



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA MECÁNICA

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA
PELETIZADORA AUTOMATIZADA DESTINADA PARA LA
PRODUCCIÓN DE PELLETS (BALANCEADO) PARA
ANIMALES PORCINOS**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO MECÁNICO

AUTORES:

JAIRO LENIN JÁCOME IZA

CRISTIAN ALEXANDER MOYANO LARGO

Riobamba – Ecuador

2023



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA MECÁNICA

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA
PELETIZADORA AUTOMATIZADA DESTINADA PARA LA
PRODUCCIÓN DE PELLETS (BALANCEADO) PARA
ANIMALES PORCINOS**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO MECÁNICO

AUTORES: JAIRO LENIN JÁCOME IZA

CRISTIAN ALEXANDER MOYANO LARGO

DIRECTOR: Ing. JOHN GERMÁN VERA LUZURIAGA MSc.

Riobamba – Ecuador

2023

© 2023, Jairo Lenin Jácome Iza & Cristian Alexander Moyano Largo

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho del Autor.

Nosotros, Jairo Lenin Jácome Iza y Cristian Alexander Moyano Largo, declaramos que el presente Trabajo de Integración Curricular es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 19 de junio del 2023



Jairo Lenin Jácome Iza
0502804438



Cristian Alexander Moyano Largo
0604319459

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA MECÁNICA

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto Técnico, **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA PELETIZADORA AUTOMATIZADA DESTINADA PARA LA PRODUCCIÓN DE PELLETS (BALANCEADO) PARA ANIMALES PORCINOS**, realizado por los señores: **JAIRO LENIN JÁCOME IZA y CRISTIAN ALEXANDER MOYANO LARGO**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Edwin Fernando Viteri Núñez MSc. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2023-06-19
Ing. John Germán Vera Luzuriaga MSc. DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023-06-19
Ing. Miguel Ángel Escobar Guachambala MSc. ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023-06-19

DEDICATORIA

Dedicado para toda mi familia quienes siempre han estado a mi lado brindándome su apoyo incondicional en los momentos difíciles y enseñándome a enfrentar los desafíos que se presentan en el camino. También dedicado para mis amigos por su apoyo constante y por las lecciones valiosas que me han enseñado a lo largo de esta travesía.

Jairo

Dedicado a mis padres Julio y Livia y a mi hermana Nataly los cuales me han apoyado incondicionalmente en cada decisión que he tomado a lo largo de estos años, en los cuales han puesto su confianza siempre en mí, también gracias a su esfuerzo me han permitido estudiar sin tantas preocupaciones esta carrera.

Cristian

AGRADECIMIENTO

Un agradecimiento especial a mi familia, quienes siempre me han brindado su apoyo incondicional a lo largo de este proceso. También quiero agradecer a mis amigos por los momentos compartidos, tanto dentro como fuera de la institución. Además, quiero reconocer y agradecer a mi tutor y asesor por su paciencia y apoyo constante. Por último, quiero mostrar mi gratitud a la ESPOCH por haberme brindado la oportunidad de formarme dentro de sus instalaciones.

Jairo

Un agradecimiento a mis padres y hermana los cuales han sido la principal razón por la cual he podido realizar diferentes actividades y objetivos sin tanta dificultad gracias a su total apoyo. A mis profesores los cuales han dado una parte de su conocimiento para inculcar a los estudiantes de la mejor manera posible.

Cristian

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xiii
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xv
ÍNDICE DE ECUACIONES	xviii
ÍNDICE DE ANEXOS	xix
RESUMEN.....	xx
SUMMARY	xxi
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	2
1.1 Antecedentes	2
1.2 Delimitación	3
1.3 Formulación del problema	3
1.4 Objetivos	4
1.4.1. <i>Objetivo general</i>	4
1.4.2. <i>Objetivos específicos</i>	4

CAPÍTULO II

2. REVISIÓN DE LA LITERATURA O FUNDAMENTOS TEÓRICO	5
2.1. Pellet	5
2.1.1. <i>Tipos de pellets para el sector pecuario</i>	5
2.1.1.1. <i>Pellets para animales porcinos</i>	5
2.1.1.2. <i>Pellets para animales vacunos</i>	6
2.1.1.3. <i>Pellets para aves</i>	6
2.1.2. <i>Características físicas del pellet</i>	6
2.1.3. <i>Materias primas</i>	7
2.1.4. <i>Clasificación de los alimentos balanceados</i>	7
2.1.5. <i>Ventajas de los alimentos concentrados para animales</i>	7
2.1.6. <i>Densidad</i>	8
2.1.6.1. <i>Densidad real o específica</i>	8
2.2. <i>Máquina peletizadora</i>	8

2.2.1.	<i>Sistema de alimentación</i>	9
2.2.2.	<i>Sistema de compactación y extrusión de la materia prima</i>	9
2.2.2.1.	<i>Sistema de compactación</i>	9
2.2.2.2.	<i>Sistema de extrusión</i>	9
2.2.3.	<i>Sistema de transmisión de potencia</i>	10
2.2.4.	<i>Capacidad de la máquina peletizadora</i>	10
2.2.5.	<i>Relación de compresión</i>	11
2.2.6.	<i>Densidad del pellet</i>	11
2.2.7.	<i>Flujo volumétrico</i>	12
2.2.8.	<i>Volumen de la tolva de alimentación</i>	12
2.2.9.	<i>Dimensiones de los rodillos de compresión</i>	12
2.2.10.	<i>Volumen de los rodillos</i>	13
2.2.11.	<i>Masa de los rodillos</i>	13
2.2.12.	<i>Área de los agujeros de la matriz</i>	14
2.2.13.	<i>Deformación de extrusión</i>	14
2.2.14.	<i>Presión de compresión del rodillo</i>	15
2.2.15.	<i>Fuerza de compresión del rodillo</i>	15
2.2.16.	<i>Aceleración normal de los rodillos</i>	15
2.2.17.	<i>Velocidad tangencial de los rodillos</i>	16
2.2.18.	<i>Longitud de contacto</i>	16
2.2.19.	<i>Potencia de los rodillos</i>	16
2.2.20.	<i>Dimensionamiento de la matriz plana</i>	17
2.2.21.	<i>Angulo de inclinación</i>	17
2.2.22.	<i>Tiempo de extrusión</i>	18
2.2.23.	<i>Presión adicional requerida para superar la fricción</i>	18
2.2.24.	<i>Presión en las paredes</i>	18
2.2.25.	<i>Fuerza de fricción</i>	19
2.2.26.	<i>Aceleración de extrusión</i>	19
2.2.27.	<i>Velocidad de extrusión</i>	19
2.2.28.	<i>Dimensionamiento del motor</i>	20
2.2.29.	<i>Diseño de ejes de potencia</i>	20
2.2.30.	<i>Selección de rodamientos</i>	22
2.3.	Control automático	24
2.3.1.	<i>Sistema embebido</i>	24
2.3.1.1.	<i>Características de un sistema embebido</i>	25
2.3.1.2.	<i>Componentes de un sistema embebido</i>	25

2.3.2.	Sistema SCADA	26
2.3.2.1.	Componentes del sistema SCADA	27
2.3.2.2.	Registro de datos (Tags)	28
2.3.2.3.	Gestión y archivo de datos	28
2.3.2.4.	Red de comunicación	29
2.3.2.5.	Interfaz gráfica del operador	29

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	31
3.1.	Metodología del diseño	31
3.2.	Definición del sistema	32
3.2.1.	Definición del sistema	32
3.2.1.1.	Voz del usuario	32
3.2.1.2.	Voz del Ingeniero	32
3.2.2.	Condiciones de diseño	33
3.2.2.1.	Selección de materiales y elementos mecánicos	33
3.2.2.2.	Potencia del motor y diseño de la tolva	33
3.2.2.3.	Ruido permisible	33
3.2.2.4.	Control automático a distancia	34
3.2.2.5.	Dimensiones de la máquina	34
3.2.2.6.	Dimensiones del pellet	34
3.3.	Casa de la calidad	34
3.3.1.	Especificaciones técnicas	35
3.4.	Diseño conceptual	36
3.4.1.	Análisis funcional	37
3.4.2.	Evaluación de la estructura funcional	37
3.4.3.	Matriz morfológica	38
3.4.3.1.	Alternativa I	40
3.4.3.2.	Alternativa II	40
3.4.3.3.	Alternativa III	40
3.4.4.	Método ordinal corregido de criterios ponderados	40
3.4.4.1.	Criterios de evaluación de alternativas	41
3.4.4.2.	Evaluación de los pesos específicos de cada alternativa	41
3.5.	Diseño de materialización	43
3.6.	Diseño de los elementos de la máquina peletizadora	44

3.6.1.	<i>Capacidad de la máquina peletizadora</i>	44
3.6.2.	<i>Diseño del sistema de alimentación (Tolva)</i>	44
3.6.2.1.	<i>Relación de compresión</i>	45
3.6.2.2.	<i>Densidad de pellet</i>	45
3.6.2.3.	<i>Flujo volumétrico</i>	45
3.6.2.4.	<i>Volumen del sistema de alimentación (tolva)</i>	46
3.6.3.	<i>Dimensionamiento de rodillos de compresión</i>	47
3.6.4.	<i>Potencia y torque en los rodillos de compresión</i>	48
3.6.4.1.	<i>Área de extrusión o dado</i>	49
3.6.4.2.	<i>Deformación de extrusión</i>	49
3.6.4.3.	<i>Presión de compresión del rodillo</i>	49
3.6.4.4.	<i>Fuerza de compresión del rodillo</i>	50
3.6.4.5.	<i>Aceleración normal del rodillo</i>	50
3.6.4.6.	<i>Desplazamiento angular del área de trabajo de los rodillos</i>	51
3.6.4.7.	<i>Potencia de los rodillos</i>	51
3.6.4.8.	<i>Torque de los rodillos</i>	51
3.6.5.	<i>Dimensionamiento de la matriz plana</i>	52
3.6.5.1.	<i>Angulo de trabajo del rodillo</i>	53
3.6.5.2.	<i>Velocidad angular del eje principal</i>	53
3.6.5.3.	<i>Tiempo de extrusión</i>	54
3.6.5.4.	<i>Presión adicional requerida</i>	54
3.6.5.5.	<i>Presión en las paredes de los orificios</i>	54
3.6.5.6.	<i>Fuerza de fricción</i>	54
3.6.5.7.	<i>Aceleración de extrusión</i>	55
3.6.5.8.	<i>Velocidad de extrusión</i>	55
3.6.5.9.	<i>Número de agujeros de la matriz plana</i>	55
3.6.6.	<i>Dimensionamiento del motor</i>	56
3.6.7.	<i>Diseño de la nervadura en el eje</i>	57
3.6.8.	<i>Diseño del eje</i>	58
3.6.8.1.	<i>Cálculo de reacciones</i>	61
3.6.8.2.	<i>Condiciones de equilibrio</i>	61
3.6.8.3.	<i>Diagrama de cortante</i>	62
3.6.8.4.	<i>Diagrama de momento flector</i>	62
3.6.8.5.	<i>Diagrama torsor</i>	62
3.6.8.6.	<i>Cálculo del diámetro del eje</i>	63
3.6.9.	<i>Roscado en el eje y tuerca de fijación</i>	64

3.6.10.	<i>Selección de rodamientos para el eje</i>	66
3.6.10.1.	<i>Selección del rodamiento en el punto B</i>	66
3.6.10.2.	<i>Selección del rodamiento en el punto C</i>	70
3.6.11.	<i>Selección y diseño de la chaveta</i>	75
3.6.11.1.	<i>Diseño a corte</i>	76
3.6.11.2.	<i>Diseño a compresión</i>	76
3.6.12.	<i>Diseño del eje porta rodillos</i>	76
3.6.13.	<i>Roscado en el eje porta rodillos y tuerca de fijación</i>	78
3.6.14.	<i>Selección de rodamientos para los rodillos</i>	80
3.6.15.	<i>Diseño de la cámara de extrusión</i>	84
3.6.16.	<i>Diseño de la estructura</i>	84
3.7.	<i>Diseño de la Interfaz gráfica de usuario</i>	86
3.7.1.	<i>Componentes Electrónicos</i>	86
3.7.1.1.	<i>Arduino MEGA</i>	86
3.7.1.2.	<i>ESP-32</i>	87
3.7.1.3.	<i>DS18B20</i>	87
3.7.1.4.	<i>HC-SR04</i>	88
3.7.1.5.	<i>HR-202</i>	88
3.7.2.	<i>Programación en Arduino IDE</i>	89
3.7.2.1.	<i>Programación Sensores</i>	89
3.7.2.2.	<i>Programación ESP-32</i>	91
3.7.3.	<i>Creación de la interfaz en LabVIEW</i>	93
3.8.	<i>Construcción de la máquina peletizadora</i>	96
3.9.	<i>Análisis de costos</i>	99
3.9.1.	<i>Costos directos</i>	99
3.9.2.	<i>Costos indirectos</i>	101
3.9.3.	<i>Costos totales</i>	101
3.9.4.	<i>Depreciación</i>	101
3.9.5.	<i>Punto de equilibrio</i>	102

CAPÍTULO IV

4.	<i>ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</i>	104
4.1.	<i>Simulación de la bancada</i>	104
4.1.1.	<i>Mallado</i>	104
4.1.2.	<i>Deformación</i>	105

4.1.3.	<i>Esfuerzos</i>	106
4.1.4.	<i>Factor de seguridad</i>	106
4.2.	Parámetros de control	106
4.2.1.	<i>Humedad</i>	107
4.2.2.	<i>Nivel</i>	107
4.2.3.	<i>Temperatura</i>	108
4.3.	Interfaz	108
 CONCLUSIONES		111
RECOMENDACIONES		113
BIBLIOGRAFÍA		
ANEXOS		

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2:	Características físicas del Pellet	6
Tabla 2-2:	Materias Primas.....	7
Tabla 3-2:	Factor de confiabilidad.....	23
Tabla 1-3:	Requerimientos del cliente.....	32
Tabla 2-3:	Voz del Ingeniero.....	33
Tabla 3-3:	Especificaciones técnicas	36
Tabla 4-3:	Evaluación del peso específico de cada criterio.....	41
Tabla 5-3:	Evaluación del peso específico del criterio de capacidad.	42
Tabla 6-3:	Evaluación del peso específico del criterio dimensiones.	42
Tabla 7-3:	Evaluación del peso específico del criterio costo.....	42
Tabla 8-3:	Evaluación del peso específico del criterio de operaciones.	43
Tabla 9-3:	Evaluación de la prioridad de las alternativas	43
Tabla 10-3:	Características del Pellet	44
Tabla 11-3:	Dimensiones de la Tolva.....	46
Tabla 12-3:	Parámetros de dimensionamiento de rodillos.....	48
Tabla 13-3:	Parámetros para cálculo de Potencia y Torque de Rodillos	48
Tabla 14-3:	Parámetros para el dimensionamiento de la matriz plana.	52
Tabla 15-3:	Parámetros para el dimensionamiento del motor.	57
Tabla 16-3:	Resultados de momentos y torques	63
Tabla 17-3:	Cargas estructurales	85
Tabla 18-3:	Elementos a utilizar.....	86
Tabla 19-3:	Características Arduino MEGA	87
Tabla 20-3:	Características ESP-32	87
Tabla 21-3:	Características DS18B20	88
Tabla 22-3:	Características HC-SR04	88
Tabla 23-3:	Características HR-202	89
Tabla 24-3:	Estructuras de LabVIEW	95
Tabla 25-3:	Adquisición de materiales	99
Tabla 26-3:	Costos directos	100
Tabla 27-3:	Costos indirectos	101
Tabla 28-3:	Costos totales	101
Tabla 29-3:	Depreciación máquina peletizadora	102
Tabla 30-3:	Punto de equilibrio	102

Tabla 1-4:	Características del pellet	107
-------------------	----------------------------------	-----

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-2:	Pellet.....	5
Ilustración 2-2:	Sistema de alimentación.....	9
Ilustración 3-2:	Sistema de compactación/extrusión	10
Ilustración 4-2:	Sistema de transmisión de potencia	10
Ilustración 5-2:	Zona de compresión	13
Ilustración 6-2:	Dado de una matriz	14
Ilustración 7-2:	Diagrama de cargas en un eje.....	21
Ilustración 8-2:	Rodamiento de bolas	22
Ilustración 9-2:	Arquitectura empleada - PC embebido	26
Ilustración 10-2:	Esquema de un sistema SCADA.....	27
Ilustración 11-2:	Componentes de la RTU.....	28
Ilustración 12-2:	Arquitectura software de un sistema SCADA	29
Ilustración 1-3:	Método de diseño	31
Ilustración 2-3:	Casa de calidad.....	35
Ilustración 3-3:	Nivel 0.....	37
Ilustración 4-3:	Nivel 1	37
Ilustración 5-3:	Matriz morfológica 1.....	38
Ilustración 6-3:	Matriz morfológica 2.....	39
Ilustración 7-3:	Modelado Tolva	47
Ilustración 8-3:	Torque de los rodillos.....	52
Ilustración 9-3:	Modelado matriz plana.....	56
Ilustración 10-3:	Eje nervado	57
Ilustración 11-3:	Modulo 1 mm.....	58
Ilustración 12-3:	Diferencial	58
Ilustración 13-3:	Diagrama de cuerpo libre.....	60
Ilustración 14-3:	Diagrama de cuerpo libre plano x-y.....	61
Ilustración 15-3:	Diagrama de cortante plano x-y.....	62
Ilustración 16-3:	Diagrama de momento flector plano x-y	62
Ilustración 17-3:	Diagrama Torsor	63
Ilustración 18-3:	Eje dimensionado.....	64
Ilustración 19-3:	Rosca M 25 X 1.5	65
Ilustración 20-3:	Roscado en el eje	65
Ilustración 21-3:	Dimensiones tuercas KM 5.....	65

Ilustración 22-3:	Rodamientos disponibles	66
Ilustración 23-3:	Viscosidad cinemática	67
Ilustración 24-3:	Tipo de lubricación	67
Ilustración 25-3:	Viscosidad nominal norma ISO 3448	68
Ilustración 26-3:	Factor de contaminación	69
Ilustración 27-3:	Factor askf.....	69
Ilustración 28-3:	Rodamientos de rodillos cónicos disponibles	70
Ilustración 29-3:	Viscosidad cinemática	71
Ilustración 30-3:	Tipo de lubricación	71
Ilustración 31-3:	Factores de cálculo.....	72
Ilustración 32-3:	Viscosidad nominal norma ISO 3448	73
Ilustración 33-3:	Factor de contaminación.....	73
Ilustración 34-3:	Factor askf.....	74
Ilustración 35-3:	Chavetero de eje y cubo.....	75
Ilustración 36-3:	Dimensiones de la chaveta.....	75
Ilustración 37-3:	Fuerzas en la sección circular	77
Ilustración 38-3:	Eje dimensionado.....	78
Ilustración 39-3:	Rosca M 20 X 1.5	79
Ilustración 40-3:	Roscado en el eje	79
Ilustración 41-3:	Dimensiones tuercas KM 4.....	79
Ilustración 42-3:	Rodamientos rígidos de bolas disponibles.....	80
Ilustración 43-3:	Viscosidad cinemática	81
Ilustración 44-3:	Tipo de lubricación	81
Ilustración 45-3:	Viscosidad nominal norma ISO 344	82
Ilustración 46-3:	Factor de contaminación.....	83
Ilustración 47-3:	Factor SKF.....	83
Ilustración 48-3:	Dimensiones de la estructura	84
Ilustración 49-3:	Perfil cuadrado	85
Ilustración 50-3:	Pantalla de inicio.....	89
Ilustración 51-3:	Conexiones.....	90
Ilustración 52-3:	Diagrama de flujo de ESP-32	90
Ilustración 53-3:	Pines de entrada y salida.....	91
Ilustración 54-3:	Diagrama de flujo LabVIEW	92
Ilustración 55-3:	Programación ESP-32 con red Wifi.....	92
Ilustración 56-3:	Ingreso Red Wifi.....	93
Ilustración 57-3:	While Loop	94

Ilustración 58-3:	Generación de alarmas	95
Ilustración 59-3:	Control automático del motor	96
Ilustración 60-3:	Construcción Bancada	97
Ilustración 61-3:	Construcción eje de transmision	97
Ilustración 62-3:	Construcción rodillos	98
Ilustración 63-3:	Partes diferencial.....	98
Ilustración 64-3:	Ensamblaje máquina peletizadora.....	99
Ilustración 65-3:	Punto de equilibrio.....	103
Ilustración 1-4:	Element Quality.....	104
Ilustración 2-4:	Deformación de la estructura	105
Ilustración 3-4:	Esfuerzo de Von-Misses.....	106
Ilustración 4-4:	Factor de Seguridad.....	106
Ilustración 5-4:	Interfaz	108
Ilustración 6-4:	Tendencias de los sensores.....	110
Ilustración 7-4:	Sistema de monitoreo	110

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1-2:	Densidad específica	8
Ecuación 2-2:	Capacidad de diseño	11
Ecuación 3-2:	Relación de compresión.....	11
Ecuación 4-2:	Densidad del pellet	11
Ecuación 5-2:	Flujo volumétrico.....	12
Ecuación 6-2:	Volumen de la tolva de alimentación	12
Ecuación 7-2:	Radio de los rodillos	13
Ecuación 8-2:	Volumen de los rodillos.....	13
Ecuación 9-2:	Masa de los rodillos	13
Ecuación 10-2:	Área de extrusión.....	14
Ecuación 11-2:	Deformación de extrusión.....	14
Ecuación 12-2:	Presión de compresión del rodillo	15
Ecuación 13-2:	Fuerza de compresión del rodillo.....	15
Ecuación 14-2:	Aceleración normal de los rodillos	15
Ecuación 15-2:	Velocidad tangencial de los rodillos	16
Ecuación 16-2:	Longitud de contacto	16
Ecuación 17-2:	Potencia de los rodillos	17
Ecuación 18-2:	Número de agujeros de la matriz	17
Ecuación 19-2:	Ángulo de inclinación.....	17
Ecuación 20-2:	Tiempo de extrusión	18
Ecuación 21-2:	Presión adicional requerida.....	18
Ecuación 22-2:	Presión en las paredes	18
Ecuación 23-2:	Fuerza de fricción	19
Ecuación 24-2:	Aceleración de extrusión	19
Ecuación 25-2:	Velocidad de extrusión	20
Ecuación 26-2:	Potencia de la peletizadora	20
Ecuación 27-2:	Diametro de eje.....	21
Ecuación 28-2:	Capacidad de carga requerida.....	22
Ecuación 29-2:	Factor de vida (Rodamiento de bolas)	23
Ecuación 30-2:	Factor de vida (Rodamientos de rodillos).....	23
Ecuación 31-2:	Factor de velocidad (Rodamiento de bolas)	23
Ecuación 32-2:	Factor de velocidad (Rodamiento de rodillos).....	24
Ecuación 33-2:	Capacidad requerida a carga estática	24

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** MANUAL DE OPERACIÓN MÁQUINA PELETIZADORA
- ANEXO B:** MANUAL DE MANTENIMIENTO MÁQUINA PELETIZADORA
- ANEXO C:** RESISTENCIA A LA TRACCIÓN Y FLUENCIA ACERO AISI 434
- ANEXO D:** RESISTENCIA A LA TRACCIÓN Y FLUENCIA ACERO AISI 1020
- ANEXO E:** DIMENSIONES DE LA CHAVETA
- ANEXO F:** PROPIEDADES DE DIVERSOS MATERIALES
- ANEXO G:** CONSTANTE DE AVELLANDO PARA LA MATRIZ PLANA
- ANEXO H:** ESFUERZO DE FLUENCIA
- ANEXO I:** DENSIDADES DE DIVERSOS MATERIALES

RESUMEN

El presente trabajo tuvo por objetivo el diseño y construcción de una máquina peletizadora automatizada por medio de un sistema SCADA (Supervisión, control y adquisición de datos) para la producción de pellets (balanceado) para animales porcinos. Se utilizó la metodología QFD (Despliegue de la función de calidad), y en específico la casa de la calidad para escoger la mejor alternativa de diseño. En la aplicación de la metodología se diseñó los elementos mecánicos constituidos de la máquina, además en la automatización de la máquina se seleccionó los diversos elementos electrónicos para la debida programación del sistema embebido y para la posterior creación de la interfaz gráfica de usuario. Mediante el uso de la interfaz gráfica de usuario dio como resultado la visualización de 3 variables que son la temperatura, humedad y nivel, donde se pudo monitorear la variación que sufren estas variables durante la operación de la máquina. Se concluye que la variable de humedad dentro del proceso de peletizado afecta directamente al producto final, ya que si se encuentra en un porcentaje de humedad superior al 20% se produce pellets de baja calidad, además el uso de la interfaz gráfica provee de información esencial enfocada al monitoreo de las 3 variables mencionadas permitiendo la creación de registros para análisis de producción, así como planes de mantenimiento. Se recomienda considerar el tiempo de operación tanto de la parte mecánica como de la parte electrónica para evitar algún impacto significativo que reduzca la vida útil de la máquina.

Palabras clave: <MECÁNICA>, <MÁQUINA PELETIZADORA>, <AUTOMATIZACIÓN>, <BALANCEADO>, <METODOLOGÍA QFD>, <INTERFAZ GRÁFICA>.

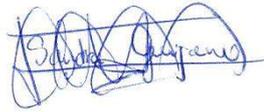
1208-DBRA-UPT-2023

ESPOCH - DBRA I
PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS
BIBLIOGRÁFICO Y DOCUMENTAL
 20 JUN 2023
REVISIÓN DE RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA
Por: P. Pérez Hora: 11:08

SUMMARY

This work aimed to design and construct an automated pelletizing machine using a SCADA system (Supervision, control, and data acquisition) to produce pellets (balanced) for porcine animals. The QFD (Quality Function Deployment) methodology was used to choose the best design alternative, specifically the quality house. In the application of the method, the mechanical elements of the machine were designed. In addition to the automation of the engine, the various electronic elements were selected for the proper programming of the embedded system and the subsequent creation of the graphical user interface. Using the graphical user interface resulted in the visualization of 3 variables: temperature, humidity, and level, where it was possible to monitor the variation suffered by these variables during the operation of the machine. It is concluded that the humidity variable within the pelleting process directly affects the final product since if it is in a percentage of humidity higher than 20%, low-quality pellets are produced. In addition, the use of the graphical interface provides essential information focused on monitoring the three variables mentioned, allowing the creation of records for production analysis and maintenance plans. It is recommended to consider the operating time of both the mechanical and the electronic parts to avoid any significant impact that reduces the machine's useful life.

Keywords: <MECHANICS>, <PELLET MACHINE>, <AUTOMATION>, <BALANCING>, <QFD METHODOLOGY>, <INTERFACE>.



Lic. Sandra Leticia Guijarro Paguay

C.I.: 0603366113

INTRODUCCIÓN

La ingeniería se ha convertido un aspecto de gran relevancia para el desarrollo de diferentes procesos, tanto a nivel básico, en la producción de productos para el hogar o a niveles industriales, facilitando el procesamiento de diferentes productos mediante el uso de máquinas que pueden ir regulando múltiples parámetros como la velocidad de la máquina, la cantidad de materia prima que se procesa, la calidad del producto, etc.

Las máquinas peletizadoras están enfocadas en la transformación de una materia prima o mezcla en pequeñas porciones uniformes y comprimidas, por lo general tienen formas cilíndricas y esta forma se obtiene mediante el proceso de compresión que se efectúa en la máquina peletizadora, además de esto se producirá un aumento de temperatura que permitirá moldear la materia prima que finalmente será extruida por los orificios de la matriz extrusora.

El desarrollo de este proyecto consiste en diseñar y construir una máquina peletizadora automatizada para la producción de balanceado porcino destinada para los productores de pequeña escala, mediante el uso de la metodología QFD se seleccionará las mejores alternativas para un adecuado diseño y la posterior construcción, esto se hace debido a que se requiere de una serie de consideraciones técnicas para su adecuado funcionamiento, algunas de las consideraciones a tener en cuenta son la capacidad de producción, el tamaño de la máquina y la seguridad que pueda brindar para el operario.

La máquina peletizadora automatizada está conformada por el diseño y selección de diversos elementos mecánicos como el diseño del eje principal, matriz extrusora, bancada, además se necesita la selección y diseño de elementos estandarizados como los rodamientos y las chavetas, también se realizó la simulación de componentes para verificar si cumplen o no los parámetros de diseño, uno de estos componentes a simular es la bancada y se lo hace para validar que soporte todas las cargas a la que está sujeta durante el funcionamiento. En la parte de la automatización se establecerá el monitoreo de las variables como la temperatura, humedad y nivel por medio de una interfaz gráfica de usuario.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1. Antecedentes

Del trabajo de titulación de Albán y Arias (2019), titulado “Diseño, construcción e implementación de una máquina peletizadora de alimentos balanceados para el sector pecuario con capacidad de 100 kg/h”, se pudo conocer que el pellet de balanceado destinado para la alimentación de animales fue implementado en Europa alrededor del año 1930. Además, con el paso de los años se han implementado técnicas modernas para mejorar los procesos para la producción del pellet (Albán y Arias, 2019).

En un trabajo de titulación titulado “Diseño y construcción de una máquina peletizadora de alimentos balanceados para ganado vacuno”, enunció que una peletizadora es una máquina que tiene como trabajo transformar la materia prima en pellet, además sostiene que una máquina peletizadora de pequeña capacidad de producción es una necesidad, debido a que a veces se requiere cantidades pequeñas de balanceado en forma de pellets para alimentar a animales de diversa índole tales como el ganado porcino (Carreño, 2015)

Del trabajo de titulación de Mejía y Pérez (2018), titulado “Diseño y construcción de una máquina peletizadora de alimentos balanceados para la granja de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña”, se pudo conocer que se desarrolló una máquina peletizadora con el objetivo de transformar la materia prima (harina) en pellets, esto debido a que la universidad no disponía de una máquina para poder producir su propio alimento en forma de pellet, finalmente concluyó que con la implementación de la máquina se proporcionó la cantidad de pellets necesarias que requiere la granja (Mejía y Pérez, 2018).

En un trabajo de titulación titulado “Rediseño del sistema de rodillos de una peletizadora vertical de alimento concentrado para pollos” realizaron el rediseño del sistema de rodillos de una peletizadora debido a que se tenía que encontrar una solución para el problema de reproceso de una de las máquinas, para ello realizaron una metodología basada en el despliegue de función de la calidad donde seleccionaron la alternativa más adecuada y finalmente obtuvieron resultados satisfactorias (Chaparro y Quintero, 2017).

En el trabajo de titulación titulado “Diseño y cálculo de una máquina peletizadora para la producción de alimento animal” se enfocó en los cálculos que son necesarios para el diseño de una máquina peletizadora, para esto los elementos que constituyen la máquina fueron realizados de una manera factible y eficaz con la finalidad de que cumpla con los requerimientos de trabajo y con las normas que se utilizan para el procesamiento de alimentos balanceados (Morales, 2019).

En un trabajo de titulación titulado “Prototipo de una máquina peletizadora para la fabricación de balanceado utilizada en la alimentación de conejos” se enfocó en el desarrollo y diseño de una máquina que sea capaz de disminuir los desperdicios, otorgando un producto de calidad a los agricultores en general, se enfocó en el retorno de capital y en el retorno por la producción de pellets, debido a esto creo una máquina ergonómica que fue fácil de utilizar y que permitió brindar seguridad al operador (Garzón y Mendes, 2021).

1.2. Delimitación

El diseño mecánico de los distintos elementos que constituyen la máquina peletizadora se lo realizará considerando diversos factores como la capacidad de producción, densidad de la mezcla y la potencia que intervienen al momento de efectuarse el proceso de peletizado, además con la ayuda del programa SOLIDWORKS se modelará la máquina. El ingreso de la materia prima a la máquina será de manera manual, la longitud del pellet será de una dimensión enfocada en animales porcinos. La capacidad que está considerada para la máquina será de 150 kg/h, este aspecto es de gran importancia debido a que establecerá el flujo volumétrico que actuará, y la potencia que se necesitará para los diversos elementos mecánicos que constituyen la máquina. La automatización se enfocará en la implementación del sistema SCADA mediante el cual se controlará el encendido y apagado de la máquina, y la gestión de alarmas, además se considera otros parámetros como el nivel, temperatura y humedad, donde se establecerá una base de datos para el monitoreo de estos parámetros. La programación del microcontrolador y la adaptación de la comunicación en red se realizará en el software Arduino IDE, y finalmente para la creación de la interfaz gráfica de usuario se lo realizará por medio de LabVIEW.

1.3. Formulación del problema

En muchos casos debido a la composición de la mezcla se puede ocasionar un pellet de bajas características en el aspecto físico, y esto implica un análisis no solamente de la composición de la mezcla sino también de los problemas derivados que puedan ocasionarse debido a la misma

máquina. Los fallos de los distintos componentes y elementos de la máquina pueden ocasionar un producto que no cumpla con las características deseadas.

Los problemas de salud que puede ocasionar una máquina que genera mucho ruido y la vibración constante a la que está sometida puede afectar negativamente a la salud del operador. El ruido producido en la máquina es un aspecto esencial a considerar, debido a que las largas horas de trabajo de la máquina pueden repercutir de manera negativa en la salud de los operadores. Las vibraciones pueden afectar y producir lesiones que pueden llegar a afectar el proceso de fabricación de los pellets, debido a esto es un factor de gran importancia para considerar la automatización de una máquina.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Diseñar y construir una máquina peletizadora automatizada por medio de un sistema SCADA para la producción de pellets (balanceado) para animales porcinos.

1.4.2. Objetivos específicos

- Estudiar los métodos utilizados para la producción de Pellets (Balanceado) mediante una revisión bibliográfica que nos permita la correcta selección del método a implementar.
- Diseñar y construir una máquina peletizadora automatizada aplicando software de diseño mecánico y eléctrico.
- Considerar las variables necesarias para la adquisición de datos de la máquina como la humedad, nivel y temperatura para una adecuada programación y control del sistema embebido.
- Verificar el funcionamiento de la máquina mediante la realización de pruebas que permita la visualización de las variables en la interfaz gráfica de usuario.

CAPÍTULO II

2. REVISIÓN DE LA LITERATURA O FUNDAMENTOS TEÓRICO

2.1. Pellet

Los pellets son pequeñas partículas que han sido sometidas a un proceso de transformación en el cual se mezclan y compactan utilizando una máquina peletizadora. Durante este proceso, se ven afectados por diversos parámetros como la presión, la humedad y el calor. Estas partículas adoptan una forma cilíndrica alargada y se utilizan comúnmente en la alimentación de animales porcinos, bovinos, entre otros. Los pellets proporcionan un alto valor nutricional en la dieta de estos animales (Taica 2020, p. 18).



Ilustración 1-2: Pellet

Fuente: (Taica 2020, p. 18)

Uno de los aspectos importantes a tener en cuenta en el proceso de producción de pellets es conocer el tipo de animal para el cual están destinados, ya que esto determinará la longitud y forma adecuadas del producto.

2.1.1. Tipos de pellets para el sector pecuario

2.1.1.1. Pellets para animales porcinos

La nutrición desempeña un papel vital en el crecimiento y fortalecimiento de los animales porcinos. Por lo tanto, es fundamental prestar atención al valor nutricional proporcionado a través del alimento balanceado. En el caso de los lechones, se suele utilizar pellets con un diámetro de 2-3 mm. Sin embargo, después de los primeros 2 o 3 meses de vida, se recomienda aumentar el tamaño del pellet a 4-6 mm de diámetro. Esto se debe a que los animales porcinos

recién nacidos no tienen una dentadura desarrollada que les permita ingerir pellets de mayor tamaño (Albán y Arias 2019, p. 4).

2.1.1.2. Pellets para animales vacunos

Mediante el consumo de los pellets de balanceado se puede mejorar la calidad y cantidad de leche que producen los animales vacunos, por lo tanto, es necesario que la dieta alimenticia de estos animales se formule de acuerdo a sus características físicas como el peso y el tamaño para que de esta manera se pueda asegurar que los animales obtengan los nutrientes necesarios para la producción de leche diaria y su crecimiento (Albán y Arias 2019, p. 4).

2.1.1.3. Pellets para aves

La nutrición de las aves puede verse afectada cuando se alimentan de alimento en forma de harina y sin peletizar, además las aves son animales muy selectivos y solo se alimentan de aquellas formas que resultan atractivas como por ejemplo el maíz, etc., (Albán y Arias 2019, p. 4).

2.1.2. Características físicas del pellet

Para fabricar pellets de balanceado, es necesario considerar las características físicas que debe tener el pellet, ya que estas varían en función del tipo de animal al que se destina. Esto implica observar los parámetros como la longitud y el diámetro del pellet.

En la Tabla 1-2 se presentan las dimensiones de los pellets utilizados para diferentes tipos de animales, así como los valores de humedad y densidad. Para recopilar datos, los autores Arias y Albán seleccionaron alimentos balanceados de la marca "NUTRIL", que es una marca popular y ampliamente utilizada en nuestro país (Albán y Arias 2019, p. 3).

Tabla 1-2: Características físicas del Pellet

Tipo (Ganado)	Largo(mm)	Diámetro(mm)	Peso (g)	Densidad(kg/m ³)	Humedad (%)
Aves	4-8	4	0.005	650-700	< 10
Vacas	10-15	8	0.008	700-750	< 15
Cerdos	5-10	6	0.008	700-750	< 15
Conejos	5-10	5	0.009	600-650	< 8

Fuente: (Albán y Arias 2019, p. 3).

Realizado por: Jácome, Jairo; Moyano, Cristian 2023.

2.1.3. *Materias primas*

Se presentan a continuación algunos de los ingredientes utilizados en la producción de alimentos balanceados, los cuales se detallan en la Tabla 2-2. En esta tabla se puede observar el origen de cada ingrediente y el aporte nutricional que brinda a los animales al consumir dichos alimentos. (Morales, 2019, p. 21)

Tabla 2-2: Materias primas

Materia Prima	Origen	Aporte
Aceite de palma	Vegetal	Energía
Harina de arroz	Vegetal	Energía
Harina de maíz	Vegetal	Energía
Harina de trigo	Vegetal	Energía
Maíz amarillo	Vegetal	Energía
Sal de mar	Mineral	Sodio
Sal extra seca	Mineral	Sodio
Azufre	Mineral	Azufre
Maíz extruido	Vegetal	Energía
Melaza	Vegetal	Palatabilidad
Urea	Mineral	Proteína

Fuente: (Morales, 2019, p. 21).

Realizado por: Jácome, Jairo; Moyano, Cristian 2023.

2.1.4. *Clasificación de los alimentos balanceados*

Los alimentos se pueden clasificar en tres tipos según su composición:

Purificados: Estos alimentos son de alto costo y se utilizan principalmente con fines de investigación (Chachapoya, 2014, p. 2).

Semi-purificados: Estos alimentos están compuestos por ingredientes naturales en una forma más pura (Chachapoya, 2014, p. 2).

Prácticos: Estos alimentos son de muy bajo costo y son accesibles para su uso.

2.1.5. *Ventajas de los alimentos concentrados para animales.*

El pellet de balanceado se fabrica mediante un conjunto de etapas secuenciales que implican la adición de materia prima. Como resultado, se obtiene un producto con un alto valor nutricional

para los animales a los que está destinado. El pellet de balanceado presenta varias ventajas, entre las cuales se destacan (Carreño, 2015, p. 20).

- Bajo costo por cada kilogramo de animal producido.
- Fácil de almacenar.
- Bajo riesgo de contaminación de las aguas.

2.1.6. Densidad

Una de las propiedades más importantes del pellet es su densidad. La densidad específica es una característica intrínseca y no puede ser modificada. Cuanto mayor sea la densidad de un material, se requerirá una mayor presión para alcanzar el mismo grado de compactación en comparación con un elemento menos denso (Arpi y Calderón, 2010, p. 62).

2.1.6.1. Densidad real o específica

La densidad específica o real de los pellets se calcula dividiendo la masa real entre el volumen real de los mismos, y se representa mediante la siguiente ecuación (Arpi y Calderón, 2010, p. 62).

$$\rho = \frac{m_{real}}{v_{real}} \quad \text{Ecuación 1-2}$$

2.2. Máquina peletizadora

La función principal de una máquina peletizadora es la transformación de la materia prima en “pellets”, con el propósito de reducir su volumen y facilitar su uso según la función para la que se requiera emplearlos (Ponce y Viteri, 2022, p. 19).

Estas máquinas están equipadas con varios componentes mecánicos, y uno de los más relevantes es el rodillo. El rodillo ejerce presión y genera calor en los orificios de la matriz circular, lo cual permite que la materia prima se compacte y adopte la forma de cilindros cuyas dimensiones dependen del diámetro de los agujeros de la matriz (Ponce y Viteri, 2022, p. 19).

A lo largo de los años y con la evolución tecnológica, se han desarrollado diversos métodos de prensado para lograr la compactación del material en las peletizadoras. Esto ha resultado en una amplia variedad de peletizadoras que han mejorado la calidad del producto. Aunque la mayoría de ellas presentan sistemas muy similares, han surgido innovaciones que han contribuido a su evolución (Ponce y Viteri, 2022, p. 19).

2.2.1. Sistema de alimentación

El sistema de alimentación es el lugar donde se deposita la materia prima que va a ser comprimida mediante el accionamiento de los rodillos, tienen comúnmente una forma circular, en forma de cono o rectangular que permite el paso de la materia prima que va a ser comprimida (Ponce y Viteri, 2022, p. 19).



Ilustración 2-2: Sistema de alimentación

Fuente: (Ponce y Viteri, 2022, p. 19).

2.2.2. Sistema de compactación y extrusión de la materia prima

2.2.2.1. Sistema de compactación

Otra etapa importante es la compactación de la materia prima, la cual se deposita en la tolva de alimentación y luego desciende hacia los rodillos, donde se produce la compresión del material. Durante este proceso, la fricción generada en la máquina ayuda a mantener la compactación de la materia prima, que adquiere una forma cilíndrica y sólida (Ponce y Viteri, 2022, p. 19).

2.2.2.2. Sistema de extrusión

El sistema funciona mediante el proceso de extrusión, el cual se lleva a cabo gracias al giro de la matriz circular. Los rodillos comprimen la materia prima y la hacen salir extruida a través de los orificios de la matriz. Durante este proceso, la fricción generada fusiona las partículas del balanceado y, al mismo tiempo, genera calor. Esto evita que las partículas se desintegren una vez que salen de la matriz circular (Albán y Arias 2019, p. 7).

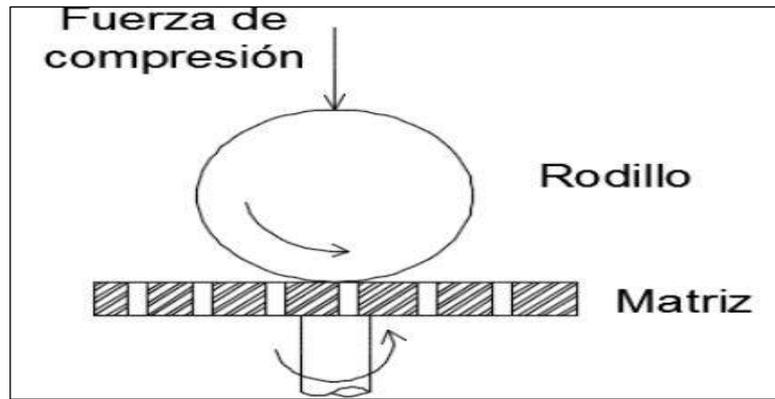


Ilustración 3-2: Sistema de compactación/extrusión

Fuente: (Albán y Arias, 2019, p. 8)

2.2.3. Sistema de transmisión de potencia

La función principal del sistema de transmisión de potencia es garantizar que la energía mecánica se transmita correctamente al sistema de compresión. Este sistema está conformado por un motor que transmite su torque a un eje, y este a su vez por medios de engranes permite cambiar la dirección del flujo en un ángulo de 90 grados. Finalmente transmite el movimiento a la matriz de extrusión. Este cambio de dirección del flujo se puede observar en los diferenciales de los automóviles y son los que comúnmente se utilizan (Albán y Arias 2019, p. 7).

A continuación, se presenta un diagrama del sistema de transmisión mediante la Ilustración 4-2.

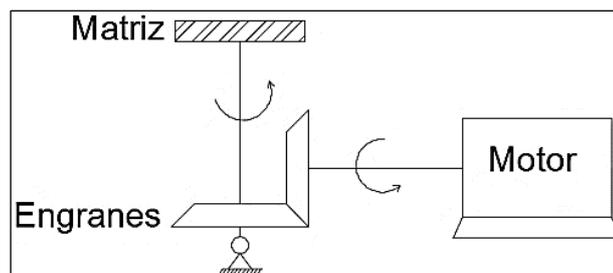


Ilustración 4-2: Sistema de transmisión de potencia

Fuente: (Albán y Arias 2019, p. 7).

2.2.4. Capacidad de diseño de la máquina peletizadora

Para determinar las dimensiones adecuadas de los componentes que conforman una máquina peletizadora, es fundamental conocer su capacidad. La capacidad se refiere a la cantidad de alimento balanceado que los animales pueden consumir en un período de tiempo específico y también se conoce como la demanda de alimento de una granja para una especie en particular.

Es importante tener en cuenta un factor de sobreproducción, que puede ser causado por diversos factores, y que corresponde al 20% de la capacidad nominal (Taica, 2020, p. 57).

La capacidad de diseño viene expresada mediante la siguiente ecuación.

$$C_t = C * V_e \quad \text{Ecuación 2-2}$$

Donde:

C_t : Capacidad de diseño [kg/h]

C : Capacidad nominal [kg/h]

V_e : Factor de sobreproducción [adimensional]

2.2.5. *Relación de compresión*

La relación de compresión se determina mediante la relación entre el diámetro y la longitud del pellet (Taica, 2020, p. 58).

$$R_c = \frac{1}{d_p/l_p} \quad \text{Ecuación 3-2}$$

Donde:

d_p : Diámetro del pellet [mm]

l_p : Longitud del pellet [mm]

2.2.6. *Densidad del pellet*

La densidad del pellet se puede calcular multiplicando la relación de compresión por la densidad del alimento balanceado. Esto se puede encontrar utilizando la siguiente expresión (Taica, 2020, p. 58).

$$\rho_p = \rho_{ab} * R_c \quad \text{Ecuación 4-2}$$

Donde:

ρ_p : Densidad del pellet [kg/m³]

ρ_{ab} : Densidad del alimento balanceado [kg/m³]

R_c : Relación de compresión

2.2.7. Flujo volumétrico

Para determinar los parámetros adecuados de la tolva, es necesario conocer la cantidad de materia prima que se procesará a través de la máquina peletizadora. Para calcular el flujo volumétrico durante el funcionamiento de la máquina, se puede utilizar la siguiente expresión (Taica, 2020, p. 57).

$$Q = C_t * V_{ep} \quad \text{Ecuación 5-2}$$

Donde:

Q : Flujo volumétrico de peletizado [m^3/s]

C_t : Capacidad de la máquina [kg/h]

V_{ep} : Volumen específico del pellet [m^3/kg]

2.2.8. Volumen de la tolva de alimentación

La tolva de alimentación es uno de los elementos principales de una máquina peletizadora y se puede representar como el volumen de un cono debido a sus características geométricas similares. El volumen de la tolva se puede calcular utilizando la siguiente ecuación (Albán y Arias 2019, p. 7).

$$V = \frac{1}{3} \pi h_t (R_t^2 + r_t^2 + R_t r_t) \quad \text{Ecuación 6-2}$$

Donde:

V : Volumen de la tolva [m^3]

h_t : Altura de la tolva [cm]

R_t : Radio del área mayor de la tolva [cm]

r_t : Radio del área menor de la tolva [cm]

2.2.9. Dimensiones de los rodillos de compresión

Los rodillos de compresión son responsables de comprimir la materia prima cuando entra en contacto con la matriz circular. Al diseñar los radios de los rodillos, es importante tener en cuenta la altura del material en contacto con la matriz durante el proceso de peletizado. Este radio se puede calcular utilizando la siguiente expresión (Ponce y Viteri 2022, p. 30).

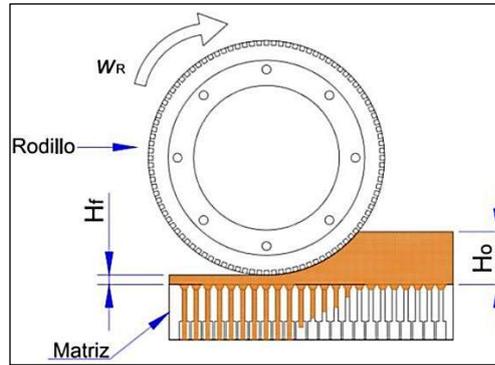


Ilustración 5-2: Zona de compresión

Fuente: (Taica, 2020, p. 24)

$$r_r = \frac{h_o - h_f}{\mu^2}$$

Ecuación 7-2

Donde:

h_o : Altura inicial del material [m]

h_f : Altura final del material [m]

μ : Coeficiente de fricción entre el material del rodillo y del balanceado

2.2.10. Volumen de los rodillos

El volumen de los rodillos está relacionado con el radio del rodillo y la altura del material en ellos. Para calcular este volumen, se utiliza la siguiente expresión (Ponce y Viteri 2022, p. 32).

$$V_r = \pi * r_r^2 * h_r$$

Ecuación 8-2

Donde:

r_r : Radio del rodillo [m]

h_r : Altura del material [m]

2.2.11. Masa de los rodillos

La masa de los rodillos se obtiene de la multiplicación entre la masa de los rodillos con el volumen y se puede calcular mediante la siguiente expresión (Ponce y Viteri 2022, p. 32).

$$m_r = V_r * \rho_r$$

Ecuación 9-2

Donde:

m_r : Masa del rodillo [kg]

V_r : Volumen del rodillo [m³]

ρ_r : Densidad del material del que este fabricado el rodillo [kg/m³]

2.2.12. Área de los agujeros de la matriz

El área de extrusión se puede calcular utilizando la siguiente ecuación, donde se ve afectada por el radio y por la constante π (Taica 2020, p. 25).

$$A_e = \pi r_d^2 \quad \text{Ecuación 10-2}$$

Donde:

r_d : Radio del área del dado [m]

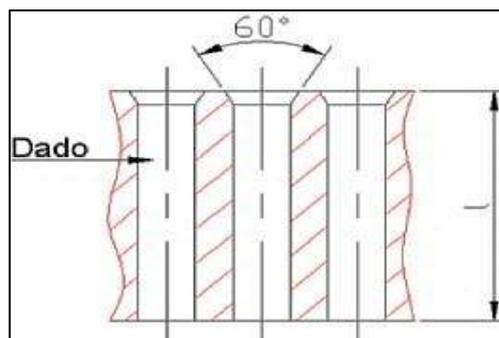


Ilustración 6-2: Dado de una matriz

Fuente: (Taica, 2020, p. 25)

2.2.13. Deformación de extrusión

La deformación de extrusión se presenta mediante una ecuación logarítmica y relaciona la relación de compresión con las constantes de los ángulos de avellanado y está representada como se expresa a continuación. (Ponce & Viteri, 2022, p. 32)

$$E_e = a + [b * \ln(R_c)] \quad \text{Ecuación 11-2}$$

Donde:

E_e : Deformación de extrusión

R_c : Relación de compresión [adimensional]

a, b : Ángulos de avellanado [adimensional]

2.2.14. Presión de compresión del rodillo

El cálculo de la presión de compresión de los rodillos es el producto del esfuerzo de fluencia y la deformación de extrusión y esta representa mediante la siguiente ecuación (Ponce y Viteri, 2022, p. 32).

$$P_R = \gamma_{ab} * E_e \quad \text{Ecuación 12-2}$$

Donde:

γ_{ab} : Esfuerzo de fluencia [Mpa]

E_e : Deformación de extrusión

2.2.15. Fuerza de compresión del rodillo

El cálculo de la fuerza de compresión de los rodillos está relacionado mediante la multiplicación de la presión de compresión de los rodillos con el área de extrusión y se expresa como se muestra a continuación (Ponce y Viteri 2022, p. 33).

$$f_r = P_R * A_e \quad \text{Ecuación 13-2}$$

Donde:

f_r : Fuerza de compresión [N]

P_R : Presión de compresión del rodillo [Pa]

A_e : Área de extrusión [m²]

2.2.16. Aceleración normal de los rodillos

La aceleración normal de los rodillos se puede calcular dividiendo la fuerza de compresión del rodillo entre la masa. Se puede expresar mediante la siguiente ecuación (Taica 2020, p. 27)

$$an_r = \frac{f_r}{m_r} \quad \text{Ecuación 14-2}$$

Donde:

an_r : Aceleración normal del rodillo [m/s²]

f_r : Fuerza de compresión de los rodillos [N]

m_r : Masa [kg]

2.2.17. Velocidad tangencial de los rodillos

La velocidad tangencial de los rodillos se puede calcular utilizando la raíz cuadrada de la multiplicación entre la aceleración normal del rodillo y el radio de los rodillos. Esto se puede expresar mediante la siguiente ecuación (Taica 2020, p. 26).

$$v_{tr} = \sqrt{an_r * r_r} \quad \text{Ecuación 15-2}$$

Donde:

r_r : Radio de los rodillos [m]

an_r : Aceleración normal del rodillo [m/s²]

v_{tr} : Velocidad tangencial de los rodillos [m/s]

2.2.18. Longitud de contacto

Para calcular la longitud de contacto, se debe obtener la raíz cuadrada de la multiplicación entre el radio de los rodillos por la diferencia entre la altura inicial y la altura final del material. Esto se expresa mediante la siguiente ecuación (Ponce y Viteri 2022, p. 35).

$$X = \sqrt{r_r * (h_o - h_f)} \quad \text{Ecuación 16-2}$$

Donde:

X : Longitud de contacto [m]

h_o : Altura inicial del material [m]

h_f : Altura final del material [m]

r_r : Radio de los rodillos [m]

2.2.19. Potencia de los rodillos

La potencia de los rodillos de una peletizadora se puede calcular utilizando varios parámetros, como la velocidad angular y la longitud de contacto. Esta potencia se expresa mediante la siguiente ecuación (Taica 2020, p. 32)

$$P_{rc} = \frac{2 * \pi * \omega_r * f_r * X}{60000} \quad \text{Ecuación 17-2}$$

Donde:

P_{rc} : Potencia de los rodillos [kW]

ω_r : Velocidad angular de los rodillos [rpm]

X : Longitud de contacto [m]

2.2.20. Dimensionamiento de la matriz plana

Para calcular el número de agujeros que debe tener la matriz circular plana, se debe realizar la división entre el flujo volumétrico y la velocidad de extrusión, multiplicado por el área y el número de rodillos. Esto se expresa mediante la siguiente ecuación (Taica, 2020, p. 64)

$$N_a = \frac{Q}{v_e * N_r * A_e} \quad \text{Ecuación 18-2}$$

Donde:

N_a : Número de agujeros de la matriz

Q : Flujo volumétrico de peletizado [m³/s]

v_e : Velocidad de extrusión [m/s]

N_r : Número de rodillos

A_e : Área de extrusión [m²]

2.2.21. Angulo de inclinación

El cálculo del ángulo de inclinación se obtiene a partir de la siguiente expresión, que relaciona la longitud de contacto y el radio de los rodillos (Ponce y Viteri 2022, p. 37).

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{X}{r_r} \right) \quad \text{Ecuación 19-2}$$

Donde:

X : Longitud de contacto [m]

r_r : Radio de los rodillos [m]

2.2.22. *Tiempo de extrusión*

El tiempo de extrusión se calcula dividiendo el ángulo de inclinación entre la velocidad angular del eje central. Esto se representa mediante la siguiente ecuación (Ponce y Viteri 2022, p. 37).

$$t_e = \frac{\theta}{\omega} \quad \text{Ecuación 20-2}$$

Donde:

t_e : Tiempo de extrusión [s]

θ : Ángulo de inclinación [rad]

ω : Velocidad angular [rad/s]

2.2.23. *Presión adicional requerida para superar la fricción*

La presión adicional requerida se obtiene multiplicando el esfuerzo de fluencia del balanceado por la altura final del material, y luego dividiendo todo esto por el diámetro del pellet. Esto se expresa mediante la siguiente ecuación (Taica 2020, p. 66).

$$P_a = \gamma_{ab} * \frac{2 * h_f}{d_p} \quad \text{Ecuación 21-2}$$

Donde:

γ_{ab} : Esfuerzo de fluencia del pellet balanceado [Mpa]

d_p : Diámetro del pellet [m]

h_f : Altura final del material [m]

2.2.24. *Presión en las paredes*

Para el cálculo de la presión en las paredes, intervienen varios términos, como la presión adicional, el diámetro del pellet, el coeficiente de fricción, entre otros. Esto se representa mediante la siguiente expresión (Taica 2020, p. 66)

$$P_o = \frac{P_a * d_p}{4 * \mu * h_f} \quad \text{Ecuación 22-2}$$

Donde:

d_p : Diámetro del pellet [m]
 P_o : Presión en las paredes [Mpa]
 h_f : Altura final del material [m]
 μ : Coeficiente de fricción [adimensional]

2.2.25. Fuerza de fricción

La fuerza de fricción, que se opone al movimiento producido por los rodillos, puede ser calculada mediante la siguiente ecuación (Ponce y Viteri 2022, p. 34).

$$f_K = \mu * P_o * d_p * l_p \quad \text{Ecuación 23-2}$$

Donde:

P_o : Presión en las paredes del dado [Mpa]
 d_p : Diámetro del pellet [m]
 l_p : Longitud del pellet [m]
 μ : Coeficiente de fricción [adimensional]

2.2.26. Aceleración de extrusión

El cálculo de la aceleración de extrusión se puede realizar utilizando la siguiente expresión que se muestra a continuación (Taica 2020, p. 65).

$$a_e = \frac{f_r - f_K}{C_t} \quad \text{Ecuación 24-2}$$

Donde:

f_r : Fuerza de compresión del rodillo [N]
 f_K : Fuerza de fricción [N]
 C_t : Capacidad de diseño [N]

2.2.27. Velocidad de extrusión

Para calcular la velocidad de extrusión, se utilizan las ecuaciones cinéticas que involucran varios parámetros, como la velocidad inicial, la aceleración de extrusión y el tiempo de extrusión. Esto se expresa mediante la siguiente ecuación (Taica 2020, p. 65).

$$v_e = v_o + (a_e * t_e)$$

Ecuación 25-2

Donde:

v_o : Velocidad inicial cuando sale del reposo [m/s]

a_e : Aceleración de extrusión [m/s²]

t_e : Tiempo de extrusión [s]

2.2.28. Dimensionamiento del motor

Para calcular la potencia, se utiliza el producto de varios parámetros, como la velocidad angular, fuerza de compresión, longitud de contacto y número de rodillos. Esto se expresa mediante la siguiente ecuación (Taica 2020, p. 69).

$$P_p = \omega \times f_r \times N_r \times X$$

Ecuación 26-2

Donde:

P_p : Potencia de la peletizadora [kW]

ω : Velocidad del eje principal [rad/s]

f_r : Fuerza de compresión del rodillo [N]

N_r : Número de rodillos [adimensional]

X : Longitud de contacto [m]

2.2.29. Diseño de ejes de potencia

Los ejes de transmisión de potencia, también conocidos como árboles, desempeñan un papel fundamental en la transmisión de torque a lo largo de una distancia determinada. El diseño de estos ejes se basa principalmente en el fenómeno de fatiga, que ocurre cuando el eje está sujeto a cargas fluctuantes. Para el diseño adecuado, es necesario realizar un diagrama de cuerpo libre en 3D que tome en cuenta todas las cargas aplicadas al eje. A partir de este análisis, se pueden calcular los momentos flectores, los momentos torsionales y las cargas axiales que actúan sobre el eje (Araque y Cabello 2006, p. 219).

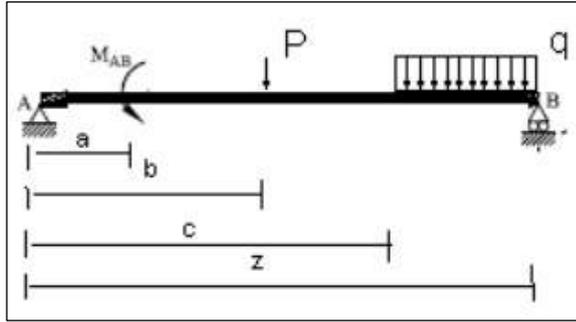


Ilustración 7-2: Diagrama de cargas en un eje

Fuente: (Araque y Cabello 2006, p. 222).

Después de obtener los valores de los momentos flectores, los momentos torsionales y las cargas axiales, es necesario realizar un análisis minucioso para identificar las fluctuaciones que pueden presentarse, como completamente invertidas, fluctuantes, entre otras. A continuación, se debe aplicar la fórmula establecida en el estándar ASME B106.1.M para calcular el diámetro del eje. En este cálculo, las cargas axiales pueden considerarse despreciables y no afectarán significativamente el resultado. La expresión utilizada para calcular el diámetro del eje es la siguiente (Budynas y Nisbett 2014, p. 352).

$$d = \left\{ \frac{16 * n}{\pi} * \left[4 * \left(\frac{k_f * M_a}{S_e} \right)^2 + 3 * \left(\frac{k_{fs} * T_a}{S_e} \right)^2 + 4 * \left(\frac{k_f * M_m}{S_y} \right)^2 + 3 * \left(\frac{k_{fs} * T_m}{S_y} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}^{\frac{1}{3}}$$

Ecuación 27-2

Donde:

d : Diámetro del eje calculado [mm]

n : Factor de seguridad requerido por el eje

k_f : Factor de concentrador de esfuerzos a flexión

k_{fs} : Factor de concentrador de esfuerzos a torsión

M_a : Momento flector amplitud [N*mm]

M_m : Momento flector medio [N*mm]

T_a : Torque amplitud [N*mm]

T_m : Torque medio [N*mm]

S_e : Límite de fatiga [MPa]

S_y : Límite de fluencia [MPa]

2.2.30. Selección de rodamientos

Las máquinas rotativas están compuestas por componentes en movimiento, lo que requiere de elementos que permitan el desplazamiento de estas partes sin afectar a las partes fijas. Para cumplir con esta función se utilizan rodamientos, que son elementos estandarizados diseñados específicamente para este propósito (Castellino et al., 2007, p. 2).

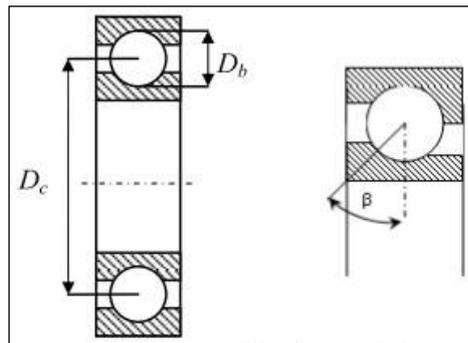


Ilustración 8-2: Rodamiento de bolas

Fuente: (Castellino et al., 2007, p. 3)

Existen diferentes tipos de rodamientos disponibles para su uso y aplicación específica. Algunos ejemplos incluyen los rodamientos rígidos de bolas, de anillos cilíndricos, entre otros. En el mercado, las principales marcas fabricantes son NTN y SKF, quienes proporcionan algoritmos y herramientas para la selección adecuada de cada tipo de rodamiento.

Por ejemplo, NTN utiliza un procedimiento basado en el cálculo de carga dinámica, donde se determina la capacidad de carga inicial. Esto se realiza mediante una fórmula que se muestra a continuación.

$$C' = \frac{f_h}{f_n} * P \quad \text{Ecuación 28-2}$$

Donde:

C' : Capacidad de carga requerida-dinámica [N]

f_h : Factor de vida

f_n : Factor de velocidad

P : Carga equivalente

Para calcular el valor numérico del factor de vida, se deben seleccionar las constantes adecuadas de la tabla que se muestra a continuación:

Tabla 3-2: Factor de confiabilidad

L	Confiabilidad	a ₁
L10	90,00	1,00
L5	95,00	0,64
L4	96,00	0,55
L3	97,00	0,47
L2	98,00	0,37
L1	99,00	0,25

Fuente: (SKF, 2015, p. 65)

Realizado por: Jácome, Jairo; Moyano, Cristian 2023.

Además, se debe utilizar la siguiente expresión correspondiente al tipo de rodamiento que se desea utilizar:

Para rodamientos rígidos de bolas:

$$f_h = \left(\frac{L_{10}}{500} \right)^{\frac{1}{3}} \quad \text{Ecuación 29-2}$$

Para rodamientos de rodillos cilíndricos:

$$f_h = \left(\frac{L_{10}}{500} \right)^{\frac{3}{10}} \quad \text{Ecuación 30-2}$$

Donde:

L_{10} : Multiplicación entre a_1 y el número de horas de operación.

Para el cálculo del factor de velocidad, se utiliza una fórmula que involucra la velocidad del rodamiento y se puede calcular mediante la siguiente expresión, dependiendo del tipo de rodamiento que se desee utilizar (SKF, 2015).

Para rodamientos rígidos de bolas:

$$f_n = \left(\frac{33,3}{n} \right)^{\frac{1}{3}} \quad \text{Ecuación 31-2}$$

Para rodamientos de rodillos cilíndricos:

$$f_n = \left(\frac{33,3}{n}\right)^{\frac{3}{10}}$$

Ecuación 32-2

Donde:

n : Velocidad de rotación del rodamiento

Además, se realiza un chequeo a carga estática mediante el uso de la siguiente expresión.

$$C_o' = f_s * P$$

Ecuación 33-2

Donde:

C_o' : Capacidad requerida a carga estática [N]

f_s : Constante a carga estática [adimensional]

P : Carga [N]

2.3. Control automático

El control automático desempeña un papel fundamental y de gran importancia en el avance de la ingeniería. Gracias al uso de componentes electrónicos, es posible controlar diversos parámetros como la temperatura, presión, humedad, entre otros. Esto permite regular y ajustar de manera precisa los procesos y sistemas, mejorando su eficiencia y garantizando un funcionamiento óptimo (Tipan, 2017, p. 26).

Para el control de los diferentes parámetros involucrados en un proceso de peletizado, es necesario utilizar herramientas computacionales que permitan llevar a cabo tareas de control. Esto implica la implementación de un sistema embebido, el cual se encarga de gestionar y supervisar el proceso de manera automática. Este sistema utiliza algoritmos y programas diseñados específicamente para controlar y ajustar los parámetros relevantes, garantizando un proceso de peletizado eficiente y preciso.

2.3.1. Sistema embebido

Un sistema embebido se refiere a un sistema electrónico que incorpora un microcontrolador, o también se define como cualquier sistema computacional que se encuentra integrado dentro de un dispositivo electrónico. Este sistema está diseñado para realizar tareas específicas y se encuentra oculto dentro del dispositivo en el que está incorporado. Su función principal es

controlar y supervisar el funcionamiento del dispositivo, interactuando con los componentes y ejecutando los programas necesarios para su correcto funcionamiento (Macias, 2018, p. 13).

Los sistemas embebidos son ampliamente utilizados en diversas aplicaciones industriales, lo que resalta la importancia de comprender sus características.

2.3.1.1. Características de un sistema embebido

El bajo costo es una de las características esenciales que presenta un sistema embebido, además el costo por unidad es otro aspecto relevante debido a que son producidos por millones de unidades (Macias, 2018, p. 13).

A continuación, se enumeran las características que deben cumplir:

- Deben poseer un programa específico que se va a ejecutar de una manera repetitiva.
- Se puede operar con números reales.
- Los sistemas embebidos deben presentar una respuesta instantánea a los cambios que pueden producirse en el ambiente, además de poder realizar cálculos en un tiempo real.
- Pueden acoplarse a interfaces de hardware.

Las características clave de los sistemas embebidos incluyen su tamaño reducido, su eficiencia energética, su confiabilidad, su especialización y su capacidad de interacción y procesamiento de datos.

Además de conocer las características, también es necesario conocer los componentes que constituyen un sistema embebido.

2.3.1.2. Componentes de un sistema embebido.

Los sistemas embebidos están compuestos por dos componentes fundamentales: el hardware y el software embebido. Estos sistemas son considerados como sistemas computacionales diseñados específicamente para aplicaciones particulares. Pueden formar parte de un sistema más amplio o funcionar de manera independiente. Una característica distintiva de los sistemas embebidos es que su software está generalmente almacenado en una memoria de solo lectura (ROM), lo que significa que no requieren de memoria adicional como en el caso de las computadoras convencionales. Esto los hace más eficientes y confiables en términos de almacenamiento de programas y datos. El hardware del sistema embebido está diseñado para

cumplir con los requisitos específicos de la aplicación, mientras que el software embebido se encarga de controlar y administrar el funcionamiento del sistema (Macias 2018, p. 14).

Los componentes principales de un sistema embebido se muestran a continuación:

- Hardware.
- Una aplicación principal que lleva una o varias series de tareas en específico.
- Un sistema operativo que pueda supervisar las aplicaciones, además en varios sistemas embebidos se requiere que el sistema operativo tenga características de tiempo real (Macias 2018, p. 14).

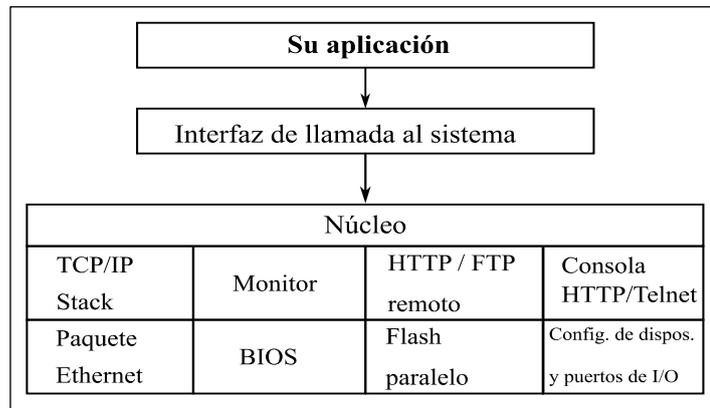


Ilustración 9-2: Arquitectura empleada - PC embebido

Fuente: (Macias 2018, p. 15)

Un PC embebido tiene una arquitectura similar a la de un PC normal y sus elementos básicos son un microprocesador, memoria, disco duro, etc (Macias 2018, p. 15).

Cuando se requiera el control de un proceso se puede realizar la implementación de un sistema SCADA que permitirá la obtención de datos mediante una programación previamente establecida.

2.3.2. Sistema SCADA

La función principal de un Sistema SCADA es el control y monitoreo de procesos industriales, así como la automatización de la adquisición de datos de variables específicas. Esto permite controlar de manera automática, desde una computadora, todos los parámetros que han sido previamente programados en el sistema. El SCADA recopila información en tiempo real de sensores y dispositivos conectados, y proporciona una interfaz gráfica para que los operadores supervisen y controlen el proceso industrial. Con esta tecnología, es posible realizar ajustes y

tomar decisiones en función de los datos recopilados, lo que mejora la eficiencia y la seguridad del sistema (Albán y Paguay 2017, p. 14).

En un inicio el termino SCADA solo estaba asociado a las aplicaciones que permitan la obtención de datos y la supervisión del proceso, pero con el paso de los años y la innovación tecnológica, han permitido una unión de las soluciones SCADA que permita unir el software, el hardware y las comunicaciones (García 2016, p. 7).

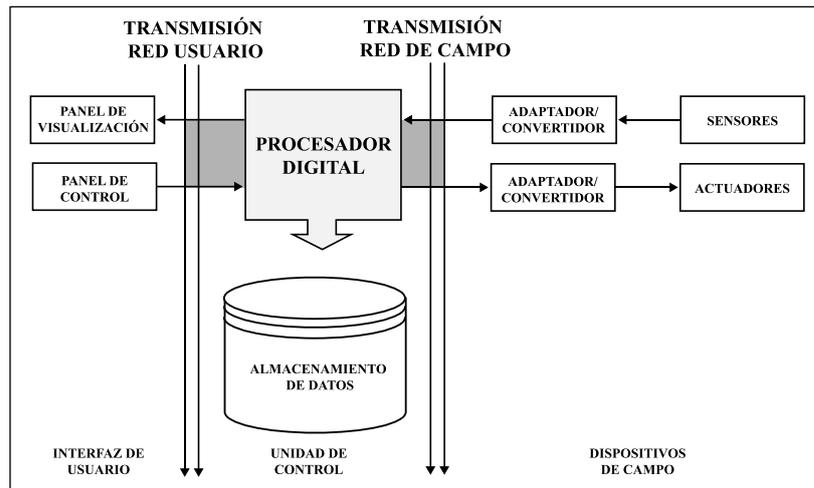


Ilustración 10-2: Esquema de un sistema SCADA

Fuente: (García, 2016, p. 7).

Para poder implementar este sistema en determinada aplicación específica es necesario conocer los componentes de un sistema SCADA.

2.3.2.1. Componentes del sistema SCADA.

Los componentes son los que se detallan a continuación:

- Estación maestra. Hace referencia a los servidores y al software que se utiliza para realización de la comunicación con los equipos de campo PLC, etc. La estación maestra para un SCADA puede ser un computador o en el caso de que fuera extensa se pueden utilizar un conjunto de servidores (Balarezo y Guano 2018, p. 20).
- Unidad terminal remota (RTU). Se encarga de la lectura de los datos de estado si están cerrados o abiertos desde un interruptor y se conecta de una manera física, además toma lecturas como voltajes, corrientes, presiones, etc. También por esta unidad se puede enviar señales para controlar las posiciones de cerrado y abierto (Balarezo y Guano 2018, p. 20).

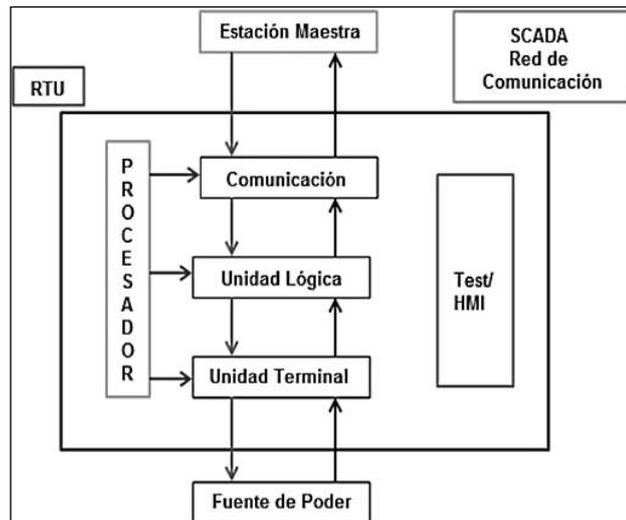


Ilustración 11-2: Componentes de la RTU

Fuente:(García, 2016, p. 11)

Infraestructura y métodos de comunicación. Los sistemas SCADA poseen combinaciones de radios o conexiones de modem para entender los requerimientos de comunicación (Balarezo y Guano 2018, p. 20).

Es necesario realizar la asignación de tags a las distintas variables del proceso que se quiere registrar los datos.

2.3.2.2. Registro de datos (Tags)

Mediante los Tags se pueden definir cada variable y son las representaciones que se utilizan en el SCADA cuando se trata de procesos industriales (Usca y Vallejo 2018, p. 9).

- Continua (analógica)
- Discreta (binaria)
- Asociación de un nombre
- Rango de valores

Además de la asignación de tags, es importante conocer la forma en cómo se realizar la gestión y archivo de datos.

2.3.2.3. Gestión y archivo de datos

Mediante una aplicación se puede acceder al procesado de los datos y también a su almacenamiento (García, 2016, p. 10).

Cuando los datos han sido procesados se pueden mostrar mediante graficas de varias formas como lo son los histogramas, graficas analógicas, etc. que permiten analizar la evolución global del proceso que está efectuando (García, 2016, p. 10).

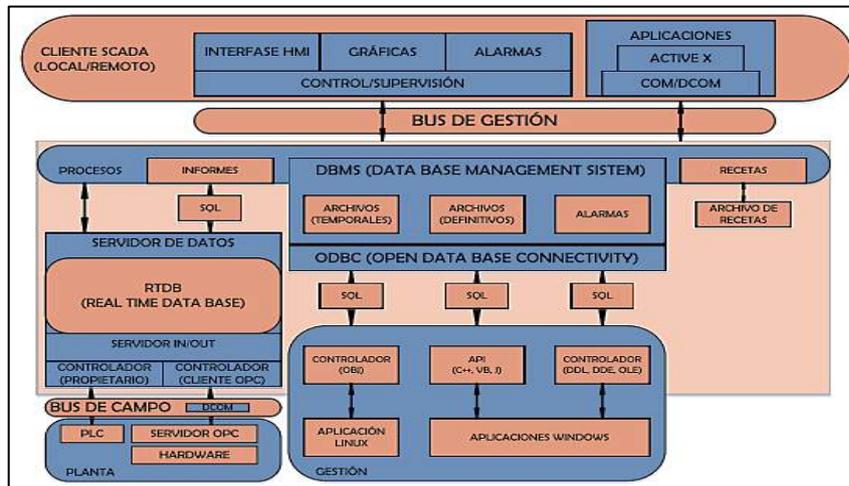


Ilustración 12-2: Arquitectura software de un sistema SCADA

Fuente: (García, 2016, p. 10)

Para poder realizar la comunicación entre la máquina y el usuario se debe de utilizar una red de comunicación.

2.3.2.4. Red de comunicación

La transferencia de los datos entre el hardware del SCADA y la planta se realiza a través del sistema de comunicación, esta puede estar constituida mediante cables o puede estar realizada de una manera inalámbrica mediante el uso de cualquier protocolo industrial como los son Modbus, Fieldbus, etc., (Vasconez 2019, p. 14)

Una vez definido la forma en cómo se va a llevar la comunicación de debe definir la interfaz gráfica del operador mediante el cual podrá observar las variables que se desee analizar.

2.3.2.5. Interfaz gráfica del operador

Mediante la interfaz gráfica el operador podrá analizar el comportamiento de los procesos que se está controlado y supervisando y de esta manera se podrá ver si son correctos o erróneos y tomar acciones para corregirlos. A continuación, se presentan algunas consideraciones a tener en cuenta al momento de diseñar pantallas (García 2016, p. 9).

- Se debe poder diferenciar las diferentes zonas de la planta de una manera sencilla.

- Se utilizará sinópticos para la representación del proceso
- La información presentada aparecerá sobre el elemento gráfico que la genera o soporta
- Mediante la clasificación de colores se puede mejorar su comprensión
- Es recomendable utilizar varios colores al momento que se está desarrollando la aplicación

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Metodología del diseño

Se establecerá el diseño de la máquina peletizadora automática teniendo en cuenta diversos parámetros para garantizar un seguimiento adecuado y para asegurar que se cumplan los objetivos previamente mencionados en el capítulo I. Para ello mediante la metodología QFD se planteará el desarrollo de la máquina que se deseará construir. Asimismo, se implementará a través de las diversas etapas que conforman la metodología QFD, centrándose en los parámetros más importantes como se muestra en la Ilustración 1-3.

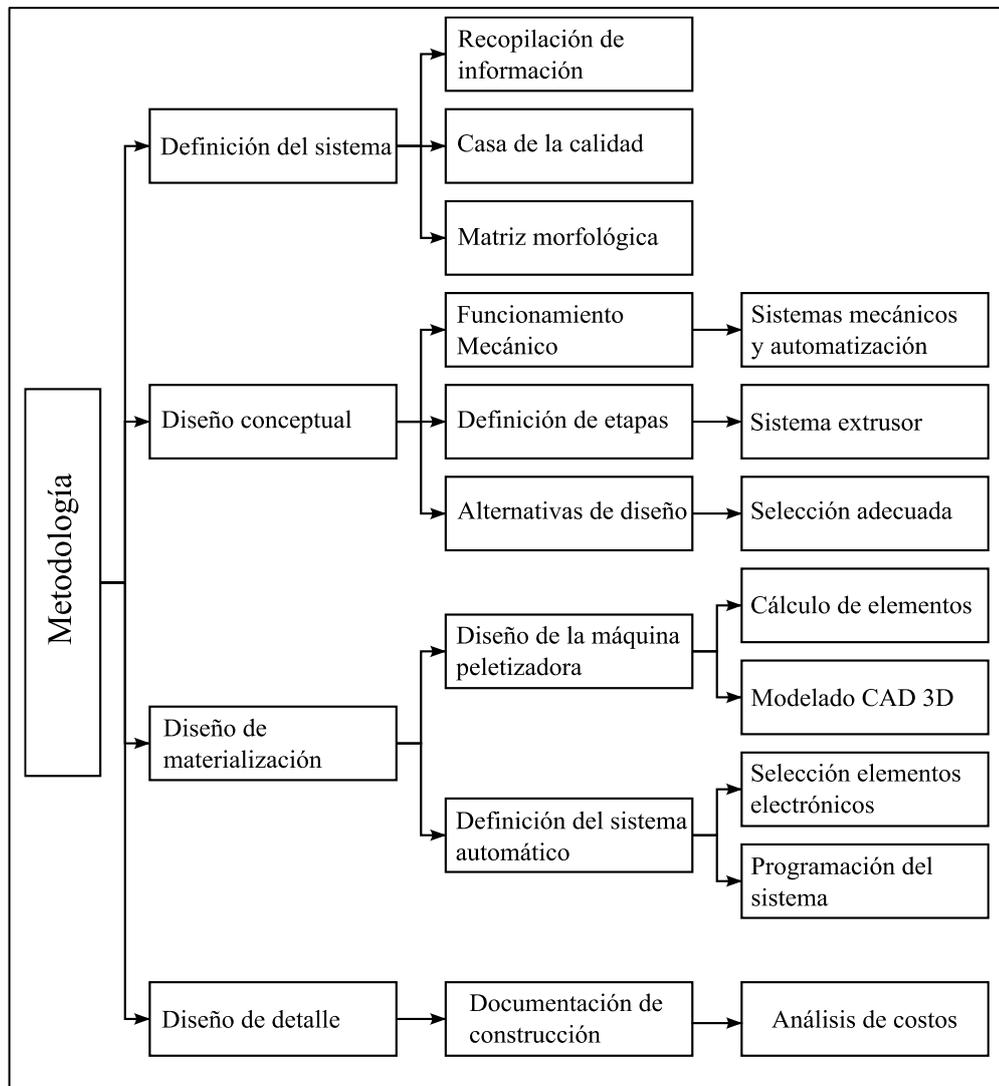


Ilustración 1-3: Método de diseño

Realizado por: Jácome, Jairo; Moyano, Cristian 2023.

3.2. Definición del sistema

La máquina peletizadora automatizada deberá cumplir todas las especificaciones y características solicitadas por el cliente, las cuales serán fundamentales para establecer los parámetros técnicos mediante la voz del ingeniero, y con el objetivo de obtener un producto totalmente aceptable y competitivo en el mercado nacional.

3.2.1. Definición del sistema

Al establecer una conexión entre las necesidades y requisitos del cliente con el conocimiento técnico de un ingeniero, se podrá definir varios parámetros a tener en cuenta. Además de considerar los aspectos más importantes para el diseño, se estableció una encuesta específicamente al cliente solicitante, para de esta manera considerar sus puntos específicos.

3.2.1.1. Voz del usuario

Se tomarán en cuenta los requerimientos del cliente, para ello se realizará una encuesta dirigida a la persona solicitante de esta máquina. Esta encuesta permitirá identificar sus principales deseos y necesidades, lo cual ayudará a establecer las necesidades del cliente (Tabla 1-3).

Tabla 1-3: Requerimientos del cliente

Requerimientos del Cliente	Tipo de demanda
Económica	B
Capacidad	O
Silenciosa	E
Trabajo a distancia	B
Tamaño de la máquina	O
Tamaño de pellet	O

Realizado por: Jácome, Jairo; Moyano, Cristian 2023.

Nota: El tipo de demanda se clasificará de la siguiente manera: B, Básico; O, Unidimensional y E, Estimulante.

3.2.1.2. Voz del ingeniero

Se tendrán en cuenta las condiciones solicitadas por el usuario para establecer las especificaciones técnicas de acuerdo a consideraciones ingenieriles en el diseño de la máquina peletizadora. Estas especificaciones se presentan en la Tabla 2-3.

Tabla 2-3: Voz del Ingeniero

Voz del Usuario	Voz del Ingeniero
Económica	Selección de materiales y elementos mecánicos
Capacidad	Potencia del motor, dimensión de la tolva
Silenciosa	Ruido permisible
Trabajo a distancia	Control automático a distancia
Tamaño de la máquina	Dimensiones de la máquina
Tamaño de pellet	Dimensiones del pellet

Realizado por: Jácome, Jairo; Moyano, Cristian 2023.

Después de considerar la voz del usuario y la voz del ingeniero se considerará los aspectos necesarios para la construcción de acuerdo a los criterios de la casa de la calidad.

3.2.2. Condiciones de diseño

Se analizará las condiciones de diseño más importantes para la máquina peletizadora automática, con el fin de satisfacer las necesidades del usuario solicitante. A continuación, se describirán estas condiciones.

3.2.2.1. Selección de materiales y elementos mecánicos

Esta condición de diseño considerará la selección de los materiales de la manera más adecuada, teniendo en cuenta que algunos elementos necesitarán ser más resistentes que otros acorde a la función que cumplan dentro de la máquina peletizadora. Se buscará realizar una selección que sea la más apropiada en función de esta consideración.

3.2.2.2. Potencia del motor y diseño de la tolva

Esta condición de diseño determinará la capacidad de la máquina, considerando los parámetros que se obtendrán del motor, y teniendo en cuenta un factor de sobreproducción permitiendo que la máquina pueda funcionar sin ningún problema.

3.2.2.3. Ruido permisible

Esta condición de diseño se enfocará en establecer medidas de seguridad para el operador o los operadores que trabajarán con la máquina, con el fin de reducir el impacto negativo ocasionado por las largas horas de trabajo y niveles elevados de ruido.

3.2.2.4. Control automático a distancia

El control se establecerá de acuerdo a las condiciones de diseño requeridas, lo cual permitirá el control remoto y el monitoreo del funcionamiento de la máquina de acuerdo a los parámetros deseados. Además, posibilitará realizar un trabajo a distancia manteniendo la seguridad del operador.

3.2.2.5. Dimensiones de la máquina

Esta condición de diseño permitirá asegurar que la dimensión de la máquina sea la adecuada y se encuentre dentro de los límites establecidos del solicitante.

3.2.2.6. Dimensiones del pellet

Una vez que se hayan identificado las condiciones de diseño principales y más relevantes para el sistema, se procederá a enfocarse en el análisis funcional. Se realizará una matriz morfológica para generar diferentes alternativas de diseño, las cuales serán evaluadas utilizando el método ordinal corregido de criterios ponderados, que forma parte de la metodología QFD.

3.3. Casa de la Calidad

A continuación, mediante la Ilustración 2-3 se mostrará la casa de la calidad considerando los diversos parámetros mencionados anteriormente, además se considerará valores cualitativos para evaluar la máquina que se pretende diseñar e identificando los aspectos que se deben mejorar.

Tabla 3-3: Especificaciones técnicas

Empresa:	Producto: Peletizadora de Balanceado	Fecha Inicial:		
Diseñadores Jairo Jácome Cristian Moyano		Fecha de culminación:		
Especificaciones Técnicas:				
Concepto	Fecha	Propone	R/D	Descripción
Costo		C	D	El precio de la peletizadora no debe superar los \$3500.
Tiempo de Mantenimiento		D	R	El mantenimiento no debe sobrepasar las 8 horas.
Accesibilidad a elementos mecánicos		C	D	El equipo debe ser fácil de desmontar y montar.
Peso máximo de la máquina		D	D	El equipo debe ser fácil de transportar.
Capacidad de producción		D	R	El equipo deberá mantener una producción mínima de 125 kg/h hasta un máximo de 180 kg/h.
Potencia de entrada		C	R	El motor que se utilizará debe ser de 4.5 kW
Diámetro de Pellet		D	R	Dimensión por considerar de 6 mm
Longitud del Pellet		D	R	Dimensión por considerar entre 10 a 25 mm de longitud
Generación energética		D	R	Motor por utilizar consume energía con corriente alterna.
Acabado Superficial		D	D	La máquina finalizada será totalmente pintada
Propone: M=Márquetin, C=Cliente, D=Diseñadores, P=Producción, F=Fabricación. R/D: R=Requerimiento, D=Deseo, MR=Modificación de Requerimientos				

Realizado por: Jácome, Jairo; Moyano, Cristian 2023.

3.4. Diseño conceptual

Una vez que se hayan determinado las principales y más importantes condiciones de diseño para el sistema, se considerará el enfoque del análisis funcional y se realizará la matriz morfológica la cual nos permitirá generar diversas alternativas de diseño, que luego serán evaluadas mediante el método ordinal corregido de criterios ponderados perteneciente a la metodología QFD.

3.4.1. Análisis funcional

En la Ilustración 3-3 se mostrará el nivel 0 del análisis funcional, mientras que en la Ilustración 4-3 se mostrará el nivel 1.

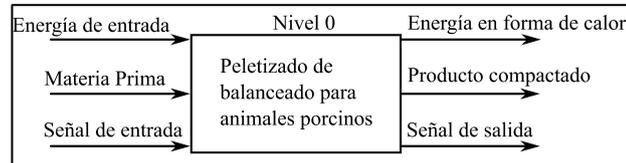


Ilustración 3-3: Nivel 0

Realizado por: Jácome, Jairo; Moyano, Cristian 2023.

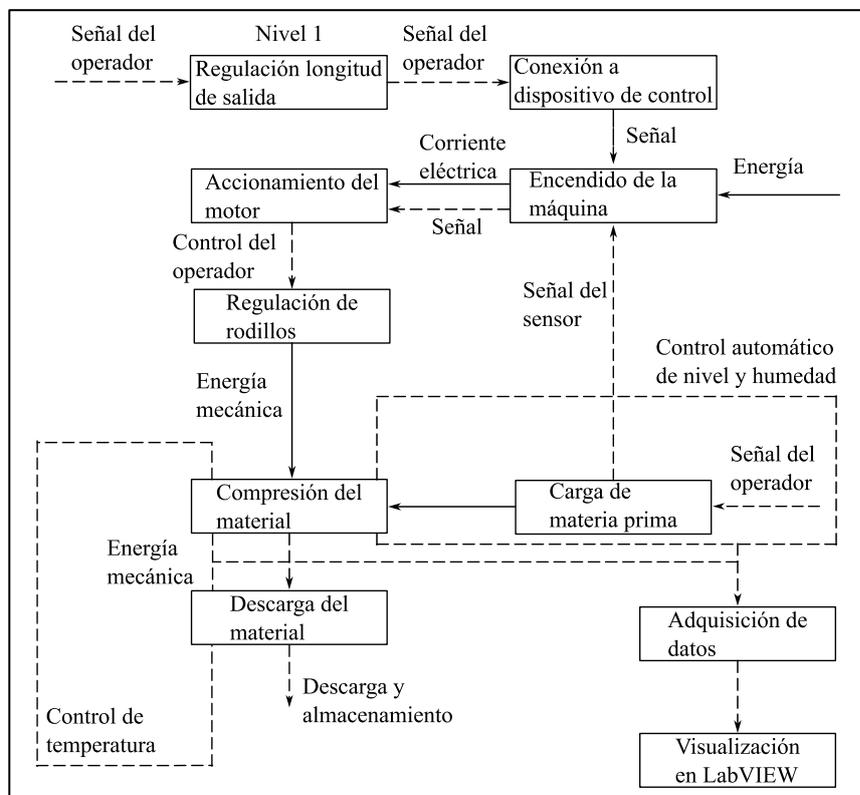


Ilustración 4-3: Nivel 1

Realizado por: Jácome, Jairo; Moyano, Cristian 2023.

3.4.2. Evaluación de la estructura funcional

La evaluación proporcionará una idea general del enfoque secuencial de la máquina peletizadora automática, definiendo los flujos de entrada y salida en el proceso de peletizado, y esto permitirá considerar la estructura funcional a nivel 0 y nivel 1.

3.4.3. Matriz morfológica

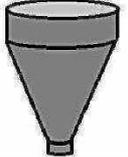
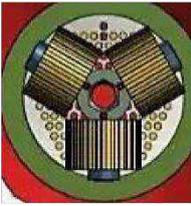
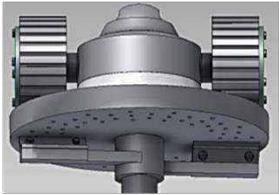
Función	Componentes			
Sistema de ingreso				
	TOLVA RECTANGULAR	TOLVA CIRCULAR	CRIBA	
Número de rodillos				
	2 RODILLOS		3 RODILLOS	
Tipo de movimiento				
	FIJOS		MÓVILES	
Tipo de matriz				
	PLANA		ANULAR	
Movimiento de la matriz				
	FIJO		MOVIL	
Sistemas de transmisión				
				
	ENGRANES	POLEAS	DIRECTA	DIFERENCIAL

Ilustración 5-3: Matriz morfológica 1

Realizado por: Jácome, Jairo; Moyano, Cristian 2023.

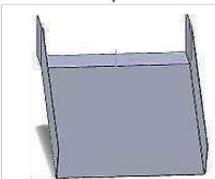
Tipo de motor					
	A COMBUSTIBLE		ELÉCTRICO		
Selección del motor					
	MOTOR		MOTORREDUCTOR		
Sistema de salida					
	TOLVA DE SALIDA		CRIBA		
Controlador					
	ARDUINO		RASPERRY PI		PLC

Ilustración 6-3: Matriz morfológica 2

Realizado por: Jácome, Jairo; Moyano, Cristian 2023.

Después de establecer las diferentes combinaciones a considerar mediante la matriz morfológica de la Ilustración 5-3 y 6-3, se obtendrán tres posibles alternativas. Para facilitar la identificación de las soluciones, se ha utilizado un código de colores que se mostrará a continuación.

- Alternativa 1 utilizará el color azul.
- Alternativa 2 utilizará el color rojo.
- Alternativa 3 utilizará el color verde.

De este modo, se definirán de manera más específica las diferencias entre las alternativas sugeridas, especificando qué contiene cada una de ellas.

3.4.3.1. Alternativa I

La alternativa uno de la máquina peletizadora automática se enfocará en el uso de una criba como sistema de entrada de la materia prima. Para el sistema de compactación, se utilizarán dos rodillos móviles, así como una matriz anular como elemento fijo. La transmisión se realizará mediante poleas, y se empleará un motor diésel como fuente de energía. El sistema de corte será de tipo móvil. Para la salida, se considerará el uso de una criba, ya que las máquinas con matrices anulares tienen una gran capacidad. A pesar de que la eficiencia de transmisión de poleas sea baja, se elige debido a su bajo precio. Para el control, se utilizará un PLC.

3.4.3.2. Alternativa II

Para esta alternativa, se considera el uso de una tolva rectangular como sistema de alimentación. En cuanto al sistema de compactación, se utilizarán dos rodillos fijos, y la matriz seleccionada será plana y fija. La transmisión se realizará mediante un sistema directo. En cuanto al motor, se optará por utilizar un motor eléctrico bifásico. El sistema de corte será móvil. Para el control, se utilizará un controlador Raspberry.

3.4.3.3. Alternativa III

En el caso de la alternativa tres, se utilizará una tolva circular como sistema de alimentación. Para el sistema de compactación, se emplearán tres rodillos fijos, y la matriz seleccionada será plana y móvil. La transmisión se realizará mediante un sistema diferencial, y se elegirá un motor eléctrico bifásico. Además, se optará por utilizar un controlador Arduino para la automatización.

3.4.4. Método ordinal corregido de criterios ponderados

Se llevará a cabo la evaluación y comparación de las alternativas seleccionadas para tomar la mejor decisión. Para ello, se empleará el método ordinal de criterios ponderados. De esta manera, se utilizarán valores cuantitativos para determinar qué alternativa se considera superior en comparación con las demás. Los valores a considerar serán los siguientes:

- Valor de 1 para criterios superiores.
- Valor de 0.5 para criterios iguales o similares.
- Valor de 0 para criterios inferiores.

Con estos valores, se llevará a cabo la comparación de las alternativas teniendo en cuenta diferentes criterios de evaluación. De esta manera, obtendremos una mejor comprensión de los parámetros competitivos entre las alternativas.

3.4.4.1. Criterios de evaluación de alternativas

Se considerarán los diferentes criterios que se planteen para la evaluación, utilizando parámetros que se consideren importantes dentro del proceso de selección de una máquina a adquirir.

Costo. Corresponderá al valor económico que se decidirá invertir en la fabricación o adquisición de la máquina, esto incluirá también los salarios del operador, entre otros.

Dimensiones. Este parámetro se considerará importante ya que se establecerá el espacio máximo a ocupar dentro del lugar del solicitante o cliente.

Capacidad. Este parámetro se analizará de acuerdo a la necesidad del cliente.

Operación. Este parámetro se considerará debido al tiempo de trabajo a la cual estará sometida y las exigencias del cliente.

3.4.4.2. Evaluación de los pesos específicos de cada alternativa

Los criterios del apartado anterior se ordenarán de acuerdo con su importancia, establecida mediante valores cuantitativos. Además, se podrá ver la evaluación del peso específico de cada criterio mediante la Tabla 4-3 y se considerará el orden de los parámetros de la siguiente manera:

Costo > Operación > Dimensiones = Capacidad

Tabla 4-3: Evaluación del peso específico de cada criterio.

CRITERIO	Capacidad	Dimensiones	Costo	Operación	$\sum +1$	Ponderación
Capacidad		0.5	0	0	1.5	0.15
Dimensiones	0.5		1	0	2.5	0.25
Costo	1	0		1	3	0.3
Operación	1	1	0		3	0.3
					10	1

Realizado por: Jácome, Jairo; Moyano, Cristian 2023.

A continuación, se definirán de manera específica los criterios según las alternativas seleccionadas. Se comenzará con el criterio de capacidad como se muestra en la Tabla 5-3.

De esta manera se considerará el orden de importancia de las siguientes alternativas.

Alternativa 1 > Alternativa 3 > Alternativa 2

Tabla 5-3: Evaluación del peso específico del criterio de capacidad.

CAPACIDAD	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\sum +1$	Ponderación
Alternativa 1		1	1	3	0.5
Alternativa 2	0		0	1	0.166
Alternativa 3	0	1		2	0.333
				6	1

Realizado por: Jácome, Jairo; Moyano, Cristian 2023.

A continuación, se definirá el criterio de dimensiones como se muestra en la Tabla 6-3, y se analizará el orden de importancia como se muestra a continuación:

Alternativa 3 > Alternativa 2 > Alternativa 1

Tabla 6-3: Evaluación del peso específico del criterio dimensiones.

DIMENSIONES	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\sum +1$	Ponderación
Alternativa 1		0	0	1	0.166
Alternativa 2	1		0	2	0.333
Alternativa 3	1	1		3	0.5
				6	1

Realizado por: Jácome, Jairo; Moyano, Cristian 2023.

A continuación, se definirá el criterio de costo como se muestra en la Tabla 7-3, y se analizará el orden de importancia como se muestra a continuación:

Alternativa 3 > Alternativa 2 > Alternativa 1

Tabla 7-3: Evaluación del peso específico del criterio costo.

COSTO	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\sum +1$	Ponderación
Alternativa 1		0	0	1	0.166
Alternativa 2	1		0	2	0.333

Alternativa 3	1	1		3	0.5
				6	1

Realizado por: Jácome, Jairo; Moyano, Cristian 2023.

A continuación, se definirá el criterio de operaciones como se muestra en la Tabla 8-3, y se analizará el orden de importancia como se muestra a continuación:

Alternativa 3 = Alternativa 2 > Alternativa 1

Tabla 8-3: Evaluación del peso específico del criterio de operaciones.

OPERACIONES	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\sum +1$	Ponderación
Alternativa 1		0	0	1	0.166
Alternativa 2	1		0.5	2.5	0.416
Alternativa 3	1	0.5		2.5	0.416
				6	1

Realizado por: Jácome, Jairo; Moyano, Cristian 2023.

Al realizar estas evaluaciones de los pesos específicos, se procederá a elaborar las tablas de conclusiones como se muestra en la Tabla 9-3.

Tabla 9-3: Evaluación de la prioridad de las alternativas

CRITERIO	Capacidad	Dimensiones	Costo	Operación	Ponderación	Prioridad
Alterna. 1	0.075	0.0415	0.0498	0.0498	0.2161	3
Alterna. 2	0.0249	0.08325	0.0999	0.1248	0.33285	2
Alterna. 3	0.04995	0.125	0.15	0.1248	0.44975	1

Realizado por: Jácome, Jairo; Moyano, Cristian 2023.

Mediante el análisis de la Tabla 9-3, se puede concluir que la alternativa con mayor viabilidad es la de prioridad 3, ya que presenta una ponderación menor en comparación con las demás alternativas.

3.5. Diseño de materialización

Una vez que se haya determinado la mejor alternativa para la máquina peletizadora automática en los apartados anteriores, se procederá al proceso de diseño de los elementos necesarios para su construcción. Esto incluirá el diseño de elementos mecánicos, como ejes, rodillos y otros componentes, así como la selección de diversos elementos necesarios, como rodamientos, chavetas, etc. El desarrollo del diseño se iniciará con el diseño de los elementos mecánicos,

utilizando software de CAD para considerar los diferentes componentes y realizar los cálculos necesarios, teniendo en cuenta parámetros establecidos que se muestra en la Tabla 10-3.

Tabla 10-3: Características del pellet

Parámetros	Valor	Dimensión	Simbología
Capacidad	150	kg/h	C
Longitud de pellet	10	mm	l_p
Diámetro de pellet	6	mm	d_p
Densidad de balanceado	750	kg/m ³	ρ_{ab}

Realizado por: Jácome, Jairo; Moyano, Cristian 2023.

3.6. Diseño de los elementos de la máquina peletizadora

Se considerarán los parámetros iniciales establecidos en la Tabla 10-3. A partir de las siguientes ecuaciones, se obtendrán los datos necesarios para el diseño de los demás elementos.

3.6.1. Capacidad de diseño de la máquina peletizadora

En muchos casos se necesitará tener un factor de sobreproducción (V_e) para la consideración del diseño en caso de un aumento repentino de diferentes factores adversos a los establecidos inicialmente, para esto se utilizará la Ecuación 2-2.

$$C_t = C * V_e$$

Donde:

$$C = 150 \frac{kg}{h}$$

$$V_e = 1.2$$

$$C_t = 150 \frac{kg}{h} * 1.2$$

$$C_t = 180 \text{ kg/h}$$

Como se tiene un valor de 180 kg/h se procede a aproximarle a 200 kg/h debido a que son valores comerciales de máquinas que existen en el mercado.

3.6.2. Diseño del sistema de alimentación (Tolva)

Para el cálculo de las dimensiones de la tolva, se requerirá de ciertos valores, como la densidad del pellet, la relación de compresión, entre otros. A continuación, se indicarán dichos valores.

3.6.2.1. Relación de compresión

Se considerará las dimensiones del pellet a producir, entre las cuales se ha considerado los valores estándar permisibles para el tipo de animal enfocado. Por lo tanto, se procederá al cálculo mediante la Ecuación 3-2.

$$R_c = \frac{1}{d_p/l_p}$$

Donde:

$$d_p = 6 \text{ mm}$$

$$l_p = 10 \text{ mm}$$

$$R_c = \frac{1}{\frac{6 \text{ mm}}{10 \text{ mm}}}$$

$$R_c = 1.6667$$

3.6.2.2. Densidad de pellet

Se considerará la densidad de balanceado y el valor de la relación de compresión obtenida anteriormente, para obtener la densidad del pellet mediante la ecuación 4-2.

$$\rho_p = \rho_{ab} * R_c$$

Donde:

$$\rho_{ab} = 750 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$R_c = 1.66667$$

$$\rho_p = \left(750 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) * (1.6667)$$

$$\rho_p = 1250 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

3.6.2.3. Flujo volumétrico

Para calcular las dimensiones del sistema de alimentación (tolva), es necesario determinar el flujo volumétrico. Esto se realizará mediante la Ecuación 5-2 que permite obtener el valor requerido.

$$Q = C_t * V_{ep}$$

Donde:

$$C_t = 200 \frac{kg}{h}$$

$$V_{ep} = \frac{1 \text{ m}^3}{1250 \text{ kg}}$$

$$Q = \left(200 \frac{kg}{h}\right) * \left(\frac{1 \text{ m}^3}{1250 \text{ kg}}\right)$$

$$Q = 0.1584 \frac{\text{m}^3}{h}$$

$$Q = 0.000044 \frac{\text{m}^3}{s}$$

3.6.2.4. Volumen del sistema de alimentación (tolva)

Para calcular el sistema de alimentación, se establecerán las dimensiones de la tolva según lo indicado en la Tabla 11-3. Estas dimensiones se utilizarán en la aplicación de la Ecuación 6-2 para realizar el cálculo posteriormente.

Tabla 11-3: Dimensiones de la Tolva

Parámetros	Valor	Dimensión	Simbología
Altura de tolva.	40	cm	h_t
Radio del área mayor de la tolva.	20	cm	R_t
Radio del área menor de la tolva.	7	cm	r_t

Realizado por: Jácome, Jairo; Moyano, Cristian 2023.

$$V_t = \frac{1}{3} * \pi * h_t * (R_t^2 + r_t^2 + R_t * r_t)$$

$$V_t = \frac{1}{3} * \pi * (0.4 \text{ m}) * ((0.20 \text{ m})^2 + (0.07 \text{ m})^2 + (0.20 \text{ m} * 0.07 \text{ m}))$$

$$V_t = 0.02467 \text{ m}^3$$

La representación de la tolva se muestra en la Ilustración 7-3, además se observará que el flujo volumétrico es mayor que el volumen del sistema de alimentación. Por lo tanto, se sugiere que el ingreso de la materia prima se realice 7 veces por hora, con un volumen aproximado de 0.0022 m^3 . Este valor es menor que el volumen calculado, lo cual evitará la sobrecarga de trabajo en la máquina y posibles obstrucciones.

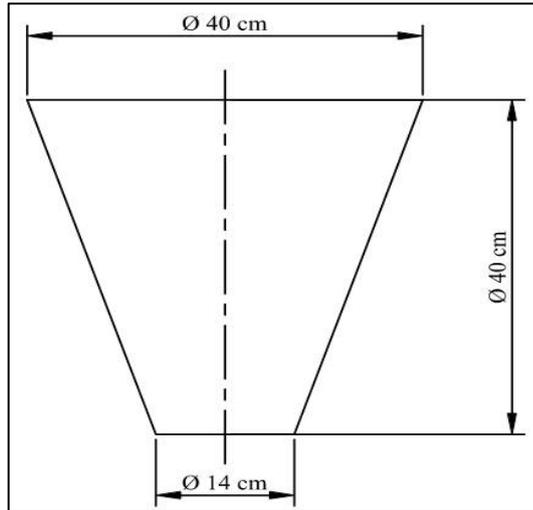


Ilustración 7-3: Modelado Tolva

Realizado por: Jácome, Jairo; Moyano, Cristian 2023.

3.6.3. Dimensionamiento de rodillos de compresión

Considerando las definiciones previas del capítulo anterior sobre los rodillos de compresión, se establecerán los parámetros necesarios para dimensionar los rodillos como se muestra en la Tabla 12-3. De esta forma, se obtendrán los radios de los rodillos mediante el uso de la Ecuación 7-2.

Tabla 12-3: Parámetros de dimensionamiento de rodillos

Parámetros	Valor	Dimensión	Simbología
Altura inicial del material al caer en la matriz.	7.5	mm	h_o
Altura final del material después de desplazamiento del rodillo.	0.1	mm	h_f
Coefficiente de fricción.	0.45		μ
Densidad del material.	7850	Kg/m ³	ρ_r

Realizado por: Jácome, Jairo; Moyano, Cristian 2023.

$$r_r = \frac{h_o - h_f}{\mu^2}$$

Donde:

$$h_o = 0.0075 \text{ m}$$

$$h_f = 0.0001 \text{ m}$$

$$\mu = 0.45$$

$$r_r = \frac{0.0075 \text{ m} - 0.0001 \text{ m}}{0.45^2}$$

$$r_r = 0.0365 \text{ m}$$

Por lo tanto, se determinará el diámetro de los rodillos de la siguiente manera.

$$D_r = 2 * r_r = 0.073 \text{ m}$$

El espesor de los rodillos se considerará a la mitad del diámetro calculado, la cual será necesaria para el cálculo del volumen de los rodillos mediante la Ecuación 8-2, y considerando que solo se utilizará un radio existente por lo cual la ecuación resultante será.

$$V_r = \pi * r_r^2 * h_r$$

Donde:

$$r_r = 0.0365 \text{ m}$$

$$h_r = 0.0365 \text{ m}$$

$$V_r = \pi * (0.0365 \text{ m})^2 * (0.0365 \text{ m})$$

$$V_r = 0.0001591 \text{ m}^3$$

La masa del rodillo se calculará mediante la ecuación 9-2.

$$m_r = V_r * \rho_r$$

Donde:

$$V_r = 0.0001591 \text{ m}^3$$

$$\rho_r = 7850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$m_r = 0.0001591 \text{ m}^3 * \left(7850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)$$

$$m_r = 1.2492 \text{ kg}$$

3.6.4. *Potencia y torque en los rodillos de compresión*

Para calcular la potencia y el torque de los rodillos de compresión, se establecerán los diversos parámetros necesarios para el cálculo correspondiente. Estos parámetros se muestran mediante la Tabla 13-3 y además se tendrán en cuenta diferentes consideraciones para determinar los valores necesarios en la utilización de la ecuación de potencia de los rodillos de compresión mencionada previamente.

Tabla 13-3: Parámetros para cálculo de Potencia y Torque de Rodillos

Parámetros	Valor	Dimensión	Simbología
Altura inicial del material al caer en la matriz.	7.5	mm	h_o

Altura final del material después de desplazamiento del rodillo.	0.1	mm	h_f
Radio de los rodillos.	36.5	mm	r_r
Masa de los rodillos.	1.2492	kg	m_r
Radio de pellet.	3	mm	r_d
Relación de compresión.	1.6667		R_C
Constante a.	0.7-0.78		a
Constante b.	1-1.1		b
Esfuerzo de fluencia.	40	MPa.	γ_{ab}

Realizado por: Jácome, Jairo; Moyano, Cristian 2023.

3.6.4.1. Área de extrusión o dado

Para realizar el análisis del área de extrusión, se considerará el enfoque en un único agujero de la matriz. En este caso, se tomará este agujero como equivalente al área del pellet. Por lo tanto, para determinar el valor del área, se empleará la Ecuación 10-2.

$$A_e = \pi * r_d^2$$

$$A_e = \pi * (0.003 \text{ m})^2$$

$$A_e = 0.00002827 \text{ m}^2$$

3.6.4.2. Deformación de extrusión

Se realizará el cálculo de la deformación de extrusión mediante la Ecuación 11-2.

$$E_e = a + [b * \ln(R_C)]$$

Donde:

$$a = 0.7$$

$$b = 1$$

$$E_e = 0.7 + [1 * \ln(1.6667)]$$

$$E_e = 1.211$$

3.6.4.3. Presión de compresión del rodillo

Se utilizarán los valores previamente calculados para obtener la presión mediante el uso de la Ecuación 12-2. Esta ecuación permitirá calcular la potencia de los rodillos.

$$P_R = \gamma_{ab} * E_e$$

Donde:

$$\gamma_{ab} = 40 \text{ Mpa}$$

$$P_R = (40 \text{ Mpa}) * (1.211)$$

$$P_R = 48.433 \text{ Mpa}$$

3.6.4.4. Fuerza de compresión del rodillo

Se considerará la presión de compresión calculada anteriormente, así como el área de extrusión. Utilizando la Ecuación 13-2, se calculará el valor de la fuerza de compresión.

$$f_r = P_R * A_e$$

Donde:

$$P_R = 48433024.95 \text{ Pa}$$

$$A_e = 0.00002827 \text{ m}^2$$

$$f_r = (48433024.95 \text{ Pa}) * (0.00002827 \text{ m}^2)$$

$$f_r = 1369.4115 \text{ N}$$

3.6.4.5. Aceleración normal del rodillo

El cálculo de la aceleración será el primer paso para calcular tanto la velocidad tangencial como la velocidad angular. Por lo tanto, es necesario realizar este cálculo. Utilizando la Ecuación 14-2, obtendremos los valores correspondientes.

$$an_r = \frac{f_r}{m_r}$$

$$an_r = \frac{1369.4115 \text{ N}}{1.2492 \text{ kg}}$$

$$an_r = 1096.2492 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

La velocidad tangencial de los rodillos se calculará mediante la Ecuación 15-2.

$$v_{tr} = \sqrt{an_r * r_r}$$

$$v_{tr} = \sqrt{\left(1096.2492 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) * (0.0365)}$$

$$v_{tr} = 6.3688 \text{ m/s}$$

La velocidad angular de los rodillos se calculará mediante la siguiente ecuación.

$$\omega_r = \frac{v_{tr}}{r_r}$$

$$\omega_r = \frac{6.3688 \frac{m}{s}}{0.0365 m}$$

$$\omega_r = 172.1288 \text{ rad/s}$$

$$\omega_r = 1643.7098 \text{ rpm}$$

3.6.4.6. Desplazamiento angular del área de trabajo de los rodillos

El desplazamiento angular del área de trabajo de los rodillos se calculará mediante la Ecuación 16-2.

$$X = \sqrt{r_r * (h_o - h_f)}$$

$$X = \sqrt{(0.0365 m) * (0.0075 m - 0.0001 m)}$$

$$X = 0.01655 m$$

3.6.4.7. Potencia de los rodillos

Este parámetro es de gran importancia para verificar la potencia total necesaria dentro de la máquina y realizar una selección adecuada del motor a utilizar. Para calcular su valor, se empleará la ecuación 17-2.

$$P_{rc} = \frac{2 * \pi * \omega_r * f_r * X}{60000}$$

$$P_{rc} = \frac{2 * \pi * (1643.7098 \text{ rpm}) * (1369.4115 N) * (0.01655 m)}{60000}$$

$$P_{rc} = 3.9003 \text{ kW}$$

$$P_{rc} = 5.23 \text{ hp}$$

3.6.4.8. Torque de los rodillos

Este parámetro se calculará por medio de la siguiente ecuación y estará representada mediante la Ilustración 8-3.

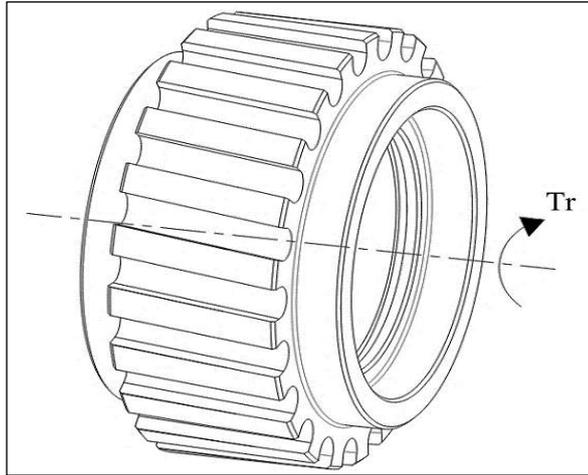


Ilustración 8-3: Torque de los rodillos

Realizado por: Jácome, Jairo; Moyano, Cristian 2023.

$$T_r = \frac{P_{rc}}{\omega_r}$$

$$T_r = \frac{3900.358 \text{ W}}{172.1288 \frac{\text{rad}}{\text{s}}}$$

$$T_r = 22.6595 \text{ N} * \text{m}$$

3.6.5. Dimensionamiento de la matriz plana

La matriz plana es uno de los elementos que se tendrá en cuenta y diseñará en función de la cantidad necesaria de agujeros. Esto tendrá un impacto directo en la capacidad total del producto resultante. Por lo tanto, se establecerán diferentes parámetros, tanto los ya calculados previamente como se muestra en la Tabla 14-3 como los nuevos valores que se necesitarán calcular para que se pueda utilizar la Ecuación 18-2.

$$N_a = \frac{Q}{v_e * N_r * A_e}$$

Tabla 14-3: Parámetros para el dimensionamiento de la matriz plana.

Parámetros	Valor	Dimensión	Simbología
Capacidad total	200	kg	C_t
Altura final del material después de desplazamiento del rodillo	0.1	mm	h_f
Radio de los rodillos	36.5	mm	r_r
Área de extrusión	0.00002827	m^2	A_e
Número de rodillos	3		N_r

Flujo volumétrico	0.000044	m^3/s	Q
Desplazamiento angular del área de trabajo	0.0165	m	X
Fuerza de compresión del rodillo	1369.411	N	f_r
Diámetro de pellet	6	mm	d_p
Longitud de pellet	10	mm	l_p
Coefficiente de fricción entre balanceado y rodillo	0,45		μ
Esfuerzo de fluencia	40	MPa	γ_{ab}
Velocidad tangencial del rodillo	6.3687	m/s	v_{tr}
Radio de la matriz con agujeros	7	cm	r_m
Radio de los rodillos	36.5	mm	r_r

Realizado por: Jácome, Jairo; Moyano, Cristian 2023.

3.6.5.1. Ángulo de trabajo del rodillo

El ángulo de trabajo de rodillo se calculará mediante la Ecuación 19-2.

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{X}{r_r} \right)$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{0.0165 \text{ m}}{0.0365 \text{ m}} \right)$$

$$\theta = 24.0948^\circ$$

$$\theta = 0.4205 \text{ rad}$$

3.6.5.2. Velocidad angular del eje principal

Mediante la siguiente ecuación se estimará la velocidad angular del eje principal.

$$\omega = \frac{v_{tr}}{r_m}$$

$$\omega = \frac{6.3687 \frac{m}{s}}{0.007 \text{ m}}$$

$$\omega = 28.945 \frac{rad}{s}$$

$$\omega = 276.404 \text{ rpm}$$

Con esto se verificará que la selección del sistema de transmisión, en este caso una transmisión diferencial, proporcione una velocidad igual o incluso ligeramente mayor a la velocidad calculada.

3.6.5.3. Tiempo de extrusión

El tiempo de extrusión se calculará mediante la Ecuación 20-2.

$$t_e = \frac{\theta}{\omega}$$
$$t_e = \frac{0.4205 \text{ rad}}{28.945 \frac{\text{rad}}{\text{s}}}$$
$$t_e = 0.014 \text{ s}$$

3.6.5.4. Presión adicional requerida

La presión adicional requerida se calculará mediante la Ecuación 21-2.

$$P_a = \gamma_{ab} * \frac{2 * h_f}{d_p}$$
$$P_a = (40 \text{ Mpa}) * \left(\frac{2 * 0.0001 \text{ m}}{0.006 \text{ m}} \right)$$
$$P_a = 1.33 \text{ Mpa}$$

3.6.5.5. Presión en las paredes de los orificios

La presión en las paredes de los orificios se calculará mediante la Ecuación 22-2.

$$P_o = \frac{P_a * d_p}{4 * \mu * h_f}$$

Donde:

$$\mu = 0.45$$

$$P_o = \frac{(1.33 \text{ Mpa}) * (0.006 \text{ m})}{4 * (0.45) * (0.0001 \text{ m})}$$
$$P_o = 44.444 \text{ Mpa}$$

3.6.5.6. Fuerza de fricción

Este valor será un indicador importante para determinar si la fuerza de compresión es mayor. Si la fuerza de compresión es mayor, significa que es menos probable que ocurran problemas

tempranos debido a atascos causados por la materia prima o fricción entre los rodillos y la materia prima. Por lo tanto, se utilizará la Ecuación 23-2 para calcular este valor.

$$f_K = \mu * P_o * d_p * l_p$$

$$f_K = (0.45) * (44.444 \text{ Mpa}) * (0.006 \text{ m}) * (0.01 \text{ m})$$

$$f_K = 1200 \text{ N}$$

3.6.5.7. Aceleración de extrusión

La aceleración de extrusión se calculará mediante la Ecuación 24-2.

$$a_e = \frac{f_r - f_K}{C_t}$$

$$a_e = \frac{1369.4115 \text{ N} - 1200 \text{ N}}{200}$$

$$a_e = 0.8556 \text{ m/s}^2$$

3.6.5.8. Velocidad de extrusión

La velocidad de extrusión se calculará mediante la Ecuación 25-2.

$$v_e = v_o + (a_e * t_e)$$

Donde:

$$v_o = 0 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$v_e = \left(0 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right) + \left(\left(0.8556 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) * (0.01552 \text{ s})\right)$$

$$v_e = 0.0124 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

3.6.5.9. Número de agujeros de la matriz plana

La cantidad de agujeros en la matriz plana es de gran importancia, ya que está directamente relacionada con el flujo volumétrico. Un cálculo incorrecto del número de agujeros puede provocar una disminución en la capacidad establecida, posibles atascos en la máquina y averías prematuras. Por lo tanto, es necesario calcular este valor. Para obtener su valor, se utilizará la Ecuación 18-2.

$$N_a = \frac{Q}{v_e * N_r * A_e}$$

$$N_a = \frac{0.00002467197 \frac{m^3}{s}}{\left(0.0124 \frac{m}{s}\right) * (3)(0.00002827 m^2)}$$

$$N_a = 98.0621$$

Considerando el factor de sobreproducción, se determinará la cantidad de agujeros necesarios.

$$N_{ac} = N_a * V_e$$

$$N_{ae} = (98.0621) * (1.2)$$

$$N_{ae} = 119.674$$

La cantidad del número de agujeros se podrá observar mediante la Ilustración 9-3 y el número de agujeros corregidos será.

$$N_{ac} = 120$$

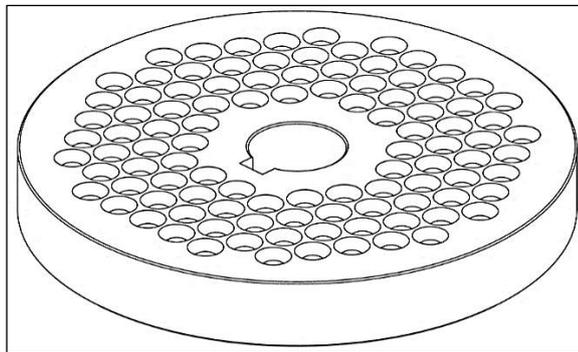


Ilustración 9-3: Modelado matriz plana

Realizado por: Jácome, Jairo; Moyano, Cristian 2023.

3.6.6. Dimensionamiento del motor

Se utilizará el cálculo teórico de la potencia del motor mediante una ecuación específica. Este método es uno de varios métodos disponibles para calcular la potencia del motor. Otro método consiste en sumar las potencias de los rodillos y del sistema de corte, pero en este caso no se utilizará. Por lo tanto, la potencia del motor se calculará utilizando la ecuación 26-2 con los datos que se muestran en la Tabla 15-3.

$$P_p = \omega * f_r * N_r * X$$

Tabla 15-3: Parámetros para el dimensionamiento del motor.

Parámetros	Valor	Dimensión	Simbología
Número de rodillos	3		N_r
Fuerza de compresión del rodillo	1369.4115	N	f_r
Velocidad angular del eje principal	28.945	rad/s	ω
Desplazamiento angular del rodillo	0.01654	m	X

Realizado por: Jácome, Jairo; Moyano, Cristian 2023.

$$P_p = \omega * f_r * N_r * X$$

$$P_p = \left(28.945 \frac{rad}{s}\right) * (1369.4115 N) * (3) * (0.01654 m)$$

$$P_p = 4328.80665 W$$

$$P_p = 4.3288 kW$$

$$P_p = 5.8049 Hp$$

Se considerará el valor inmediatamente superior al valor calculado para determinar la potencia teórica del motor.

$$P_p = 6 Hp$$

3.6.7. Diseño de la nervadura en el eje

Debido a que la máquina peletizadora transmitirá grandes esfuerzos se optará por el uso de un cubo y un eje nervado para la transmisión del movimiento. La selección de las dimensiones del eje nervado de flancos envolventes se basará en lo norma DIN 5480-2 y la representación gráfica del eje nervado se mostrará mediante la Ilustración 10-3.

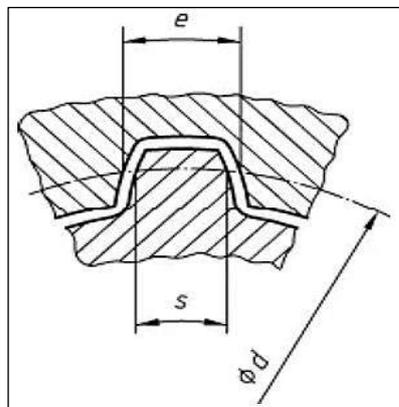


Ilustración 10-3: Eje nervado

Fuente: (Tornillera Aragonesa SA, 2017).

La selección de las dimensiones del eje nervado se basará de acuerdo al diámetro exterior del eje. En este caso el diámetro exterior es de 27 mm y mediante el uso de la Ilustración 11-3, se procederá a seleccionar el número de dientes, módulo y diámetro de paso tendrá el eje nervado.

Basic data				Nominal dimensions		Hub diameter				Shaft diameter			
Reference diameter	Number of teeth	Pitch diameter	Base diameter	Shaft addendum modification	Space width Tooth thickness	Root diameter	Deviation	Root form circle diameter	Tip diameter	Tip diameter	Root form circle diameter	Root diameter	Deviation
d_B	z	d	d_b	$x_1 \cdot m$	$e_2 = s_1$	d_{t2}	A_{dt2}	d_{Ft2} min.	d_{a2}	d_{a1}	d_{Ft1} max.	d_{t1}	A_{dt1}
23	22	22	19,053	-0,05	1,513	23	0,30	22,86	21	22,8	20,94	20,80	-0,55
24	22	22	19,053	0,45	2,090	24	0,30	23,86	22	23,8	21,94	21,80	-0,55
25	24	24	20,785	-0,05	1,513	25	0,30	24,86	23	24,8	22,94	22,80	-0,55
26	24	24	20,785	0,45	2,090	26	0,31	25,86	24	25,8	23,94	23,80	-0,59
27	26	26	22,517	-0,05	1,513	27	0,31	26,86	25	26,8	24,94	24,80	-0,59
28	26	26	22,517	0,45	2,090	28	0,31	27,86	26	27,8	25,94	25,80	-0,59

Ilustración 11-3: Modulo 1 mm

Fuente: (Tornillera Aragonesa SA, 2017)

3.6.8. Diseño del eje

Los datos de entrada que nos brinda el motor seleccionado se presentan a continuación:

$$P_p = 4,5 \text{ kW}$$

$$n_1 = 1440 \text{ rpm}$$

En el caso de la reducción de velocidades, se utilizará un diferencial que nos permitirá disminuir la velocidad y cambiar la dirección del flujo de energía en un ángulo de 90°.

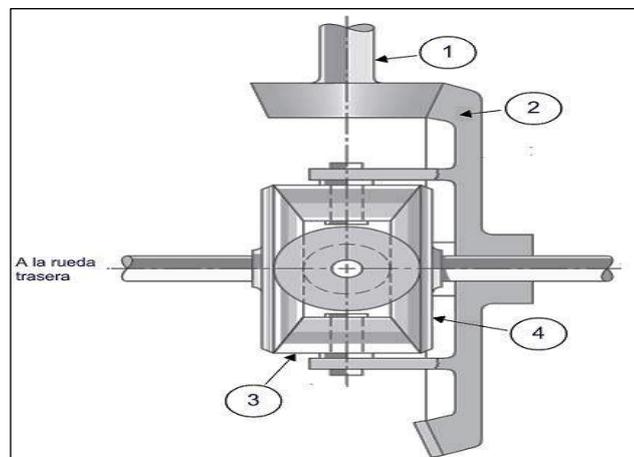


Ilustración 12-3: Diferencial

Realizado por: Jácome, Jairo; Moyano, Cristian 2023.

Mediante la Ilustración 12-3 se podrá identificar que las partes del diferencial son: 1.- Piñón, 2.- Corona, 3.- Satélites, 4.- Planetarios. A continuación, se muestra en número de dientes de cada engranaje del cual está constituido el diferencial.

$$N_1 = 8 \text{ dientes}$$

$$N_2 = 41 \text{ dientes}$$

$$N_3 = 10 \text{ dientes}$$

$$N_4 = 16 \text{ dientes}$$

La relación de transmisión se calculará mediante la siguiente expresión.

$$i = \frac{N_1}{N_2}$$

$$i = \frac{8}{41}$$

$$i = 0.195$$

Una vez obtenido la relación de transmisión se podrá determinar el número de revoluciones a la que se encuentre girando nuestro engranaje 2, por lo tanto, se realizará el siguiente procedimiento.

$$n_2 = n_1 * i$$

$$n_2 = 1440 * 0.195$$

$$n_2 = 280.976 \text{ rpm}$$

Dado que se sabe que la velocidad del engranaje 2 es igual a la velocidad del engranaje 4, se podrá establecer lo siguiente:

$$n_2 = n_4 = 280.976 \text{ rpm} = 29.424 \text{ rad/s}$$

Una vez que se hayan obtenido las revoluciones en la entrada del eje y se conozca su potencia, será posible determinar el torque en el punto de entrada.

$$Pot = T * n$$

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

$$T = \frac{4.5 \text{ KW}}{29.424 \text{ rad/s}}$$

$$T = 152061.083 \text{ N} * \text{mm}$$

Después se calculará las fuerzas que se producen entre el eje y el cubo nervado, para ello se realizará el siguiente procedimiento.

Datos:

$f_c = 0.8$ para nervios con flancos envolventes

$Z_{eje \text{ ner}} = 26$ dientes

$d_1 = 23.3 \text{ mm}$

$d_2 = 27 \text{ mm}$

$$d_m = \frac{d_1 + d_2}{2}$$

$$d_m = \frac{23.3 + 27}{2} = 25.15 \text{ mm}$$

$$F_a = \frac{2T}{d_m * f_c * Z_{eje \text{ ner}}}$$

$$F_a = \frac{2(152061.083 \text{ N} * \text{mm})}{(25.15 \text{ mm}) * (0.8) * (26)}$$

$$F_a = 581.362 \text{ N}$$

Se procederá a realizar el diagrama de cuerpo libre que involucre todas las fuerzas que actúan en el eje como se muestra en la Ilustración 13-3.

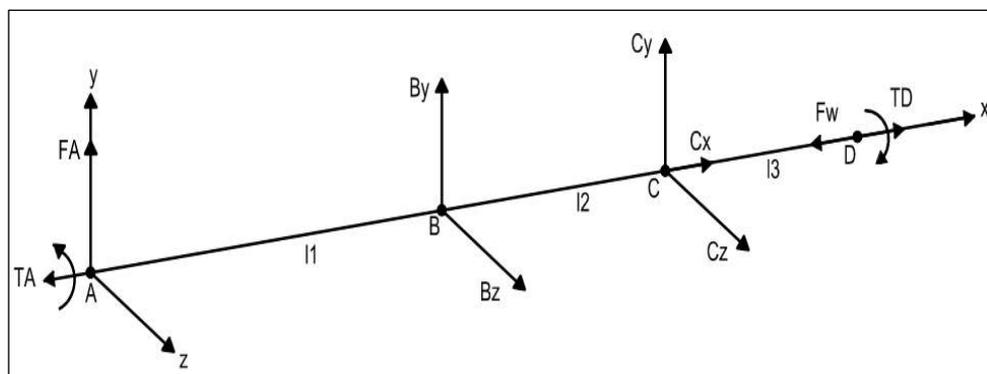


Ilustración 13-3: Diagrama de cuerpo libre

Realizado por: Jácome, Jairo; Moyano, Cristian 2023.

3.6.8.1. Cálculo de reacciones

Para determinar las reacciones en los apoyos se realizará un diagrama de cuerpo libre en 2D donde se pueda visualizar las cargas que intervienen en cada uno de los puntos y así se podrá hallar las reacciones respectivas. El diagrama de cuerpo libre del Plano x-y se muestra en la Ilustración 14-3.

Plano x-y

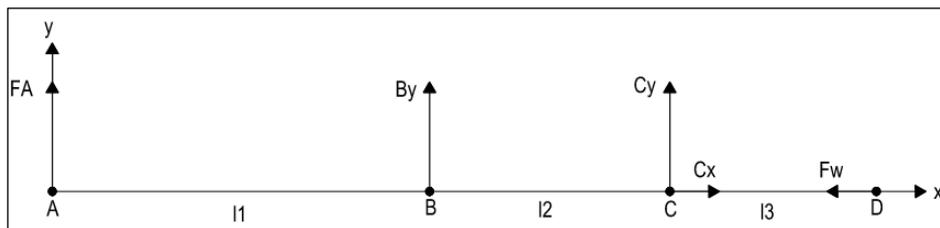


Ilustración 14-3: Diagrama de cuerpo libre plano x-y

Realizado por: Jácome, Jairo; Moyano, Cristian 2023.

3.6.8.2. Condiciones de equilibrio

$$\begin{aligned}\sum M_B &= 0 \\ -F_A(l_2) + C_y(l_1) &= 0 \\ C_y(95) &= 581.362(60.5) \\ C_y &= 912.883 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sum F_y &= 0 \\ F_A + C_y + B_y &= 0 \\ B_y &= -F_A - C_y \\ B_y &= -1494.245 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sum F_x &= 0 \\ C_x - F_w &= 0 \\ C_x &= 1049.63 \text{ N}\end{aligned}$$

Con la ayuda del software MDSolids 4.0 se procederá a realizar los diagramas de cortantes, momentos flectores y torsores para después graficarlos en el software AutoCAD como se muestra a continuación.

3.6.8.3. Diagrama de cortante

Mediante la Ilustración 15-3 se podrá observar el diagrama de cortante plano x-y.

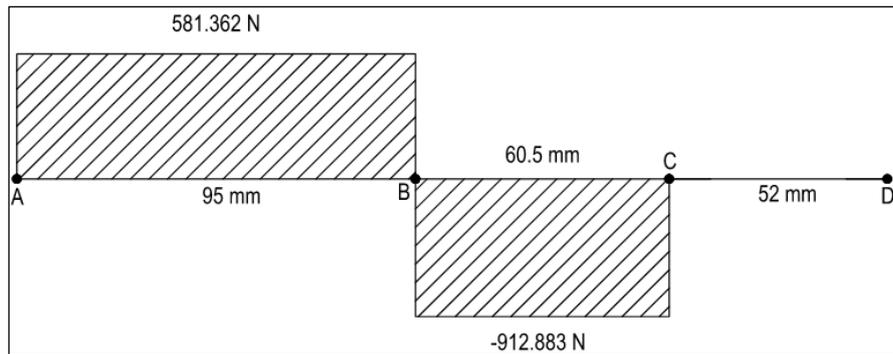


Ilustración 15-3: Diagrama de cortante plano x-y

Realizado por: Jácome, Jairo; Moyano, Cristian 2023.

3.6.8.4. Diagrama de momento flector

Mediante la Ilustración 16-3 se podrá observar el diagrama de momento flector plano x-y.

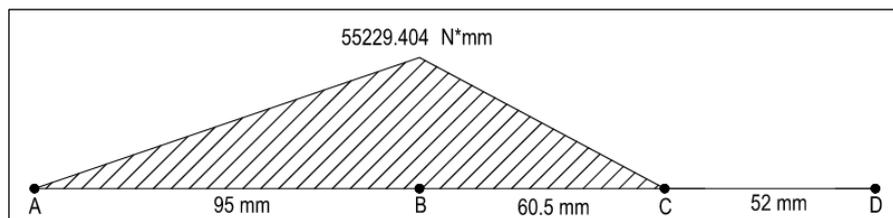


Ilustración 16-3: Diagrama de momento flector plano x-y

Realizado por: Jácome, Jairo; Moyano, Cristian 2023.

3.6.8.5. Diagrama Torsor

Mediante la Ilustración 17-3 se podrá observar el diagrama Torsor.

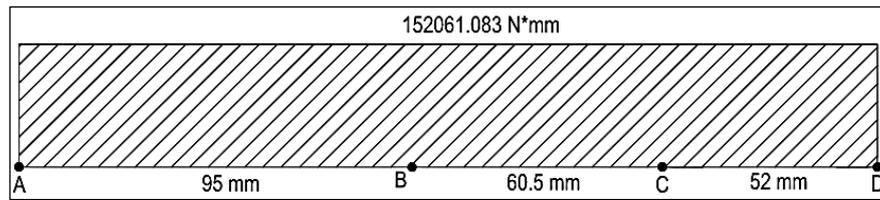


Ilustración 17-3: Diagrama Torsor

Realizado por: Jácome, Jairo; Moyano, Cristian 2023.

3.6.8.6. Cálculo del diámetro del eje

A continuación, se presentarán los valores de torque y momento en cada uno de los puntos de análisis a través de la Tabla 16-3.

Tabla 16-3: Resultados de momentos y torques

Punto A	Momento Amplitud (N*mm):	0,0
	Torque Medio (N*mm):	152061.083
Punto B	Momento Amplitud (N*mm):	55229.404
	Torque Medio (N*mm):	152061.083
Punto C	Momento Amplitud (N*mm):	0,0
	Torque Medio (N*mm):	152061.083
Punto D	Momento Amplitud (N*mm):	0,0
	Torque Medio (N*mm):	152061.083

Realizado por: Jácome, Jairo; Moyano, Cristian 2023.

De acuerdo con la tabla anterior, se determinó que el punto crítico es el B, ya que presenta valores elevados de momento flector y torsor. Para calcular el diámetro del eje en el punto crítico, se utilizará la fórmula del ASME B106.1M.

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

Los valores para un acero AISI 4340 son $S_{ut} = 1170 \text{ MPa}$, $S_y = 1080 \text{ MPa}$ y con estos valores se procederá a realizar los siguientes cálculos.

$$S_e = k_a * k_b * k_c * k_d * k_g * 0,5 * S_{ut}$$

$$S_e = 0,6 * 0,5 * 1170 = 351 \text{ MPa}$$

$$S_y = 1080 \text{ MPa}$$

$$K_f = 1,6$$

$$K_{fs} = 1,4$$

$$n = 2$$

$$d_B = \left\{ \frac{16(2)}{\pi} \left[4 \left(\frac{(1.6)(55229.404)}{351} \right)^2 + 3 \left(\frac{(1.4)(152061.083)}{(1080)} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}^{\frac{1}{3}}$$

$$d_B = 18.368 \text{ mm}$$

Una vez obtenido el diámetro en nuestro punto crítico, el cual tiene un valor de 18.368 mm, se procederá a realizar el escalonamiento para el resto de los tramos del eje, como se muestra en la Ilustración 18-3.

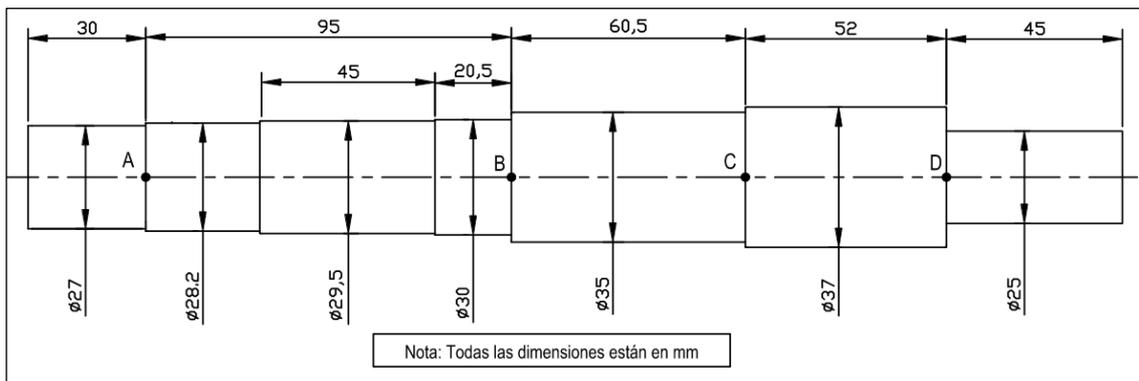


Ilustración 18-3: Eje dimensionado

Realizado por: Jácome, Jairo; Moyano, Cristian 2023.

3.6.9. Roscado en el eje y tuerca de fijación

Se llevará a cabo un proceso de roscado en el eje para garantizar el correcto acople de la matriz. Para lograrlo, se utilizará una arandela y una tuerca de fijación. Esta medida será fundamental para prevenir cualquier posible desacoplamiento de la matriz debido al efecto del giro del eje en el que estará montada. Será importante asegurar una conexión segura y estable entre el eje y la matriz para evitar problemas durante el funcionamiento de la máquina.

Se empleará la designación ISO DIN 13 para realizar el roscado en el eje. Esta designación se refiere a una norma establecida por ISO y DIN que define las dimensiones y características de la rosca métrica fina utilizada.

Rosca Thread	Paso Pitch	Ø Broca Ø Drill
M 22	1,5	20,5
	2	20
M 24	1	23
	1,5	22,5
M 25	1,5	23,5
	2	23

Ilustración 19-3: Rosca M 25 X 1.5

Fuente: (Tomillera Aragonesa SA, 2017)

La Ilustración 19-3 permitirá identificar la sección del eje que será roscada y la especificación de la rosca seleccionada será una rosca M25 X 1,5. Esta especificación se obtendrá de la Ilustración 20-3, donde se encuentran detalladas las dimensiones y características específicas de esta rosca en particular.

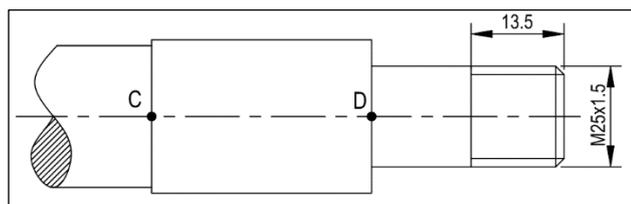


Ilustración 20-3: Roscado en el eje

Realizado por: Jácome, Jairo; Moyano, Cristian 2023.

Asimismo, se empleará una tuerca de fijación KM 5 que cuenta con cuatro ranuras distribuidas de manera equidistante alrededor de su circunferencia, permitiendo el uso de una llave abierta para tuerca de fijación para su ajuste. Estas tuercas de fijación serán instaladas en el eje utilizando arandelas de fijación MB. Ambos elementos serán adquiridos del catálogo de SKF y presentan las siguientes especificaciones y características que se muestra en Ilustración 21-3.

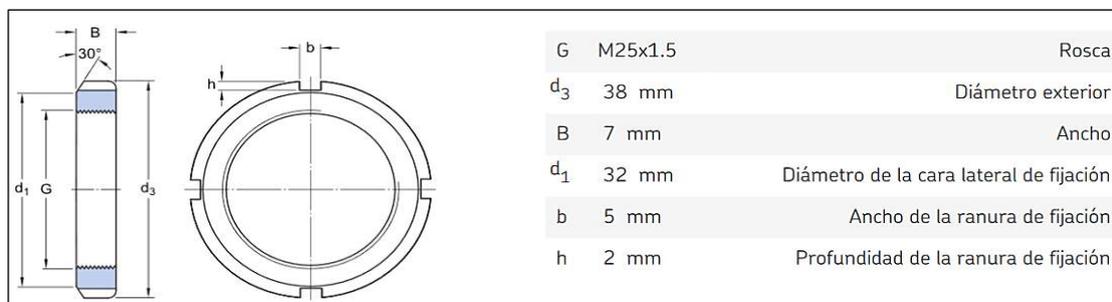


Ilustración 21-3: Dimensiones tuercas KM 5

Fuente: (SKF, 2017)

3.6.10. Selección de rodamientos para el eje

Para la selección de los rodamientos se utilizará el catálogo SKF debido a que estos rodamientos los podemos encontrar de una manera sencilla en el mercado.

3.6.10.1. Selección del rodamiento en el punto B

Considerando las diferentes condiciones de operación se procederá a la selección de un rodamiento rígido de bolas para el punto B, para ello se seleccionará un rodamiento del catálogo SKF mediante la Ilustración 22-3.

Dimensiones principales			Capacidad de carga básica		Carga límite de fatiga	Velocidades nominales		Masa	Designación
d	D	B	dinámica C	estática C ₀	P _u	Velocidad de referencia	Velocidad límite		
mm			kN		kN	r. p. m.		kg	-
30	42	7	4,49	2,9	0,146	32 000	20 000	0,025	61806
	47	9	7,28	4,55	0,212	30 000	19 000	0,049	61906
	55	9	11,9	7,35	0,31	28 000	17 000	0,089	* 16006
	55	13	13,8	8,3	0,355	28 000	17 000	0,12	* 6006
	62	16	20,3	11,2	0,475	24 000	15 000	0,2	* 6206
	62	16	23,4	12,9	0,54	24 000	15 000	0,18	6206 ETN9
	72	19	29,6	16	0,67	20 000	13 000	0,35	* 6306
	72	19	32,5	17,3	0,735	22 000	14 000	0,33	6306 ETN9
	90	23	43,6	23,6	1	18 000	11 000	0,75	6406

Ilustración 22-3: Rodamientos disponibles

Fuente: (SKF, 2015)

Se seleccionará un rodamiento *6306, en donde el asterisco significa que es un rodamiento especial de la marca. Además, se calculará el diámetro medio mediante la siguiente expresión.

$$d_m = 0.5 * (D + d)$$

$$d_m = 0.5 * (72 + 30)$$

$$d_m = 51 \text{ mm}$$

Una vez calculado el d_m se procederá a determinar el valor de la viscosidad cinemática en la Ilustración 23-3.

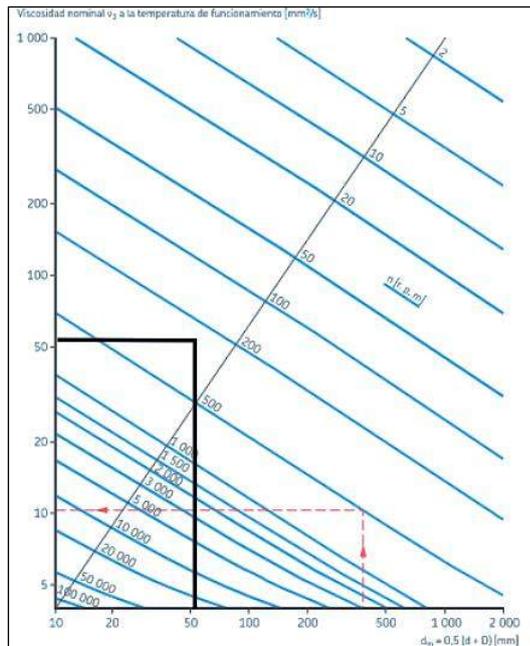


Ilustración 23-3: Viscosidad cinemática

Fuente: (SKF, 2015)

$$v = 55 \frac{\text{mm}}{\text{s}}$$

Ahora se procederá a determinar el tipo de lubricación que necesitará el rodamiento mediante la Ilustración 24-3.

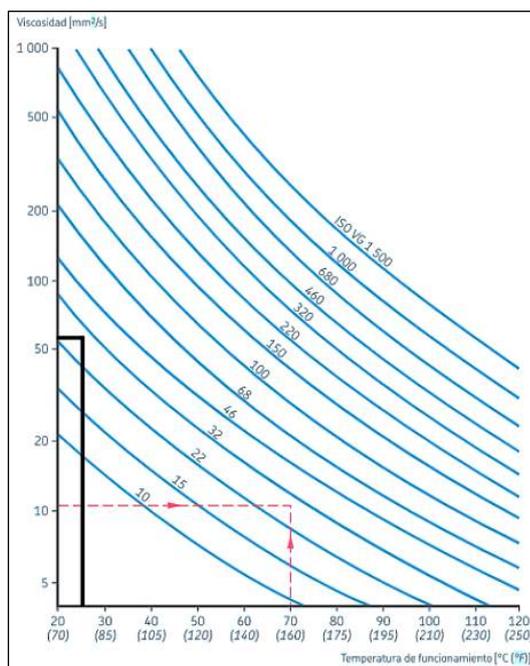


Ilustración 24-3: Tipo de lubricación

Fuente: (SKF, 2015)

El tipo de lubricación que se utilizará será un ISO VG 32.

- *Vida nominal básica*

El tiempo de vida del rodamiento se determinará mediante la siguiente expresión.

$$L_{10h} = \left(\frac{10^6}{60 * n} \right) * \left(\frac{C}{P} \right)^n$$

$$L_{10h} = \left(\frac{10^6}{60 * 280.976} \right) * \left(\frac{29.6 KN}{1.4942 KN} \right)^3$$

$$L_{10h} = 4.611 * 10^5$$

Se procederá a determinar las condiciones de lubricación mediante la Ilustración 25-3.

Clasificación de viscosidad de acuerdo con la norma ISO 3448			
Grado de viscosidad	Viscosidad cinemática límite a 40 °C		
	media	mín.	máx.
	mm ² /s		
ISO VG 2	2,2	1,98	2,42
ISO VG 3	3,2	2,88	3,52
ISO VG 5	4,6	4,14	5,06
ISO VG 7	6,8	6,12	7,48
ISO VG 10	10	9,00	11,0
ISO VG 15	15	13,5	16,5
ISO VG 22	22	19,8	24,2
ISO VG 32	32	28,8	35,2
ISO VG 46	46	41,4	50,6

Ilustración 25-3: Viscosidad nominal norma ISO 3448

Fuente: (SKF, 2015)

Se determinará el valor de la constante k, que es igual al valor de la viscosidad real sobre el valor de la viscosidad nominal y se calculará mediante la siguiente expresión.

$$k = \frac{32 \frac{mm}{s}}{55 \frac{mm}{s}}$$

$$k = 0.582$$

Factor de contaminación: Considerando los factores ambientales en donde se encontrará realizando el trabajo se procederá a determinar el valor del factor de contaminación mediante la Ilustración 26-3.

Valores orientativos para el factor n_c para distintos niveles de contaminación		
Condiciones	Factor $n_c^{1)}$ para rodamientos con diámetro medio	
	$d_m < 100$ mm	$d_m \geq 100$ mm
Limpieza extrema • tamaño de las partículas aproximadamente igual al espesor de la película de lubricante • condiciones de laboratorio	1	1
Gran limpieza • aceite lubricante con filtración muy fina • condiciones típicas: rodamientos sellados lubricados con grasa de por vida	0,8 ... 0,6	0,9 ... 0,8
Limpieza normal • aceite lubricante con filtración fina • condiciones típicas: rodamientos con placas de protección lubricados con grasa de por vida	0,6 ... 0,5	0,8 ... 0,6

Ilustración 26-3: Factor de contaminación

Fuente: (SKF, 2015)

$$n_c = 0.45$$

Se realizará la selección del factor $askf$ mediante la Ilustración 27-3 pero para ello primero se calculará el valor de la constante c mediante la siguiente expresión

$$c = n_c * \frac{P_u}{P}$$

$$c = 0.45 * \frac{0.67 \text{ KN}}{1.4942 \text{ KN}}$$

$$c = 0.202$$

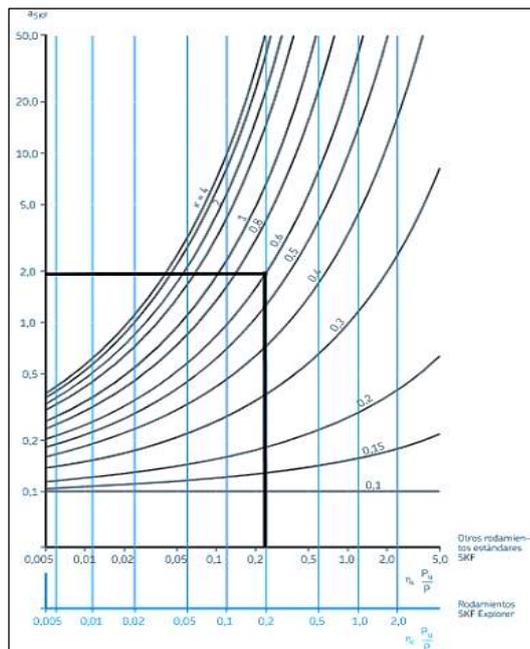


Ilustración 27-3: Factor $askf$.

Fuente: (SKF, 2015)

$$askf = 2$$

Se realizará el cálculo de la vida nominal SKF del rodamiento mediante la siguiente expresión.

$$L_{10hn} = askf * L_{10h}$$

$$L_{10hn} = 2 * 4.611 * 10^5$$

$$L_{10hn} = 9.223 * 10^5 h$$

3.6.10.2. Selección del rodamiento en el punto C

Considerando las diferentes condiciones de operación se procederá a la selección de un rodamiento de una hilera de rodillos cónicos para el punto C, para ello se seleccionará un rodamiento del catálogo SKF mediante la Ilustración 28-3.

Dimensiones principales			Capacidad de carga básica		Carga límite de fatiga	Velocidades nominales		Masa	Designación	Series de dimensiones para la normativa ISO 355 (ABMA)
d	D	T	C	C ₀	P _u	Velocidad de referencia	Velocidad límite			
mm			kN		kN	r. p. m.		kg	-	-
35	62	18	37,4	49	5,2	8 000	11 000	0,23	32007 J2/Q	4CC
	62	18	42,9	54	5,85	8 000	10 000	0,23	32007 X/Q	4CC
	72	18,25	51,2	56	6,1	7 000	9 500	0,33	30207 J2/Q	3DB
	72	24,25	66	78	8,5	7 000	9 500	0,44	32207 J2/Q	3DC
	72	28	84,2	106	11,8	6 300	9 500	0,53	33207/Q	2DE

Ilustración 28-3: Rodamientos de rodillos cónicos disponibles

Fuente: (SKF, 2015)

Se seleccionará un rodamiento 33207/Q. Además, se calculará el diámetro medio mediante la siguiente expresión.

$$d_m = 0.5 * (D + d)$$

$$d_m = 0.5 * (72 + 35)$$

$$d_m = 53.5 mm$$

Una vez calculado el d_m se procederá a determinar el valor de la viscosidad cinemática mediante la Ilustración 29-3.

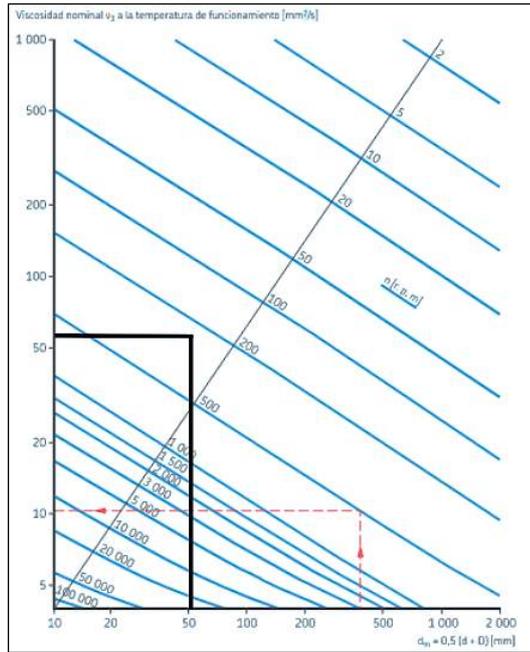


Ilustración 29-3: Viscosidad cinemática

Fuente: (SKF, 2015)

$$v = 60 \frac{mm}{s}$$

Después se procederá a determinar el tipo de lubricación que necesita el rodamiento mediante la Ilustración 30-3.

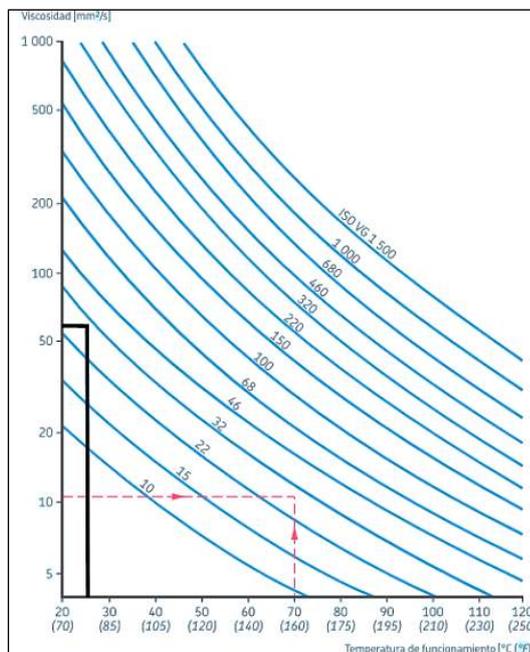


Ilustración 30-3: Tipo de lubricación

Fuente: (SKF, 2015)

El tipo de lubricación que se utilizará será un ISO VG 32.

- Vida nominal básica

El tiempo de vida del rodamiento se determinará mediante la siguiente expresión.

$$L_{10h} = \left(\frac{10^6}{60 * n} \right) * \left(\frac{C}{P} \right)^n$$

Para un rodamiento de rodillos cónicos se calculará P mediante la siguiente ecuación.

$$Fr = 912.883 N$$

$$Fa = 1409.63 N$$

$$\frac{Fa}{Fr} = \frac{1409.63}{912.883} = 1.544$$

Dimensiones				Dimensiones de resaltes y radios de acuerdo										Factores de cálculo					
d	d ₁	B	C	r _{1,2} min.	r _{3,4} min.	a	d _a máx.	d _b min.	D _a min.	D _a máx.	D _b min.	C _a min.	C _b min.	r _a máx.	r _b máx.	e	Y	Y ₀	
mm							mm										-		
35	49,5	17	15	1	1	16	41	41	53	56	59	2	3	1	1	0,44	1,35	0,8	
	49,6	18	14	1	1	15	40	41	54	56	59	4	4	1	1	0,46	1,3	0,7	
	51,9	17	15	1,5	1,5	15	44	42	62	65	67	3	3	1,5	1,5	0,37	1,6	0,9	
	52,4	23	19	1,5	1,5	17	43	42	61	65	67	3	5,5	1,5	1,5	0,37	1,6	0,9	
	53,4	28	22	1,5	1,5	18	42	42	61	65	68	5	6	1,5	1,5	0,35	1,7	0,9	

Ilustración 31-3: Factores de cálculo

Fuente: (SKF, 2015)

$$e = 0.35$$

$$\frac{Fa}{Fr} > e$$

Entonces se utilizará la siguiente ecuación.

$$P = 0.4Fr + YFa$$

$$P = 0.4(912.883) + 1.7(1049.63)$$

$$P = 2149.52N = 2.149KN$$

$$L_{10h} = \left(\frac{10^6}{60 * 280.976} \right) * \left(\frac{84.2 KN}{2.149KN} \right)^{10/3}$$

$$L_{10h} = 1.212 * 10^7$$

Se procederá a determina las condiciones de lubricación mediante la Ilustración 32-3.

Clasificación de viscosidad de acuerdo con la norma ISO 3448			
Grado de viscosidad	Viscosidad cinemática limite a 40 °C		
	media	mín.	máx.
mm ² /s			
ISO VG 2	2,2	1,98	2,42
ISO VG 3	3,2	2,88	3,52
ISO VG 5	4,6	4,14	5,06
ISO VG 7	6,8	6,12	7,48
ISO VG 10	10	9,00	11,0
ISO VG 15	15	13,5	16,5
ISO VG 22	22	19,8	24,2
ISO VG 32	32	28,8	35,2
ISO VG 46	46	41,4	50,6

Ilustración 32-3: Viscosidad nominal norma ISO 3448

Fuente: (SKF, 2015)

Se determinará el valor de la constante k, que es igual al valor de la viscosidad real sobre el valor de la viscosidad nominal y se calculará mediante la siguiente expresión.

$$k = \frac{32 \frac{mm}{s}}{60 \frac{mm}{s}}$$

$$k = 0.533$$

Factor de contaminación: Considerando los factores ambientales en donde se encontrará realizando el trabajo se procederá a determinar el valor del factor de contaminación mediante la Ilustración 33-3.

Condiciones	Factor η_c ¹⁾ para rodamientos con diámetro medio	
	$d_m < 100$ mm	$d_m \geq 100$ mm
Limpieza extrema • tamaño de las partículas aproximadamente igual al espesor de la película de lubricante • condiciones de laboratorio	1	1
Gran limpieza • aceite lubricante con filtración muy fina • condiciones típicas: rodamientos sellados lubricados con grasa de por vida	0,8 ... 0,6	0,9 ... 0,8
Limpieza normal • aceite lubricante con filtración fina • condiciones típicas: rodamientos con placas de protección lubricados con grasa de por vida	0,6 ... 0,5	0,8 ... 0,6

Ilustración 33-3: Factor de contaminación

Fuente: (SKF, 2015)

$$n_c = 0.45$$

Se realizará el cálculo del factor $askf$ mediante la Ilustración 34-3 pero para ello primero se calculará el valor de la constante c mediante la siguiente expresión

$$c = n_c * \frac{P_u}{P}$$

$$c = 0.45 * \frac{11.8 \text{ KN}}{2.149 \text{ KN}}$$

$$c = 2.47 \text{ KN}$$

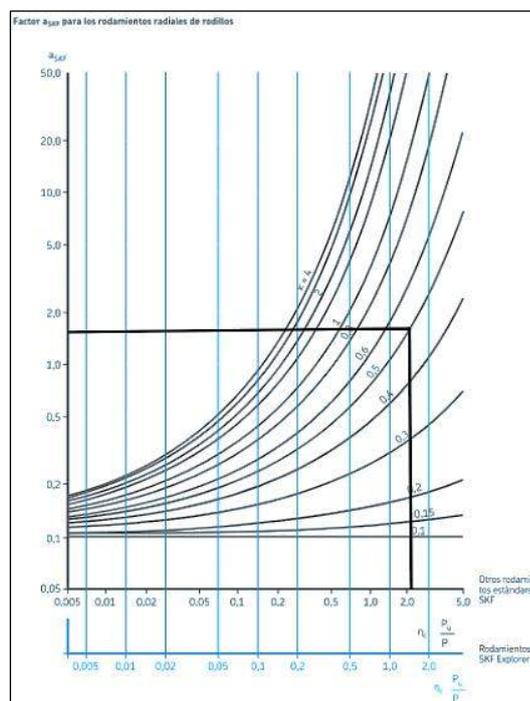


Ilustración 34-3: Factor $askf$

Fuente: (SKF, 2015)

$$askk = 1.6$$

Se realizará el cálculo de la vida nominal SKF del rodamiento mediante la siguiente expresión.

$$L_{10hn} = askf * L_{10h}$$

$$L_{10hn} = 1.6 * 1.212 * 10^7$$

$$L_{10hn} = 91.939 * 10^7 \text{ h}$$

3.6.11. Selección y diseño de la chaveta

La selección de la chaveta se realizará utilizando el catálogo de chavetas DIN 6885 A de OPAC. Para facilitar este proceso, se utilizará la representación esquemática de la norma mencionada, que se muestra en la Ilustración 35-3. Esta representación esquemática establecerá las dimensiones clave de la chaveta, como la altura y el espesor.

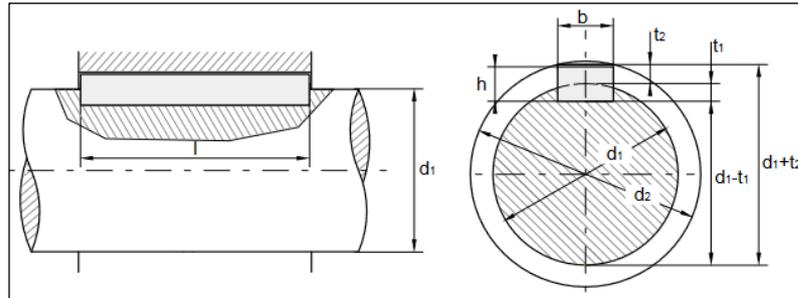


Ilustración 35-3: Chavetero de eje y cubo

Fuente: (OPAC, 2017)

Del catálogo DIN 6885 A de OPAC se procederá a seleccionar el ancho y la altura de la chaveta mediante la Ilustración 36-3, mientras que la longitud se seleccionará en base al Anexo E.

b	2	3	4	5	6	8	10	12						
h	2	3	4	3	5	4	6	5	7	6	8	6	8	
d1	>	6	8	10	12	12	17	17	22	22	30	30	38	38
d1	≤	8	10	12	17	17	22	22	30	30	38	38	44	44

Ilustración 36-3: Dimensiones de la chaveta

Fuente: (OPAC, 2017)

De acuerdo a la tabla las dimensiones de la chaveta son las siguientes:

$$b = 8 \text{ mm}$$

$$h = 7 \text{ mm}$$

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

Además de las dimensiones de la chaveta se utilizará el torque calculado anteriormente.

$$T = 152061.083 \text{ N} * \text{mm}$$

3.6.11.1. Diseño a corte

El material de la chaveta será un AISI 1020 con un $S_y = 390 \text{ MPa}$

A continuación, se procederá a calcular el factor de seguridad cuando la chaveta se encuentra sometida a corte.

$$\frac{2T}{dbl} = \frac{s_{sy}}{n_1}$$
$$n_1 = \frac{s_{sy}dbl}{2T}$$
$$s_{sy} = 0.5S_y = 0.5(390 \text{ MPa}) = 195 \text{ MPa}$$
$$n_1 = \frac{s_{sy}dbl}{2T}$$
$$n_1 = \frac{195(23.4)(8)(30)}{2(152061.083)}$$
$$n_1 = 3.601$$

3.6.11.2. Diseño a compresión

A continuación, se procederá a calcular el factor de seguridad cuando la chaveta se encuentra sometida a compresión.

$$\frac{4T}{dhl} = \frac{S_y}{n_2}$$
$$n_2 = \frac{S_y dhl}{4T}$$
$$n_2 = \frac{390(23.4)(7)(30)}{4(152061.083)}$$
$$n_2 = 3.151$$

El factor de seguridad mínimo obtenido del diseño a corte y compresión será el factor de seguridad de la chaveta, en este caso tendrá un valor de $n_2 = 3.151$.

3.6.12. Diseño del eje porta rodillos

Para el diseño del eje porta rodillos, se aplicará la teoría de la energía de distorsión (Von Mises) teniendo en cuenta las fuerzas que actúan sobre él, como la fuerza radial que soporta el

rodamiento y el torque generado por la acción de los rodillos. En este caso, se utilizará acero AISI 4340 con una resistencia a la tracción $S_{ut} = 1170 \text{ MPa}$ y una resistencia a la fluencia $S_y = 1080 \text{ MPa}$. A continuación, se detallan los cálculos necesarios para el diseño:

Se realizará el diagrama de fuerzas trasladadas a la sección de análisis como se muestra en la Ilustración 37-3.

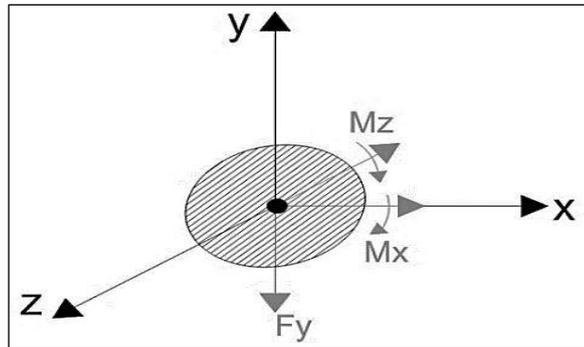


Ilustración 37-3: Fuerzas en la sección circular

Realizado por: Jácome, Jairo; Moyano, Cristian 2023.

Se obtendrá las fuerzas y momentos resultantes en la sección de análisis.

$$r_1 = (53.5 \text{ i}) \text{ mm}$$

$$r_2 = (65.5 \text{ i}) \text{ mm}$$

$$F_1 = F_2 = (-228.34 \text{ j}) \text{ N}$$

$$M_R = r_1 \times F_1 + r_2 \times F_2$$

$$M_R = (2.266 \times 10^4 \text{ i} - 2.717 \times 10^4 \text{ k}) \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$F_R = (-228.34 \text{ j}) \text{ N}$$

Se realizará el análisis en el punto crítico de la sección circular.

Esfuerzos normales

$$G_f = \frac{32M}{\pi d^3}$$

$$G_f = \frac{32M_z}{\pi d^3} = \frac{32 * 2.717 \times 10^4}{\pi d^3}$$

$$G_f = \frac{2.768 \times 10^5}{d^3}$$

Esfuerzos tangenciales

$$T_T = \frac{16T}{\pi d^3}$$

$$T_T = \frac{16Mx}{\pi d^3} = \frac{16 * 2.266 \times 10^4}{\pi d^3}$$

$$T_T = \frac{1.154 \times 10^5}{d^3}$$

Se aplicará la teoría de Von Mises para obtener el diámetro del eje.

$$\sqrt{(G_x)^2 + (T_{xy})^2} = \frac{S_y}{n}$$

$$\sqrt{\left(\frac{2.768 \times 10^5}{d^3}\right)^2 + \left(\frac{1.154 \times 10^5}{d^3}\right)^2} = \frac{1080}{3}$$

$$d = 9.823 \text{ mm}$$

Una vez obtenido el diámetro en nuestro punto crítico, el cual tiene un valor de 18.368 mm, se procederá a realizar el escalonamiento para el resto de los tramos del eje, como se muestra en la Figura 38-3.

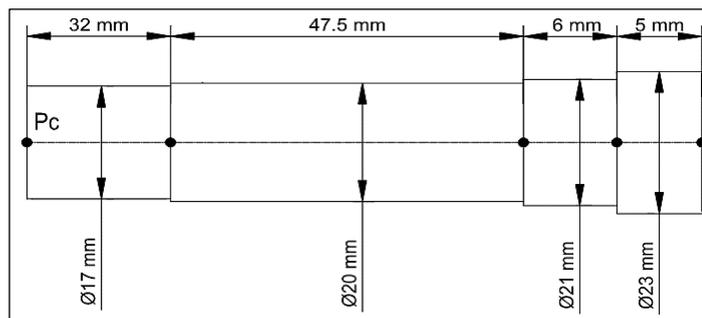


Ilustración 38-3: Eje dimensionado

Realizado por: Jácome, Jairo; Moyano, Cristian 2023.

3.6.13. Roscado en el eje porta rodillos y tuerca de fijación

Se llevará a cabo un proceso de roscado en el eje porta rodillos para garantizar el correcto acople de los rodillos. Para lograrlo, se utilizará una arandela y una tuerca de fijación.

Se empleará la designación ISO DIN 13 para realizar el roscado en el eje. Esta designación se refiere a una norma establecida por ISO y DIN que define las dimensiones y características de la rosca métrica fina utilizada.

Rosca Thread	Paso Pitch	Ø Broca Ø Drill
M 20	1	19
	1,5	18,5
	2	18

Ilustración 39-3: Rosca M 20 X 1.5

Fuente: (Tornillera Aragonesa SA, 2017)

La Ilustración 40-3 permitirá identificar la sección del eje que será roscada y la especificación de la rosca seleccionada será una rosca M20 X 1,5. Esta especificación se obtendrá de la Ilustración 39-3, donde se encuentran detalladas las dimensiones y características específicas de esta rosca en particular.

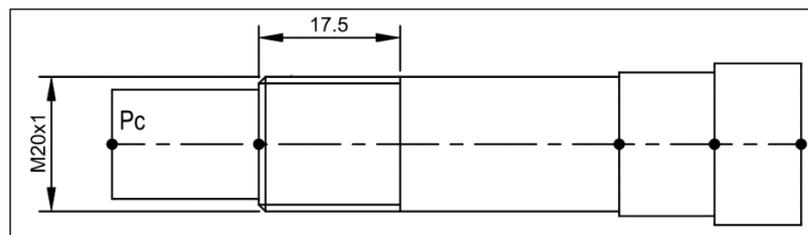


Ilustración 40-3: Roscado en el eje

Realizado por: Jácome, Jairo; Moyano, Cristian 2023.

Asimismo, se empleará una tuerca de fijación KM 4 que cuenta con cuatro ranuras distribuidas de manera equidistante alrededor de su circunferencia, permitiendo el uso de una llave abierta para tuerca de fijación para su ajuste. Este elemento será adquirido del catálogo de SKF y presenta las siguientes especificaciones y características que se presentan en la Ilustración 41-3.

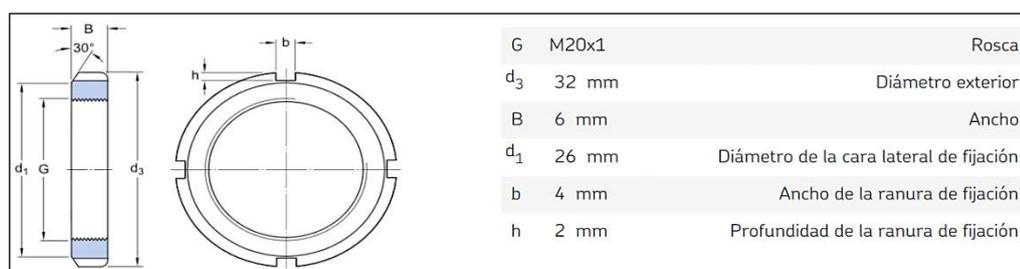


Ilustración 41-3: Dimensiones tuercas KM 4

Fuente: (SKF, 2017)

3.6.14. Selección de rodamientos para los rodillos

Cada rodillo estará equipado con dos rodamientos que tienen la capacidad de soportar carga radial. Estos rodamientos desempeñan la función de mantener la carga de trabajo y asegurar un movimiento adecuado entre las distintas partes del sistema. Si la carga total ejercida por los rodillos sobre la matriz será de 1370 N, entonces cada rodillo deberá soportar una carga de aproximadamente 456.67 N. En consecuencia, cada rodamiento deberá soportar una carga de aproximadamente 228.34 N para garantizar un funcionamiento óptimo. Además, la velocidad angular a la que se encontrará girando los rodillos será de 1644 rpm.

El diámetro del eje donde irán montados los rodamientos será de 20 mm, entonces se procederá a seleccionar rodamientos rígidos de bolas de una hilera del catálogo SKF como se muestra en la Ilustración 42-3.

Dimensiones principales			Capacidad de carga básica		Carga límite de fatiga P_u	Velocidades nominales		Masa	Designaciones	
d	D	B	C	C_0		Velocidad de referencia	Velocidad límite ¹⁾		Rodamientos tapados en ambos lados	un lado
mm			kN		kN	r. p. m.	kg	-		
20	32	7	4,03	2,32	0,104	45 000	22 000	0,018	61804-2RZ	≡
	32	7	4,03	2,32	0,104	≡	13 000	0,018	61804-2RS1	≡
	37	9	6,37	3,65	0,156	43 000	20 000	0,038	61904-2RZ	≡
	37	9	6,37	3,65	0,156	≡	12 000	0,038	61904-2RS1	≡
	42	12	9,36	5	0,212	41 000	21 000	0,069	E2.6004-2Z	≡
	42	12	9,95	5	0,212	38 000	19 000	0,071	* 6004-2Z	* 6004-Z
	42	12	9,95	5	0,212	38 000	19 000	0,067	* 6004-2RSL	* 6004-RSL

Ilustración 42-3: Rodamientos rígidos de bolas disponibles

Fuente: (SKF, 2015)

Se ha seleccionado un rodamiento *6004-2Z, en donde el asterisco significa que es un rodamiento especial de la marca. Además, se calculará el diámetro medio mediante la siguiente expresión.

$$d_m = 0.5 * (D + d)$$

$$d_m = 0.5 * (42 + 20)$$

$$d_m = 31 \text{ mm}$$

Una vez calculado el d_m se procederá a determinar el valor de la viscosidad cinemática mediante la Ilustración 43-3.

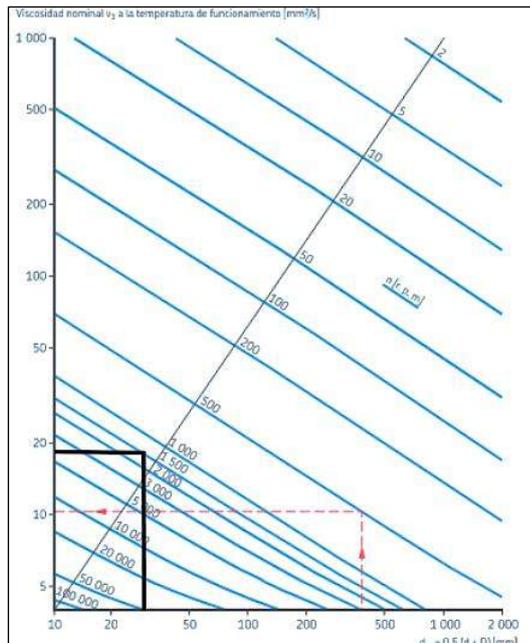


Ilustración 43-3: Viscosidad cinemática

Fuente: (SKF, 2015)

$$v = 19 \frac{mm}{s}$$

Después se procederá a determinar el tipo de lubricación que necesita el rodamiento mediante la Ilustración 44-3.

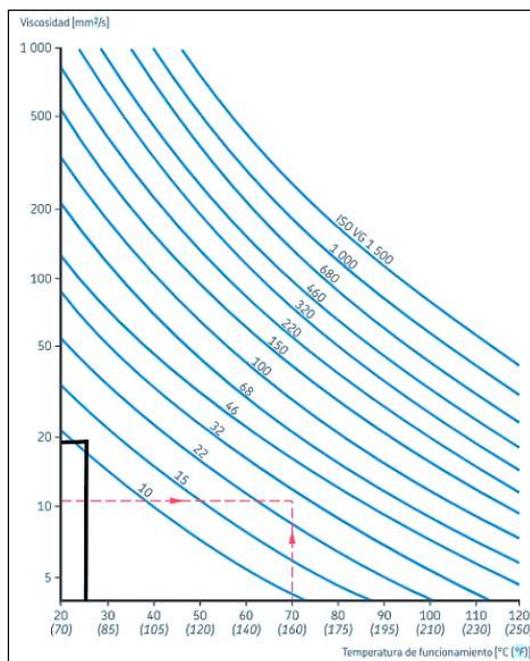


Ilustración 44-3: Tipo de lubricación

Fuente: (SKF, 2015)

El tipo de lubricación que se utilizará será un ISO VG 10.

- *Vida nominal básica*

El tiempo de vida del rodamiento se determinará mediante la siguiente expresión.

$$L_{10h} = \left(\frac{10^6}{60 * n} \right) * \left(\frac{C}{P} \right)^n$$

$$L_{10h} = \left(\frac{10^6}{60 * 1644} \right) * \left(\frac{9.95 \text{ KN}}{0.22834 \text{ KN}} \right)^3$$

$$L_{10h} = 8.388 * 10^5$$

Se procederá a determinar las condiciones de lubricación mediante la Ilustración 45-3.

Clasificación de viscosidad de acuerdo con la norma ISO 3448			
Grado de viscosidad	Viscosidad cinemática límite a 40 °C		
	media	mín.	máx.
mm ² /s			
ISO VG 2	2,2	1,98	2,42
ISO VG 3	3,2	2,88	3,52
ISO VG 5	4,6	4,14	5,06
ISO VG 7	6,8	6,12	7,48
ISO VG 10	10	9,00	11,0
ISO VG 15	15	13,5	16,5

Ilustración 45-3: Viscosidad nominal norma ISO 344

Fuente: (SKF, 2015)

Se determinará el valor de la constante k, que es igual al valor de la viscosidad real sobre el valor de la viscosidad nominal y se calculará mediante la siguiente expresión.

$$k = \frac{10 \frac{mm}{s}}{19 \frac{mm}{s}}$$

$$k = 0.526$$

Factor de contaminación: Considerando los factores ambientales en donde se encontrará realizando el trabajo se procederá a determinar el valor del factor de contaminación mediante la Ilustración 46-3.

Valores orientativos para el factor η_c para distintos niveles de contaminación		
Condiciones	Factor $\eta_c^{(1)}$ para rodamientos con diámetro medio	
	$d_m < 100$ mm	$d_m \geq 100$ mm
Limpieza extrema • tamaño de las partículas aproximadamente igual al espesor de la película de lubricante • condiciones de laboratorio	1	1
Gran limpieza • aceite lubricante con filtración muy fina • condiciones típicas: rodamientos sellados lubricados con grasa de por vida	0,8 ... 0,6	0,9 ... 0,8
Limpieza normal • aceite lubricante con filtración fina • condiciones típicas: rodamientos con placas de protección lubricados con grasa de por vida	0,6 ... 0,5	0,8 ... 0,6

Ilustración 46-3: Factor de contaminación

Fuente: (SKF, 2015)

$$n_c = 0.45$$

Se realizará la selección del factor $askf$ mediante la Ilustración 47-3 pero para ello primero se calculará el valor de la constante c mediante la siguiente expresión

$$c = n_c * \frac{P_u}{P}$$

$$c = 0.45 * \frac{0.212 \text{ KN}}{0.22834 \text{ KN}}$$

$$c = 0.417$$

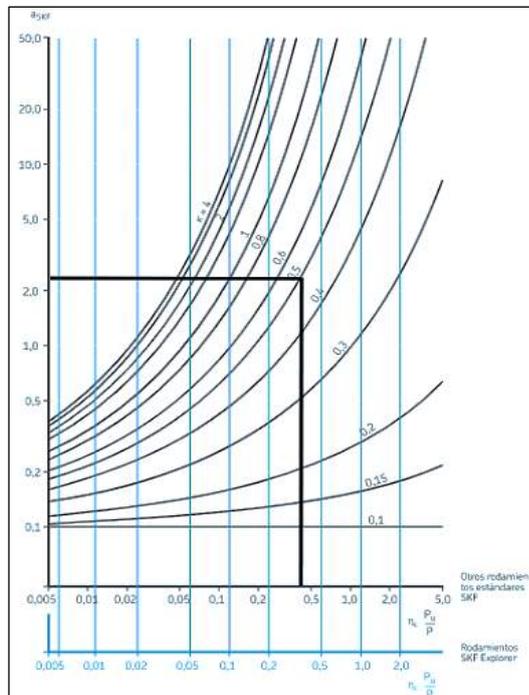


Ilustración 47-3: Factor SKF

Fuente: (SKF, 2015)

$$askf = 2.5$$

Se realizará el cálculo de la vida nominal SKF del rodamiento mediante la siguiente expresión.

$$L_{10hn} = askf * L_{10h}$$
$$L_{10hn} = 2.5 * 8.388 * 10^5$$
$$L_{10hn} = 2.097 * 10^6 h$$

3.6.15. Diseño de la cámara de extrusión

Las consideraciones que se deberán de tomar en cuenta para diseño de la cámara de extrusión serán en base a la norma EN 1561:2001 y se trabajará con fundición gris EN-GLN-250.

La cámara de extrusión estará formada de una tapa superior y de una inferior donde irán alojados los rodillos y la matriz circular. El proceso de fabricación será por fundición con molde de arena.

3.6.16. Diseño de la estructura

La estructura deberá de estar diseñada para soportar los elementos mecánicos que conforman la máquina peletizadora, además de soportar la mezcla que será introducida en la tolva de alimentación, también deberá de cumplir con la condición de rigidez, donde no deberá de tener una deformación excesiva en cada uno de los componentes estructurales que componen la bancada. La geometría y las dimensiones que tendrá la bancada se detallan mediante la Ilustración 48-3.

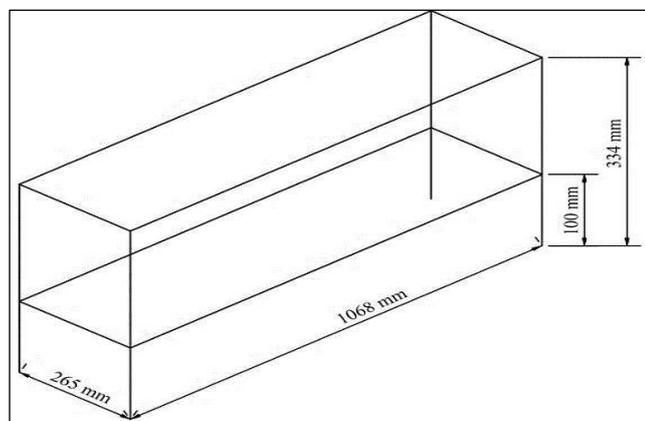


Ilustración 48-3: Dimensiones de la estructura

Realizado por: Jácome, Jairo; Moyano, Cristian 2023.

Para el diseño de la estructura se seguirá el siguiente procedimiento.

- *Selección del perfil estructural*

Para la selección del perfil estructural se utilizará el catálogo de NOVACERO ya que son perfiles estructurales que se podrán encontrar fácilmente en el mercado. Del catálogo se procederá a seleccionar un tubo estructural cuadrado mediante la Ilustración 49-3.

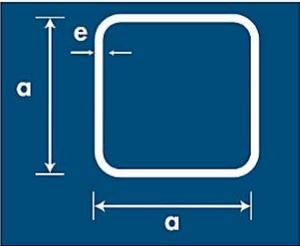
	Denominación	Dimensión	Espesor	Peso	
		a	e	kg/m	kg/6m
	Pulgadas	mm	mm		
	¾	20	1.50	0.88	5.26
			1.50	1.13	6.78
	1	25	2.00	1.48	8.90
			1.50	1.37	8.20
	1¼	30	2.00	1.80	10.79
			1.50	1.72	10.32
	1½	37	2.00	2.27	13.62
			3.00	3.22	19.33
			1.50	2.32	13.93
	2	50	2.00	3.13	18.75
			3.00	4.62	27.69
			3.00	4.62	27.69

Ilustración 49-3: Perfil cuadrado

Fuente: (Novacero, 2016, p. 52).

De la Ilustración 49-3 se seleccionará un tubo cuadrado galvanizado con unas dimensiones de 30x30x2 mm.

- *Cargas estructurales*

Las cargas que soportan la estructura estarán compuestas por los elementos mecánicos que constituyen la máquina pelletizadora como el diferencial, motor, carcasas, ejes, elementos estandarizados y también por el peso de la mezcla a procesar. Estos datos se mostrarán mediante la Tabla 17-3.

Tabla 17-3: Cargas estructurales

Nº	Descripción	Masa (Kg)	Peso (N)
1	Sistema de rodillos	1.48	14.519
2	Junta cardán	1.96	19.228
3	Eje de transmisión	1.68	16.481
4	Cámara de extrusión	9.6	94.176
5	Diferencial	33.18	196.2
6	Tapa superior de la cámara	4.79	46.989

7	Matriz de extrusión	2	19.62
8	Pernos y accesorios	3.3	32.373
9	Componentes electrónicos	4.2	41.202
10	Motor	63	617.82
11	Mezcla a procesar	11.36	111.442
Total		136.55	1206.22

Realizado por: Jácome, Jairo; Moyano, Cristian 2023.

Mediante la Tabla 17-3 se podrá observar que el peso de la máquina peletizadora es de 136.55 Kg cuando se incluye el peso de la mezcla que se procesará, y el peso de la máquina sin la mezcla será de 125.19 Kg.

3.7. Diseño de la interfaz gráfica de usuario

Para el diseño la interfaz gráfica de usuario, primero se establecerán diferentes parámetros para su desarrollo. En primer lugar, se hará uso de Arduino IDE y su entorno de desarrollo para la programación y el control de los distintos sensores a utilizar. Después se utilizará LabVIEW para la creación de la interfaz gráfica de usuario y por la cual se podrá adquirir datos que serán monitoreados a través de dicho programa.

A continuación, en la Tabla 18-3 se mostrarán los elementos necesarios para la conexión electrónica.

Tabla 18-3: Elementos a utilizar

Elemento	Tipo
Arduino MEGA	Microcontrolador
ESP-32	Chip Wifi y Bluetooth
DS18B20	Sensor de temperatura
HC-SR04	Sensor de nivel
HR-202	Sensor de humedad
R 4.7 k	Resistencia

Realizado por: Jácome, Jairo; Moyano, Cristian 2023.

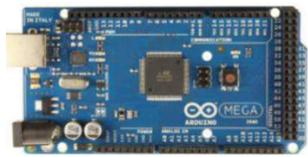
3.7.1. Componentes electrónicos

3.7.1.1. Arduino MEGA

Este tipo de Arduino se considera como uno de los más relevantes debido a que presentan diversas características como un alto número de pines tanto digitales como analógicos y una

amplia capacidad de memoria. Debido a esto, se seleccionará el uso de Arduino MEGA. A continuación, se presentarán otras características mediante la Tabla 19-3.

Tabla 19-3: Características Arduino MEGA

Imagen	Característica	Valores
	Voltaje de Operación	7 a 12 V
	Voltaje de Entrada	6 a 20 V
	Pines Digitales	54
	Corriente directa	40 mA
	Corriente continua	3.3 v 50 mA
	Memoria	256 KB

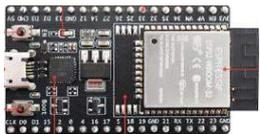
Fuente: (Torres, 2022, p. 33)

Realizado por: Jácome, Jairo; Moyano, Cristian 2023.

3.7.1.2. ESP-32

Este microcontrolador nos permitirá el intercambio de información mediante sistemas como wifi, bluetooth o incluso en la nube, de los diferentes sensores que se pretenden controlar. En la Tabla 20-3 se muestran algunas de las características principales de este componente.

Tabla 20-3: Características ESP-32

Imagen	Característica	Valores
	Microprocesador	Xtensa Dual-Core 32 bit LX^ con 600 DMIPS
	Wifi	HT40
	Bluetooth	Bluetooth 4.2 y BLE
	Frecuencia de operación	160 MHz
	Sensor de temperatura	si
	Temperatura de trabajo	-40 a 125

Fuente: (Fonseca y Soria, 2020, p. 23)

Realizado por: Jácome, Jairo; Moyano, Cristian 2023.

3.7.1.3. DS18B20

Este sensor nos permitirá monitorear la temperatura del aceite dentro del diferencial cuando la maquina se encuentre en funcionamiento. Mantener un control de esta temperatura nos ayudará a evitar la reducción de la viscosidad del aceite, ya que si esto sucede ocasionaría una disminución de su capacidad de lubricación y podría provocar un mayor desgaste de sus

componentes internos, y esto provocaría una disminución en su vida útil. Las características más relevantes de este sensor se listarán en la Tabla 21-3.

Tabla 21-3: Características DS18B20

Imagen	Característica	Valores
	Voltaje de suministro	3 a 5.5 V
	Tensión de alimentación pull-up	3 a V_{DD} V
	Entrada lógica alta	$V_{DD} + 0.3$ V
	Error de temperatura	± 2 °C
	Desviación	± 0.2 °C
	Capacitancia	25 pF

Fuente: (Portilla, 2016, p. 14)

Realizado por: Jácome, Jairo; Moyano, Cristian 2023.

3.7.1.4. HC-SR04

Este sensor nos permitirá monitorear el nivel dentro del sistema de alimentación de la máquina peletizadora. Su función será detectar y registrar las variaciones de nivel en la mezcla y si el nivel esta en un punto inferior al predefinido el motor se apagará de manera automática. Las características más importantes de este sensor se mencionarán en la Tabla 22-3.

Tabla 22-3: Características HC-SR04

Imagen	Característica	Valores
	Voltaje de operación	5 V
	Corriente de trabajo	15 mA
	Rango de medición	2 cm a 450 cm
	Precisión	± 3 mm
	Frecuencia de ultrasonido	40 kHz
	Duración mínima del pulso de disparo	10 μ S

Fuente: (Balboa, 2020, p. 39)

Realizado por: Jácome, Jairo; Moyano, Cristian 2023.

3.7.1.5. HR-202

Este sensor nos permitirá monitorear la humedad de la materia prima que ingresa al sistema de alimentación de la máquina peletizadora. Esto nos permitirá mantener un control preciso de la humedad de la mezcla, teniendo en cuenta los valores de humedad necesarios para un procesamiento adecuado. Las características más relevantes se detallarán en la Tabla 23-3.

Tabla 23-3: Características HR-202

Imagen	Característica	Valores
	Voltaje de funcionamiento	3.3 a 5 V
	Corriente de operación	35 mA
	Voltaje de señal de salida analógico	0 a V_{CC}
	Voltaje de señal de salida digital	3.3 V a 5 V
	Superficie de electrodo	Estaño
	Vida estimada	6 meses

Fuente: (Aguilar et al., 2021, p. 6)

Realizado por: Jácome, Jairo; Moyano, Cristian 2023.

3.7.2. Programación en Arduino IDE

Se utilizarán los sensores mencionados anteriormente y se definirán las pautas de programación en el entorno de desarrollo de Arduino IDE. En este entorno, se declararán las variables necesarias para el correcto funcionamiento de los sensores y su aplicación. En la Ilustración 50-3, se muestra la pantalla de inicio de Arduino IDE, donde se pueden observar los diferentes componentes y elementos disponibles para la programación.



Ilustración 50-3: Pantalla de inicio

Realizado por: Jácome, Jairo; Moyano, Cristian 2023.

Considerando el control de los sensores y el enfoque en la conexión a distancia, se desarrollarán dos tipos de programaciones utilizando Arduino IDE. Una de ellas se centrará en establecer las variables necesarias para controlar los sensores, mientras que la otra declarará las variables requeridas para el funcionamiento del componente necesario para la conexión a distancia, en este caso, el módulo ESP-32. A continuación, se proporcionará una descripción más detallada de cómo se desarrollarán estos programas.

3.7.2.1. Programación sensores

Primero se establecerán la conexión de los sensores de distancia y humedad al Arduino MEGA. Estos sensores adquirirán valores que serán enviados al ESP-32 a través del puerto serial 1. El

ESP-32 se encargará de decodificar y leer todos los datos recibidos. El sensor de temperatura será conectado de manera directa al ESP-32. Temiendo en cuenta estas consideraciones, la conexión de los distintos sensores quedará definida como se muestra en la Ilustración 51-3.

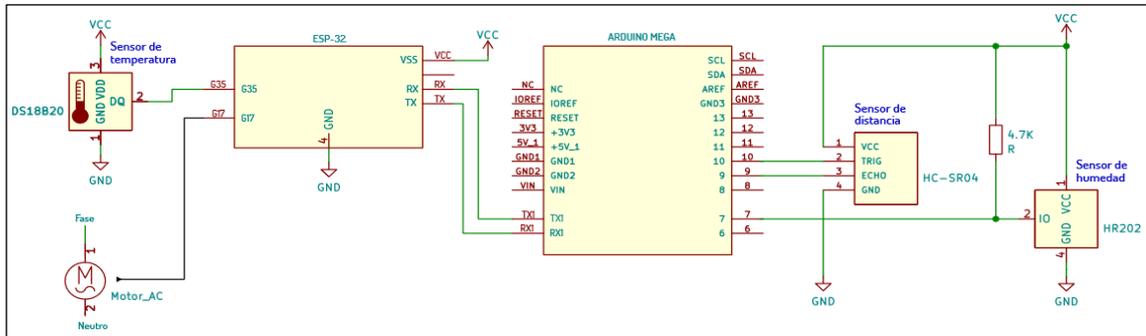


Ilustración 51-3: Conexiones

Realizado por: Jácome, Jairo; Moyano, Cristian 2023.

Mediante la Ilustración 52-3, se podrá observar el diagrama de flujo que se utilizará para la programación del ESP-32.

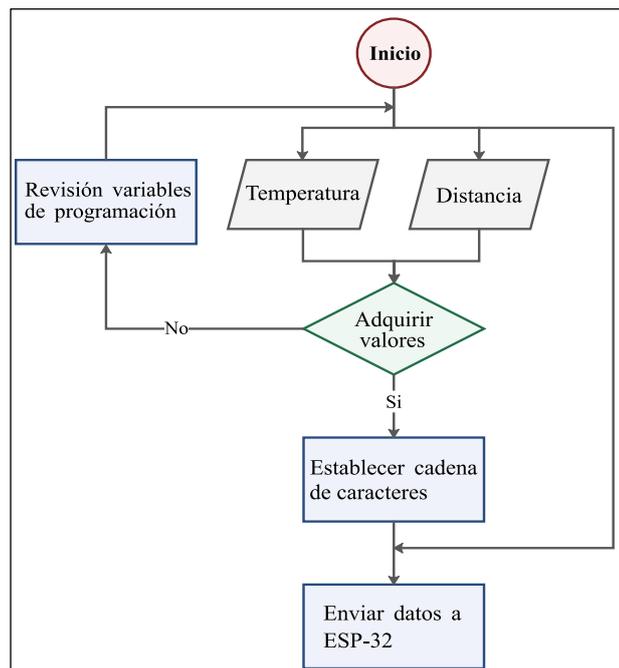


Ilustración 52-3: Diagrama de flujo de ESP-32

Realizado por: Jácome, Jairo; Moyano, Cristian 2023.

A continuación, se va a declarar las variables necesarias para los sensores de temperatura y distancia, además se establecerá los pines de entrada y salida de los sensores como se muestra en la Ilustración 53-3.

```

#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>

const int Trigger = 10; //Pin digital 2 para el Trigger del sensor
const int Echo = 9; //Pin digital 3 para el Echo del sensor
const byte pinDatos = 7;

OneWire oneWireObjeto(pinDatos);
DallasTemperature sensorDS18B20(&oneWireObjeto);
void setup() {
  Serial1.begin(115200);
  Serial.begin(9600); //inicializamos la comunicación
  sensorDS18B20.begin();
  pinMode(Trigger, OUTPUT); //pin como salida
  pinMode(Echo, INPUT); //pin como entrada
  digitalWrite(Trigger, LOW); //Inicializamos el pin con 0
}

```

Ilustración 53-3: Pines de entrada y salida

Realizado por: Jácome, Jairo; Moyano, Cristian 2023.

Entre los aspectos más importantes de la programación podemos denotar lo siguiente, en la programación del elemento ESP-32 podemos observar la línea de código “Serial. Begin (9600)” permite la comunicación serial con una velocidad de transmisión de 9600 baudios lo que permite enviar y recibir datos a través de la interfaz serial. Otra línea de código de gran importancia es “Serial1.begin (115200)” permitiendo el uso de otro puerto de comunicación, utilizando específicamente para la comunicación Wi-fi.

Una vez declaradas las constantes y demás consideraciones importantes de los sensores y del Arduino MEGA, se establecerá el código para obtener los datos necesarios y exportarlos al siguiente elemento, en este caso el ESP-32. Se considerará los tiempos de pulso y los tiempos entre medición para determinar el retraso(delay) y otros factores para los datos de los sensores de temperatura y distancia.

3.7.2.2. Programación ESP-32

El elemento ESP-32 permitirá la conexión a distancia entre el Arduino MEGA y LabVIEW el cual estará asignado por medio de un I/O server denominado Modbus, y esto nos permitirá establecer una conexión Wifi con el ingreso de los datos pertinentes de la red wifi a utilizar. Mediante la Ilustración 54-3 se observará el diagrama de flujo para la programación del elemento ESP-32.

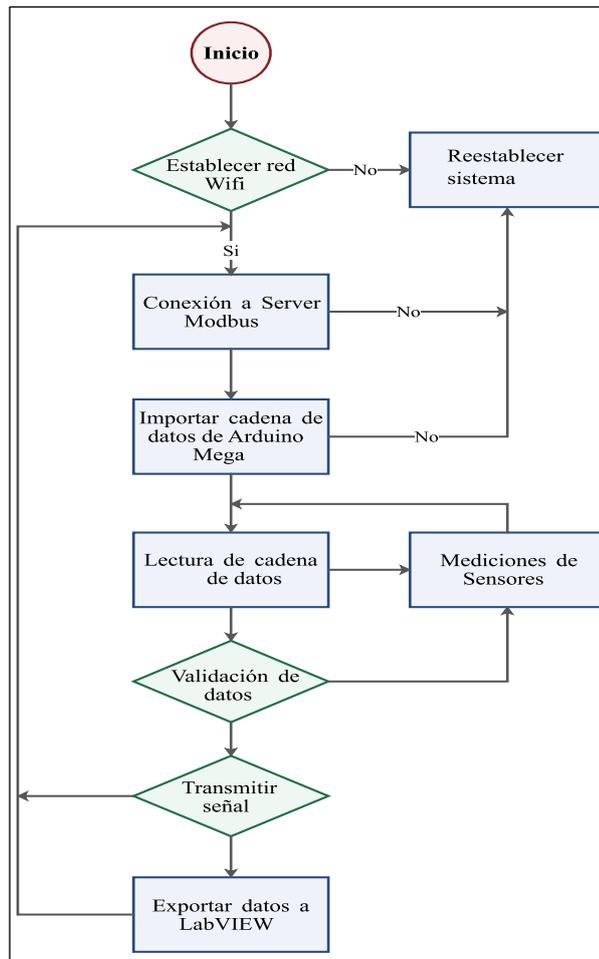


Ilustración 54-3: Diagrama de flujo LabVIEW

Realizado por: Jácome, Jairo; Moyano, Cristian 2023.

La Ilustración 54-3 permitirá la codificación adecuada para la conexión del elemento ESP-32 con la red Wifi, en donde los datos adquiridos de los sensores serán enviados por medio de la cadena de caracteres que serán leída por este elemento, por lo tanto, para el inicio de la programación se declarará los siguientes valores establecidos en la Ilustración 55-3.

```

//WIFI Settings
byte ip[] = { 192, 168, 100, 126};
byte gateway[] = { 192, 168, 100, 1 };
byte subnet[] = { 255, 255, 255, 0 };

Ticker Sample;

ModbusIP Mb;
const int SENSOR_IREG = 0;
const int SENSOR = 1;
const int TEMP = 2;
const int LAMP1_COIL = 3;
const int ledPin = 17;
const int sensorPin = 35;
  
```

Ilustración 55-3: Programación ESP-32 con red Wifi

Realizado por: Jácome, Jairo; Moyano, Cristian 2023.

De la siguiente manera se procederá a configurar la red Wifi que se utilizará, primero se establecerá diferentes avisos y se programará la lectura de dicha red, así como la conexión adecuada al servidor Modbus como se mostrará en la Ilustración 56-3.

```
Serial.begin(115200);
WiFi.begin("NETLIFE-BEJARANO", "1803991817");
// Mb.begin("SSID", "PASSWORD", ip, gateway, subnet);
while (WiFi.status() != WL_CONNECTED){
  delay(500);
}
Serial.println("Wifi Conectado");
Serial.print("IP : ");
Serial.println(WiFi.localIP());
```

Ilustración 56-3: Ingreso Red Wifi

Realizado por: Jácome, Jairo; Moyano, Cristian 2023.

Después de haber declarado las constantes y otras consideraciones importantes de los sensores como la correcta adecuación para ser enviado al programa LabVIEW, y la correcta aplicación de la conexión a distancia por medio del elemento ESP-32, el código completo de este elemento se observará en el Anexo A.

3.7.3. Creación de la interfaz en LabVIEW

Se establecerán lineamientos para la creación de la interfaz en LabVIEW que se utilizará para el control de los diversos sensores y el motor en la máquina. La finalidad es desarrollar un programa sencillo, pero funcional que proporcione al usuario una representación visual clara de lo que estará controlando a través de representaciones gráficas incorporadas en la interfaz.

Se considerarán los siguientes lineamientos para la creación de la interfaz en LabVIEW:

- La interfaz gráfica de usuario incluirá indicadores y controladores de tipo numérico, booleano y string, permitiendo al operador observar y conocer los valores relevantes del proceso.
- En caso de ser necesario, se podrán establecer límites de funcionamiento para la máquina durante el monitoreo. Además, se incluirá la opción de contar con un botón de encendido para el motor en la interfaz.
- En el caso de la adquisición de datos, se contempla la posibilidad de realizarla de manera automática o manual. En el caso de optar por la adquisición manual, se incluirá un botón en la interfaz que permitirá al operador activar la adquisición cuando sea necesario.
- Para el monitoreo y control del sensor de distancia, se implementará una funcionalidad que permita establecer límites específicos. En caso de que el sensor de distancia alcance alguno de

estos límites, se programará para que el motor se apague automáticamente como medida de seguridad.

- Se considerará esencial la visualización de las variaciones en los sensores y sus diferentes mediciones mediante gráficas que se podrán observar en la interfaz gráfica de usuario.
- Se implementará alarmas que sean útiles para notificar al operador sobre la necesidad de realizar modificaciones u otras acciones. Por lo tanto, se establecerá un registro de todas las alarmas activadas durante el período de trabajo.
- Se incluirá un botón de parada de emergencia en la interfaz, en caso de que sea necesario detener rápidamente el funcionamiento de la máquina.

Como primera instancia se establecerá el uso una estructura While Loop la cual se puede observar mediante la Ilustración 57-3. El código dentro del subdiagrama del bucle While se repetirá continuamente hasta que se cumpla una condición determinada. Este tipo de bucle garantiza que el código se ejecute al menos una vez, incluso si la condición inicialmente no se cumple.

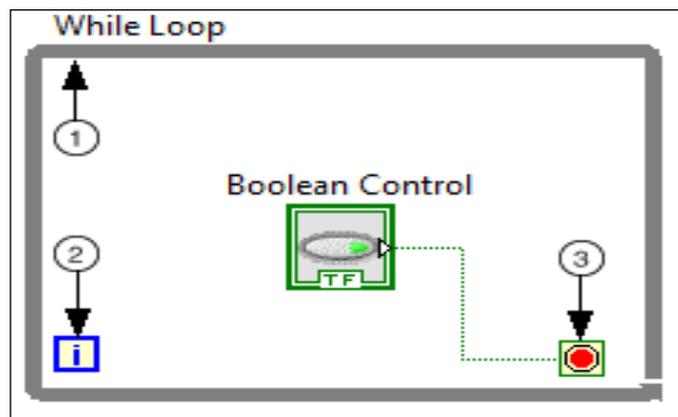


Ilustración 57-3: While Loop

Realizado por: Jácome, Jairo; Moyano, Cristian 2023.

Mediante la Ilustración 58-3 se observará que los componentes de la estructura While Loop son:

- Subdiagrama: Contiene el código que se ejecuta en cada iteración del bucle While.
- Terminal de Iteración (i): Proporciona el recuento actual de iteraciones del bucle.
- Terminal Condicional: Evalúa un valor booleano de entrada para determinar si se debe seguir ejecutando el bucle While.

Se utilizarán diagramas de flujo que estarán estructurados de acuerdo a los parámetros que se van a controlar. Además, se emplearán estructuras que se presentarán en la Tabla 24-3.

Tabla 24-3: Estructuras de LabVIEW

Nombre	Descripción
Case structure	Incluye uno o varios subdiagramas o casos, de los cuales se ejecutarán únicamente uno cuando se activa la estructura.
Controles e indicadores booleanos	Se utilizarán para ingresar y mostrar valores booleanos con objetos como botones, interruptores y luces LED.
Controles e indicadores numéricos	Se utilizarán para ingresar y mostrar datos numéricos en aplicaciones de Labview.
Controles e indicadores tipo String	Se utilizarán para ingresar y mostrar texto, también los controles e indicadores de ruta se usarán para ingresar o mostrar rutas de archivos o carpetas.
DB Tools Open Connection VI	Abrirá una conexión de base de datos utilizando la información de conexión proporcionada y devolverá una referencia de conexión.
DB Tools Insert Data VI	Insertará una nueva fila en la tabla de la base de datos identificada por la referencia de conexión.
Función Wait(ms)	Esperará la cantidad especificada de milisegundos y devolverá el valor del temporizador de milisegundos.
Display Message to User Express VI	Mostrará un mensaje de alerta para el usuario.
Waveform chart	Es un tipo indicador numérico que mostrará una o más trazas de datos adquiridos a una tasa constante.
Shift Register	Son elementos que guardarán valores y mediante operaciones serán modificados, son de gran utilidad para programas que utilizan contadores

Realizado por: Jácome, Jairo; Moyano, Cristian 2023.

Utilizando estos elementos, se podrá crear en el block diagram distintos diagramas de flujo para los distintos factores que se pretenda controlar. A continuación, se muestran alguno de ellos.

Mediante la Ilustración 58-3 se podrá observar que se utilizará una estructura case para la generación de las alarmas en las tablas.

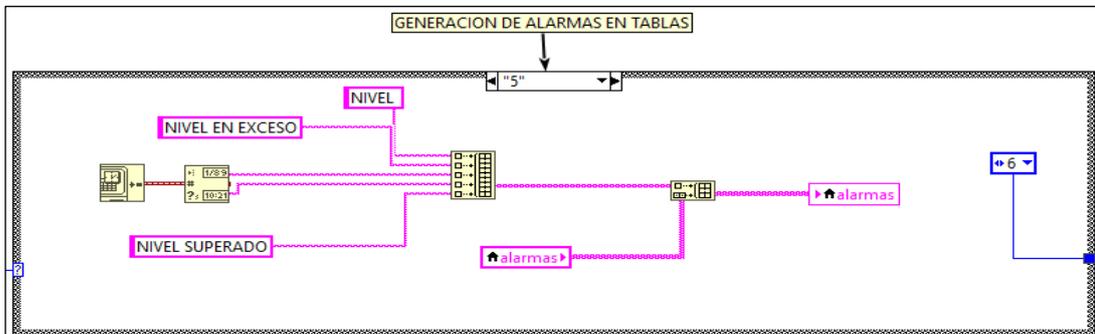


Ilustración 58-3: Generación de alarmas

Realizado por: Jácome, Jairo; Moyano, Cristian 2023.

Mediante la Ilustración 59-3 se podrá observar que se utilizará una estructura case e indicadores y controladores booleanos para el control automático del motor.

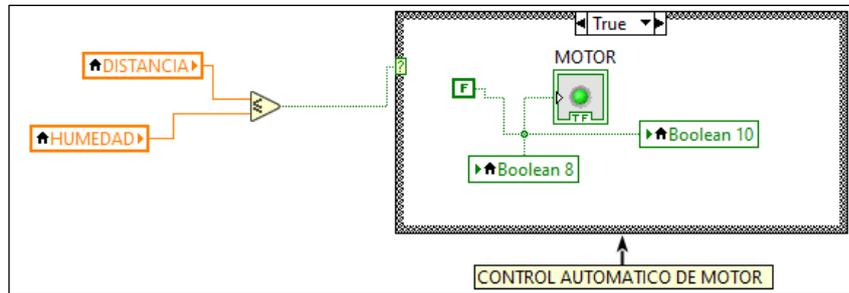


Ilustración 59-3: Control automático del motor

Realizado por: Jácome, Jairo; Moyano, Cristian 2023.

De la misma manera se seguirán realizando distintos diagramas de flujo en el block diagram para los distintos casos que se enumeran a continuación.

- Exportación de cuadro de alarmas al software Excel.
- Programación para guardar datos provenientes de Arduino en LabVIEW y que sea guardado en la base de datos Microsoft Access.
- Vinculación de Tags a LabVIEW y gráficas.
- Generación de avisos del motor.

3.8. Construcción de la máquina peletizadora

Para la construcción de la bancada se deberá seguir el siguiente procedimiento. Primero se deberá realizar la adquisición del tubo cuadrado de 30x30x2 mm de espesor. Después se realizará los cortes de los tubos cuadrados que conforman la bancada y se unirán mediante un proceso de soldadura SMAW con electrodos 6011 y mediante la utilización de este electrodo se asegurará que la calidad de la soldadura sea la apropiada en relación con los esfuerzos que soportará la estructura. En la ilustración 61-3 se observa la forma que tendrá la bancada y finalmente se agregará cubiertas de tool de un espesor de 1 mm en todas las partes laterales que conforman la bancada.



Ilustración 60-3: Construcción Bancada

Realizado por: Jácome, Jairo; Moyano, Cristian 2023

Para la construcción de los ejes mecánicos que conforman la máquina peletizadora se lo realizará mediante un torno convencional. En primera instancia se adquirirá un eje de transmisión AISI 4340, después se efectuará el proceso de corte con un sobre material de 5 mm en cada lado. Se procederá a montar el eje en el mandril para realizar el proceso de refrentado de cada una de las caras laterales de nuestro eje. Posteriormente se llevará a cabo el centrado de las caras laterales mediante una broca de centros M 5. También se realizará el proceso de cilindrado en el eje y finalmente el roscado que tendrá una designación M25 x 1.5. En la fresadora se efectuará el mecanizado de los chaveteros y el eje nervado que tendrá un número de dientes de 26. Finalmente se montarán los elementos estandarizados como es el caso del rodamiento de una hilera de rodillos cónicos 33207/Q como se muestra en la Ilustración 62-3.



Ilustración 61-3: Construcción eje de transmisión

Realizado por: Jácome, Jairo; Moyano, Cristian 2023

Para la construcción de los rodillos se lo realizará en una fresadora universal. Primero se deberá de realizar la adquisición de un eje de transmisión AISI 4340 para posteriormente realizar diferentes procesos de mecanizado como refrentado, centrado y cilindrado en el torno convencional. Posteriormente se montará el material en la fresadora universal y mediante la colocación de la herramienta de corte (fresa) con un módulo de 3 mm se procederá a mecanizar los dientes de nuestro rodillo.



Ilustración 62-3: Construcción rodillos

Realizado por: Jácome, Jairo; Moyano, Cristian 2023

Para el sistema de transmisión de potencia se seleccionará un diferencial con una relación de transmisión 41:9 y estará acoplado al eje nervado mediante un cubo nervado propio del diferencial. En la Ilustración 64-3 se puede observar las partes constitutivas del diferencial cuando no está ensamblado.

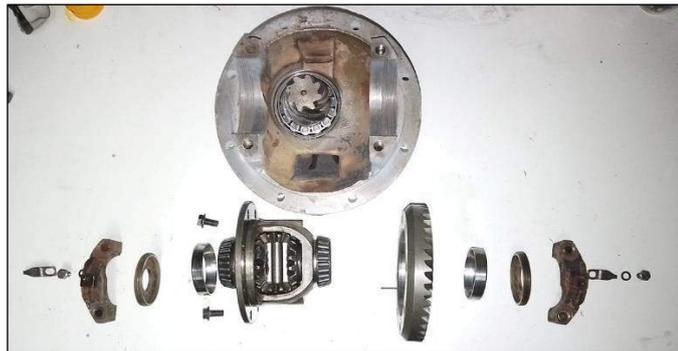


Ilustración 63-3: Partes diferencial

Realizado por: Jácome, Jairo; Moyano, Cristian 2023

Par la construcción de tolva se realizará un proceso de cortado, posteriormente se doblará para que adopte la forma circular y se efectuará un proceso de soldadura por puntos. Para el montaje de los distintos elementos que componen la máquina peletizadora se utilizará pernos de cabeza hexagonal M 8 y M 10. Además, para transportar la máquina peletizadora se realizará la implementación de unas garruchas de poliuretano de 75x27 en cada uno de los soportes y serán instalados con pernos UNC 5/16 in. Además, se colocará el tablero y mando de control mediante la utilización de pernos de cabeza hexagonal M 6. Después de realizar el ensamblaje de todas las partes que constituyen la máquina peletizadora se obtendrá el siguiente resultado como se muestra en la Ilustración 65-3.



Ilustración 64-3: Ensamblaje máquina peletizadora

Realizado por: Jácome, Jairo; Moyano, Cristian 2023.

3.9. Análisis de costos

El cálculo de costos establece la relación entre los costos directos e indirectos utilizados en el presente proyecto. Considerando los diferentes parámetros a considerar se establecerá diferentes puntos a analizar.

3.9.1. Costos directos

Los costos directos en este proyecto se han considerado desde la adquisición del material, los diversos procesos de mecanizado, adquisición de materia prima, los que desglosarán en las tablas posteriores.

Se considero la adquisición de diversos materiales para la construcción de la máquina considerando los pesos del material en crudo sin especificar el costo de los diferentes procesos a realizar, y otros elementos que se utilizaran mediante la Tabla 25-3.

Tabla 25-3: Adquisición de materiales

Material	Diámetro [mm]	Longitud [mm]	Peso [kg]	Costo [\$/kg]	Costo total
ASTM A500	300	2000	4	13,5	54
AISI 4340 (Ejes Rodillos)	25	80	0.78	4,87	3.8
AISI 4340 (Rodillos)	80	150	1.48	4,87	7.21
AISI 4340 (Matriz)	50	60	2	4,87	9.74
AISI 4340 (Eje)	50	400	1.68	4.87	8.18

Realizado por: Jácome, Jairo; Moyano, Cristian 2023.

El costo de los diferentes procesos de mecanizado es un factor importante para el cálculo de costos, en este caso se estableció el costo de los procesos en el número de horas necesarias para cada proceso, del mismo modo también se consideran diferentes elementos adquiridos de esta manera especificaremos de acuerdo con los diferentes elementos mecanizados. Otro aspecto para considerar será el factor para considerar como un medio para obtener un valor más cercano al real.

De esta manera los costos directos que se consideraran será lo siguiente indicados en la Tabla 26-3.

Tabla 26-3: Costos directos

Item	Cantidad	Costo [\$/U]	Costo total [\$]	Descripción
Tubo Cuadrado (30x30x2) mm	4	13.5	54	Material en bruto
AISI 4340 (Ejes Rodillos)	3	10.23	30.69	Material en bruto
AISI 4340 (Rodillos)	3	4.87	14.61	Material en bruto
AISI 4340 (Matriz)	1	4.87	4.87	Material en bruto
AISI 4340 (Eje)	1	4.87	4.87	Material en bruto
Mecanizado eje de rodillos	3	35	105	Construcción de elementos
Mecanizado de rodillos	3	65	195	Construcción de elementos
Mecanizado de matriz	1	75	75	Construcción de elementos
Mecanizado de eje	1	45	45	Construcción de elementos
Rodamientos SKF (6004-2Z)	12	4.5	54	Elementos de construcción
Aceite (SAE 80W90)	2	20	40	Elementos de construcción
Tuerca de Fijación SKF (KM)	3	1	3	Elementos de construcción
Perno Hexagonal (M8x55)	3	1.25	3.75	Elementos de construcción
Plancha tol (2000x2000x1) mm	1	25	25	Elementos de construcción
Bases caucho motor	4	4	16	Elementos de construcción
Garrucha (75x27)	4	6	24	Elementos de construcción
Prisionero Allen M8x10	1	4	4	Elementos de construcción
Motor 4.5 KW bifásico	1	800	800	Elementos de construcción
Transmisión diferencial (41:9)	1	550	550	Elementos de construcción
Cardan GMB	1	30	30	Elementos de construcción
Pernos (M8X15)	1	25	25	Elementos de construcción
Arduino MEGA	1	25	25	Elemento Electrónico
ESP 32	1	25	25	Elemento Electrónico
Sensor Nivel (HC-SR04)	1	5	5	Elemento Electrónico
Sensor Humedad (HR-202)	1	5	5	Elemento Electrónico
Sensor Temperatura (DS18B20)	1	5	5	Elemento Electrónico

Brackets térmico	1	15	15	Elemento Electrónico
Relés	1	15	15	Elemento Electrónico
Tablero de control	1	80	80	Elemento Electrónico
Mando	1	30	30	Elemento Electrónico
Trabajo ingenieril	30	12.5	375	Elementos de construcción
Materia Prima	1	80	80	Elementos de Pruebas
Subtotal	2763.79			
IVA 12%	331.20			
Total	3091.23			

Realizado por: Jácome, Jairo; Moyano, Cristian 2023.

3.9.2. Costos indirectos

Los costos indirectos se enfocaron en valores netos de transporte y alimentación (Tabla 27-3).

Tabla 27-3: Costos indirectos

Descripción	Costo [\$]
Transporte	100
Alimentación	100
Total	200

Realizado por: Jácome, Jairo; Moyano, Cristian 2023.

3.9.3. Costos totales

De acuerdo con que los costos totales es la sumatoria entre los costos directos e indirectos que se presentan en la Tabla 28-3.

Tabla 28-3: Costos totales

Descripción	Costo [\$]
Costos directos	3091.23
Costos indirectos	200
Total	3291.23

Realizado por: Jácome, Jairo; Moyano, Cristian 2023.

3.9.4. Depreciación

Considerando el tiempo de vida de una máquina agrícola podemos determinar la depreciación que afectará a la máquina peletizadora en un lapso de 10 años mediante la consideración de las normativas del ministerio de finanzas y esto se podrá observar en la Tabla 29-3.

Tabla 29-3: Depreciación Máquina Peletizadora

Tabla de Depreciación: Método de Línea Recta			
COSTO INC	\$ 3,291.23	Valor Salvamento	\$ 300.00
		Vida Útil	10
Periodo	Depreciación Anual	Depreciación Acumulada	Valor Actual Libros V.L
0		\$ -	\$ 3,291.23
1	\$299.12	\$299.12	\$ 2,992.11
2	\$299.12	\$598.25	\$ 2,692.98
3	\$299.12	\$897.37	\$ 2,393.86
4	\$299.12	\$1,196.49	\$ 2,094.74
5	\$299.12	\$1,495.62	\$ 1,795.62
6	\$299.12	\$1,794.74	\$ 1,496.49
7	\$299.12	\$2,093.86	\$ 1,197.37
8	\$299.12	\$2,392.98	\$ 898.25
9	\$299.12	\$2,692.11	\$ 599.12
10	\$299.12	\$2,991.23	\$ 300.00

Realizado por: Jácome, Jairo; Moyano, Cristian 2023.

Como podemos observar la depreciación anual de la máquina será de 299.12 dólares aproximadamente

3.9.5. Punto de equilibrio

El proyecto al ser un prototipo el costo total de fabricación será notablemente más alto, pero si se decide implementar una producción en serie, esto permitirá la reducción de costos de producción, y considerando los diferentes costos en el caso de que se logre se podrá obtener un total de costos de producción por unidad de alrededor de 2500 dólares además si se establece que el precio de venta sea de alrededor de 3000 dólares por unidad y considerando un costo fijo de 100000 dólares anuales, se establecerá el método de punto de equilibrio que se presenta en la Tabla 30-3.

Tabla 30-3: Punto de equilibrio

CANT.	P.V.U. (\$)	P.T. (\$)	CF (\$)	CVU (\$)	CVT (\$)	C.T (\$)	P.T-C.T (\$)
0	3000	0	100000	2500	0	100000	-100000
50	3000	150000	100000	2500	125000	225000	-75000
100	3000	300000	100000	2500	250000	350000	-50000
150	3000	450000	100000	2500	375000	475000	-25000
200	3000	600000	100000	2500	500000	600000	0
250	3000	750000	100000	2500	625000	725000	25000

300	3000	900000	100000	2500	750000	850000	50000
350	3000	1050000	100000	2500	875000	975000	75000
400	3000	1200000	100000	2500	1000000	1100000	100000
450	3000	1350000	100000	2500	1125000	1225000	125000
500	3000	1500000	100000	2500	1250000	1350000	150000
550	3000	1650000	100000	2500	1375000	1475000	175000
	QBE=	200	UNIDADES				
	SBE=	600000	DOLARES				

Realizado por: Jácome, Jairo; Moyano, Cristian 2023.

Como podemos observar en la Ilustración del punto de equilibrio, se necesita la producción de 200 unidades, en los cuales los costos totales y los ingresos por ventas serán iguales y esto permitirá que cada unidad producida a partir del punto de equilibrio presentará una ganancia.

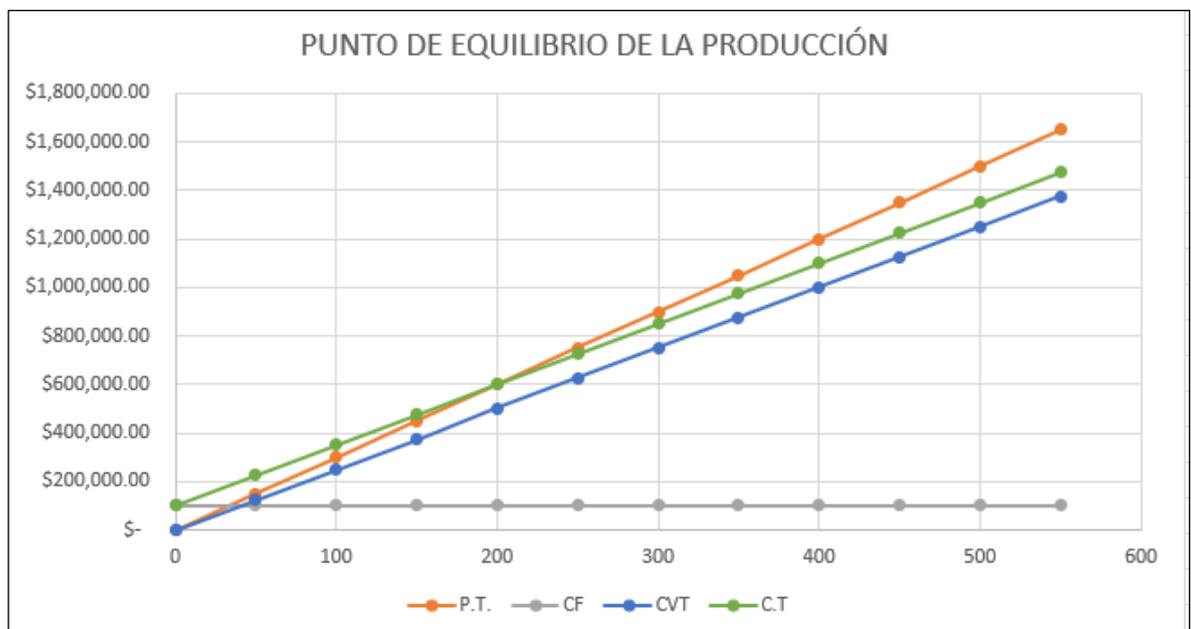


Ilustración 65-3: Punto de equilibrio

Realizado por: Jácome, Jairo; Moyano, Cristian 2023

CAPÍTULO IV

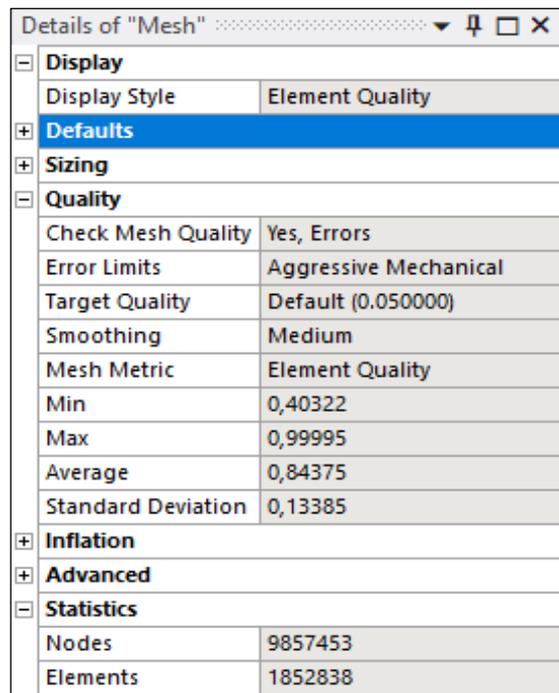
4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Simulación de la bancada

Considerando los diferentes elementos mecánicos que tiene la máquina peletizadora, se decidió utilizar el método de elemento finito a través del software ANSYS para poder llevar a cabo las distintas simulaciones correspondientes a la deformación, esfuerzo de Von-Misses y el factor de seguridad. Este método fue de gran importancia, ya que permitió analizar y estudiar el comportamiento de los elementos estructurales de los que está constituida la máquina.

4.1.1. Mallado

Para la realización del mallado se utilizó un Sizing de 1 mm para todos los elementos que componen la estructura y de esta manera se obtuvo una buena calidad de malla, después se realizó la evaluación de la malla mediante el “Element Quality” y se obtuvieron los siguientes valores como se muestra en la Ilustración 1-4 donde también se muestran el número de nodos del mallado.



Details of "Mesh"	
Display	
Display Style	Element Quality
Defaults	
Sizing	
Quality	
Check Mesh Quality	Yes, Errors
Error Limits	Aggressive Mechanical
Target Quality	Default (0.050000)
Smoothing	Medium
Mesh Metric	Element Quality
Min	0,40322
Max	0,99995
Average	0,84375
Standard Deviation	0,13385
Inflation	
Advanced	
Statistics	
Nodes	9857453
Elements	1852838

Ilustración 1-4: Element Quality

Realizado por: Jácome, Jairo; Moyano, Cristian 2023.

La comparación de nuestros resultados se los realizo con valores referenciales, en este caso el valor referencial es un valor promedio de 0,7570 como mínimo para tener una calidad de malla aceptable, y como se pudo observar mediante la Ilustración 1-4 se tuvo un valor promedio de 0,84375 lo que da a entender que nuestro mallado esta realizado de una manera adecuada.

4.1.2. Deformación

Se consideró este análisis debido a la importancia de verificar la deformación presente en la bancada y para observar la influencia del peso de los elementos mecánicos sobre la máquina peletizadora. Esto permitió observar si se encontraba dentro de los parámetros permitidos. De esta manera, se pudo constatar mediante la Ilustración 2-4 que la deformación máxima encontrada fue de 0.10302 como valor crítico. Por lo tanto, se pudo afirmar que se encuentra dentro de rangos estables y que la deformación no causará efectos negativos a largo plazo en la máquina.

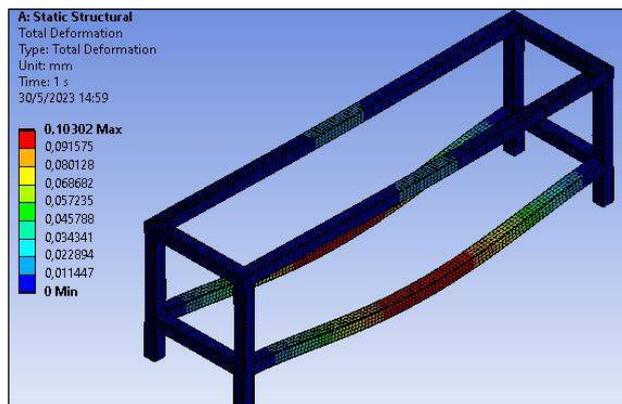


Ilustración 2-4: Deformación de la estructura

Realizado por: Jácome, Jairo; Moyano, Cristian 2023.

4.1.3. Esfuerzos

Se ha tenido en cuenta este parámetro para analizar si la estructura soporte se encontraba por debajo del esfuerzo máximo del material utilizado que en este caso será un acero ASTM A 500 con un $S_y=320$ MPa y $S_{ut}=405$ MPa. Se pudo constatar mediante la Ilustración 3-4 que el esfuerzo máximo encontrado es de 24.693 MPa por lo que no superaban el esfuerzo máximo permitido, lo que indica que el diseño de la bancada y su espesor eran adecuados. esta manera, se consideró que el material había sido seleccionado correctamente.

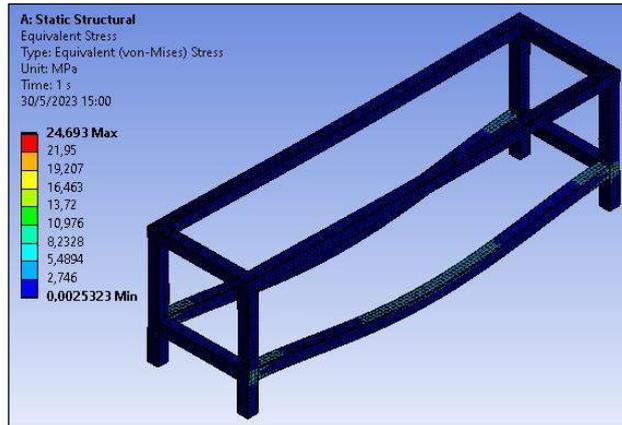


Ilustración 3-4: Esfuerzo de Von-Misses

Realizado por: Jácome, Jairo; Moyano, Cristian 2023.

4.1.4. Factor de seguridad

El factor de seguridad se tuvo en cuenta para verificar si el espesor de los elementos utilizados en la construcción de esta bancada eran los adecuados para soportar el impacto de la máquina. Según la teoría, el factor de seguridad debe ser mayor a 1. Por lo tanto, mediante la Ilustración 4-4 se pudo constatar que se tenía un factor de seguridad de 7,678 y a través de este análisis, pudimos determinar que estábamos cumpliendo con los parámetros requeridos.

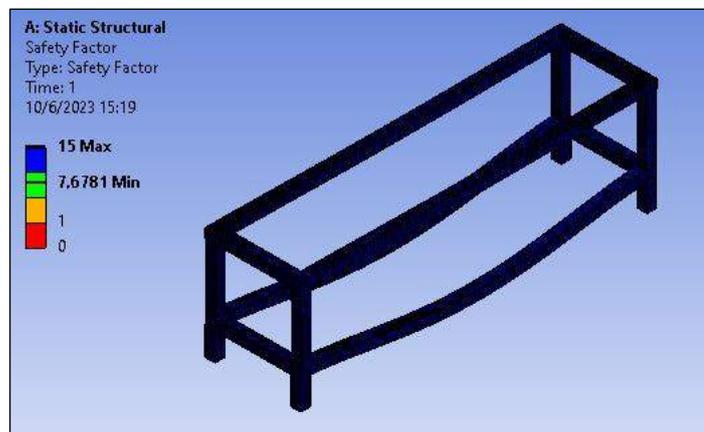


Ilustración 4-4: Factor de Seguridad

Realizado por: Jácome, Jairo; Moyano, Cristian 2023.

4.2. Parámetros de control

Como se mencionó en los capítulos anteriores, se llevó a cabo el control de tres parámetros diferentes dentro de la máquina que son la temperatura, humedad y nivel. A través de las

gráficas obtenidas mediante la interfaz gráfica de usuario, se pudo determinar cómo estos parámetros afectaban la producción de los pellets.

4.2.1. *Humedad*

Observamos cómo varió la humedad durante el proceso de mezcla del material que ingresó a la máquina peletizadora. Al considerar diferentes porcentajes de humedad, se observaron distintas características en el pellet. Estas características se detallan mediante la Tabla 1-4.

Tabla 1-4: Características del Pellet

Porcentaje de humedad	Resultado	Observaciones
5 %	Pellet frágil, no aceptable	Difícil compactación Perdida de materia prima Se deshace a la manipulación
10 %	Pellet compacto, aceptable	Compactación aceptable No se genera muchas pérdidas en la materia prima. Soporta la manipulación
15 %	Pellet compacto, no aceptable	Compactación no aceptable Pérdidas debido a la adhesión de la materia prima con los rodillos Soporta la manipulación

Realizado por: Jácome, Jairo; Moyano, Cristian 2023.

De esta manera, se optó por utilizar materia prima que tenga una humedad en un intervalo del 10% al 15%. Este rango nos permitió obtener resultados aceptables en cuanto a los aspectos y propiedades físicas del producto.

Se consideró adquirir datos cada 5 minutos para observar el tiempo que se tardaba en alcanzar la humedad requerida para la materia prima.

4.2.2. *Nivel*

En el parámetro de nivel de la máquina, se observó que los valores medidos podrían presentar variaciones debido a la forma de la tolva. En este caso, al tener un diámetro más grande en la parte superior, se formaba un ángulo donde la materia prima se adhería parcialmente a las paredes. Esto ocasionaba que la parte central de la tolva se consumiera hasta que lo adherido a las paredes cediera, lo que generaba diferentes variaciones en las mediciones tomadas. Aparte de eso, no se identificaron otros inconvenientes relacionados con este parámetro.

4.2.3. Temperatura

En el caso de la temperatura, se decidió controlar la temperatura del aceite dentro del sistema de transmisión como medida preventiva, considerando el trabajo que se llevaría a cabo en la máquina. Se realizaron diferentes mediciones durante una hora de trabajo, que se consideró ideal para esta máquina. De esta manera, pudimos observar la temperatura máxima a la que estaría sometido el aceite y que afectaría en cierta medida el intervalo de mantenimiento de la máquina. Teniendo en cuenta las características del aceite utilizado que en este caso fue un SAE 80W90, se podría considerar el reemplazo del mismo incluso antes del tiempo indicado por el fabricante y dependiendo del tiempo de trabajo realizado en la máquina.

4.3. Interfaz

Considerando el capítulo anterior en el que se mencionó la utilización de la programación en Arduino, y el uso de LabVIEW para la creación de la interfaz gráfica de usuario y siguiendo los pasos descritos en el capítulo anterior, hemos desarrollado una interfaz gráfica para monitorear y controlar nuestra máquina. La interfaz se muestra mediante la Ilustración 5-4.

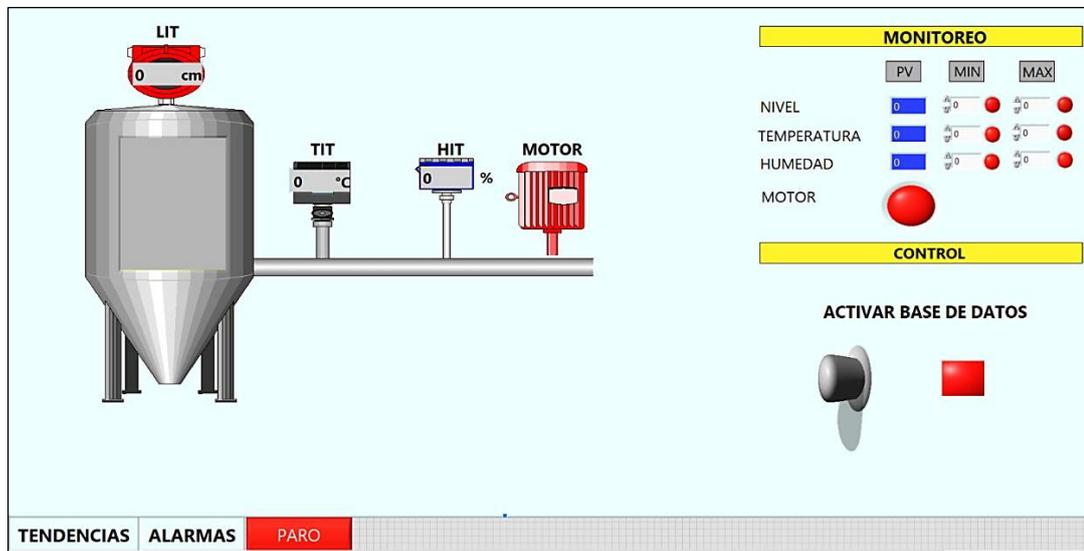


Ilustración 5-4: Interfaz

Realizado por: Jácome, Jairo; Moyano, Cristian 2023.

Como se pudo apreciar en la Ilustración 4-4, hemos implementado diversos elementos para crear una interfaz estética y al mismo tiempo ergonómica para el operador. En esta interfaz, se han incorporado distintos elementos que facilitan la navegación y brindan al operador acceso a todas las funciones necesarias. A continuación, se mencionarán algunos de estos elementos implementados.

En la parte inferior izquierda de la interfaz, se han colocado varios botones para acceder a ventanas que consideramos importantes. Estas ventanas nos permiten acceder a otros espacios donde se realiza el monitoreo de diferentes aspectos que hemos considerado relevantes. Además, se colocó un botón de emergencia para su uso en momentos críticos que puedan presentarse cuando la maquina se encuentre en funcionamiento.

En la parte inferior derecha, hemos ubicado un botón para activar la adquisición de datos, en caso de que el operador lo desee. Hemos diseñado esta función de manera simple, con un solo botón y un indicador LED para mostrar si la adquisición de datos está activa o desactivada. Cuando está activada, los datos se envían directamente a Microsoft Access para su registro correspondiente, en este caso, de los sensores de humedad, temperatura y distancia.

Como elementos gráficos se decidió utilizar una representación visual de una tolva, centrándonos en mostrar las medidas de los sensores en esta imagen. Nos enfocamos en brindar una visión clara y utilizamos cambios de color en la imagen del motor para indicar si estaba apagado o encendido. Este mecanismo simple pero efectivo permitió visualizar de manera clara el proceso realizado.

En la parte superior derecha se estableció un sistema de monitoreo en el cual colocamos los tipos de sensores que utilizamos, junto con un botón para activar los motores. También se implementó un método para establecer límites inferiores o superiores para dichos sensores, a fin de realizar un monitoreo adecuado. En el caso del sensor de distancia, si los límites establecidos son excedidos, el motor se apaga automáticamente.

En la siguiente ventana, se estableció el monitoreo de las tendencias que experimentaron los sensores a lo largo del proceso durante el tiempo en que la máquina estuvo en funcionamiento, tal como se muestra en la Ilustración 6-4. En esta ventana, se pudo observar cómo las medidas variaron en relación con el tiempo de trabajo.

CONCLUSIONES

- A través de una revisión bibliográfica, es posible identificar las ventajas y desventajas de cada tipo de máquina, así como sus características y métodos de producción. En este caso, se observa que el método de producción de pellets es mediante compresión. Se seleccionará el tipo de máquina más adecuado que sea viable a nivel de cumplimiento de los parámetros de diseño. De esta manera se considera que la máquina a seleccionar en este caso es una peletizadora con matriz extrusora planar debido a la capacidad con la cual se está trabajando esto enfocándonos en la parte mecánica, además en la parte electrónica se estima diferentes elementos que puedan ser de gran utilidad para los parámetros que se desean monitorear y que sean de fácil adquisición en el lugar que se encuentre
- El diseño de una máquina peletizadora requiere una comprensión clara de los requerimientos del cliente y los aspectos técnicos más importantes que se desean establecer. En este proceso, el uso de la metodología QFD (Despliegue de la Función de Calidad) es de gran ayuda para la mejor selección de los requerimientos de diseño. Permitiendo obtener los diversos parámetros de diseño necesarios para una correcta construcción y diseño de la maquina en cuestión.
- Para el diseño de la máquina hemos utilizado el software de diseño mecánico SolidWorks. Con este software, hemos realizado modelos 3D que nos han permitido visualizar posibles diseños de nuestro producto y la posición de diferentes elementos. De esta manera, podemos seleccionar el mejor modelo que cumpla con las especificaciones dimensionales obtenidas dentro de la metodología QFD. Además, hemos considerado el uso de software eléctrico para establecer las conexiones necesarias dentro de la máquina, teniendo en cuenta los sensores, el tablero de control y otros aspectos relevantes. Estos aspectos, junto con la ayuda de los softwares mencionados, nos permiten obtener y optimizar un diseño correcto que sea viable para su construcción y cumpla con todos los aspectos necesarios.
- La adquisición de datos es una herramienta crucial para recopilar información necesaria e importante sobre varios aspectos de la máquina. Esta información se utiliza para establecer registros y optimizar tanto el proceso de producción como el de mantenimiento de la máquina. Por lo tanto, la selección correspondiente de sensores es de gran importancia, eligiendo aquellos que sean económicamente viables y de fácil reemplazo que provean una medición adecuada
- Para lograr una adquisición de datos precisa, es necesario diseñar una interfaz, realizar una programación optima dentro del sistema embebido para analizar los datos de manera efectiva.

También se deben considerar los diferentes parámetros que se deben controlar de manera adecuada. El uso de la adquisición de datos y un sistema embebido continuo se vuelve aún más importante para mejorar una máquina y facilitar los procesos. Esto ayuda a mejorar la producción y reducir los posibles impactos negativos tanto para el operador como para la máquina.

RECOMENDACIONES

- Es importante considerar el tiempo de operación de la parte mecánica de la máquina teniendo en cuenta las temperaturas del aceite en el sistema de transmisión. Estas temperaturas son indicadores que deben ser observados, ya que pueden afectar tanto el tiempo de mantenimiento como las propiedades del aceite debido al constante trabajo de la máquina sin descanso. Esto puede tener un impacto significativo en la vida útil de la máquina, reduciéndola considerablemente.
- Además, es fundamental considerar el tiempo de trabajo del motor como parte de su operabilidad, con el fin de evitar cualquier tipo de daño. Asimismo, es necesario observar la fricción existente entre el sistema de rodillos y la matriz extrusora. Si se requiere un cambio durante el mantenimiento programado o si se ha producido un mayor desgaste debido a un mayor tiempo de trabajo, se deben tomar medidas adecuadas. Es recomendable establecer tiempos de mantenimiento adecuados para mantener la vida útil de la máquina lo más prolongada posible.
- Otro aspecto a considerar es la parte electrónica y la automatización de la máquina, en los que el correcto mantenimiento de los sensores, del correcto cableado evitará errores inesperados al momento de la operación, los sensores en caso de necesitar algún tipo de reemplazo se los ha establecido de manera que sean económicamente viables y asequibles fácilmente, otro aspecto clave en el sistema de adquisición y control de datos para esta máquina es la identificación de los parámetros más importantes. En este caso, hemos considerado el nivel de la mezcla, la temperatura del aceite y la humedad de la mezcla como parámetros de gran relevancia. Estos aspectos son fundamentales en el funcionamiento óptimo de la máquina.
- Este proyecto representa únicamente un proceso de producción de pellets y se considera solo el sistema de compresión y salida del producto (pellets), por lo que, si se desea ampliar el proceso de producción de pellets, se recomienda el diseño de diversas máquinas y elementos que permitan la factibilidad del proceso de fabricación de pellets, los cuales incluyen desde la dosificación de la materia prima, mezcla de la materia prima, transporte del material, y el posterior secado.

BIBLIOGRAFÍA

AGUILAR, Y. *Diseño e implementación de un dispositivo de Internet de las Cosas para el monitoreo del medio ambiente vía Wi-Fi.* *Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica*, November, 18. [en línea] 2021. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/356392890_Disenio_e_implementacion_de_un_dispositivo_de_Internet_de_las_Cosas_para_el_monitoreo_del_medio_ambiente_via_Wi-Fi/download

ALBÁN, E. y ARIAS, A. *Diseño, construcción e implementación de una máquina peletizadora de alimentos balanceados para el sector pecuario con capacidad de 100 kg/h* [en línea] 2018. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/17754>

ALBÁN, J. y PAGUAY, N. *Diseño e implementación de un sistema SCADA con comunicación PROFIBUS para el control y monitoreo de procesos industriales en el laboratorio de automatización de la Facultad de Mecánica.* [en línea] 2017. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/6496>

ARAQUE, O. y CABELLO, J. *Estudio sobre la resistencia y rigidez de ejes huecos.* *Scientia Et Technica*, [en línea] 2006. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84920491028>

ARPI, J. y CALDERÓN, C. *Diseño de una máquina peletizadora en base a la disponibilidad de residuos madereros de la ciudad de Cuenca para su aprovechamiento energético* [en línea] 2010. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/832/13/UPS-CT001696.pdf>

BALAREZO, F. y GUANO, D. *Diseño e implementación de un sistema SCADA con control proporcional – integral – derivativo para caudal mediante un servidor, PLC y software en el laboratorio de automatización - Facultad de Mecánica* [en línea] 2018. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/9799>

BALBOA, P. *Cómputo vestible para asistir a personas con discapacidad visual* Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California - México. [en línea] 2020. Disponible en: <https://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1007/3362>

BUDYNAS, A. y NISBETT, L. *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley.* 2014.

CARREÑO, J. *Diseño y construcción de una máquina peletizadora de alimentos balanceados para ganado vacuno.* [en línea] 2015. Disponible en: <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/10802>

CASTELLINO, A et al. *Diagnóstico de fallas en los rodamientos de motores eléctricos empleando variables eléctricas. XII Reunión de Trabajo En Procesamiento de La Información y Contro., January, 6.* [en línea] 2007. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/233382297_Diagnostico_de_fallas_en_los_rodamientos_de_motores_electricos_empleando_variables_electricas

CHACHAPOYA, D. *Producción de alimentos Balanceados en una Planta procesadora en el cantón Cevallos* [en línea] 2014. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/8927>

CHAPARRO, F. y QUINTERO, J. *Rediseño del sistema de rodillos de una peletizadora vertical de alimento concentrado para pollos* [en línea] 2017. Disponible en: <https://hdl.handle.net/10901/11248>

FONSECA, J. y SORIA, D. *Diseño e implementación de control domótico (con sistemas embebidos) para conectarse con aplicaciones adaptivas basados en Iot.* [en línea] 2020. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/18986/1/UPS - TTS056.pdf>

GARCÍA, E. *Diseño e implementación de un sistema SCADA para las plantaciones de la asociación de fruticultores de Ambato (ASOFRUT)* [en línea] 2016. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/6029/1/20T00770.pdf>

GARZÓN, C. y MENDES, L. *Prototipo de una máquina peletizadora para la fabricación de balanceado utilizada en la alimentación de conejos* [en línea] 2021. Disponible en: <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/4501/1/PI-000727.pdf>

MACIAS, J. *Diseño e implementación de un prototipo de control y monitoreo de procesos con sistemas embebidos arduino y raspberry pi para Pymes* [en línea] 2018. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/9213>

MEJÍA, E. y PÉREZ, B. *Diseño y construcción de una máquina peletizadora de alimentos balanceados para la granja de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña* [en línea] 2018. Disponible en: <http://repositorio.ufpso.edu.co/xmlui/handle/123456789/2424>

MORALES, R. *Diseño y cálculo de una máquina peletizadora para la producción de alimento animal* [en línea] 2019. Disponible en: <https://repository.unilibre.edu.co/handle/10901/11248>

Novacero. *Catálogo de productos.* 2016.

OPAC. *DIN 6885 A.* [en línea] 2017. Disponible en: www.opac.net

PONCE, B. y VITERI, J. *Diseño y construcción de una máquina peletizadora que utilice residuos de madera para la empresa Decor Parquet en la Ciudad de Ambato* [en línea] 2022. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/36489>

PORTILLA, P. *Diseño y construcción de un sistema de automatización para huerto doméstico con tecnología aeropónica* [en línea] 2016. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/15073>

SKF. *Selección de Rodamientos.* In *Ekp* [en línea] 2015. Disponible en: <https://www.skf.com/co>

SKF. *KM 5 - Tuercas de fijación y dispositivos de fijación* [en línea] 2017. Disponible en: <https://www.skf.com/co/products/rolling-bearings/accessories/lock-nuts/keyway/productid-KM>

TAICA, S. *Diseño de una máquina peletizadora de alimentos balanceados con capacidad de 150 kg/h para avícolas de la región Lambayeque* [en línea] 2020. Disponible en: <https://repositorio.uss.edu.pe/handle/20.500.12802/7816>

TIPAN, R. *Diseño e implementación de un sistema automático compactador Pet utilizando sistema hidráulico*[en línea] 2017. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/8996>

TORNILLERA ARAGONESA SA. *Tabla de roscas normalizadas* [en línea] 2017. Disponible en: http://www.tornillera.com/archivos/info_tecnica/esp/tabla_roscas.pdf

TORRES, A. *Control domótico usando arduino mega-2560* [en línea] 2022. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12740/16426>

USCA, L. y VALLEJO, D. *Diseño e implementación de un sistema SCADA, para el control automático de las compuertas de guillotina y monitoreo del sistema de pesaje de balanceados,*

en la Avícola la Morenita. [en línea] 2019. Disponible en:
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/9061>

VASCONEZ, B. *Diseño y evaluación de una arquitectura para la red de comunicaciones que utiliza el sistema SCADA, para optimizar procesos y recursos en una empresa petrolera.* [en línea] 2019. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/10003>

ANEXOS

ANEXO A: MANUAL DE OPERACIÓN MÁQUINA PELETIZADORA

Esta sección se centrará en el procedimiento correcto llevado a cabo por el operador, con el objetivo de transmitir conocimientos a los nuevos usuarios. Explicaremos de manera más detallada los aspectos más importantes de la máquina, tanto en términos de su funcionamiento mecánico como de su parte electrónica y la interfaz.

La técnica de operación y el método de aplicación se describirán de manera general. Sin embargo, es fundamental destacar que la habilidad, la familiaridad y el manejo correcto de la máquina se desarrollarán a través de la experiencia y los conocimientos del operador, los cuales se aplicarán y transmitirán a la máquina.

Antes de Operar

Antes de conectar la máquina a una fuente eléctrica, es importante seguir ciertos procedimientos. A continuación, mencionaremos los pasos a seguir:

1. Asegúrese de que la máquina esté desconectada antes de realizar los siguientes pasos y manipule la máquina con cuidado para evitar cualquier tipo de accidente.
2. Encienda la computadora en la que se utiliza la interfaz de control de la máquina.
3. Verifique que la conexión a distancia entre el Arduino utilizado para controlar los sensores de la máquina y la interfaz de control esté funcionando correctamente.
4. Si desea adquirir los datos de control de los sensores a través de Access, deberá activar o desactivar esta opción utilizando la interfaz según sea necesario.
5. Si la máquina está desarmada, verifique que tanto la matriz como los rodillos no estén obstruidos debido a residuos de materia prima seca. En caso de obstrucciones, se recomienda limpiarlos.
6. Antes de encender la máquina, asegúrese de que los rodillos no estén completamente ajustados para evitar un arranque forzado del motor o posibles atascos.

7. Verifique que la bancada esté completamente conectada para evitar filtraciones o vibraciones excesivas.
8. Si es la primera vez que va a poner en marcha la máquina, verifique el nivel de aceite. De lo contrario, consulte los registros de mantenimiento para determinar si es necesario cambiar el aceite.
9. Antes de conectar la máquina, coloque una carga menor al volumen total de la tolva de materia prima.
10. Una vez que haya verificado que todos los pasos anteriores se han realizado correctamente, conecte la máquina a una fuente de energía para comenzar a utilizarla.

Recuerde seguir estas instrucciones para asegurar un funcionamiento seguro y eficiente de la máquina.

Durante la operación

Durante la operación de la máquina, se dará mayor atención a la observación y control del funcionamiento de la interfaz y los sensores utilizados. Asimismo, se tendrán en cuenta diversas consideraciones relacionadas con el reingreso de la materia prima cuando sea necesario. A continuación, se mencionarán los aspectos a tener en cuenta en este proceso.

1. Después de encender la máquina, es importante verificar que el proceso de compactación de la materia prima se esté realizando de manera óptima.
2. Si se observa que la compactación no es satisfactoria, se recomienda ajustar los rodillos hasta alcanzar un punto adecuado.
3. En caso de que el producto peletizado no cumpla con la longitud deseada, se sugiere ajustar el sistema de corte.
4. La interfaz mostrará tres variables: temperatura, nivel y humedad. Estas variables serán presentadas en forma de gráficos, permitiendo observar los cambios en la materia prima y el producto final.

5. Es importante tener en cuenta que, en el caso del sensor y control de nivel, este controlará directamente el motor. Si la materia prima alcanza un nivel crítico o se produce una obstrucción que indique un valor fuera de las tolerancias establecidas, el motor se apagará automáticamente. Por esta razón, se debe considerar el reingreso de la materia prima al sistema de alimentación si se desea trabajar con una mayor cantidad de material.

6. El sensor de humedad proporcionará una evaluación cualitativa de la materia prima, permitiendo verificar si se encuentra dentro de los parámetros establecidos de humedad necesaria para obtener pellets de calidad y una buena compactación. Esto permitirá ajustar la mezcla si es necesario.

7. El sensor de temperatura indicará el valor cualitativo de la temperatura a la que la materia prima ha sido sometida durante la compresión en la máquina. Esta información permitirá conocer la temperatura que puede alcanzar el producto y establecer métodos de manipulación adecuados para evitar accidentes debido al calor.

8. Si se desea finalizar el trabajo con la materia prima, es importante considerar que los residuos restantes o adheridos a la matriz y los rodillos se secarán y endurecerán. Esto puede causar algunos inconvenientes. Antes de apagar la máquina, se recomienda introducir una mezcla de harina y aceite para prevenir la solidificación de los residuos en la matriz y los dados extrusores. Se sugiere preparar una mezcla de 6 kg de harina y 1 kg de aceite, ya que esta mezcla no solidificará rápidamente, lo que evita el bloqueo de los dados extrusores.

Después de la Operación

En caso de terminar el trabajo deseado y haber realizado el paso 8 de la sección anterior, se procederá al apagado de la máquina en caso de que se desee limpiar la máquina para aumentar el tiempo de vida útil de los elementos y de la máquina en general podemos realizar con los siguientes pasos.

1. Apagar la máquina asegurándose de desconectarla de la fuente de energía.

2. Retirar cualquier residuo de materia prima o producto acumulado en la matriz, los rodillos y otros componentes. Se recomienda utilizar herramientas adecuadas para esta tarea, evitando dañar los elementos de la máquina.

3. Limpiar minuciosamente la matriz y los rodillos con un paño húmedo y, si es necesario, utilizar un detergente suave para eliminar cualquier residuo adherido. Asegurarse de secarlos completamente después de la limpieza.
4. Inspeccionar visualmente otros componentes de la máquina y limpiarlos si es necesario. Prestar especial atención a áreas de difícil acceso donde podrían acumularse residuos.
5. Verificar el estado de los sistemas de corte y los sensores. Realizar una limpieza y mantenimiento adecuados si es necesario.
6. Realizar una revisión general de la máquina para asegurarse de que no haya daños visibles o desgaste excesivo en los componentes. Si se detectan problemas, tomar las medidas necesarias para reparar o reemplazar los elementos afectados.
7. Una vez finalizada la limpieza y el mantenimiento, asegurarse de volver a ensamblar adecuadamente todos los componentes de la máquina.

Realizar estas acciones de limpieza y mantenimiento regularmente ayudará a prolongar la vida útil de la máquina y a garantizar un rendimiento óptimo en futuros trabajos

ANEXO B: MANUAL DE MANTENIMIENTO MÁQUINA PELETIZADORA

Es necesario considerar el tiempo de vida de los distintos elementos de esta máquina, así como el estado del aceite, entre otros factores. Con el fin de garantizar un funcionamiento óptimo a largo plazo, es importante establecer un mantenimiento controlado que nos permita extender al máximo la vida útil de la máquina y evitar cualquier interrupción en la producción. Además, el tiempo de trabajo también puede tener un impacto significativo, especialmente en máquinas sometidas a altas fricciones, como es el caso que nos ocupa. Para lograr esto, se deben considerar los siguientes mecanismos como parte del plan de mantenimiento.

1. Con respecto a los rodamientos en la máquina, según los catálogos de rodamientos SKF, se estima que su tiempo de vida es de un valor específico. Se debe considerar el reemplazo de estos rodamientos después de cierto tiempo determinado para mantener la eficiencia de la máquina.
2. En cuanto a la lubricación de la caja de engranajes, se recomienda el uso del aceite SAE 80W90. Según la norma AGMA, se debe revisar el nivel de aceite aproximadamente cada 3 meses de trabajo. Si hay una disminución en el nivel de aceite, se debe realizar un cambio o reposición. También es importante evitar cualquier filtración de aceite, por lo que se debe realizar una revisión completa.
3. En el caso de la matriz, que está sometida a grandes cargas y fuerzas de fricción, es necesario asegurarse de que no presente deformaciones prematuras. Se debe observar que cualquier deformación sea mínima durante el mantenimiento a largo plazo.
4. El desgaste entre la matriz y los rodillos también es un aspecto importante a tener en cuenta debido a la fricción a la que están expuestos. Se debe realizar el mantenimiento adecuado de estos elementos o incluso reemplazarlos por nuevos si afectan negativamente la producción del producto final.
5. El motor es uno de los aspectos más importantes a considerar. Debido a la fricción entre la matriz y los rodillos, puede haber una sobrecarga en el motor, lo que puede causar un daño acelerado e incluso daño permanente. Por esta razón, se debe garantizar una operabilidad adecuada de la máquina, teniendo en cuenta los tiempos de trabajo y los tiempos de descanso, para prolongar la vida útil del motor de manera efectiva.

ANEXO C: RESISTENCIA A LA TRACCIÓN Y FLUENCIA ACERO AISI 4340

1	2	3	4	5	6	7	8
AISI núm.	Tratamiento	Temperatura °C (°F)	Resistencia a la tensión MPa (kpsi)	Resistencia a la fluencia, MPa (kpsi)	Elongación, %	Reducción del área, %	Dureza Brinell
4130	TyR*	205 (400)	1630 (236)	1460 (212)	10	41	467
	TyR*	315 (600)	1500 (217)	1380 (200)	11	43	435
	TyR*	425 (800)	1280 (186)	1190 (173)	13	49	380
	TyR*	540 (1000)	1030 (150)	910 (132)	17	57	315
	TyR*	650 (1200)	814 (118)	703 (102)	22	64	245
	Normalizado	870 (1600)	670 (97)	436 (63)	25	59	197
	Recocido	865 (1585)	560 (81)	361 (52)	28	56	156
4140	TyR	205 (400)	1770 (257)	1640 (238)	8	38	510
	TyR	315 (600)	1550 (225)	1430 (208)	9	43	445
	TyR	425 (800)	1250 (181)	1140 (165)	13	49	370
	TyR	540 (1000)	951 (138)	834 (121)	18	58	285
	TyR	650 (1200)	758 (110)	655 (95)	22	63	230
	Normalizado	870 (1600)	1020 (148)	655 (95)	18	47	302
	Recocido	815 (1500)	655 (95)	417 (61)	26	57	197
4340	TyR	315 (600)	1720 (250)	1590 (230)	10	40	486
	TyR	425 (800)	1470 (213)	1360 (198)	10	44	430
	TyR	540 (1000)	1170 (170)	1080 (156)	13	51	360
	TyR	650 (1200)	965 (140)	855 (124)	19	60	280

ANEXO D: RESISTENCIA A LA TRACCIÓN Y FLUENCIA ACERO AISI 1020

1	2	3	4	5	6	7	8
UNS núm.	SAE y/o AISI núm.	Proce- samiento	Resistencia a la tensión, MPa (kpsi)	Resistencia a la fluencia, MPa (kpsi)	Elongación en 2 pulg. %	Reducción en área, %	Dureza Brine
G10060	1006	HR	300 (43)	170 (24)	30	55	86
		CD	330 (48)	280 (41)	20	45	95
G10100	1010	HR	320 (47)	180 (26)	28	50	95
		CD	370 (53)	300 (44)	20	40	105
G10150	1015	HR	340 (50)	190 (27.5)	28	50	101
		CD	390 (56)	320 (47)	18	40	111
G10180	1018	HR	400 (58)	220 (32)	25	50	116
		CD	440 (64)	370 (54)	15	40	126
G10200	1020	HR	380 (55)	210 (30)	25	50	111
		CD	470 (68)	390 (57)	15	40	131

ANEXO E: DIMENSIONES DE LA CHAVETA

b	2	3	4	5		6		8		10	
h	2	3	4	3	5	4	6	5	7	6	8
	06	06	08	12	10	14	•10	18	•12	22	•14
	08	08	10	14	12	16	•12	20	•14	25	•15
	10	10	12	16	14	18	14	22	•15	28	•16
	12	12	14	18	•15	20	•15	25	•16	32	•18
	14	14	•15	20	16	22	16	28	18	36	•20
	•15	•15	16	22	18	25	18	32	20	40	22
	16	16	18	25	20	28	20	36	22	45	25
	18	18	20	28	22	32	22	40	25	50	28
	20	20	22	32	25	36	25	45	28	56	•30
	•22	22	25	36	28	40	28	50	•30	63	32
	•25	25	28	40	•30	45	•30	56	32	70	•35
	•28	28	•30	45	32	50	32	63	•35	80	36

ANEXO F: PROPIEDADES DE DIVERSOS MATERIALES

<i>Material de fricción</i>	<i>Material de fricción</i>		<i>Rango de presión</i>	
	<i>En seco</i>	<i>En aceite</i>	<i>(psi)</i>	<i>(kPa)</i>
Compuestos moldeados	0.25-0.45	0.06-0.10	150-300	1 035-2 070
Materiales tejidos	0.25-0.45	0.08-0.10	50-100	345-690
Metal sinterizado	0.15-0.45	0.05-0.08	150-300	1 035-2 070
Corcho	0.30-0.50	0.15-0.25	8-15	55-100
Madera	0.20-0.45	0.12-0.16	50-90	345-620
Hierro fundido	0.15-0.25	0.03-0.06	100-250	690-1 725
Con base de papel	—	0.10-0.15	—	—
Grafito/resina	—	0.10-0.14	—	—

ANEXO G: CONSTANTE DE AVELLANDO PARA LA MATRIZ PLANA

<i>Constantes para los ángulos de avellanado de los orificios de la matriz</i>			
Para un ángulo entre 50° y 60°		Para un ángulo entre 30° y 45°	
a	0.8 – 0.9	a	0.7 – 0.78
b	1.2 – 1.5	b	1 – 1.1

ANEXO H: ESFUERZO DE FLUENCIA

Material	Módulo de Young E [GPa]	Tensión de Fluencia σ_F [Mpa]	Módulo de Corte G [Gpa]	Módulo de Volumen K [Gpa]	$\alpha \times 10^6$ Coef. Exp. [1/°C]	μ Coef. Poiss.
Hierro Colado	100		40	90		
Hierro	150-170	180	60	120	11.7	
Acero Inox.	195	550			17.3	0.24 0.28
Acero	200		80	140		0.25 0.30
Latón	100		35	80		0.32 0.42
Aluminio	70		25	70	21.0	0.32 0.36
Cobre	110-120	300	38	120	16.5	0.33
Níquel	204	460			13.3	
Bronce	90					
Plata	82.7					0.37
Concreto	20 (compresión)	5-35 (compresión)			11.7	0.1 0.15
Vidrio	48-78					0.2 0.3
Mármol	50			70		0.10 0.15
Granito	52	5-145 (tracc-comp)				
Madera, pino	1 a 10	40 – 80				
Madera, roble	11	117-59 (tracc-comp)				
Nylon	5	40-100				0.35
Hueso de extremidades	15	160-170 (tracc-comp)				

ANEXO I: DENSIDADES DE DIVERSOS MATERIALES

Substancia	Densidad kg/m ³	Substancia	Densidad kg/m ³
Aceite	920	Iridio	22500
Aceite	920	Madera (pino)	700
Aceite	920	Magnesio	1740
Aceite	920	Mercurio	13580
Agua (4 °C)	1000	Nieve compactada	300
Agua de mar	1027	Niquel	8900
Agujero negro (valor teórico)	4×10 ¹⁷	Núcleo interno terrestre	13000
Aire (25 °C, 1 atm)	1,184	Núcleo atómico	2,3×10 ¹⁷
Alcohol etílico	780	Núcleo del Sol (aprox.)	150000
Aluminio	2700	Oro	19300
Carbono	2260	Osmio	22610
Caucho	950	Plata	10490
Cinc	7140	Platino	21450
Cobalto	8900	Plomo	11340
Cobre	8940	Poliuretano rígido	35
Cuerpo humano	950	Sangre	1500
Diamante	3515	Sol	1411
Estaño	7310	Tántalo	16650
Estrella de neutrones (máx.)	1×10 ¹⁸	Tierra (planeta)	5515
Gasolina	680	Torio	11724
Glicerina (glicerol)	1261	Uranio	19100
Helio	0,18	Vanadio	6110
Hielo	920	Vidrio	2500
Hierro	7870	Wolframio	19250
Hormigón	2400		
Litio	534		