effect of Steeping Time on the Final Malt Quality of Buckwheat. *Portal timbó*, 7.
- Wilson, K. (2021). *Hangar 41 Brew Club*. Obtenido de https://www.hangar41brewshop.com/copy-of-winery

Capítulo 8. Anexos

8.1 Anexo: Lista de cervecerías artesanales nacionales

8.1.1 Lista obtenida del MIEM

Tabla 30: Lista MIEM (elaboración propia).

2 CAPITAN BEER 3 MONTEVIDEO BEER COMPANY BREW HOUSE 4 CERVEZA ARTESANAL Q BEER 5 TOLE'S BEER 6 OLIVER BEER CERVEZA ARTESANAL 7 CHAMANGA BEER 8 DUCAL ATENAS 9 BEER FACTORY 10 BEER GARAGE 11 BEER GARDEN 12 G DEGARAGE BEER CO. 13 TBC THE BEER COMPANY 14 ROCCO BEER 15 GALIA BREWING CO. 16 DOG BEER 17 BRADER CRAFT BEER 18 THE SPEAKEASY BEER TRUCK 19 BOBY'S HOME BEER 20 THE CAVE BEER CLUB	
4 CERVEZA ARTESANAL Q BEER 5 TOLE'S BEER 6 OLIVER BEER CERVEZA ARTESANAL 7 CHAMANGA BEER 8 DUCAL ATENAS 9 BEER FACTORY 10 BEER GARAGE 11 BEER GARDEN 12 G DEGARAGE BEER CO. 13 TBC THE BEER COMPANY 14 ROCCO BEER 15 GALIA BREWING CO. 16 DOG BEER 17 BRADER CRAFT BEER 18 THE SPEAKEASY BEER TRUCK 19 BOBY'S HOME BEER	
5 TOLE'S BEER 6 OLIVER BEER CERVEZA ARTESANAL 7 CHAMANGA BEER 8 DUCAL ATENAS 9 BEER FACTORY 10 BEER GARAGE 11 BEER GARDEN 12 G DEGARAGE BEER CO. 13 TBC THE BEER COMPANY 14 ROCCO BEER 15 GALIA BREWING CO. 16 DOG BEER 17 BRADER CRAFT BEER 18 THE SPEAKEASY BEER TRUCK 19 BOBY'S HOME BEER	
6 OLIVER BEER CERVEZA ARTESANAL 7 CHAMANGA BEER 8 DUCAL ATENAS 9 BEER FACTORY 10 BEER GARAGE 11 BEER GARDEN 12 G DEGARAGE BEER CO. 13 TBC THE BEER COMPANY 14 ROCCO BEER 15 GALIA BREWING CO. 16 DOG BEER 17 BRADER CRAFT BEER 18 THE SPEAKEASY BEER TRUCK 19 BOBY'S HOME BEER	
7 CHAMANGA BEER 8 DUCAL ATENAS 9 BEER FACTORY 10 BEER GARAGE 11 BEER GARDEN 12 G DEGARAGE BEER CO. 13 TBC THE BEER COMPANY 14 ROCCO BEER 15 GALIA BREWING CO. 16 DOG BEER 17 BRADER CRAFT BEER 18 THE SPEAKEASY BEER TRUCK 19 BOBY'S HOME BEER	
8 DUCAL ATENAS 9 BEER FACTORY 10 BEER GARAGE 11 BEER GARDEN 12 G DEGARAGE BEER CO. 13 TBC THE BEER COMPANY 14 ROCCO BEER 15 GALIA BREWING CO. 16 DOG BEER 17 BRADER CRAFT BEER 18 THE SPEAKEASY BEER TRUCK 19 BOBY'S HOME BEER	
9 BEER FACTORY 10 BEER GARAGE 11 BEER GARDEN 12 G DEGARAGE BEER CO. 13 TBC THE BEER COMPANY 14 ROCCO BEER 15 GALIA BREWING CO. 16 DOG BEER 17 BRADER CRAFT BEER 18 THE SPEAKEASY BEER TRUCK 19 BOBY'S HOME BEER	
10 BEER GARAGE 11 BEER GARDEN 12 G DEGARAGE BEER CO. 13 TBC THE BEER COMPANY 14 ROCCO BEER 15 GALIA BREWING CO. 16 DOG BEER 17 BRADER CRAFT BEER 18 THE SPEAKEASY BEER TRUCK 19 BOBY'S HOME BEER	
11 BEER GARDEN 12 G DEGARAGE BEER CO. 13 TBC THE BEER COMPANY 14 ROCCO BEER 15 GALIA BREWING CO. 16 DOG BEER 17 BRADER CRAFT BEER 18 THE SPEAKEASY BEER TRUCK 19 BOBY'S HOME BEER	
12 G DEGARAGE BEER CO. 13 TBC THE BEER COMPANY 14 ROCCO BEER 15 GALIA BREWING CO. 16 DOG BEER 17 BRADER CRAFT BEER 18 THE SPEAKEASY BEER TRUCK 19 BOBY'S HOME BEER	
13 TBC THE BEER COMPANY 14 ROCCO BEER 15 GALIA BREWING CO. 16 DOG BEER 17 BRADER CRAFT BEER 18 THE SPEAKEASY BEER TRUCK 19 BOBY'S HOME BEER	
14 ROCCO BEER 15 GALIA BREWING CO. 16 DOG BEER 17 BRADER CRAFT BEER 18 THE SPEAKEASY BEER TRUCK 19 BOBY'S HOME BEER	
15 GALIA BREWING CO. 16 DOG BEER 17 BRADER CRAFT BEER 18 THE SPEAKEASY BEER TRUCK 19 BOBY'S HOME BEER	
16 DOG BEER 17 BRADER CRAFT BEER 18 THE SPEAKEASY BEER TRUCK 19 BOBY'S HOME BEER	
17 BRADER CRAFT BEER 18 THE SPEAKEASY BEER TRUCK 19 BOBY'S HOME BEER	
18 THE SPEAKEASY BEER TRUCK 19 BOBY'S HOME BEER	
19 BOBY'S HOME BEER	
20 THE CAVE BEER CLUB	
<u> </u>	
21 HEMP BEER CO.	
22 SHAMROCK BEER	
23 AGUARÁ BEER HOUSE	

24	BROOKLYN CRAFT BEER
25	RODRÍGUEZ BEER
26	CERVEZA AYUI
27	O'NEILL CERVEZA ARTESANAL
28	BOTIJAS BIER CERVEZA ARTESANAL
29	CERVEZA THOMAS
30	CHELA BRANDON
31	LA BIRRA
32	BIRRA BENDITA
33	BIRRA BRAVA
34	BIER COOL
35	BIER DAS
36	CABESAS BIER
37	PINO'S BIER
38	PUNTA BIER
39	TIDEMANN BIER

8.1.2 Lista obtenida de AMAU

Tabla 31: Lista AMAU (elaboración propia).

1	ARISCONA
2	BARBOT
3	BIFROST
4	BIMBA BRÜDER
5	BIZARRA
6	BOBBY'S HOME BEER
7	BONNET
8	BRADER
9	BREMEN

10	BUDA
11	BUENAS COSTUMBRES BEER
12	CABESAS BIER
13	CAPITAN BEER
14	CERVEZA ARTESANAL COSMOPILITA
15	DHARMA
16	DON MOSTACHO
17	AL CAMINO
18	FELDBERG
19	GLU BEER
20	INDICA BEER
21	IBB
22	LA OCHO
23	CERVEZA ARTESANAL RACLAÜ'SHER
24	EL LEON DE AIGUÁ
25	MAAS BIRRA
26	MALAKAY CRAFT BEER
27	MASTRA CERVEZA ARTESANAL
28	MAX GRAFT BRAUEREI
29	CERVEZA ARTESANAL MEYER
30	MIST CERVEZA ARTESANAL
31	CERVEZA ARTESANAL NINJA'S BEER
32	O'NEILL CERVEZA ARTESANAL
33	ROCCO BEER
34	TARZAN BIER CERVEZA ARTESANAL
35	CERVEZA ARTESANAL VITALOGY
36	VOLCANICA
L	I .

8.2 Anexo: Encuesta

La siguiente encuesta se creó (ver imagen siguiente) y envió en marzo del año 2021 vía correo electrónico (contactos extraídos de la web) a 41 de las 68 cervecerías artesanales listadas en el anexo anterior, las empresas que respondieron contaban con un caudal de producción mensual de interés considerado suficiente para validar los datos.

Propiedades del sistema Tipo Formularios de Google Tamaño 2 kB Almacenamiento 2 kB usado Ubicación Estudio de mercado Propietario yo Modificado 21 feb 2022 por mí Abierto 21 feb 2022 por mí Creado 24 mar 2021 con Formularios de Google

Ilustración 50: Verificación fecha de creación (elaboración propia).

8.2.1 Encuesta

Las siguientes preguntas fueron desarrolladas con el fin de obtener la información necesaria para desarrollar un proyecto de fin de carrera de ingeniería industrial por lo que le solicitamos responda verazmente.

Con motivo de no contemplar la situación generada por el COVID-19, sería grato situarse en un tiempo anterior a la situación actual al responder las preguntas.

Las mismas no son de carácter obligatorio.

1.	Empresa:
2.	Producción mensual promedio en litros:

_	romedio de litros finales por kg malta empleado:
رخ	Adquiere maltas especiales de origen nacional o extranjero?
1a	rca solo un óvalo.
	Nacional
	Extranjero
	Ambas
رخ	A qué precio promedio son adquiridas? (indicar moneda y valor)
رخ	Adquiere malta base (por ej. Pilsen) de origen nacional o extranjero?
1a	rca solo un óvalo.
	Nacional
	Extranjero
	Ambas
رخ	A qué precio promedio son adquiridas? (indicar moneda y valor)
) خ	Qué porcentaje de malta base usa en sus recetas en promedio?
N	lencione los 5 tipos de maltas especiales más adquiridos.
_	

Interés en el proyecto

Tenga en cuenta que el equipo ocupará a lo sumo un espacio de 9 m2 y se estima que 450 kg de malta especial producidos semanalmente han de consumirse en dos meses y medio.

_	Estaría dispuesta la empresa a invertir en una maltería compacta para producir us propias maltas?
	Considera suficiente o insuficiente una producción de 450 kg de malta por ciclo una semana)?
	n caso de ser necesario ¿aceptaría asociarse con otras cervecerías artesanales para invertir en una maltería compacta que abastezca a todos los socios?

8.3 Anexo: Programa PLC

En la siguiente imagen se presenta una vista general del programa y todos sus bloques.

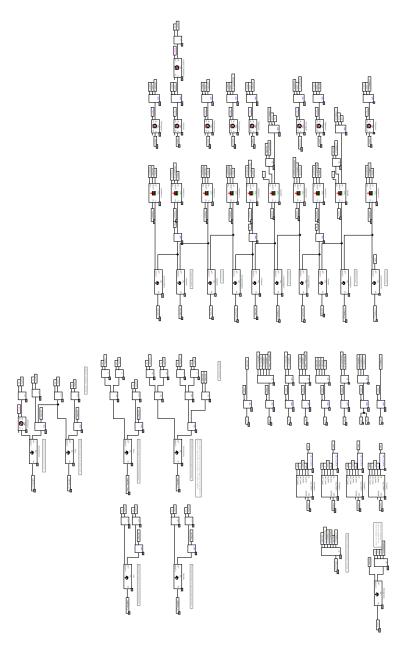


Ilustración 51: Vista general del programa

En las siguientes imágenes se presenta una ampliación de la vista general mostrando al detalle todos los bloques

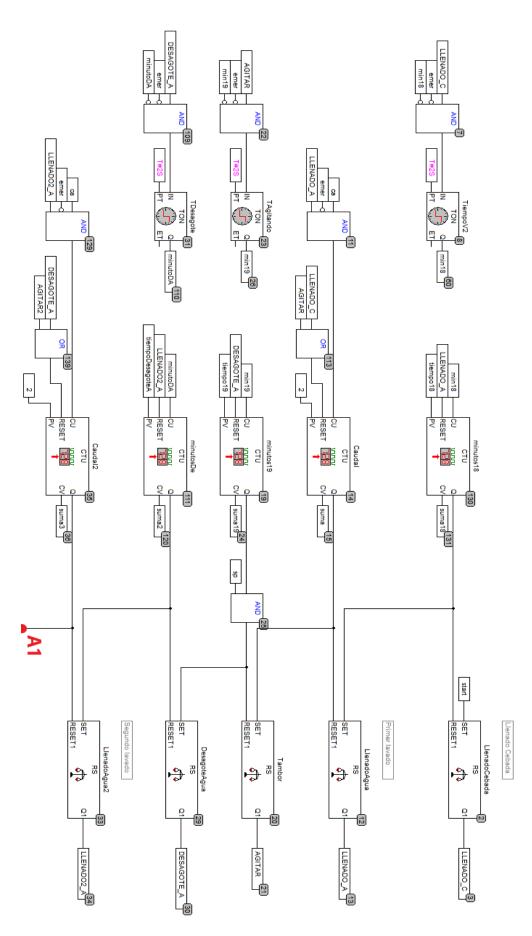


Ilustración 52: Primer conjunto de bloques (Imagen propia).

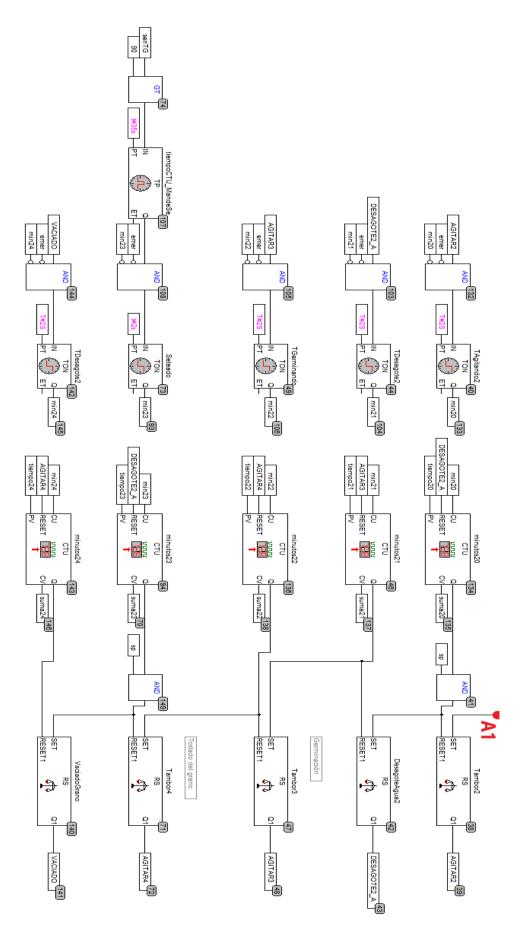


Ilustración 53: Continuación primer conjunto de bloques (Imagen propia).

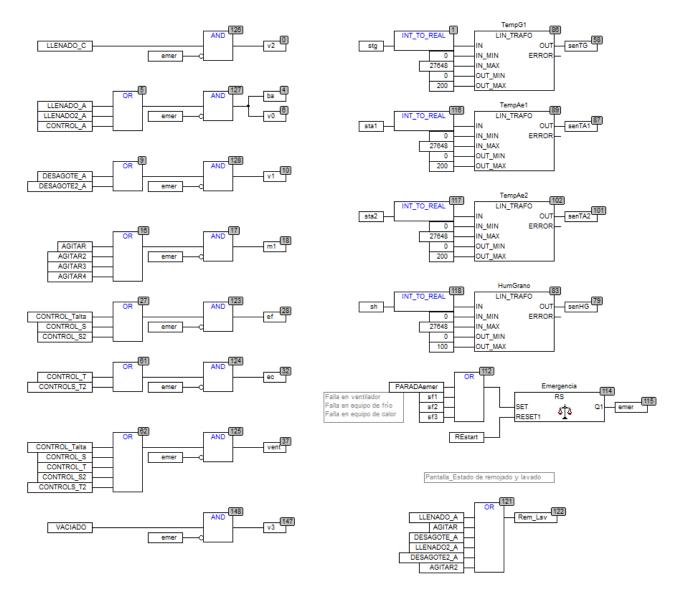
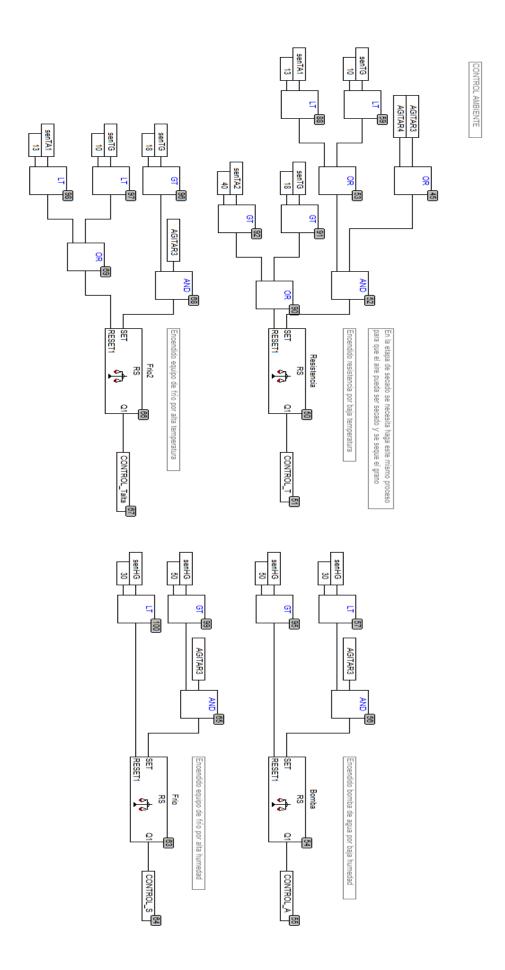


Ilustración 54: Segundo conjunto de bloques (Imagen propia).



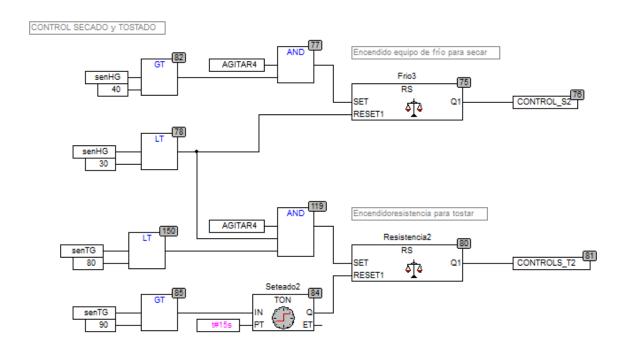


Ilustración 56: cuarto conjunto de bloques, control secado y tostado (Imagen propia)

En la siguiente imagen se encuentra la lista de variables y sus correspondientes nombres.

```
0001 PROGRAM MALTA2
                                                                             REstart: BOOL;
                                                                                                                    minutos21: CTU;
                                         Frio: RS:
                                                                     0061
                                 0031
                                                                                                            0092
                                                                                                                    tiempo21: WORD := 15;
                                                                             Emergencia: RS;
                                         Frio2: RS:
                                                                     0062
0002 VAR
                                 0032
                                                                             min18: BOOL;
                                                                                                            0093
                                                                                                                    tiempo22: WORD := 15;
        LLENADO_C: BOOL;
                                         CONTROL_Talta: BOOL;
                                                                     0063
0003
                                 0033
                                                                                                            0094
                                                                                                                    minutos22: CTU;
                                                                             suma18: INT:
0004
        LLENADO_A: BOOL;
                                 0034
                                         Tambor4: RS;
                                                                     0064
                                                                                                                    minutos23: CTU;
                                                                                                            0095
0005
        suma: INT;
                                 0035
                                         Seteado: TON:
                                                                     0065
                                                                             suma20: INT:
                                                                                                                    tiempo23: WORD := 15:
        AGITAR: BOOL;
                                         CONTROL_S2: BOOL;
                                                                     0066
                                                                             min20: BOOL;
                                                                                                            0096
0006
                                 0036
                                                                                                                    minutos24: CTU:
                                                                             min21: BOOL;
                                                                                                            0097
0007
        DESAGOTE_A: BOOL;
                                 0037
                                         Frio3: RS;
                                                                      0067
                                         CONTROLS_T2: BOOL;
                                                                             min22: BOOL;
                                                                                                            0098
                                                                                                                    tiempo24: WORD;
        emer: BOOL;
                                 0038
                                                                     0068
0008
                                 0039
                                                                             suma21: INT;
                                                                                                            0099
                                                                                                                  END_VAR
0009
        LlenadoCebada: RS:
                                         Resistencia2: RS:
                                                                     0069
                                                                             suma22: INT:
                                         Seteado2: TON:
                                                                     0070
0010
        LlenadoAgua: RS;
                                 0040
0011
        Tambor: RS:
                                 0041
                                         AGITAR2: BOOL
                                                                     0071
                                                                             min23: BOOL:
0012
        TiempoV2: TON;
                                 0042
                                         LLENADO2_A: BOOL;
                                                                     0072
                                                                             suma23: INT;
        TAgitando: TON;
                                 0043
                                         DESAGOTE2_A: BOOL;
                                                                     0073
                                                                             sfVent: BOOL;
0013
0014
        DesagoteAgua: RS;
                                 0044
                                         AGITAR3: BOOL;
                                                                     0074
                                                                             tiempoCTU_MandeSe: TP;
        TDesagote: TON;
                                         AGITAR4: BOOL;
                                                                     0075
                                                                             Rem_Lav: BOOL;
0015
                                 0045
        Caudal2: CTU:
                                         TemperaturaG1: LIN_TRAFO;
                                                                             VACIADO: BOOL
                                 0046
                                                                     0076
0016
                                                                             VaciadoGrano: RS:
        LlenadoAgua2: RS;
                                         TempAe1: LIN_TRAFO;
0017
                                 0047
                                                                     0077
                                                                             min24: BOOL:
0018
        Tambor2: RS;
                                 0048
                                         TempG1: LIN_TRAFO;
                                                                     0078
0019
        TAgitando2: TON;
                                 0049
                                         TempG2: LIN_TRAFO;
                                                                     0079
                                                                             suma24: INT;
        DesagoteAgua2: RS;
                                 0050
                                         TempAe2: LIN_TRAFO;
                                                                     0080 END_VAR
0020
        TDesagote2: TON;
                                         senTG: REAL;
                                                                     0081
                                                                            R RETAIN
0021
                                 0051
                                                                             minutosDe: CTU;
        Tambor3: RS;
                                         senTA2: REAL;
                                                                     0082
0022
                                 0052
        TGerminando: TON:
                                 0053
                                         senHG: REAL:
                                                                             tiempoDesagoteA: WORD := 15;
0023
                                                                     0083
                                                                             minutos 19: CTU;
        CONTROL_T: BOOL;
                                 0054
                                         senTA1: REAL:
                                                                     0084
0024
                                                                             tiempo19: WORD := 15:
0025
        Resistencia: RS;
                                 0055
                                         HumGrano: LIN_TRAFO;
                                                                     0085
0026
        CONTROL_H: BOOL;
                                 0056
                                         minutoDA: BOOL;
                                                                     0086
                                                                             Caudal: CTU:
0027
        CONTROL_A: BOOL;
                                 0057
                                         suma3: INT;
                                                                     0087
                                                                             minutos 18: CTU;
        Bomba: RS;
                                         min19: BOOL;
                                                                             tiempo18: WORD := 15;
0028
                                 0058
                                                                     0088
        suma2: INT;
                                         suma19: INT;
                                                                     0089
                                                                             minutos20: CTU;
0029
                                 0059
                                                                     0090
                                                                             tiempo20: WORD := 15;
0030
        CONTROL_S: BOOL;
                                0060
                                         tiempo: BOOL:
```

Ilustración 57: Lista de variables (Imagen propia)

8.4 Anexo: Informe sobre experimento Peso Hectolítrico

8.4.1 Objetivo

Determinar el peso hectolítrico de la cebada, de la cebada germinada, la cantidad de agua necesaria para cubrir todos los granos en la cebada seca y el ángulo de reposo del grano mojado tanto para la cebada inicial como para la cebada germinada.

8.4.2 Marco teórico

El peso hectolítrico es el "peso de un volumen de cien (100) litros de grano tal cual, expresado en kg/HL." (Carlos, 2004). Para el caso de la cebada cervecera el peso hectolítrico ronda entre 58 kg/HL y 72 kg/HL.

El ángulo de reposo es el ángulo en el que un material descansará al formar una pila. Esto es, el ángulo formado por la horizontal y el copete de la pila. Dependiendo del tipo de material granulado, el ángulo de reposo está estrechamente ligado a la fluidez del material. A mayor fluidez menor es el ángulo de reposo formado. (Perry, 1999)

"Los factores del grano que modifican el ángulo de reposo y la fluidez son: el tamaño, el tipo de superficie del grano y su forma, la humedad y los cuerpos extraños." (Carlos, 2004). Los efectos antes mencionados incrementan el ángulo de reposo cuando: el tamaño es menor, la superficie es más rugosa, la forma es menos esférica, la humedad es mayor y existe un porcentaje alto de cuerpos extraños.

8.4.3 Materiales

- Recipiente de 20 L o más (volumen conocido)
- Balanza
- Agua
- Cebada
- Cebada germinada (con tamaño de raíces igual al largo del grano)
- Probeta graduada de 500 mL.

8.4.4 Procedimiento

Pasos a seguir:

- 1. Determinar la masa del recipiente vacío y su capacidad volumétrica.
- 2. Enrasar con cebada y pesarlo.
- 3. Añadir agua (midiendo cuánto se coloca) en el recipiente lleno de cebada hasta que la misma cubra la superficie de granos.
- 4. Repetir los pasos anteriores (a excepción del paso 3), pero para el grano germinado.
- 5. Tanto para el grano remojado, como para el grano germinado, formar una pila dejando caer el grano desde una corta distancia (mayor a 5 cm) para determinar el ángulo de reposo.

8.4.5 Resultados

8.4.5.1 Cebada sin germinar

Peso del recipiente vacío: 1kg

Volumen recipiente: 23,76 L (D=29 cm, h=36 cm)

Peso recipiente lleno de cebada: 16,6 kg

Cantidad de agua añadida: 10 L

Ángulo de reposo: 38,5º



Ilustración 58: Ángulo reposo cebada seca (elaboración propia).

8.4.5.2 Cebada germinada

Peso del recipiente vacío: 0,627 kg

Volumen recipiente: 16 L

Peso recipiente lleno de cebada sin germinar: 10,9 kg

Volumen y peso final de la cebada germinada: 2 recipientes llenos pesaron 9,8 kg y 10,3 kg, más 2,25 L de volumen extra, el cual pesó 1,6 kg.

Ángulo de reposo: 43º



Ilustración 59: Ángulo reposo cebada germinada (elaboración propia).

8.4.6 Conclusiones

Se determina que el peso hectolítrico de la cebada sin germinar es de 65,6 kg/HL, mientras que el de la cebada germinada es de 59,7 kg/HL. Este último valor podía haber sido superior o inferior como se obtuvo, la razón de esto es que el agua absorbida por el grano incrementa el peso, mientras que las raíces al crecer incrementan el volumen

A raíz de este experimento también se deduce que el volumen del grano germinado se incrementa en un 114%, totalizando un 214% en base al volumen original, en otras palabras, crece al doble de su tamaño original.

Posteriormente al experimento de la germinación, se puede deducir cuánta agua fue absorbida por la masa de cebada a germinar. Con un peso inicial de 10,9 kg y finalmente aumentando hasta 20,4 kg, se tiene que fueron necesarios absorber 9,5 kilos de agua para alcanzar la geminación deseada.

8.4.7 Bibliografía

Carlos, I. A. (2004). Capacidad de almacenaje. Buenos aires: Amarillo.

Perry, R. H. (1999). Perry's chemical engineers handbook. New York: McGraw-Hill.

8.5 Anexo: Informe sobre experimento de Mezclado

8.5.1 Objetivo

Encontrar un volumen óptimo de llenado del recipiente, que permita una correcta mezcla homogénea de la cebada remojada, hermanada con la eficiencia volumétrica del recipiente.

Determinar la cantidad de vueltas necesarias del recipiente para obtener una mezcla homogénea en función del volumen ocupado, además de encontrar el tamaño adecuado de las paletas revolvedoras.

Por otro lado, obtener la fuerza necesaria para hacer rotar el recipiente según la masa de granos interna.

8.5.2 Marco Teórico

8.5.2.1 Torque de una fuerza aplicada

Sea la siguiente ecuación $\tau=rF$ sin sin θ donde τ es el torque como magnitud, r es la distancia al punto de aplicación de la fuerza F y θ es el ángulo que forma la recta que pasa por el origen y el punto de aplicación y el vector de la fuerza.

La dirección y sentido del vector torque están dados por la regla de la mano derecha, donde el pulgar indica el sentido del torque cuando los demás dedos se doblan según el sentido de la fuerza, eso puede verse en la siguiente ilustración.

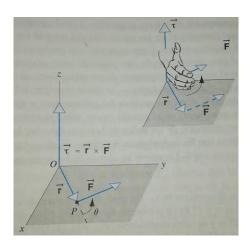


Ilustración 60: Vectores torque y fuerza (Robert, 2009).

8.5.2.2 Áreas y volúmenes de interés

El área de un círculo se determina como $A_c=\pi*r^2$ donde r es el radio de la circunferencia, mientras que el volumen de un cilindro se determina como $V=\pi*r^2*h=A_c*h$ donde h es la altura del cilindro.

8.5.3 Materiales

Para hacer el experimento se requiere de una olla de 96 L (D=50 cm, h=50 cm) con una tapa transparente la cual será fijada y presenta una parte que abre una fracción del área tapada (tapa escotilla), además la misma contará con una segunda tapa más pequeña para permitir introducir elementos cuando la fracción de tapa no se pueda abrir (ver la siguiente imagen).



Ilustración 61: Tapas del recipiente (elaboración propia).

Se deberá contar con un soporte que permita girar la olla en posición horizontal, la misma contará con 5 rodamientos, de los cuales 4 serán de apoyo y 1 de tope para mantener la olla en un mismo lugar. La base puede ser como la de la siguiente imagen.

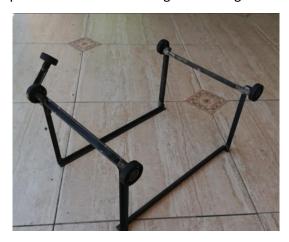


Ilustración 62: Soporte (elaboración propia).

Además, ha de tenerse balanza colgante y de piso, regla de 1 m o mayor, cebada húmeda y cebada germinada, elemento que permita ingresar granos a lo largo de toda la olla por la tapa menor, cuerda, colorantes repostería (al menos 4 colores), recipiente 0,5 L, colador, varilla roscada, tuercas y 8 tablas de madera de 50x1x1 cm (con estos 3 elementos anteriores se forman las 4 paletas deflectoras).

8.5.4 Procedimiento

- 1. Pesar la olla vacía, incluida la estructura soporte, la tapa con las paletas deflectoras ensambladas usando solo 4 de las 8.
- 2. Con la olla en posición vertical, introducir la cebada ya remojada hasta alcanzar un 50% de dicho volumen (25 cm en altura del recipiente) y taparla.
- 3. Con la balanza de piso, medir el peso del recipiente con la cebada.
- 4. Con la cuerda atada a un asa del recipiente y en el otro extremo a la balanza, tirar de la balanza de forma tal que la cuerda quede paralela al plano formado por la tapa mayor y tangencial a la circunferencia de la olla.
- 5. Colocar el recipiente ya hermético sobre el soporte específico.

- 6. En el recipiente de 0,5 L preparar la cebada "testigo", coloreando con colorante repostero y escurriendo el exceso de líquido. Mezclar para obtener una muestra homogénea.
- 7. Por la tapa escotilla, que permite el acceso adicional de cebada, cubrir la mitad de la superficie superior de granos con cebada "testigo" pre-coloreada. Identificar la cantidad colocada (peso en Kg).
- 8. Sellar la tapa y comenzar a rotar la olla en vueltas completas de 360° en sentido horario, contabilizar la cantidad de las mismas; esto hasta observar una mezcla uniforme a través de la tapa acrílica o por la tapa escotilla.
- 9. Repetir el experimento en función de los resultados arrojados con el volumen al 50%, de ser necesario reducir el volumen a un 25% (12,5 cm de altura del recipiente) si no se alcanza una mezcla homogénea, o de lo contrario aumentar la capacidad hasta un 75% con cebada remojada (37,5 cm de altura del recipiente).
 - 9.1. Observación: dado el diseño de la tapa de acrílico para volúmenes mayores al 50% la adición de una nueva cebada "testigo" de otro color se debe realizar por el orificio pequeño.
- 10. A las paletas deflectoras añadir las 4 tablas de madera formando así paletas de 50x2x1.
- 11. Repetir los pasos 5 a 8.
- 12. Utilizando cebada germinada tal que la raíz tenga un lago igual a 1,5 veces el largo del grano, repetir los pasos 2 a 7.

8.5.5 Resultado

El recipiente junto a los elementos (soporte de rotación y paletas) para llevar a cabo el experimento, pesa 9,5 kg.

Caso 1) Capacidad al 50% del volumen y 4 deflectores de 1x1 cm:

Se censa en la balanza de piso el equipo con una capacidad del 50% de cebada ya remojada, el valor fue de 42,3 kg.

Una vez posicionada la olla sobre el soporte de rotación, y con el aditamento de la cebada "testigo" coloreada en rojo, que totalizó un 0,9 kg, se comienza a rotar de a una vuelta completa en sentido horario.

En cada vuelta es notoria la dispersión de la cebada "testigo" dentro de la cebada general. En la quinta vuelta se decide detener la rotación ya que mediante una inspección a través de la abertura se contempla una mezcla buena, pero con una pequeña zona concentrada en rojo visualizada a través del acrílico.

En la octava vuelta, la inspección arroja que la mezcla ya alcanza un nivel exitoso entre ambas cebadas, con la cebada "testigo" correctamente diseminada.



Ilustración 63:: Mezcla homogénea con 8 vueltas, color rojo (elaboración propia).

Como en este primer experimento se logra una mezcla homogénea adecuada, se decide incrementar la capacidad a un 75% del recipiente.

Caso 1.1) <u>Determinación del torque necesario para generar la rotación, en una capacidad al 50% del volumen y 4 deflectores de 1x1 cm:</u>

Con la capacidad al 50% del recipiente y estando este situado sobre su soporte de rotación, se aplica una fuerza tangencial a la circunferencia del recipiente, de este modo la balanza de mano arroja un valor de 10 kg para lograr la rotación.

Caso 2) Capacidad al 75% del volumen y 4 deflectores de 1x1 cm:

La balanza de piso arroja un valor de 63,3 kg de peso para el recipiente con capacidad del 75% de cebada remojada.

En el apartado de la cebada "testigo" la misma se colorea con tinte azul. Posteriormente se introduce la cebada coloreada en el centro de la superficie superior de la cebada contenida, estando esta operación limitada al pequeño orificio del recipiente. Una vez sellado el recipiente se comienza a rotar.

En la tercera vuelta la cebada azul alcanza un giro completo atravesando la cebada remojada, es decir, con los giros horarios, reaparece por el lado izquierdo de la superficie superior.

En la octava vuelta, se percibe una mejora en la mezcla, pero aún son evidentes concentraciones de la cebada "testigo".



Ilustración 64: 8 vueltas, color azul (elaboración propia).

En la vuelta quince, a través del acrílico se observa una mejora en la distribución de la cebada "testigo", pero en la superficie superior se encuentran leves concentraciones de dicha cebada.



Ilustración 65: Vuelta 15, color azul (elaboración propia).



Ilustración 66: Vuelta 15, color azul (elaboración propia).

En la vuelta número veinte se alcanza una mezcla homogénea entre ambos tipos de cebada, habiéndose eliminado las concentraciones de cebada azul.



Ilustración 67: Vuelta 20, color azul (elaboración propia).



Ilustración 68: Vuelta 20, color azul (elaboración propia).

Caso 2.1) Determinación del torque necesario para generar la rotación en una capacidad al 75% del volumen y 4 deflectores de 1x1 cm:

Con la capacidad de cebada remojada al 75% del volumen, se aplica una fuerza tangencial al recipiente y se lo mide con la balanza de mano, dando un valor de 12 kg para generar la rotación del recipiente.

Caso 3) Capacidad al 50% del volumen y 4 deflectores de 2x1 cm, (Prueba 1):

Se colorea la cebada "testigo" con colorante negro, la distribución inicial de esta se hizo en el centro de la superficie superior. Igualando las condiciones iniciales de distribución de la cebada "testigo" de la capacidad del 75%.

En la vuelta número cinco, se aprecia una mezcla parcial entre ambos tipos de cebada.

En la octava vuelta, se visualiza una mezcla satisfactoria no existiendo concentraciones de cebada negra.

Caso 4) Capacidad al 50% del volumen y 4 deflectores de 2x1 cm, (Prueba 2):

La cebada "testigo" es coloreada con tinte de color verde, y en esta circunstancia la distribución de la misma se realiza en la mitad derecha de la superficie superior de la cebada remojada; tal como se hizo en el primer experimento.

En la quinta vuelta se aprecia pequeña concentración de cebada testigo a través del acrílico, pero habiendo algunos granos verdes mezclados con el resto de la cebada.

En la séptima vuelta se logra una mezcla satisfactoria entre ambos tipos.

Caso 5) Capacidad al 75% del volumen, 4 deflectores de 2x1 cm y cebada germinada:

La cebada testigo se impregna de tinte color rojo y es distribuida por el centro usando la compuerta pequeña.

Concluidas las 10 primeras vueltas se observan concentraciones de granos rojos y algunos diseminados, llegadas a las 20 vueltas la cebada testigo se encuentra distribuida de forma homogénea por la superficie superior.



Ilustración 70; Vuelta 10, color rojo (elaboración propia).



Ilustración 69: Vuelta 20, color rojo (elaboración propia).

8.5.6 Discusiones

La distribución inicial de la cebada "testigo" en los cuatro primeros casos, presentó una nueva interrogante acerca de la ventaja de mezclado entre una distribución sobre la mitad de la superficie superior de la cebada remojada o ante una distribución central sobre dicha superficie.

Con la capacidad al 75% de cebada remojada y junto a la imposibilidad de abrir la tapa escotilla para adicionar la cebada "testigo", la cual se agregó por la tapa pequeña permitiendo una distribución central, condujo a la cuestión planteada.

Esto se logra dilucidar con el tercer y cuarto caso, donde con una capacidad al 50% de cebada remojada y con las circunstancias iniciales iguales, a excepción de la distribución inicial de la cebada coloreada, el experimento arroja que es prácticamente indistinto la distribución inicial de la cebada "testigo", en función de la cantidad de vueltas requeridas para alcanzar el objetivo ya que se logra una mezcla homogénea en ambos casos.

Se aclara que la adición de cebada "testigo" en todos los casos se mantuvo en una cantidad constante de 0,9 kg referenciado al experimento primero.

8.5.7 Conclusión

Analizando los resultados obtenidos y en conjunto con la conclusión del experimento 1 ("los granos al germinar incrementaron su volumen en un 50% respecto del volumen inicial de cebada"), se determina que el volumen ideal inicial debe ser un 50% del recipiente, ya que se obtiene una mezcla homogénea con la menor cantidad de vueltas. Y además al germinar este volumen inicial pasa a ocupar un 75% del volumen total del recipiente, para el cual fueron requeridas 20 vueltas hasta lograr una mezcla homogénea de cebada germinada.

Ocupar un volumen mayor, por ejemplo, a 75% de la capacidad del recipiente, implica una cantidad superior de vueltas para lograr la mezcla homogénea o incluso no alcanzar el objetivo.

8.5.8 Bibliografía

Robert, R., David, H., & Kenneth, K. (2009). Física 1. México: Patria.

8.6 Anexo: Informe sobre experimento de Remojado

8.6.1 Objetivo

Se plantea determinar la evolución del contenido de humedad del grano a lo largo del tiempo, así como la capacidad máxima de la humedad en el grano.

8.6.2 Marco Teórico

El contenido de humedad de un grano puede determinarse en base húmeda o base seca, es de interés de este experimento determinar la humedad en base húmeda.

La ecuación que determina el contenido de humedad (expresado en %) es:

$$HRG = \frac{M_t - M_s}{M_t} \times 100$$

Donde:

- M_t es la masa total
- M_s es la masa seca

8.6.3 Materiales

- Recipiente circular:
 - O Diámetro = 28,5 cm
 - o Altura = 35 cm
 - o Volumen = 22,3 L
 - O Masa = 0.9 kg
- Cebada: 6,3 kg, 12% humedad del grano (masa seca = 5,54 kg)
- Agua
- Balanza
- Regla de 30 cm o más.
- Reloi
- Colador

El proceso consta de remojar el grano inmerso en agua durante una hora y dejarlo escurrir durante otra hora, y repetir estos 2 pasos 3 veces en total, para al final dejarlo 12 hs sumergido en agua y escurrirlo durante una hora. En cada etapa debe pesarse el recipiente con el contenido y medir el volumen de agua añadido que es necesario para cubrir la superficie de los granos.

8.6.4 Procedimiento

- 1. Introducir la cebada en el recipiente
- 2. Determinar el volumen de la cebada.
- 3. Llenar con agua hasta la superficie del grano y medir el volumen de agua añadida. añadir 2 L de agua extra.
- 4. Transcurrida una hora, colar los granos dejando se escurran durante una hora.
- 5. Pesar el recipiente con los granos y determinar el volumen de la masa de cebada.
- 6. Repetir los puntos 3, 4 y 5 dos veces más.
- 7. Finalmente repetir puntos 3, 4, pero dejar los granos en remojo durante 12 hs y dejarlos escurrir durante una hora.
- 8. Realizar punto 5.

8.6.5 Resultados

A continuación, se presenta una tabla con los resultados, donde cada etapa representa el transcurso de una hora, a excepción de la etapa 5, la cual está asociada al punto 7 del procedimiento (12 hs). La columna "Peso cebada" representa la masa de cebada escurrida, la columna "Volumen de agua" muestra la cantidad mínima de litros necesarios para cubrir los granos, las restantes columnas representan con exactitud lo que describen.

Etapa	Peso cebada [kg]	Volumen de agua [L]	Volumen cebada [L]	Humedad del grano [%]
0	6,3	5	9	12,0
1	7,7	4,5	10	28,0

11,16

11,8

13,4

30,7

34,0

48,2

4,5

5

5

Tabla 32: Resultados del experimento (elaboración propia).

8.6.6 Análisis resultados

2

3

4

8,0

8,4

10,7

A lo largo del proceso el volumen de agua necesaria para cubrir los granos se mantuvo por debajo de los 5 L sin importar el incremento de volumen de la cebada, por lo que el volumen que se encuentra entre los granos no cambia a pesar del cambio físico que se da en la cebada.

Por otro lado, transcurridas 6 hs, la cebada aumentó su volumen a 131 %, mientras que, en el tiempo máximo de sumergida en agua, su volumen alcanzó el 149 %, tomando los 9 L iniciales como el 100%, en otras palabras creció un 50% de su volumen inicial.

El peso hectolítrico inicial era de 70 kg/HL, al cabo de 6 hs el mismo era de 71,2 kg/HL y en el plazo extendido el mismo aumentó a 79,8 kg/HL.

La masa de agua ganada en 6 hs, fue de 2,1 kg (2,1 L) y en el plazo extendido el grano contiene 4,4 kg de agua (4,4 L), este peso expresado en porcentaje representa un 70 %.

8.7 Anexo: Constructivo de corona y piñón

A continuación, se presenta el resultado correspondiente al Generador de componentes de engranajes rectos (Versión: 2022.2 (Build 262287000, 287)) del programa Autodesk Inventor Professional.

8.7.1 Guía

Guía de diseño - Distancia al centro

Guía de correcciones unitarias - Usuario

Tipo de cálculo de carga - Cálculo de par de torsión para la potencia y la velocidad especificadas

Tipo de cálculo de resistencia - Comprobar cálculo

Método de cálculo de resistencia - ISO 6336:1996

8.7.2 Parámetros comunes

Tabla 33: Parámetros comunes (elaboración propia).

Coeficiente de engranaje	i	22,8636 su
Coeficiente de engranaje deseado	iin	22,8636 su
Módulo	m	3,000 mm
Ángulo de hélice	β	0,0000 gr
Ángulo de presión	а	20,0000 gr
Distancia al centro	aw	787,500 mm
Distancia al centro del producto	а	787,500 mm
Corrección unitaria total	Σχ	0,0000 su
Separación circular	р	9,425 mm
Separación circular base	ptb	8,856 mm
Ángulo de presión de funcionamiento	aw	20,0000 gr
Coeficiente de contacto	ε	1,7664 su
Desviación límite del paralelismo entre ejes	fx	0,0110 mm
Desviación límite del paralelismo entre ejes	fy	0,0055 mm

8.7.3 Engranajes

Tabla 34: Engranajes (elaboración propia).

		Engranaje 1	Engranaje 2
Tipo de modelo		Componente	Componente
Número de dientes	Z	22 su	503 su
Corrección unitaria	Х	0,0000 su	0,0000 su
Diámetro de separación	d	66,000 mm	1509,000 mm
Diámetro exterior	da	72,000 mm	1515,000 mm
Diámetro raíz	df	58,500 mm	1501,500 mm
Diámetro de círculo base	db	62,020 mm	1417,996 mm
Diámetro de separación de trabajo	dw	66,000 mm	1509,000 mm
Anchura de cara	b	20,000 mm	20,000 mm
Coeficiente de anchura de cara	br	0,3030 su	0,0133 su

		Engranaje 1	Engranaje 2
Altura de cabeza del diente	a*	1,0000 su	1,0000 su
Juego	c *	0,2500 su	0,2500 su
Empalme raíz	rf*	0,3500 su	0,3500 su
Grosor de diente	S	4,712 mm	4,712 mm
Grosor de diente tangencial	St	4,712 mm	4,712 mm
Grosor de diente sobre cuerda	tc	4,161 mm	4,161 mm
Altura de cabeza de diente sobre cuerda	ac	2,243 mm	2,243 mm
Cota sobre cuerda	W	23,065 mm	521,521 mm
Dientes de cota sobre cuerda	Zw	3,000 su	57,000 su
Cota sobre (entre) conductores	М	75,872 mm	1519,545 mm
Diámetro de conductor	dм	6,000 mm	6,000 mm
Desviación límite del ángulo de hélice	Fβ	0,0110 mm	0,0140 mm
Oscilación circunferencial radial límite	Fr	0,0210 mm	0,0590 mm
Desviación límite de la separación axial	fpt	0,0085 mm	0,0130 mm
Desviación límite de la separación básica	fpb	0,0080 mm	0,0120 mm
Número virtual de dientes	Zv	22,000 su	503,000 su
Diámetro de separación virtual	dn	66,000 mm	1509,000 mm
Diámetro exterior virtual	dan	72,000 mm	1515,000 mm
Diámetro de círculo base virtual	dbn	62,020 mm	1417,996 mm
Corrección unitaria sin conicidad	Xz	0,3949 su	-14,1092 su
Corrección unitaria sin entalladura	Хр	-0,2670 su	-28,4002 su
Corrección unitaria con entalladura admitida	Xd	-0,4370 su	-28,5702 su
Truncamiento cabeza diente	k	0,0000 su	0,0000 su
Unidad de grosor del diente exterior	sa	0,7060 su	0,8354 su
Ángulo de presión en la punta	αа	30,5276 gr	20,6144 gr

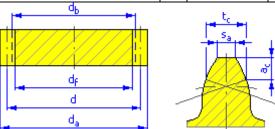


Ilustración 71: Cotas de las abreviaturas (elaboración propia).

8.7.4 Cargas

Tabla 35: Cargas (elaboración propia).

		Engranaje 1	Engranaje 2
Potencia	Р	1,000 kW	0,980 kW
Velocidad	n	1000,00 rpm	43,74 rpm
Par de torsión	Т	9,549 N m	213,965 N m
Eficiencia η		0,98	0 su

		Engranaje 1	Engranaje 2	
Fuerza radial F _r 105,323		23 N		
Fuerza tangencial	Ft	289,373 N		
Fuerza axial	Fa	0,000 N		
Fuerza normal F		307,9	44 N	
Velocidad circunferencial	٧	3,456 mps		
Velocidad de resonancia	nE1	16523,112 rpm		

8.7.5 Material

Tabla 36: Materiales (elaboración propia).

		Engranaje 1	Engranaje 2
		Material de usuario	Material de usuario
Resistencia máxima a tracción	Su	700 MPa	700 MPa
Límite de elasticidad	Sy	340 MPa	340 MPa
Módulo de elasticidad	Е	206000 MPa	206000 MPa
Coeficiente de Poisson	μ	0,300 su	0,300 su
Límite de fatiga por plegado	σFlim	352,0 MPa	352,0 MPa
Límite de fatiga por contacto	σHlim	1140,0 MPa	1140,0 MPa
Dureza de postizo de diente	JHV	210 su	210 su
Dureza de lado del diente	Muy alto voltaje	600 su	600 su
Número base de ciclos de carga en plegado	NFlim	3000000 su	3000000 su
Número base de ciclos de carga en contacto	NHlim	100000000 su	100000000 su
Exponente de curva de Wöhler para plegado	qF	6,0 su	6,0 su
Exponente de curva de Wöhler para contacto	qH	10,0 su	10,0 su
Tipo de tratamiento	tipo	2 su	2 su

8.7.6 Cálculo de resistencia

Tabla 37: Factores de carga adicional (elaboración propia).

Factor de aplicación	KA	1,200 su		
Factor dinámico	KHv	1,128 su	1,128 su	
Factor de carga de cara	Кнβ	2,464 su	1,867 su	
Factor de carga transversal	KHa	1,343 su	1,482 su	
Factor de sobrecarga única	Kas	1,000 su		

Tabla 38: Factores de contacto (elaboración propia).

Factor de elasticidad	ZE	189,812 su
Factor de zona	ZH	2,495 su

Factor de coeficiente de contacto	Ζε	0,863 su		
Factor de contacto de par único de dientes	ZΒ	1,090 su	1,000 su	
Factor de vida útil	ZN	1,000 su	1,143 su	
Factor de lubricante	ZL	0,962 su		
Factor de rugosidad	ZR	1,000 su		
Factor de velocidad	Zv	0,969 su		
Factor de ángulo de hélice	Ζβ	1,000 su		
Factor de tamaño	Zx	1,000 su	1,000 su	
Fact. endurecimiento por deformación en frío	Zw	1,000 su		

Tabla 39: Factores de plegado (elaboración propia).

Factor de forma	YFa	2,744 su	2,089 su
Factor de corrección de tensión	YSa	1,582 su	1,966 su
Factor de dientes con muescas rectific.	YSag	1,000 su	1,000 su
Factor de ángulo de hélice	Υβ	1,00	0 su
Factor de coeficiente de contacto	Υε	0,675 su	
Factor de carga alterna	YA	1,000 su	1,000 su
Factor de tecnología de producción	ΥT	1,000 su	1,000 su
Factor de vida útil	YN	1,000 su	1,000 su
Factor de sensibilidad de muesca	Υδ	1,166 su	1,206 su
Factor de tamaño	Υx	1,000 su	1,000 su
Factor de superficie de raíz de diente	YR	1,00	0 su

Tabla 40: Resultados (elaboración propia).

Comprobar cálculo	1	Positivo		
Seguridad estática en plegado	SFst	16,634 su	17,586 su	
Seguridad estática en contacto	SHst	2,112 su	2,302 su	
Coef. seguridad contra rotura de diente	SF	7,760 su	8,481 su	
Coeficiente de seguridad contra corrosión	SH	2,357 su	2,937 su	

8.7.7 Resumen de mensajes

20:10:49 Diseño: Engranaje 1: Corrección unitaria (x) es menor que Corrección unitaria sin conicidad (x_z).

20:10:49 Cálculo: El cálculo indica la compatibilidad del diseño.

8.8 Anexo: Informe análisis de tensiones en corona y piñón

A continuación, se presenta parte del informe elaborado por el programa Autodesk Inventor Professional.

8.8.1 Propiedades

Tabla 41: Propiedades físicas (elaboración propia).

Masa	10,4573 kg
Área	428605 mm^2
Volumen	1332140 mm^3
Centro de gravedad	x=-30,4203 mm y=13,0772 mm z=-0,00000000000285843 mm

Nota: los valores físicos pueden ser diferentes de los valores físicos utilizados por CEF indicados a continuación.

Tabla 42: Configuración de malla (elaboración propia).

Tamaño medio de elemento (fracción del diámetro del modelo)		
Tamaño mínimo de elemento (fracción del tamaño medio)		
Factor de modificación		
Ángulo máximo de giro		
Crear elementos de malla curva		
Usar medida basada en pieza para la malla del ensamblaje		

8.8.2 Material(es)

Tabla 43: Materiales (elaboración propia).

Nombre	Acero, fundido		
	Densidad de masa	7,85 g/cm^3	
General	Límite de elasticidad	250 MPa	
	Resistencia máxima a tracción	300 MPa	
	Módulo de Young	210 GPa	
Tensión	Coeficiente de Poisson	0,3 su	
	Módulo cortante	80,7692 GPa	
Nombre(s) de pieza	Corona y Piñon.ipt		
Nombre	Acero		
	Densidad de masa	7,85 g/cm^3	
General	Límite de elasticidad	207 MPa	
	Resistencia máxima a tracción	345 MPa	
	Módulo de Young	210 GPa	
Tensión	Coeficiente de Poisson	0,3 su	
	Módulo cortante	80,7692 GPa	
Nombre(s) de pieza	Engranaje recto2 Engranaje recto1		

8.8.3 Condiciones de funcionamiento

8.8.3.1 Fuerza:1

Las fuerzas se emplean sobre dientes que no son consecutivos a fin de apreciar un efecto más realista, además se aplican de forma tangente a la circunferencia que contiene el punto de aplicación de la fuerza. Las mismas tienen la magnitud de la tabla siguiente.

Tabla 44: Fuerza (elaboración propia).

Tipo de carga	Fuerza
Magnitud	1310,000 N

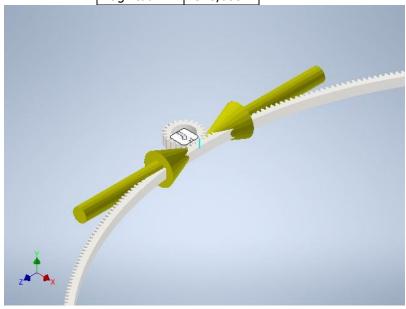


Ilustración 72: Caras seleccionadas, vista 1 (elaboración propia).

8.8.4 Resultados

8.8.4.1 Fuerza y pares de reacción en restricciones

Tabla 45:Fuerza y pares de reacción en restricciones (elaboración propia).

	Fuerza de reacción		Pares de reacción	
Nombre de la restricción	Magnitud	Componente (X, Y, Z)	Magnitud	Componente (X, Y, Z)
Restricción fija:1	1271,67 N	0 N	45,7588 N m	0 N m
		0 N		-45,7588 N m
		1271,67 N		0 N m
Restricción fija:2	1271,67 N	-1,84411 N	963,443 N m	0 N m
		0 N		-963,443 N m
		-1271,67 N		0 N m

8.8.4.2 Resumen de resultados

Tabla 46: Resumen de resultados (elaboración propia).

Nombre	Mínimo Máximo		
Volumen	1332140 mm^3		
Masa	10,4573 kg		
Tensión de Von Mises	0 MPa	95,3264 MPa	

Nombre	Mínimo	Máximo
Primera tensión principal	-21,7639 MPa	71,0024 MPa
Tercera tensión principal	-69,5939 MPa	19,2793 MPa
Desplazamiento	0 mm	0,00633852 mm
Coeficiente de seguridad	2,17149 su	15 su
Tensión XX	-58,3737 MPa	67,3045 MPa
Tensión XY	-4,774 MPa	5,28713 MPa
Tensión XZ	-26,2605 MPa	5,37848 MPa
Tensión YY	-24,3008 MPa	21,5411 MPa
Tensión YZ	-7,60283 MPa	7,79918 MPa
Tensión ZZ	-60,6769 MPa	31,7427 MPa
Desplazamiento X	-0,00131996 mm	0,00153806 mm
Desplazamiento Y	-0,00038569 mm	0,000387053 mm
Desplazamiento Z	-0,00614907 mm	0,00509134 mm
Deformación equivalente	0 su	0,000394255 su
Primera deformación principal	-0,0000000172887 su	0,000316724 su
Tercera deformación principal	-0,000364406 su	0,0000000000120532 su
Deformación XX	-0,000254486 su	0,000285941 su
Deformación XY	-0,0000295533 su	0,0000327298 su
Deformación XZ	-0,000162565 su	0,0000332953 su
Deformación YY	-0,0000761848 su	0,0000750157 su
Deformación YZ	-0,0000470651 su	0,0000482806 su
Deformación ZZ	-0,000330148 su	0,000112926 su
Presión de contacto	0 MPa	2,34468 MPa
Presión de contacto X	-0,79364 MPa	0,502132 MPa
Presión de contacto Y	-0,705508 MPa	1,34215 MPa
Presión de contacto Z	-1,94977 MPa	0 MPa

8.8.4.3 Figura: Coeficiente de seguridad

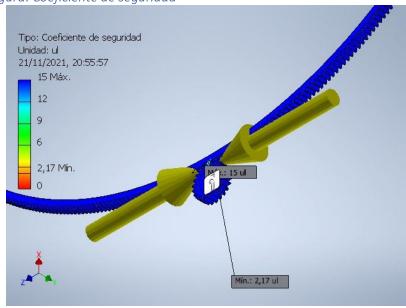


Ilustración 73: coeficiente de seguridad (elaboración propia).

8.9 Anexo: Informe análisis de tensiones en la estructura de apoyo

A continuación, se presenta parte del informe elaborado por el programa Autodesk Inventor Professional.

8.9.1 Propiedades

Tabla 47: Propiedades físicas (elaboración propia).

Masa		1531,76 kg	
Área		13274300 mm^2	
Volumen		1366170000	
		mm^3	
Centro	de	x=549,61	mm
gravedad		y=505,754	mm
		z=610,45 mr	n

Nota: los valores físicos pueden ser diferentes de los valores físicos utilizados por CEF indicados a continuación.

Tabla 48: Configuración de malla (elaboración propia).

Tamaño medio de elemento (fracción del diámetro del modelo)	0,1
Tamaño mínimo de elemento (fracción del tamaño medio)	0,2
Factor de modificación	
Ángulo máximo de giro	60 gr
Crear elementos de malla curva	
Usar medida basada en pieza para la malla del ensamblaje	

8.9.2 Materiales

Tabla 49: Características de materiales (elaboración propia).

Nombre		Acero AISI 1018 106 LC		
General		Densidad de masa		7,87 g/cm^3
		Límite de elasticidad		250 MPa
			3	354 MPa
		tracción		
Tensión		Módulo de Young		207 GPa
		Coeficiente de Poisson		0,33 su
		Módulo cortante		77,8195 GPa
Nombre(s)	de	PN C 100x50		
pieza		PN C 100x50		
		PN C 100x50		
		PN C 100x50		
		PN C 100x50		
		PN C 100x50		
		PN C 100x50		
		PN C 100x50		
		PN C 100x50		
		PN C 100x50		
		PN C 100x50		
		PN C 100x50		
		Reticulado.ipt		
Nombre		Genérico		
General		Densidad de masa 1 g/cm^3		

		Límite de elasticidad	0 MPa
		Resistencia máxima a	0 MPa
		tracción	
Tensión		Módulo de Young	0,0000001 GPa
		Coeficiente de Poisson	0 su
		Módulo cortante	0,00000005 GPa
Nombre(s) pieza	de	Skeleton 1622844524444.ipt	J Ol u
Nombre		Acero, suave	
General		Densidad de masa	7,85 g/cm^3
		Límite de elasticidad	207 MPa
		Resistencia máxima a	345 MPa
		tracción	
Tensión		Módulo de Young	220 GPa
		Coeficiente de Poisson	0,275 su
		Módulo cortante	86,2745 GPa
Nombre(s)	de	PN I100 PN	
pieza		I100	
Nombre		Acero, fundido	
General		Densidad de masa	7,85 g/cm^3
		Límite de elasticidad	250 MPa
		Resistencia máxima a tracción	300 MPa
Tensión		Módulo de Young	210 GPa
		Coeficiente de Poisson	0,3 su
		Módulo cortante	80,7692 GPa
Nombre(s) pieza	de	Apoyo cub.ipt	

8.9.3 Condiciones de funcionamiento

8.9.3.1 Fuerzas

A todas las fuerzas de la imagen siguiente se le aplica la magnitud indicada en la tabla a continuación.

Tabla 50: Valores de fuerza 1 aplicada (elaboración propia).

Tipo de carga	Fuerza
Magnitud	3312,400 N

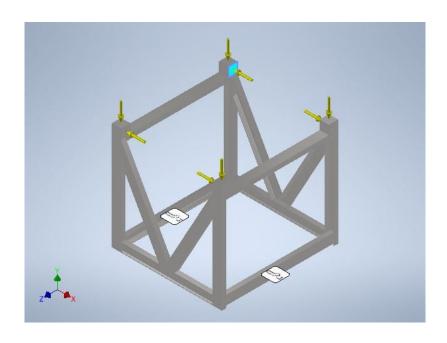


Ilustración 74: Perspectivas de fuerzas (1) aplicadas al reticulado (elaboración propia).

8.9.4 Resultados

8.9.4.1 Fuerza y pares de reacción en restricciones

Tabla 51: Fuerza y pares de reacción en restricciones (elaboración propia).

Nombre de la	Fuerza de reacción		Pares de reacción	
restricción	Magnitud	Componente (X, Y, Z)	Magnitud	Componente (X, Y, Z)
Restricción	14464,8 N	0 N	42,7953 N m	-39,2234 N m
fija:1		14464,8 N		-17,116 N m
		0 N		0 N m

8.9.5 Resumen de resultados

Tabla 52: Resumen de resultados (elaboración propia).

Nombre	Mínimo	Máximo
Volumen	1366170000 mm^3	
Masa	10751,7 kg	
Tensión de Von Mises	0,000333243 MPa	53,8971 MPa
Primera tensión principal	-10,417 MPa	61,2025 MPa
Tercera tensión principal	-35,1329 MPa	12,7633 MPa
Desplazamiento	0 mm	0,249817 mm
Coeficiente de seguridad	3,84065 su	15 su
Tensión XX	-11,8896 MPa	18,7331 MPa
Tensión XY	-9,84597 MPa	10,2314 MPa
Tensión XZ	-8,65718 MPa	8,58341 MPa

Nombre	Mínimo	Máximo
Tensión YY	-32,5645 MPa	59,374 MPa
Tensión YZ	-19,166 MPa	19,2728 MPa
Tensión ZZ	-14,426 MPa	23,4256 MPa
Desplazamiento X	-0,214815 mm	0,20926 mm
Desplazamiento Y	-0,13646 mm	0,0312572 mm
Desplazamiento Z	-0,0392345 mm	0,061434 mm
Deformación equivalente	0,00000000145671 su	0,000221872 su
Primera deformación principal	-0,000000289526 su	0,000255427 su
Tercera deformación principal	-0,000135038 su	0,00000168633 su
Deformación XX	-0,0000520599 su	0,0000739316 su
Deformación XY	-0,0000632615 su	0,0000657377 su
Deformación XZ	-0,0000556234 su	0,0000551494 su
Deformación YY	-0,000120194 su	0,00024483 su
Deformación YZ	-0,000122721 su	0,00012383 su
Deformación ZZ	-0,0000885597 su	0,0000772082 su
Presión de contacto	0 MPa	447,067 MPa
Presión de contacto X	-308,57 MPa	220,117 MPa
Presión de contacto Y	-321,297 MPa	208,294 MPa
Presión de contacto Z	-92,8688 MPa	131,603 MPa

8.9.6 Figura: Coeficiente de seguridad

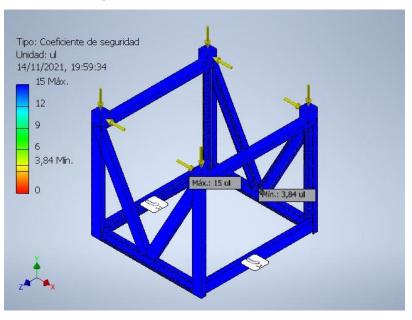


Ilustración 75: Análisis de coeficiente de seguridad, vista 1 (elaboración propia).

8.10 Anexo: Informe análisis de tensiones en el eje de apoyo del rodamiento

A continuación, se presenta parte del informe elaborado por el programa Autodesk Inventor Professional.

8.10.1 Propiedades físicas

Tabla 53: Propiedades físicas (elaboración propia).

Masa	1,41787 kg
Área	39865 mm^2
Volumen	180620 mm^3
Centro de gravedad	x=25 mm y=23,2699 mm z=75 mm

Nota: los valores físicos pueden ser diferentes de los valores físicos utilizados por CEF indicados a continuación.

Tabla 54: Configuración de malla (elaboración propia).

Tamaño medio de elemento (fracción del diámetro del modelo)	0.1
Tamaño mínimo de elemento (fracción del tamaño medio)	0.2
Factor de modificación	1.5
Ángulo máximo de giro	60 gr
Crear elementos de malla curva	
Usar medida basada en pieza para la malla del ensamblaje	Sí

8.10.2 Materiales

Tabla 55: Materiales (elaboración propia)

Nombre	Acero AISI 1045 225 RECO	
	Densidad de masa	7,85 g/cm^3
General	Límite de elasticidad	516 MPa
	Resistencia máxima a tracción	751 MPa
	Módulo de Young	207 GPa
Tensión	Coeficiente de Poisson	0,33 su
	Módulo cortante	77,8195 GPa
Nombre(s) de pieza	Eje rodamiento.ipt Casquillo guia rodamiento.ipt	
Nombre	Acero, fundido	
	Densidad de masa	7,85 g/cm^3
General	Límite de elasticidad	250 MPa
	Resistencia máxima a tracción	300 MPa
	Módulo de Young	210 GPa
Tensión	Coeficiente de Poisson	0,3 su
	Módulo cortante	80,7692 GPa
Nombre(s) de pieza	Apoyo eje rod.ipt	

8.10.3 Condiciones de funcionamiento

8.10.3.1 Fuerza remota:1

Tabla 56: Fuerza remota 1 (elaboración propia).

Tipo de carga	Fuerza remota
Magnitud	4905,000 N
Vector X	0,000 N
Vector Y	-4905,000 N
Vector Z	0,000 N
Punto remoto X	25,000 mm
Punto remoto Y	36,000 mm
Punto remoto Z	75,000 mm

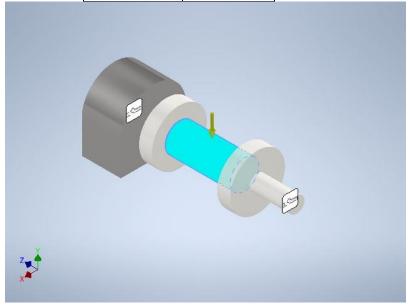


Ilustración 76: Cara seleccionada, vista 1 (elaboración propia).

8.10.3.2 Contactos (Bloqueado)

Tabla 57: contactos de bloqueo (elaboración propia).

Nombre	Nombre(s) de pieza
Bloqueado:1	Casquillo guia rodamiento:1 Eje rodamiento:1
Bloqueado:2	Fig rodamionto: 1 Apovo
Bloqueado:3	Eje rodamiento:1 Apoyo eje rod:2

8.10.4 Resultados

Tabla 58: Fuerza y pares de reacción en restricciones (elaboración propia).

	Fuerza de reacción		Pares de reacción	
Nombre de la restricción	Magnitud	Componente (X, Y, Z)	Magnitud	Componente (X, Y, Z)
Restricción fija:1	JANE ES N	0 N	58,1673 N m	58,1673 N m
		2405,51 N		0 N m

	Fuerza de reacción		Pares de reacción	
Nombre de la restricción	Magnitud	Componente (X, Y, Z)	Magnitud	Componente (X, Y, Z)
		8,15497 N		0 N m
Restricción fija:2	2403,15 N	0 N	58,0431 N m	-58,0431 N m
		2403,14 N		-0,0470186 N m
		-8,2638 N		0 N m

Tabla 59: Resumen de resultados (elaboración propia).

Nombre	Mínimo	Máximo
Volumen	180620 mm^3	
Masa	1,41787 kg	
Tensión de Von Mises	0 MPa	162,732 MPa
Primera tensión principal	-31,4843 MPa	189,777 MPa
Tercera tensión principal	-189,71 MPa	28,2568 MPa
Desplazamiento	0 mm	0,0245489 mm
Coeficiente de seguridad	3,17086 su	15 su
Tensión XX	-65,6736 MPa	60,2368 MPa
Tensión XY	-11,3136 MPa	12,5265 MPa
Tensión XZ	-24,7659 MPa	23,6938 MPa
Tensión YY	-65,7294 MPa	61,7099 MPa
Tensión YZ	-58,1569 MPa	56,2587 MPa
Tensión ZZ	-180,265 MPa	182,127 MPa
Desplazamiento X	-0,000568179 mm	0,000559875 mm
Desplazamiento Y	-0,0245485 mm	0,000000185153 mm
Desplazamiento Z	-0,0123809 mm	0,0123821 mm
Deformación equivalente	0 su	0,000723152 su
Primera deformación principal	0 su	0,000822904 su
Tercera deformación principal	-0,000813355 su	0 su
Deformación XX	-0,000148812 su	0,000138041 su
Deformación XY	-0,0000726911 su	0,000080484 su
Deformación XZ	-0,000159124 su	0,000152236 su
Deformación YY	-0,000273045 su	0,000296799 su
Deformación YZ	-0,000373665 su	0,000361469 su
Deformación ZZ	-0,000760846 su	0,000773753 su
Presión de contacto	0 MPa	114,468 MPa
Presión de contacto X	-24,0032 MPa	28,0944 MPa
Presión de contacto Y	-51,9975 MPa	31,8295 MPa
Presión de contacto Z	-92,6126 MPa	100,346 MPa

8.10.4.1 Figura: Coeficiente de seguridad

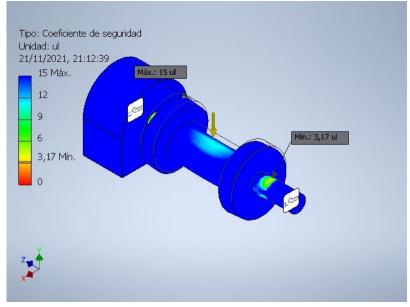


Ilustración 77: Coeficiente de seguridad (elaboración propia).

8.11 Anexo: Informe Análisis de tensiones en cintas de apoyo y tambor

A continuación, se presenta parte del informe elaborado por el programa Autodesk Inventor Professional.

8.11.1 Propiedades

Tabla 60: Propiedades físicas (elaboración propia).

Masa	7981.7 kg	
Área	56995200 mm^	2
Volumen	3.25652E+09 m	m^3
Centro de gravedad	x=3500 y=252.418 z=627.487 mm	mm mm

Nota: los valores físicos pueden ser diferentes de los valores físicos utilizados por CEF indicados a continuación.

Tabla 61:Objetivo general y configuración (elaboración propia).

Objetivo del diseño	Punto único
Tipo de estudio	Análisis estático
Fecha de la última modificación	31/5/2021, 22:33
Detectar y eliminar modos de cuerpo rígido	No
Separar tensiones en superficies de contacto	No
Análisis de cargas de movimiento	No

Tabla 62: Configuración de malla (elaboración propia).

Tamaño medio de elemento (fracción del diámetro del modelo)	0.1
Tamaño medio de elemento en los vaciados	0.05
Tamaño mínimo de elemento (fracción del tamaño medio)	0.2
Factor de modificación	1.5
Ángulo máximo de giro	60 gr
Crear elementos de malla curva	No
Usar medida basada en pieza para la malla del ensamblaje	Sí

8.11.2 Material(es)

Tabla 63: Materiales (elaboración propia).

Nombre	Hormigón, alta resistencia		
	Densidad de masa	2.40731 g/cm^3	
General	Límite de elasticidad	6.89513 MPa	
	Resistencia máxima a tracción	6.89513 MPa	
	Módulo de Young	36.377 GPa	
Tensión	Coeficiente de Poisson	0.167 su	
	Módulo cortante	15.5857 GPa	

Nombre(s) de pieza	Base.ipt Soporte.ipt Soporte.ipt Soporte.ipt Soporte.ipt Soporte.ipt		
Nombre	Acero inoxidable AISI 304		
	Densidad de masa	8 g/cm^3	
General	Límite de elasticidad	215 MPa	
	Resistencia máxima a tracción	505 MPa	
	Módulo de Young	195 GPa	
Tensión	Coeficiente de Poisson	0.29 su	
	Módulo cortante	75.5814 GPa	
Nombre(s) de pieza	tambor y deflectores.ipt		
Nombre	Acero AISI 1045 225 RECO		
	Densidad de masa	7.85 g/cm^3	
General	Límite de elasticidad	516 MPa	
	Resistencia máxima a tracción	751 MPa	
	Módulo de Young	207 GPa	
Tensión	Coeficiente de Poisson	0.33 su	
	Módulo cortante	77.8195 GPa	
Nombre(s) de pieza	mbre(s) de pieza Pista rodamiento tambor.ipt Pista rodamiento tambor.ipt		

8.11.3 Condiciones de funcionamiento

Tabla 64: Gravedad (elaboración propia).

Tipo de carga	Gravedad
Magnitud	9810.000 mm/s^2
Vector X	-0.000 mm/s^2
Vector Y	-9810.000 mm/s^2
Vector Z	0.000 mm/s^2

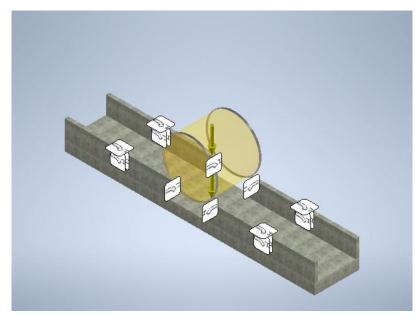


Ilustración 78: Cara seleccionada (elaboración propia).

8.11.3.1 Fuerza remota

Tabla 65: Fuerza remota (elaboración propia).

Tipo de carga	Fuerza remota
Magnitud	17400.000 N
Vector X	0.000 N
Vector Y	-17400.000 N
Vector Z	0.000 N
Punto remoto X	3500.000 mm
Punto remoto Y	1322.000 mm
Punto remoto Z	627.000 mm

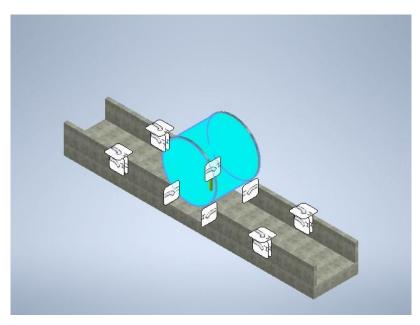


Ilustración 79: Fuerza remota (elaboración propia).

8.11.4 Resultados

Tabla 66: Fuerza y pares de reacción en restricciones (elaboración propia).

Namelon de la materialita	Fuerza de	reacción	Pares de reacción	
Nombre de la restricción	Magnitud	Componente (X, Y, Z)	Magnitud	Componente (X, Y, Z)
Restricción fija:2	76297.7 N	0 N	0 N m	0 N m
		76297.7 N		0 N m
		0 N		0 N m

Tabla 67: Resumen de resultados (elaboración propia).

Nombre	Mínimo	Máximo
Volumen	3.25652E+09 mm^3	
Masa	7981.7 kg	
Desplazamiento	0 mm	8.74386 mm
Desplazamiento X	-0.00793008 mm	0.00799049 mm
Desplazamiento Y	-8.74386 mm	0.00000000000000953356 mm
Desplazamiento Z	-0.0149753 mm	0.0146354 mm
Presión de contacto	0 MPa	0 MPa
Presión de contacto X	0 MPa	0 MPa
Presión de contacto Y	0 MPa	0 MPa
Presión de contacto Z	0 MPa	0 MPa
Tensión de Von Mises	0.0000000050354 MPa	1.53211 MPa
Rotación	0.0000121817 gr	0.00889542 gr
Rotación X	-0.00886692 gr	0.00827862 gr
Rotación Y	-0.00301633 gr	0.00300411 gr
Rotación Z	-0.0050813 gr	0.005134 gr
Primera tensión principal	-0.0553815 MPa	1.54555 MPa
Tercera tensión principal	-1.59768 MPa	0.11514 MPa

Nombre	Mínimo	Máximo
Coeficiente de seguridad	11.5695 su	15 su
Tensión XX	-1.38051 MPa	1.44095 MPa
Tensión XY	-0.57848 MPa	0.574331 MPa
Tensión XZ	-0.608825 MPa	0.594863 MPa
Tensión YY	-0.633932 MPa	0.614268 MPa
Tensión YZ	-0.686741 MPa	0.693592 MPa
Tensión ZZ	-1.59334 MPa	1.54092 MPa
Deformación XX	-0.0000142436 su	0.0000148616 su
Deformación XY	-0.0000092403 su	0.00000952561 su
Deformación XZ	-0.00000402761 su	0.00000393525 su
Deformación YY	-0.00000648249 su	0.00000626156 su
Deformación YZ	-0.00000454305 su	0.00000458838 su
Deformación ZZ	-0.00000695239 su	0.0000067279 su
Deformación equivalente	0.0000000000000234505 su	0.0000131259 su
Primera deformación principal	-0.0000000587168 su	0.000014872 su
Tercera deformación principal	-0.0000142496 su	-0.0000000000000232845 su

8.11.4.1 Figura: Coeficiente de seguridad

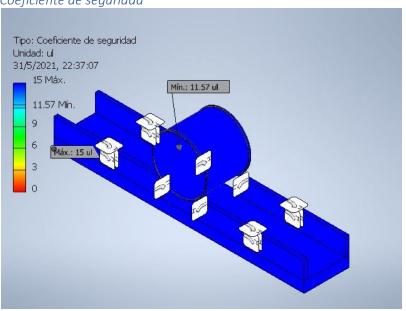


Ilustración 80: Coeficiente de seguridad (elaboración propia).