



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**Diseño e implementación de una máquina compactadora de postes de hormigón “Alambrado”
aplicable a la fábrica Jesús del Gran Poder para la optimización de producción.**

Aldas Palacios, Adrian Giovanny y Toapaxi Quispe, Luís Eduardo

Departamento de Eléctrica y Electrónica

Carrera de Ingeniería en Electromecánica

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniería en Electromecánica

Ing. Manjarrés Arias, Felix Xavier MSc.

7 de Febrero del 2023

Latacunga

COPYLEAKS

TESIS_2.pdf

Scanned on: 23:0 February 7, 2023 UTC



Overall similarity score



Results found



Total words in text

	Word count
Identical	657
Minor Changes	446
Paraphrased	1432
Omitted	5934

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Felix Manjarrés Arias".

Ing. Félix Javier Manjarrés Arias M. Sc.
C.C.: 0501987416
ID: L00013633



Departamento de Eléctrica y Electrónica

Carrera de Ingeniería Electromecánica

Certificación

Certifico que el trabajo de titulación: **“Diseño e implementación de una máquina compactadora de postes de hormigón “Alambrado” aplicable a la fábrica Jesús del Gran Poder para la optimización de producción”** fue realizado por los señores **Aldas Palacios, Adrian Giovanny y Toapaxi Quispe, Luis Eduardo**; el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Latacunga, 07 de febrero de 2023

Ing. Manjarrés Arias, Felix Javier M.Sc.

C. C.:0502527039

DIRECTOR DEL PROYECTO



Departamento de Eléctrica y Electrónica
Carrera de Ingeniería Electromecánica

Responsabilidad de Autoría

Nosotros, **Aldas Palacios, Adrian Giovanny y Toapaxi Quispe, Luis Eduardo**, con cédulas de ciudadanía n°1803781424 y 1804568416, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **"Diseño e implementación de una máquina compactadora de postes de hormigón "Alambrado" aplicable a la fábrica Jesús del Gran Poder para la optimización de producción"** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 07 de febrero de 2023

Aldas Palacios, Adrian Giovanny

C.C.: 1803781424

Toapaxi Quispe, Luis Eduardo

C.C.: 1804568416



Departamento de Eléctrica y Electrónica

Carrera de Ingeniería Electromecánica

Autorización de Publicación

Nosotros **Aldas Palacios, Adrian Giovanni y Toapaxi Quispe, Luis Eduardo**, con cédulas de ciudadanía n°1803781424 y 1804568416, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **"Diseño e implementación de una máquina compactadora de postes de hormigón "Alambrado" aplicable a la fábrica Jesús del Gran Poder para la optimización de producción"** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Latacunga, 07 de febrero de 2023

Aldas Palacios, Adrian Giovanni

C.C.: 1803781424

Toapaxi Quispe, Luis Eduardo

C.C.: 1804568416

Dedicatoria

El presente trabajo de titulación, va dedicado en primer lugar a Dios, quien me ha llenado de bendiciones, brindándome de fortalezas como paciencia, fuerza e inspiración para superar cada obstáculo presente en mi camino, cumpliendo cada uno de mis sueños y metas. Me ha permitido compartir mis logros y fracasos con las personas que más apreció.

Se lo dedico a mi familia que son mi fuente de apoyo incondicional en cada uno de los procesos que he transcurrido en lo personal como en lo académico, permitiéndome cumplir con cada uno de mis objetivos, siempre estaré agradecidos con ellos, por todo su sacrificio y momentos que hemos pasado en todo este tiempo, con el fin de cumplir nuestras aspiraciones en la vida como familia.

A mi grupo de amigos y compañeros de carrera que han sido las amistades más gratas que he conocido, a todo el equipo docente que fueron parte importante de mi proceso como profesional y personal.

Giovanny Aldas

Dedicatoria

Dedico este trabajo de titulación, a Dios por haberte dado la salud, la fuerza y perseverancia para poderlo culminar con mi formación superior, a su vez por mantenerme en la lucha de conseguir mi meta y no abandonarme ante las adversidades que surgieron durante mi vida académica.

También se lo dedico a mis padres por ser el pilar y el apoyo incondicional desde el inicio hasta el final, por no abandonarme ante fracasos y errores que surgieron durante toda mi formación académica y por ser quienes siempre estuvieron ahí para poder cumplir con mi objetivo.

A mi esposa y a mis hijas quienes fueron mi mayor inspiración para seguir adelante, por enseñarme a ser la persona que soy, perseverante y responsable y por todo el amor que me dan sin pedir nada a cambio.

A mis amigos y compañeros de clase quienes me brindaron su amistad y apoyo moral y a todos los docentes de la carrera que supieron brindarme su conocimiento y formarme como profesional.

Luis Toapaxi

Agradecimiento

Agradezco a Dios, por brindarme la fuerza necesaria para superar las dificultades, por brindarme los momentos más maravillosos de la vida junto a mi familia, por ser parte de mi educación como persona, inculcados desde pequeño y acompañarme en el transcurso de mi formación profesional.

A mis amigos, por ser los cómplices de grandes aventuras, brindándome de apoyo en los momentos difíciles y buenos de la vida.

Al Ingeniero Félix Manjarrés, por brindarnos de su conocimiento como profesional y personal para la elaboración del proyecto de titulación.

A la fábrica “Jesús del Gran Poder”, por la disposición de sus instalaciones para generar nuevos proyectos que benefician al desarrollo económico de los pequeños productos de prefabricados de hormigón de la parroquia de Cunchibamba- Cantón Ambato- Provincia de Tungurahua.

Giovanny Aldas

Agradecimiento

En primera instancia agradezco a Dios, por haberme dado la sabiduría y la capacidad para poder formarme como profesional, por regalarme su bendición en cada ciclo académico y por enseñarnos que con la fe y paciencia se puede lograr todo.

Agradezco a mis padres por ser la fuente de impulso para cumplir mis sueños y por estar junto a mí en el trascurso de los días arduos de estudio, siempre serán mi mejor ejemplo a seguir.

A mi esposa por ser la persona que nunca dejo de creer en mí con su apoyo, amor y palabras de aliento hizo que cumpla esta meta.

A mi tutor de tesis el Ingeniero Félix Manjarrés, por su distinguido trabajo y conocimiento como docente, por su paciencia y tolerancia durante el término de este trabajo de titulación.

Finalmente agradezco a la fábrica "Jesús del Gran Poder", por abrirnos las puertas y darnos la confianza de trabajar dentro de sus instalaciones a fin de culminar con este trabajo de titulación en beneficio de la misma.

Luis Toapaxi

ÍNDICE DE CONTENIDO

Caratula.....	1
Reporte de verificación de contenido	2
Certificación.....	3
Responsabilidad de autoría	4
Autorización de publicación	5
Dedicatoria.....	6
Dedicatoria.....	7
Agradecimiento.....	8
Agradecimiento.....	9
Índice de contenido	10
Índice de tablas.....	15
Índice de figuras.....	17
Índice de ecuaciones	22
Resumen.....	24
Abstract.....	25
Capítulo I: Marco metodológico de la investigación	26
Planteamiento del problema	26
Antecedentes.....	26
Justificación e importancia	27
Objetivos	29
<i>Objetivo General</i>	29
<i>Objetivos Específicos</i>	29
Capítulo II: Marco teórico	30
Antecedentes Investigativos.....	30
Fundamentación teórica.....	33

<i>Prefabricados de hormigón</i>	33
<i>Origen del prefabricado de hormigón armado</i>	33
<i>Hormigón armado</i>	35
<i>Componentes del prefabricado de hormigón</i>	36
<i>Tipos de hormigón</i>	38
<i>Ventajas y desventajas de los sistemas prefabricados</i>	40
<i>Procesos de fabricación de los prefabricados de hormigón</i>	42
<i>Clasificación de los prefabricados de hormigón</i>	44
<i>Mecanismos de compactación de postes de hormigón</i>	45
<i>Compactación tradicional</i>	45
<i>Compactadora automática</i>	46
Formaletas o moldes.....	47
Componentes y características de la máquina compactadora de postes de hormigón.....	48
<i>Perfiles estructurales</i>	48
<i>Estructura o armazón</i>	50
<i>Sujetadores</i>	51
<i>Resortes</i>	59
<i>Chumacera</i>	60
<i>Rodamientos</i>	62
<i>Eje y flecha</i>	65
<i>Sistemas de transmisión de potencia</i>	66
Motor eléctrico.....	67
Control eléctrico.....	69
Fusible.....	70
Disyuntor.....	71
Contacto.....	72
Variador de frecuencia.....	73
Dispositivos de mando y señalización.....	74
Normativas existentes.....	77
Sistema para prefabricados de hormigón.....	79
Ventajas de los sistemas para prefabricados de hormigón.....	87

Capítulo III:Diseño y construcción de la máquina compactadora de postes de hormigón.....	88
Análisis de la producción y entorno.	88
<i>Formato de la encuesta</i>	88
Tamaño de los postes de hormigón para alambrado	90
Recolección de datos.....	91
Análisis de factibilidad de implementación	92
Despliegue de función de la calidad	98
<i>Voz del usuario</i>	99
<i>Voz del ingeniero</i>	103
<i>Competencia</i>	104
<i>Casa de la calidad</i>	105
<i>Resultados de la casa de la calidad</i>	106
<i>Especificaciones técnicas</i>	109
<i>Análisis Funcional</i>	111
<i>Matriz morfológica</i>	113
Planteamiento de las alternativas de solución.....	116
<i>Alternativa 1</i>	116
<i>Alternativa 2</i>	116
<i>Alternativa 3</i>	117
Selección de la alternativa adecuada	117
Análisis del entorno de cargas	126
<i>Masa de hormigón a compactar sobre la plataforma vibrante</i>	126
<i>Cálculo del hormigón compactado (poste) en base a la capacidad</i>	127
<i>Masa de la plataforma vibrante</i>	127
Cálculo de la masa de la excéntrica	128
<i>Estudio de la fuerza vibratoria vertical</i>	128
<i>Estimaciones de diseño para el cálculo de la masa excéntrica</i>	132
Cargas radiales sobre el eje	138
Inercia de los componentes	142
<i>Inercia del eje de transmisión de entrada y de salida</i>	142
<i>Inercia del eje de transmisión central</i>	143

<i>Inercia de las masas excéntricas</i>	143
<i>Inercia de la polea</i>	145
<i>Inercia total</i>	146
Potencia del motor.....	147
<i>Aceleración angular</i>	147
<i>Torque</i>	147
<i>Potencia requerida del motor</i>	148
<i>Par real</i>	149
Diseño de eje	150
<i>Resistencia a la fatiga</i>	153
<i>Factores que modifican el límite de resistencia a la fatiga</i>	153
Factor de superficie [k_a]	154
Factor de tamaño [k_b]	154
Factor de carga [k_c]	155
Factor de temperatura [k_d]	155
Factor de confiabilidad [k_e]	156
<i>Análisis de concentración de esfuerzos</i>	157
Concentración de esfuerzos para flexión:.....	157
Concentración de esfuerzos para torsión	159
Sistema de transmisión	161
<i>Transmisión por bandas</i>	161
Especificaciones del motor	162
Cálculo de los diámetros de polea	164
Longitud de la banda.....	166
Distancia entre centros de las bandas.....	166
Distancia entre centros real.....	167
Angulo de contacto	167
Número de bandas.....	168
Velocidad de la banda	171
Tensión inicial de la banda	171
Factor de seguridad en banda.....	172

Selección de los rodamientos	173
Diseño de chaveta	175
Diseño de componentes eléctricos.....	176
<i>Selección del variador de frecuencia</i>	177
<i>Selección del Disyuntor</i>	178
<i>Sistema eléctrico</i>	179
Modelado 3D de la máquina compactadora de postes de hormigón (alambrado).....	181
Análisis y validación computacional por el método de elementos finitos (MEF).....	185
<i>Análisis por el método de elementos finitos (MEF) de la estructura</i>	187
Estructura inferior.....	188
Estructura superior	193
<i>Análisis por el método de elementos finitos (MEF) para el molde o formaleta</i>	197
<i>Análisis por el método de elementos finitos (MEF) para la plancha de acero</i>	200
<i>Análisis por el método de elementos finitos (MEF) para contenedor de material no compactado</i>	204
<i>Análisis por el método de elementos finitos (MEF) para el resorte helicoidal</i>	206
<i>Análisis por el método de elementos finitos (MEF) para el eje de transmisión</i>	210
Implementación y construcción de la máquina.....	214
Capítulo IV: Resultado de la investigación	229
Simulación computacional del funcionamiento de la máquina compactadora de postes .	229
<i>Análisis con los resultados obtenidos en simulación con el software Altair Student Edition</i>	233
Validación de funcionamiento de la máquina compactadora de postes de hormigón	238
Protocolo de pruebas de la máquina compactadora	244
Formato para el protocolo de pruebas	246
Capitulo V:Conclusiones y recomendaciones	249
Conclusiones	249
Recomendaciones	250
Bibliografía	252
ANEXOS.....	260

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	<i>Componentes para la fabricación de hormigón.....</i>	36
Tabla 2	<i>Pasos para conseguir mayor resistencia.....</i>	37
Tabla 3	<i>Tipos de hormigón.....</i>	39
Tabla 4	<i>Ventajas del prefabricado de hormigón.....</i>	41
Tabla 5	<i>Desventajas del prefabricado de hormigón.....</i>	42
Tabla 6	<i>Etapas para el proceso de fabricación de los prefabricados de hormigón.....</i>	43
Tabla 7	<i>Materiales y consideraciones de los moldes de prefabricados de hormigón.....</i>	47
Tabla 8	<i>Perfiles estructurales de acero.....</i>	48
Tabla 9	<i>Elementos que caracterizan una estructura metálica.....</i>	50
Tabla 10	<i>Estilos de cabeza hueca con capucha.....</i>	53
Tabla 11	<i>Tipo de ensamble.....</i>	54
Tabla 12	<i>Tipos de tuercas hexagonales.....</i>	56
Tabla 13	<i>Tipos de tuercas.....</i>	57
Tabla 14	<i>Tipos de arandelas.....</i>	58
Tabla 15	<i>Clasificación general de los resortes.....</i>	59
Tabla 16	<i>Tipos de chumaceras.....</i>	61
Tabla 17	<i>Tipos de cojinetes.....</i>	63
Tabla 18	<i>Tipos de sistemas de transmisión de potencia.....</i>	66
Tabla 19	<i>Ventajas y desventajas de los motores eléctricos.....</i>	68
Tabla 20	<i>Tipos de control de un motor o máquina.....</i>	69
Tabla 21	<i>Dispositivos de mando y señalización.....</i>	75
Tabla 22	<i>Normativas existentes para la maquinaria.....</i>	77
Tabla 23	<i>Métodos de compactación de hormigón.....</i>	81
Tabla 24	<i>Clasificación de mesas vibro-compactadoras.....</i>	83
Tabla 25	<i>Clasificación de plataformas vibrantes.....</i>	85
Tabla 26	<i>Longitudes de los diferentes tipos postes de hormigón.....</i>	90
Tabla 27	<i>Precio de valor unitario por poste según fabricante o proveedor.....</i>	93
Tabla 28	<i>La voz del ingeniero.....</i>	103
Tabla 29	<i>Características de maquinas compactadoras de dos marcas diferentes.....</i>	104
Tabla 30	<i>Requisitos del cliente.....</i>	106
Tabla 31	<i>Requerimientos funcionales.....</i>	107

Tabla 32	<i>Especificaciones técnicas para el diseño del sistema compactador de postes de hormigón.....</i>	109
Tabla 33	<i>Subfunciones de la máquina compactadora de postes de hormigón (alambrado)</i>	113
Tabla 34	<i>Construcción de la matriz morfológica</i>	115
Tabla 35	<i>Método ordinal corregido de criterios ponderados</i>	118
Tabla 36	<i>Evaluación de las soluciones con respecto a tipo del sistema vibrador.</i>	120
Tabla 37	<i>Evaluación de las soluciones con respecto a la velocidad de compactación.</i>	120
Tabla 38	<i>Evaluación de las soluciones con respecto a la rapidez de elaboración del producto.....</i>	121
Tabla 39	<i>Evaluación de las soluciones con respecto al dimensionamiento de la máquina... ..</i>	121
Tabla 40	<i>Evaluación de las soluciones con respecto a la automatización del sistema.</i>	122
Tabla 41	<i>Evaluación de las soluciones con respecto al ruido.....</i>	122
Tabla 42	<i>Evaluación de las soluciones con respecto a la geometría elemental.....</i>	122
Tabla 43	<i>Evaluación de las soluciones con respecto a la movilidad de la máquina.</i>	123
Tabla 44	<i>Evaluación de las soluciones con respecto a la consistencia de los materiales.</i>	123
Tabla 45	<i>Evaluación de las soluciones con respecto a materiales económicos.</i>	124
Tabla 46	<i>Evaluación total y selección de la solución.</i>	124
Tabla 47	<i>Ponderaciones de la dimensión de la excéntrica</i>	136
Tabla 48	<i>Dimensiones de la excéntrica</i>	137
Tabla 49	<i>Esfuerzo máximo permisible en bandas tipo V</i>	172
Tabla 50	<i>Especificaciones técnicas del interruptor termomagnético</i>	179
Tabla 51	<i>Calidad de mallado en función de Orthogonal Quality</i>	186
Tabla 52	<i>Factores de seguridad para materiales dúctiles</i>	186
Tabla 53	<i>Cargas de la estructura inferior</i>	189
Tabla 54	<i>Cargas de la estructura superior.....</i>	194
Tabla 55	<i>Propiedades mecánicas de acero AISI 1045 y 1020</i>	210
Tabla 56	<i>Parámetros de aprobación</i>	242
Tabla 57	<i>Protocolo de pruebas-Maquina compactadora</i>	245
Tabla 58	<i>Máquina compactadora-Formato del protocolo de pruebas.....</i>	246

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Prefabricados de hormigón	33
Figura 2 Hormigón armado	34
Figura 3 Hormigón armado desnudo	35
Figura 4 Clasificación de los prefabricados de hormigón	45
Figura 5 Proceso de compactación de postes manual	46
Figura 6 Proceso de compactación automática de hormigón	46
Figura 7 Estilos de cuerdas en tornillos	52
Figura 8 Tipos de tornillos ranurados	52
Figura 9 Ensamble de perno y tuerca en tensión y en pre-tensión.	55
Figura 10 Aplicaciones de rodamientos en maquinaria	62
Figura 11 Clasificación de cojinetes de bola y de empuje	64
Figura 12 Clasificación de cojinetes de rodillos y de empuje	64
Figura 13 Eje con sección transversal circular	65
Figura 14 Sistema transferidor de movimiento de un elevador de carga industrial.....	68
Figura 15 Fusible.....	71
Figura 16 Interruptor automático o magnetotérmico	72
Figura 17 Contactor (siemens ag)	73
Figura 18 Variador de frecuencia.....	74
Figura 19 Sistema vibratorio comercial	80
Figura 20 Mecanismo de evacuación del prefabricado.....	86
Figura 21 Crecimiento porcentual de los índices de producción anual	92
Figura 22 Ventas en el sector de la construcción 2011 - 2020	95
Figura 23 Población ocupacional según rama de actividad nacional.....	96
Figura 24 Empresas de la región sierra asociadas al sector de la construcción	97
Figura 25 Población económicamente activa asociada al sector de la construcción	98
Figura 26 Forma de compactar los postes de hormigón	99
Figura 27 Calidad de un poste de hormigón fabricado de forma automática versus manual.	100
Figura 28 Expectativas a considerar para implementar la máquina compactadora de postes de hormigón	101

Figura 29 Casa de la calidad para el diseño e implementación de una máquina compactadora de postes de hormigón	105
Figura 30 Diagrama funcional de la máquina compactadora de hormigón	112
Figura 31 Diagrama de subfunciones de la máquina compactadora de postes	113
Figura 32 Flujograma general del proceso de alternativa seleccionada	125
Figura 33 Subsistemas del proceso	126
Figura 34 Sistema de vibración de la máquina	129
Figura 35 Diagrama de cuerpo libre vibración vertical	129
Figura 36 Relación de frecuencias	133
Figura 37 Resorte diseño solidworks.....	135
Figura 38 Geometría y dimensiones de excéntrica	138
Figura 39 Fuerzas ante cargas en los rodamientos	139
Figura 40 Diagrama de las cargas actuantes en el eje.....	140
Figura 41 Diagrama de fuerzas cortantes y momentos flectores del eje	140
Figura 42 Cilindro sólido (eje de transmisión)	142
Figura 43 Variables de las excéntricas para el momento de inercia según steiner	144
Figura 44 Momento de inercia de la polea mediante solidworks	146
Figura 45 Sistema de trasmisión de la máquina	151
Figura 46 Reacciones y momentos del eje	152
Figura 47 Tabla de factor de superficie $[k_a]$	154
Figura 48 Tabla para determinar el factor de temperatura	156
Figura 49 Tabla de factor de confiabilidad	156
Figura 50 Concentración de esfuerzos para eje redondo con filete en el hombro en flexión.....	158
Figura 51 Concentración de esfuerzos para eje redondo con filete en el hombro en torsión..	160
Figura 52 Factor de servicio para bandas en v	162
Figura 53 Gráfico para la selección de bandas tipo v industriales	164
Figura 54 Potencia básica de las correas trapezoidal estándar simples	169
Figura 55 Longitudes estándar del punto de referencia de la correa trapezoidal l_d frente a los factores de corrección de la longitud K_L	170
Figura 56 Duración recomendada para rodamientos	174

Figura 57	<i>Cuñas estándar en medidas estadounidenses y métricas de ejes</i>	176
Figura 58	<i>Placa del motor trifásico WEG MOD.TE1BFOXO#</i>	177
Figura 59	<i>Variador de frecuencia weg cfw100</i>	178
Figura 60	<i>Diagrama de conexión eléctrica del variador de frecuencia-weg</i>	180
Figura 61	<i>Diagrama de funcionamiento por medio del software CADe_SIMU</i>	181
Figura 62	<i>Variación de la frecuencia mediante botones pulsantes</i>	181
Figura 63	<i>Vista isométrica de la máquina compactadora de postes de hormigón</i>	182
Figura 64	<i>Vista isométrica de la máquina compactadora de postes de hormigón</i>	183
Figura 65	<i>Vista isométrica lateral de la máquina compactadora de postes de hormigón</i>	183
Figura 66	<i>Vista isométrica de la máquina compactadora de postes de hormigón</i>	184
Figura 67	<i>Vista frontal de la máquina compactadora de postes de hormigón</i>	184
Figura 68	<i>Vista frontal posterior de la máquina compactadora de postes de hormigón</i>	185
Figura 69	<i>Diagrama estructural inferior unifilar</i>	188
Figura 70	<i>Diagrama estructural superior unifilar</i>	188
Figura 71	<i>Perfiles asignados a la estructura inferior</i>	189
Figura 72	<i>Ubicación de las cargas que soporta la estructura inferior</i>	190
Figura 73	<i>Desplazamientos en la estructura inferior</i>	191
Figura 74	<i>Esfuerzos principales máximos en la estructura</i>	192
Figura 75	<i>Perfiles asignados a la estructura superior</i>	193
Figura 76	<i>Las cargas que soportan la estructura superior</i>	195
Figura 77	<i>Desplazamiento en la estructura inferior</i>	195
Figura 78	<i>Esfuerzos principales máximos en la estructura</i>	196
Figura 79	<i>Malla en el molde</i>	198
Figura 80	<i>Deformación total del molde</i>	198
Figura 81	<i>Esfuerzo máximo según Von-Misses en el molde</i>	199
Figura 82	<i>Factor de seguridad del molde</i>	200
Figura 83	<i>Malla de la plancha de acero</i>	201
Figura 84	<i>Carga sometida en la plancha de acero</i>	201
Figura 85	<i>Deformación total de la plancha de acero</i>	202
Figura 86	<i>Esfuerzo máximo según Von-Misses en la plancha de acero</i>	202
Figura 87	<i>Factor de seguridad de la plancha de acero</i>	203
Figura 88	<i>Malla en el contenedor de material no compactado</i>	204

Figura 89 <i>Deformación total del contenedor de material no compactado</i>	205
Figura 90 <i>Esfuerzo máximo según Von-Misses en el contenedor de material no compactado</i>	205
Figura 91 <i>Factor de seguridad en el contenedor de material no compactado</i>	206
Figura 92 <i>Malla en el resorte helicoidal</i>	207
Figura 93 <i>Fuerza sobre el resorte helicoidal</i>	208
Figura 94 <i>Deformación total del resorte helicoidal</i>	208
Figura 95 <i>Esfuerzo máximo según von-misses para el resorte helicoidal</i>	209
Figura 96 <i>Mallado del eje</i>	211
Figura 97 <i>Fuerzas y momentos en el eje de transmisión</i>	212
Figura 98 <i>Desplazamiento total del eje de transmisión</i>	212
Figura 99 <i>Esfuerzo máximo presente en el eje de transmisión</i>	213
Figura 100 <i>Factor de seguridad para el eje</i>	214
Figura 101 <i>Tubos cuadrados cortados a diferente medida</i>	215
Figura 102 <i>Ensamble y soldado de la estructura superior de la máquina</i>	216
Figura 103 <i>Ensamble y soldado de la estructura inferior de la máquina</i>	216
Figura 104 <i>Pulido y remoción de exceso de soldadura</i>	217
Figura 105 <i>Ensamble final de la estructura superior</i>	217
Figura 106 <i>Ensamble final de la estructura inferior</i>	218
Figura 107 <i>Orificios pasantes en la plancha de acero</i>	218
Figura 108 <i>Mecanizado de orificios en la estructura inferior y superior</i>	219
Figura 109 <i>Ensamble de las dos estructuras mecánicas de la máquina</i>	219
Figura 110 <i>Mecanizado del eje</i>	220
Figura 111 <i>Soldadura de contorno alrededor del eje</i>	220
Figura 112 <i>Mecanizado de excéntricas y polea</i>	221
Figura 113 <i>Eje mecanizado más sus componentes (excéntricas y polea)</i>	221
Figura 114 <i>Soldadura y ensamble del eje más sus componentes a la plataforma vibrante</i>	222
Figura 115 <i>Ensamble de los tres mecanismos de la máquina</i>	222
Figura 116 <i>Armado del tablero de control</i>	223
Figura 117 <i>Posicionamiento de la máquina compactadora de postes de hormigón</i>	224
Figura 118 <i>Empleo de la pintura anticorrosiva Durapox en la estructura inferior</i>	224
Figura 119 <i>Empleo de la pintura anticorrosiva Durapox en la plataforma vibrante</i>	225

Figura 120 Empleo de la pintura azul en la estructura inferior y la plataforma vibrante	226
Figura 121 Empleo de la pintura tomate sobre los accesorios que se anexan a la máquina compactadora de postes	226
Figura 122 Montaje de la máquina compactadora de postes de hormigón	227
Figura 123 Montaje de los moldes sobre la plataforma vibrante	227
Figura 124 Montaje final de la máquina compactadora de postes de hormigón	228
Figura 125 Partícula base modelo roca de ripio	230
Figura 126 Variación de medida y masa de la partícula roca	230
Figura 127 Máquina compactadora de postes de hormigón en archivo step	231
Figura 128 Configuración de la velocidad de giro del sistema de vibración de la máquina	232
Figura 129 Cantidad de masa que ingresa en el molde	232
Figura 130 Configuración del sistema de gravedad para el ingreso de materia	233
Figura 131 Simulación del llenado de la mezcla de hormigón dentro del molde	234
Figura 132 Distribución uniforme de la mezcla de hormigón dentro del molde	235
Figura 133 Mezcla de hormigón con consistencia compacta y llenado completo dentro del molde.....	235
Figura 134 Masa a compactar en función del tiempo	236
Figura 135 Mezcla acumulada en la PLATAFORMA VIBRANTE y en los contenedores	237
Figura 136 Colocación de la mezcla de hormigón dentro del molde	239
Figura 137 Proceso de distribución y moldeado uniforme de la mezcla de hormigón para la vibro compactación	240
Figura 138 Colocación del refuerzo del poste (varilla)	240
Figura 139 Producto fraguado y fuera del molde para su posterior secado	241
Figura 140 Producto final listo para su comercialización	241
Figura 141 Ingreso de la mezcla de hormigón en porciones de 0.31kg/s	243
Figura 142 Cumplimiento de la distribución de la mezcla de hormigón uniformemente a lo largo del molde	243
Figura 143 Producto vibro compactado de consistencia compacta.....	244

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 Frecuencia circular natural de vibración.....	130
Ecuación 2 Fuerza centrífuga	130
Ecuación 3 Amplitud de vibración (mm).....	130
Ecuación 4 Amplitud de vibración vertical (mm)	131
Ecuación 5 Ecuación adimensional	132
Ecuación 6 Amplitud de vibración en función de la relación de frecuencias.	132
Ecuación 7 Constante elástica en sentido vertical (kgf/cm).....	134
Ecuación 8 Constante elástica por resorte.....	134
Ecuación 9 Deflexión estática (mm)	134
Ecuación 10 Inercia de cilindros sólidos y huecos (Kg.m ²)	142
Ecuación 11 Inercia del Teorema de Steiner (Kg.m ²)	145
Ecuación 12 Aceleración angular (rad/s ²).....	147
Ecuación 13 Torque (Nm)	148
Ecuación 14 Potencia del motor (W).....	148
Ecuación 15 Relación de torque (Nm).....	151
Ecuación 16 Ecuaciones para límites de resistencia a la fatiga	153
Ecuación 17 Ecuación de Marin para limite a la fatiga.....	153
Ecuación 18 Factor de superficie	154
Ecuación 19 Factor de modificación de tamaño	155
Ecuación 20 Factor de carga	155
Ecuación 21 Factor de temperatura	156
Ecuación 22 Esfuerzo del eje redondo con filete en el hombro en flexión.....	158
Ecuación 23 Inercia de circulo (Kg.m ²).....	158
Ecuación 24 Esfuerzo de eje redondo con filete en el hombro en torsión	160
Ecuación 25 Momento de inercia polar de circulo	160
Ecuación 26 Ecuación del factor de seguridad.....	161
Ecuación 27 Potencia de diseño	163
Ecuación 28 Relación de velocidades angulares y diámetros	165
Ecuación 29 Distancia nominal en centros de polea.....	165

Ecuación 30 <i>Longitud de paso</i>	166
Ecuación 31 <i>Distancia entre centros de banda</i>	167
Ecuación 32 <i>Distancia real entre centros (mm)</i>	167
Ecuación 33 <i>Ángulo de contacto en la polea pequeña (grados)</i>	168
Ecuación 34 <i>Número de correas</i>	168
Ecuación 35 <i>Velocidad de la banda (m/s)</i>	171
Ecuación 36 <i>Tensión inicial de banda (N)</i>	172
Ecuación 37 <i>Factor de seguridad en bandas de transmisión</i>	173
Ecuación 38 <i>Capacidad de carga dinámica del rodamiento</i>	173
Ecuación 39 <i>Número de revoluciones de diseño para rodamientos (10^6)</i>	174
Ecuación 40 <i>Condición de funcionamiento de un dispositivo de protección</i>	178
Ecuación 41 <i>Deflexión (mm)</i>	191
Ecuación 42 <i>Factor de seguridad</i>	192

Resumen

El diseño e implementación de un modelo de máquina compactadora de postes de hormigón tiene como finalidad incrementar la producción, satisfacer con la demanda de la empresa y reducir tiempos de producción. Para las exigencias y necesidades requeridas por el usuario se aplica la ingeniería concurrente, mientras que para determinar los parámetros de diseño se aplica encuestas, con el propósito de obtener información y criterios de selección en cuanto a materiales, implementos y procesos de manufactura que garanticen con los requerimientos de la empresa. Mediante el Diseño Asistido por Computador (CAD) se obtiene los parámetros necesarios de diseño e implementación de la máquina, entre ellos las dimensiones geométricas, la capacidad y la adecuada distribución de sus mecanismos a ensamblar. Con el uso de la Ingeniería Asistida por Computador (CAE) se analiza el comportamiento de las cargas, el rendimiento de la estructura y sus mecanismos de forma estática. Por medio de la automatización se mejora el proceso de producción ahorrando recursos económicos, materiales y mano de obra, este proceso se opera desde un tablero de control, mismo que se compone de un variador de frecuencia que actúa sobre la velocidad del motor eléctrico, garantizando el correcto funcionamiento de la plataforma vibrante y la calidad de producto.

Palabras claves: compactación, vibración, variador de frecuencia

Abstract

The design and implementation of a concrete post compactor machine model has the purpose of increasing production, satisfying the company's demand and reducing production times. For the demands and needs required by the user, concurrent engineering is applied, while to determine the design parameters, surveys are applied, with the purpose of obtaining information and selection criteria in terms of materials, implements and manufacturing processes that guarantee with the company's requirements. Through Computer Aided Design (CAD) the necessary parameters for the design and implementation of the machine are obtained, among them the geometric dimensions, the capacity and the adequate distribution of its mechanisms to be assembled. With the use of Computer Aided Engineering (CAE) the behavior of the loads, the performance of the structure and its mechanisms are analyzed statically. Through automation, the production process is improved, saving economic resources, materials and labor, this process is operated from a control panel, which is made up of a frequency inverter that acts on the speed of the electric motor, guaranteeing the proper functioning of the vibrating platform and the quality of the product.

Keywords: compaction, vibration, variable frequency drive

Capítulo I

Marco metodológico de la investigación

Planteamiento del problema

Actualmente en el Ecuador las provincias de Pichincha, Azuay, Cañar, Tungurahua, Cotopaxi y Guayas son las principales empresas distribuidoras de prefabricados de hormigón, por ser zonas que poseen la mayor concentración de materia prima como; el cemento y materiales pétreos, por consecuencia la parroquia de Cunchibamba es una zona aledaña a una de estas provincias mencionadas, con ello la fabricación y comercialización de este tipo de producto ha extendido su rentabilidad y accesibilidad de producción al beneficiarse con esta materia.

Los prefabricados de hormigón son derivados de material arenoso y rocoso, interiormente posee una estructura de soporte y por lo general sus dimensiones dependen de su aplicación y ubicación. La compactación de los postes de hormigón y afines se lo realiza manualmente provocando insatisfacción del operario debido al contacto directo con la materia prima, a pesar de usar los equipos de protección personal, existen varios factores como el tiempo y la demanda de producción que ocasiona desgaste físico y problemas en la salud.

Cabe indicar que el presente trabajo pretende brindar una solución para realizar la compactación de postes de hormigón para alambrado y afines, optimizando el tiempo de producción, precautelando la salud del personal y solventar las necesidades que demandan a la Fabrica Jesús del Gran Poder.

Antecedentes

El presente proyecto plantea poner en práctica la metodología de la ingeniería concurrente para el diseño de un sistema mecánico óptimo y de calidad, determinado los parámetros y requerimientos exactos para seleccionar la mejor alternativa en la construcción de la máquina

compactadora bajo el análisis de la voz cliente, con ello se tendrá un mecanismo pleno para la compactación de postes de hormigón, el cual permitirá elaborar productos de este tipo en el menor tiempo y beneficiar a las pequeñas y grandes empresas que necesiten consolidarse de manera económica y competitiva en los avances tecnológicos de la construcción. Para su efecto se tomará en cuenta los avances tecnológicos del mercado en máquinas - herramientas, se utilizará recursos computacionales y normativas vigentes para el diseño mecánico y eléctrico previo a su construcción.

Actualmente en el Ecuador la actividad en el sector de la construcción obliga a las industrias a desarrollar sistemas que mejoren la productividad del sector, pero debido a las altas inversiones y falta de presupuesto, el sector no desarrolla mayor avance tecnológico en sus procesos de construcción, varias fábricas a nivel nacional se singularizan por ser fabricas que elaboran y comercializan prefabricados de hormigón de forma manual, mismos que son distribuidos a nivel interno y nacional.

La máquina compactadora de prefabricados de hormigón es un modelo de la necesidad de avanzar en el sector de la construcción con nueva tecnología y nuevos mecanismos que facilitan procesos de construcción mediante habilidad ingenieril, con esto se intenta mejorar el incremento de producción, evitar los incumplimientos de entrega y emplear menores tiempos de fabricación.

Justificación e importancia

En la actualidad el crecimiento del sector de la construcción del país ha obligado a mejorar las estrategias de transformación tecnológica e industrial en maquinaria, equipo y recurso humano para lograr ventajas competitivas, en el Ecuador uno de los materiales predominantes utilizados en la construcción es el hormigón armado usado en un 79,6% para la construcción de

cimientos, un 92,7% para la construcción de estructuras y el 54,2% para la construcción de las cubiertas. El propósito del presente proyecto está aplicado a la etapa luego del dosificado y mezclado.

Las técnicas o metodologías de compactación que se utiliza en la mayoría de las empresas son manuales, este proceso causa desgaste físico postural del personal provocando una baja tasa en el incremento de producción. Es necesario recalcar que existen pocas empresas que se dedican a la fabricación de postes de hormigón, debido a que se requiere de cierta cantidad de mano de obra calificada y mayores tiempos de producción.

El presente proyecto propone el diseño e implementación de una máquina compactadora de postes de hormigón que satisfaga con los objetivos a plantearse e incrementar los ingresos a través de las ventas y servicios que prestan la empresa, por ende, lo más importante es que la maquinaria esté disponible a un costo accesible de fabricación.

Dentro del sector de la construcción existen varios temas que relacionan máquinas compactadoras de hormigón, aquí intervienen criterios dentro del campo estructural y funcional como el tamaño, el peso, el nivel de automatización, niveles de durabilidad y niveles de contaminación ambiental esto debido al ruido que pueda generar, pero el tema aún es relevante ya que el diseño e implementación de un sistema de compactación aplicable a la fábrica de bloques “Jesús del Gran Poder”, está encaminado a optimizar los niveles de producción y satisfacer las demandas internas de la provincia de Tungurahua, oportunamente se propone utilizar la metodología de ingeniería concurrente para garantizar diseños óptimos y eficientes para la fábrica.

Objetivos

Objetivo General

Diseñar e implementar una máquina compactadora de postes de alambrado en hormigón aplicable a la fábrica “Jesús Del Gran Poder” para la optimización de producción.

Objetivos Específicos

- Realizar una investigación de los diferentes modelos y alternativas de máquinas compactadora de postes de hormigón.
- Efectuar un análisis de factibilidad para la implementación de la máquina compactadora de postes de hormigón.
- Emplear una metodología de diseño para la máquina compactadora de postes de hormigón.
- Adquirir la documentación técnica y renderizados del sistema mediante software computacional CAD en 3D.
- Construir la máquina compactadora de postes de hormigón.
- Someter a la máquina compactadora a pruebas estandarizadas para la validación respectiva.

Capítulo II

Marco teórico

Antecedentes Investigativos

El trabajo de titulación “PROYECTO DE INVERSIÓN PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLANTA DE FABRICACIÓN DE POSTES DE HORMIGÓN ARMADO PARA SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA” (Villavicencio , 2014). El presente proyecto ha sido elaborado con la finalidad de establecer un nuevo plan en el mercado de consumo de postes de hormigón armado dentro del Austro Ecuatoriano, el mismo que permitirá a los profesionales de la ingeniería eléctrica y electrónica contar con una nueva opción para diferenciar entre los productos ofrecidos, incrementando la oferta en el mercado y evitar los escases que se ha percibido en los últimos tiempos, haciendo que las obras mantengan continuidad. Con ello se plantean como objetivo general determinar la viabilidad para la puesta en ejecución del proyecto, a fin de ello tener un panorama claro del mercado que tienen en frente y haciéndoles conocer los riesgos e impactos que deben soportar en el periodo de 10 años, finalmente concluyen que los diferentes factores que son establecidos dentro del proyecto ayudan a crecer los riesgos, pero la eficaz ejecución del proyecto permite bajar los riesgos, una manera creativa de minimizar los impactos ambientales es con la ayuda de tecnología y sacar el mayor beneficio de los métodos de mitigación de los impactos ambientales. (Villavicencio , 2014)

El trabajo de titulación “FABRICACION DE BLOQUES DE CONCRETO CON UNA MESA VIBRADORA” (Arrieta Freyre, 2001). El presente proyecto propone la fabricación de bloques de concreto por medio de una mesa vibradora, actualmente las grandes fábricas de bloques se viene utilizando grandes máquinas vibradoras, sin embargo la disponibilidad de los equipos son nulas en los sectores de escasos recursos, obligando a los métodos tradicionales, por tal motivo

el proyecto tiene como finalidad utilizar mesas vibratoras pequeñas para mejorar la calidad de los bloques ya que es un etapa importante del proceso de fabricación con una rigurosa selección de agregados llegando a las etapas de dosificación y compactación. (Arrieta Freyre, 2001)

El trabajo de titulación “MÁQUINA VIBRADORA PARA FABRICAR POSTES DE HORMIGÓN ARMADO PARA ALAMBRADO PERIMETRAL” (Carlosama , 2014). El presente proyecto propone el diseño y la construcción de una maquina vibradora para fabricar postes de hormigón armado para alambrado perimetral. Esta máquina compone estructura, molde, sistema de vibración y evacuación, se construye con el fin de optimizar los tiempos de producción tener un poste de alambrado perimetral de calidad. Todo el diseño de la maquina lo hacen utilizando el software Inventor Profesional mismo que fue utilizado para obtener resultados de diseño mecánico como esfuerzos, factor de seguridad a fin de verificar la calidad de diseño. El poste a construir tiene de dimensiones 10x10x248 cm. La capacidad de producción de esta máquina es de 70 postes diarios, con ello se dinamiza mecánicamente la compactación del poste hormigón y el desmoldeo del mismo. Se evita pérdidas de tiempo al colocar y desprender el molde del poste. Todo el proceso de compactación se realiza mediante un sistema de vibración mecánica. La evacuación del poste de efectúa con un sistema evacuador mecánico, con lo que concluyen que se mejora los tiempos de fabricación la calidad y la estética del poste. (Carlosama , 2014)

El trabajo de titulación “IMPLEMENTACIÓN DE UNA MESA VIBRATORIA PARA EL ANALISIS DINÁMICO DE ESTRUCTURAS CIVILES A ESCALA EN LOS LABORATORIOS DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO” (Navarro Peñaherrera & Romero Núñez, 2016). El presente proyecto propone apoyar al entendimiento de los estudiantes de manera práctica y teórica de Ingeniería civil de la Universidad Técnica de Ambato el análisis dinámico de estructuras a pequeña escala con resultados gráficos del análisis dinámico como

desplazamientos, aceleraciones registradas, velocidad y acelerogramas que ayuden a la generación de conocimientos e investigación. (Navarro Peñaherrera & Romero Núñez, 2016)

El trabajo de titulación “IMPLEMENTACIÓN DE UNA MESA VIBRATORIA BIDIRECCIONAL PARA SIMULACIÓN DE SISMOS” (Valdiviezo Naranjo, 2019). El presente proyecto se presenta el diseño y construcción de una mesa vibradora bidireccional para simulación de sismos por medio de movimientos lineales a partir de un movimiento circular de nominado yugo escoses mediante la herramienta CAD que permitió la construcción de todos los elementos del modelado. El sistema eléctrico es alimentado mediante fuente monofásica de 110 voltios de corriente alterna transformada trifásica de 220 voltios, La mesa vibratoria bidireccional permite simular eventos sísmicos de distintas intensidades incrementando o disminuyendo la graduación del potenciómetro del sistema eléctrico que provoca una variación de velocidad obteniendo a su vez la aceleración sísmica El trabajo de titulación “IMPLEMENTACIÓN DE UNA MESA VIBRATORIA BIDIRECCIONAL PARA SIMULACIÓN DE SISMOS” (Valdiviezo Naranjo, 2019). El presente proyecto se presenta el diseño y construcción de una mesa vibradora bidireccional para simulación de sismos por medio de movimientos lineales a partir de un movimiento circular de nominado yugo escoses mediante la herramienta CAD que permitió la construcción de todos los elementos del modelado. El sistema eléctrico es alimentado mediante fuente monofásica de 110 voltios de corriente alterna transformada trifásica de 220 voltios, La mesa vibratoria bidireccional permite simular eventos sísmicos de distintas intensidades incrementando o disminuyendo la graduación del potenciómetro del sistema eléctrico que provoca una variación de velocidad obteniendo a su vez la aceleración sísmica a la escala Mercali.

Fundamentación teórica

Prefabricados de hormigón

Los prefabricados en el sistema constructivo, están basados en el diseño y producción de componentes en diferentes sistemas elaborados, siguen un proceso simple, preciso y no laborioso durante su montaje, es decir, las operaciones son totalmente de montaje y no de elaboración. (Cueva , 2012)

El proceso de un elemento que presenta la característica de producción en fabrica, se transforma en productos prefabricados, aprovechando las máximas condiciones de calidad, perfeccionamiento y seguridad.

Figura 1

Prefabricados de hormigón



Nota. Se muestra una estructura prefabricada de hormigón. Tomado de (Andece, 2019)

Origen del prefabricado de hormigón armado

El hormigón derivado del nombre “formigo” y armado sinónimo de concreto derivado del vocablo inglés “concrete”, tiene como país de origen Inglaterra en el año de 1830, dando como

mérito de descubrimiento al constructor William Wilkinson, que mediante una publicación titulada “Enciclopedia de la arquitectura de casas de campo, granjas y aldeas”, da a conocer una estructura sólida para un techo empleado malla de varilla de hierro inmersas en hormigón. Esta publicación despierta un gran interés en el abogado francés Jean Louis Lambot en el año de 1848 quien emplea la misma técnica para la construcción de un bote, obra que fue exhibida en Paris en el año 1855 a fin de dar a conocer la nueva revolución en el arte de construir (Garrido, Ortega, & Lanzon, 2008).

Figura 2

Hormigón armado



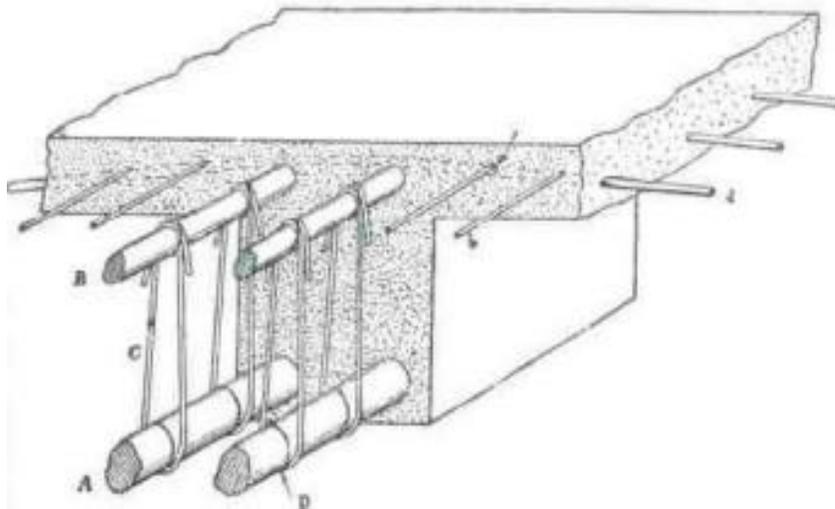
Nota. Se muestra un ejemplo de una pared montada con varios prefabricados de hormigón en sus primeros inicios. Tomado de (Garrido, Ortega, & Lanzon, 2008).

Hormigón armado

El hormigón o concreto es el resultado de cemento con áridos y agua, su principal característica estructural, es de brindar resistencia a los esfuerzos de compresión. Sin embargo, la resistencia de tracción como el esfuerzo cortante son bajos, por este motivo es habitual usar varilla de acero. La densidad del hormigón esta alrededor de 2350 Kg/m^3 , la misma que está ligada a los procesos de elaboración del material, dependiendo de la cantidad del agregado que se utilice, es decir, el porcentaje de aire atrapado y las cantidades de agua y cemento. (Cordero & Reyes, 2015)

Figura 3

Hormigón armado desnudo



Nota. Se muestra la composición del hormigón armado en su base interna y externa. Tomado de (Cordero & Reyes, 2015)

Componentes del prefabricado de hormigón

Los componentes que forman el prefabricado de hormigón, es el fundamento que garantizan que luego de su fabricación se pueda conseguir una mejor resistencia en la Tabla 1 y 2 se indica cada uno de ellos.

Tabla 1

Componentes para la fabricación de hormigón

Componente	Descripción
Áridos	Deben ser tipo silíceos, de origen rocoso ya sea volcánico o roca calcita, con mínimos porcentajes de arcilla o impurezas, objetivo de ello evitar alteraciones en la absorción del cemento, la composición en áridos en un hormigón esta entre el 60 y 75%.
Agua	Libre de inoculación salina o inoculación orgánica, este componente ayuda a conseguir un alto nivel de polución en el cemento.
Cemento	La composición y contenido de humedad con sales, es un factor muy importante al escoger el cemento dado que al someterle a estos

Componente	Descripción
	factores termina en descomposición perdiendo propiedades de resistencia.

Nota. Se indica los componentes que se consideran para obtener una composición de hormigón resistente. Tomado de (Cordero & Reyes, 2015).

Tabla 2

Pasos para conseguir mayor resistencia

Componente	Descripción
Encofrado	Destinado a evitar resto de hormigón, son de acero, madera con ensamblaje contrachapados también pueden ser de caucho o de plástico, todo depende de la capa a hormigonar.
Mezclado	Puede ser de la manera que más se acomode, el objetivo de ello es al final tener mezclas homogéneas, este componente puede ser manual, automático, o hormigón hecho en fabrica.
Colocación	Se agrega la mezcla en el molde, su reacomodación puede ser con varilla o

Componente	Descripción
Curado	<p>máquinas vibradoras otro método es mediante presión.</p> <p>El objetivo de esto es obtener la mayor resistencia, evitar niveles bajo de humedad y mínimos tiempos de secado el no considerar ello se puede tener un 30% menos de resistencia.</p>
Desencofrado	<p>Se retira luego de obtener un buen nivel de resistividad para soportar cargas de diseño esto se debe ejecutar por lo menos 15 días después del curado.</p>
Resistencia	<p>Este componente se verifica luego de 28 días del curado, sus pruebas se realizan en laboratorios con pruebas de rotura por compresión.</p>

Nota. Se indica los factores que influyen en la resistencia del hormigón. Tomado de (Cordero & Reyes, 2015)

Tipos de hormigón

El tipo de hormigón depende especialmente de su composición, entre los que más destacan son los de hormigón armado, hormigón ordinario, hormigón postensado y hormigón

pretensado son los que interiormente poseen armaduras de acero para ser sometidos a cargas y esfuerzos exteriores (Cordero & Reyes, 2015).

Tabla 3

Tipos de hormigón

Tipo	Definición
Hormigón ordinario	Es el hormigón común y corriente, se extrae al combinar áridos, cemento y agua.
Hormigón en masa	Este carece de armadura interna, soporta compresión como única característica.
Hormigón armado	Es la unión entre acero y hormigón, el acero es el elemento principal de este tipo de hormigón al no existir no tendrá resistencia ante esfuerzos de carga.
Hormigón pretensado	Este posee armadura de acero capaz de soportar tracción tensada previa a su mezcla con el hormigón.
Hormigón postensado	Posee armadura especial de acero capaz de soportar tracción tensada esta se la hace cuando el hormigón ya tiene propiedad de resistividad.

Tipo	Definición
Mortero	Referente a un hormigón normal
Hormigón ciclópeo	Mezcla de piedras a un 40% y un 60% de hormigón.
Hormigón sin finos	Sin arena, compuesto de áridos gruesos menor de 5mm.
Hormigón aireado o celular	Hormigón con baja resistividad y densidad con mezcla de aire y gases de reacciones químicas.
Hormigón de alta densidad	Constituido de áridos con densidades fuera de lo normal, utilizados para blindar armazones.
Hormigón soleras	Hormigón apto para soleras de excelente terminado y de varios colores de disponibilidad.

Nota. Se enlista los tipos de hormigón existentes hoy en día. Tomado de (Cordero & Reyes, 2015).

Ventajas y desventajas de los sistemas prefabricados

En el Ecuador los prefabricados en el sector de la construcción no han sido desarrollados en su totalidad debido al proceso de la industrialización, dicho de otro modo, el sistema de

construcción mecanizado debe cumplir con los objetivos de reducción de tiempo y rendimiento de materiales, mano de obra y equipos. Por consiguiente, se mostrará las ventajas y desventajas de los sistemas prefabricados como se muestra en la Tabla 4 y Tabla 5.

Tabla 4

Ventajas del prefabricado de hormigón

Ventajas	Descripción
Calidad	<ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="565 716 1122 747">– Mano de obra: especializada y rendimiento <li data-bbox="565 816 1192 848">– Facilidad de ejecución: posición más conveniente <li data-bbox="565 917 1333 949">– Control de calidad: mayor que en obra, permite correcciones <li data-bbox="565 1018 829 1050">– Tolerancia: menor <li data-bbox="565 1119 1403 1213">– Materiales: dosificación más uniforme, mejor calidad y acabado en materiales <li data-bbox="565 1283 1192 1314">– Estandarización: piezas tipo, de calidad uniforme <li data-bbox="565 1383 1300 1415">– Formas arquitectónicas: color, textura y formas especiales
Economía	<ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="565 1482 1360 1577">– Encofrados y apuntalamientos: reutilización en obra solamente apuntalamientos auxiliares durante el montaje <li data-bbox="565 1646 1360 1740">– Aumento de la productividad: tareas repetitivas y reducción de horas improductivas <li data-bbox="565 1810 1052 1841">– Sección estáticamente más adecuada

Ventajas	Descripción
	<ul style="list-style-type: none"> – Pretensado por adherencia directa – Rapidez: menor costo del capital invertido
Tiempo	<ul style="list-style-type: none"> – Lugar cerrado: no hay demoras por mal tiempo – Producción simultanea

Nota. Se describe los puntos de las ventajas de los prefabricados de hormigón. Tomado de (Cueva , 2012)

Tabla 5

Desventajas del prefabricado de hormigón

Desventajas	Descripción
Trasporte	<ul style="list-style-type: none"> – Transporte al lugar de utilización y montaje. Costos y espacios.
Uniones	<ul style="list-style-type: none"> – Ejecución cuidadosa de las uniones. Funcionamiento estático.

Nota. Se describe los puntos de las desventajas de los prefabricados de hormigón. Tomado de (Cueva , 2012).

Procesos de fabricación de los prefabricados de hormigón

Normalmente este proceso de fabricación de los prefabricados de hormigón depende de su sistema y de su clasificación en su mayor parte se caracterizan por cumplir con las etapas que se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6

Etapas para el proceso de fabricación de los prefabricados de hormigón.

Etapas	Descripción
Primera	Elaboración de las armaduras de acero, mismas que se obtienen luego de cortar las varillas en tamaños ya preestablecidos para obtener los estribos del molde.
Segunda	Ensamblar los moldes ya sea de acero o de madera a fin de conformar partes desarmables o compactas.
Tercera	Cortar la malla de varilla para reforzar el preensamblado de hormigón, este se coloca en la sección intermedia al hormigón.
Cuarta	Transporte de materia prima como arena, grava, cemento y aditivos hacia el lugar de producción.
Quinta	Materiales son depositados en lugares no peligrosos para el operario y medio ambiente siendo estos compartimentos, silos o tanques.
Sexta	Agregar aditivos como cemento, agua y secantes en máquinas mezcladoras a fin de tener una mezcla homogénea y uniforme.

Etapas	Descripción
Séptima	Transporte de la mezcla homogénea en cantidades preestablecidas por el molde y el tamaño del prefabricado de hormigón.
Octava	Inserción de la mezcla en los moldes a fin de cubrir todo el espacio destinado para el hormigón.
Novena	Moldea, se efectúa un acabado uniforme y liso para su posterior evacuación.
Decima	Fraguado y secado a fin de que se establezca la reacción química entre todos los aditivos mencionados en las anteriores etapas.

Nota. Se describe las etapas más comunes para el proceso de fabricación los prefabricados de hormigón armado. Tomado de (Carlosama , 2014).

Clasificación de los prefabricados de hormigón

Este tipo de elementos generalmente se les clasifica según su grado de prefabricación a fin de diferenciar un sistema de otro, en la Figura 4, se trata de recopilar la mayor clasificación de los prefabricados de hormigón existentes en el mercado.

Figura 4

Clasificación de los prefabricados de hormigón



Nota. Se indica la principal clasificación de los prefabricados de hormigón. Tomado de (Cueva , 2012).

Mecanismos de compactación de postes de hormigón

Compactación tradicional

En la actualidad, el proceso de compactación de los prefabricados de hormigón que ejercen las microempresas es manual, es una actividad aplicada por pequeños golpes que se dan a la formaleta con un martillo de goma para la reacomodación de espacios vacíos en el interior, lo cual debe hacerse con precaución. (ARGOS, 2013)

Figura 5

Proceso de compactación de postes manual



Nota. Se muestra el método de compactación manual de los prefabricados de hormigón.

Compactadora automática

La compactación automática de los postes de hormigón se basa en el uso de maquinaria industrial utilizada para la elaboración de postes verticales, a través de un apretón mecánico, utilizando el vibrador para compactar el haz y hacer que el cemento, la arena y la piedra se fijen juntos, utilizando el principio de extrusión y empuje. (Victory, 2015)

Figura 6

Proceso de compactación automática de hormigón



Nota. Tomado de (Victory, 2015)

Formaletas o moldes

Una planta de fabricación de prefabricados de hormigón deberá contar con las instalaciones adecuadas para la elaboración de elementos de alta calidad, por lo cual se requiere moldes que permitan al personal encargado de la producción, fabricar productos que cumplan las especificaciones de calidad y dimensionamiento, que están directamente relacionados con el material y la calidad del molde. (Santizo García , 2015)

Los moldes deben rígidos para poder soportar su propio peso y presión de la mezcla fresca evitando deformaciones de la estructura por lo cual los moldes son construidos de materiales resistentes como:

Tabla 7

Materiales y consideraciones de los moldes de prefabricados de hormigón.

Material	Consideración
Madera	Deben ser sellados con materiales que prevengan la absorción.
Concreto	Deben ser tratados con una membrana de poliuretano que tape el poro de la superficie para evitar la adherencia de la mezcla fresca y permitir el desmolde sin daños.
Acero	Se debe asegurar que no exista corrosión Evitar bordes de soldadura Evitar desajustes en las juntas

Nota. Se detalla los diferentes materiales en el que se puede construir los moldes. Tomado de (Santizo García , 2015)

Componentes y características de la máquina compactadora de postes de hormigón

Los componentes de la máquina dependen del método de fabricación de los prefabricados de hormigón, para nuestro caso de estudio se considera componentes y características de una máquina compactadora de postes semiautomática.

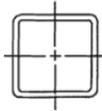
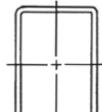
Perfiles estructurales

Resultan de la combinación de aleaciones de acero, aluminio, magnesio y cobre con distintas formas debido a su proceso de manufactura, varias clases son laminadas en caliente, en su mayor parte se las emplea en estructuras de metal y en aplicaciones relacionadas con metal mecánica industrial (Carlosama , 2014).

Tabla 8

Perfiles estructurales de acero

Perfil	Características	Símbolo	Gráfico
Ángulo	Utilizados como parte de armaduras y torres en constante tensión, en estructuras de máquinas, armazones de puertas y ventanas, en bastidores y vigas, etc.	L	
Canal	Capaces de resistir mayor flexión y la torsión bajo carga, su campo de aplicación es similar al de ángulos.	C	

Perfil	Características	Símbolo	Gráfico
Viga de patín ancho	<p>Mayormente son utilizados en la construcción de vigas, su momento de inercia incrementa debido a la sección transversal lejos del eje centroidal.</p>	W	
Viga American Standard	<p>Se diferencia del perfil W, por el peralte dado que en la mayor parte el peralte real es igual al peralte nominal, y sus patines son cónicos similar a los patines del perfil en C.</p>	S	
Tubería estructural cuadrada	<p>Útiles en estructuras de una máquina, son de gran utilidad ante situaciones de carga</p>	-	
Tubería estructural rectangular	<p>ejemplo de ello vigas sometidas a flexión y carga torsional, constituyen una alternativa de gran utilidad para columnas.</p>	-	
Tubo	<p>Son muy eficientes para emplearse como vigas y columnas, en estructuras</p>	-	

Perfil	Características	Símbolo	Gráfico
	sometidas a torsión y flexión debido a su sección transversal cerrada.		
Canal Aluminum Association	Perfiles extruidos con almas de espesor uniforme y patines con	C	
Viga I Aluminum Association	radio generoso.	I	

Nota. Clasificación general de los perfiles estructurales de acero. Tomando de (Mott R. , 2009)

Estructura o armazón

Hace referencia al esqueleto de la máquina, tendrá la capacidad de soportar cargas y esfuerzos externos, deformaciones y oscilaciones, en ella está montada todos los componentes mecánicos y electromecánicos según su diseño. La estructura debe ser capaz de actuar ante posibles agentes y ser idónea en el lapso de su vida útil (Urban , 2006).

Los elementos que caracterizan a una estructura se detallan a continuación en la Tabla 9.

Tabla 9

Elementos que caracterizan una estructura metálica

Parte	Característica
Esqueleto estructural	Su diseño debe ser confiable en construcción, ejecución y uso, este elemento debe ser diseñado con niveles de limitación de esfuerzo es decir dimensionarlos para el tipo de carga a resistir.

Parte	Característica
Puntos de unión (Soldadura)	Los puntos de soldadura es una técnica que consigue brindar continuidad o unión a dos partes metálicas a fin de cumplir con las especificaciones de diseño, características mecánicas, límites elásticos y tensiones de rotura.
Perfil estructural	Los perfiles estructurales se caracterizan por su forma de fabricación y de las propiedades del material, para el diseño se toma valores como límites elásticos, límites de rotura, soldabilidad, resistencia al desgarro a fin de garantizar que la estructura cumpla con las necesidades de aplicación y con las normas de construcción.

Nota. Se detalla los elementos que caracterizan una estructura. Tomado de (Urban , 2006)

Sujetadores

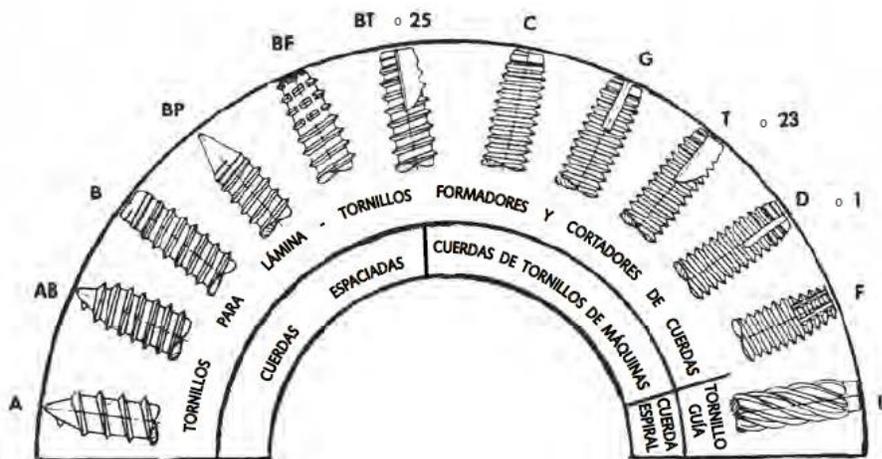
Existe una enorme variedad de sujetadores disponibles en el mercado, ya que una correcta selección y uso adecuado dependerá el éxito o el fracaso, evidentemente se utilizarán en aplicaciones de diseño de máquinas donde hay esfuerzos y cargas significativas.

Tornillo: Los tornillos permiten sujetar dos o más partes juntos, los tornillos como sujetadores se puede configurar para soportar cargas de tensión, cargas cortantes o ambas, el mismo que está orientado a girar en su receptáculo por medio de un orificio enroscado o sin ella, aplicando un torque en su cabeza. (Norton R. L., 2011)

El tornillo puede tener varios estilos de cuerdas que pueden ser usados de acuerdo la aplicación como se muestra en la Figura 7.

Figura 7

Estilos de cuerdas en tornillos

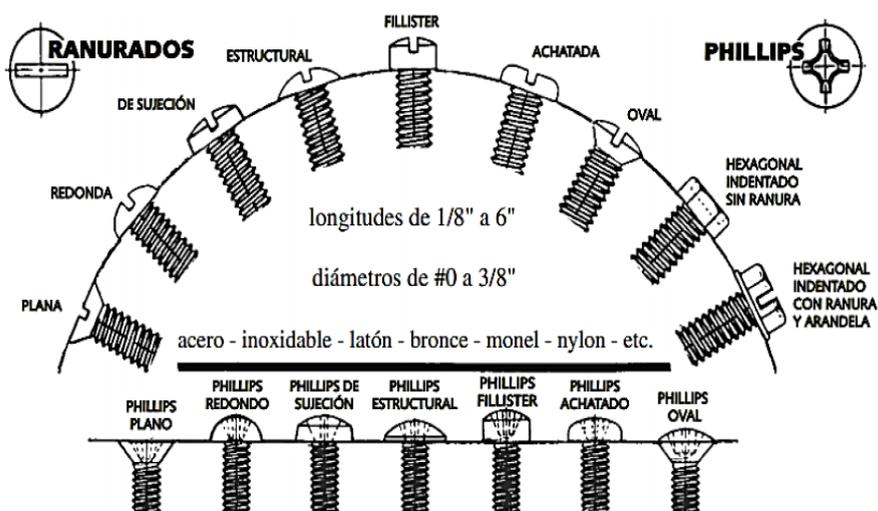


Nota. Tomado de (Norton R. L., 2011)

- **Tornillo Ranurados:** Son usados en tornillos de maquinaria o roscados pequeños como se puede observar en la Figura 8.

Figura 8

Tipos de tornillos ranurados



Nota. Tomado de (Norton R. L., 2011)

- **Tornillos de cabeza hueca con capucha:** Son usados ampliamente en maquinaria, son fabricados de acero endurecido de alta resistencia y de acero inoxidable como se muestra en la Tabla 10. (Norton R. L., 2011)

Tabla 10*Estilos de cabeza hueca con capucha*

Estilo	Gráfico
Cabeza redonda	
Cabeza plana	
Cabeza de botón	
Cabeza con hombro	
Tornillo prisionero con dado	

Nota. Tomado de (Norton R. L., 2011)

Perno: La función principal de los pernos y tuercas es de sujetar dos o más piezas para mantenerlos juntas, donde las cargas aplicadas son sometidas a tensión y dependiendo del ensamble como se muestra en la Tabla 11. (Norton R. L., 2011)

Tabla 11

Tipo de ensamble

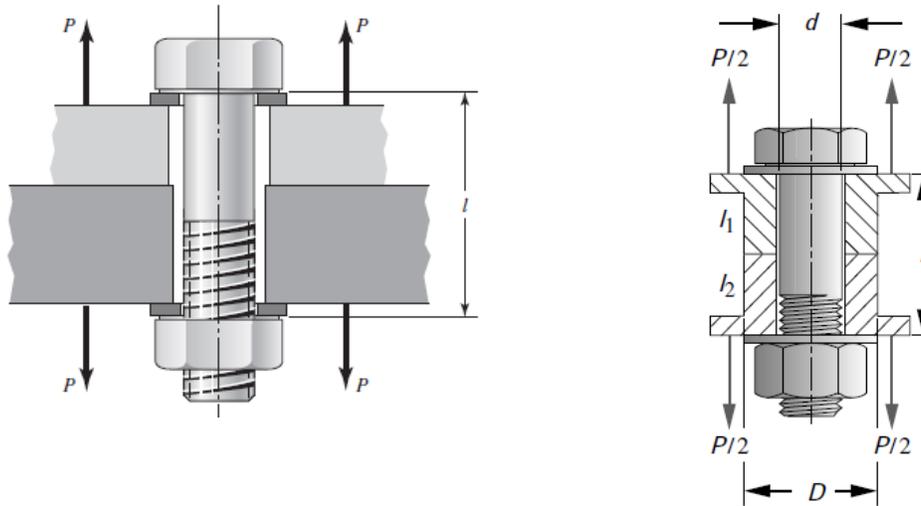
Tipo	Especificación
Ensamble estático	Se usa una pretensión que genera un esfuerzo del 90% de la resistencia.
Ensamble dinámico	Se usa una pretensión del 75% (Carga de fatiga)

Nota. Tomado de (Norton R. L., 2011)

Una adecuada selección de los pernos hace muy improbables que fallen durante el servicio al que es sometido, ya que al apretar la tuerca el perno se estira, produciendo la fuerza de sujeción llamada precarga o pretensión del perno, como se muestra en la Figura 9. (Shigley, Budynas, & Nisbett, 2012)

Figura 9

Ensamble de perno y tuerca en tensión y en pre-tensión.



a) Ensamble de perno en tensión

b) Ensamble de perno en pre-tensión

Nota. Tomado de (Shigley, Budynas, & Nisbett, 2012) & (Norton R. L., 2011)

Tuercas: Las tuercas es un elemento que va junto al perno que posee un orificio central que permite el acople de la estructura o piezas a unir, el cual produce una tensión. El material de la tuerca generalmente es el mismo del perno. (Shigley, Budynas, & Nisbett, 2012)

Según (Shigley, Budynas, & Nisbett, 2012) existen varios tipos de tuercas de cabeza hexagonal como se muestra en la Tabla 11.

Tabla 12*Tipos de tuercas hexagonales.*

Tipo	Gráfico
Tuerca regular con arandela	
Tuerca regular biselada en ambos lados	
Tuerca hendida con arandela	
Tuerca hendida biselada en ambos lados	

Nota. Tomado de (Shigley, Budynas, & Nisbett, 2012)

Según (Norton R. L., 2011) existen varios tipos de tuercas como se muestra en la Tabla 13.

Tabla 13*Tipos de tuercas*

Tipo	Gráfico
Tuerca hexagonal estándar	
Tuerca hexagonal de bloqueo	
Tuerca hexagonal de corona	
Tuerca Hexagonal de bellota	
Tuerca de mariposa	

Nota. Se detalla los diferentes tipos de tuercas. Tomado de (Norton R. L., 2011)

Arandelas: La arandela es un elemento plano en forma circular que posee un orificio central que ayuda incrementar el área de contacto entre la cabeza perno o tuerca y la parte que se sujeta de la estructura o pieza. La función principal es prevenir el aflojamiento espontaneo de las tuercas estándares. (Norton R. L., 2011)

En el mercado existe una variedad de arandelas como se muestra en la Tabla 14.

Tabla 14*Tipos de arandelas.*

Tipo	Gráfico
Arandelas de bloqueo al deslizamiento	
Arandela con dientes internos	
Arandela con dientes externos	
Arandelas con dientes internos y externos	
Dientes para hundimiento	
Arandela Plana	
Arandela indicadora de carga	

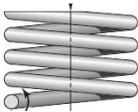
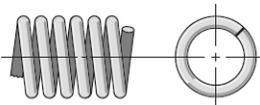
Nota. Se detalla los diferentes tipos de arandelas independientemente de su aplicación en el campo. Tomado de (Norton R. L., 2011)

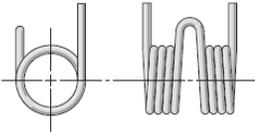
Resortes

Los resortes mecánicos son elementos que permiten operar bajo fuerzas controladas o de pares de torsión, se caracterizan por tener la propiedad de almacenar y liberar energía, su flexibilidad permite la deformación transitoria para el acceso y restauración instantánea. En la Tabla 15 se indica una clasificación general de los resortes (Shigley, Budynas, & Nisbett, 2012).

Tabla 15

Clasificación general de los resortes

Tipo	Descripción	Gráfico
Resortes helicoidales	Son resortes con mayor aplicación, se fabrican con alambre cuadrado, rectangular y redondo, en su mayor aplicación son de alambre redondo debido a su tamaño, costo y resistencia.	
Resortes de compresión	Sus extremos se caracterizan por ser de extremos sencillos, extremos a escuadra y esmerilados, extremos a escudara o cerrado a la derecha y ambos extremos esmerilados muy utilizados en máquinas herramientas e industria metal mecánica.	
Resortes de extensión	Son capaces de soportar cargas en tensión, dependen de algunos factores para transferir	

Tipo	Descripción	Gráfico
	la carga que inicia en el soporte hacia el resorte, los esfuerzos son iguales que el resorte de extensión.	
Resortes de espiras helicoidales de torsión	Este resorte es del mismo modelo de resorte helicoidal con la característica que sus extremos son sometidos a torsión, son enrollados de manera más apretada a su aplicación, el diámetro de estos resortes disminuye a medida que el par de torsión aumenta.	
Resortes Belleville	Son resortes de disco cónico, ocupan espacios pequeños la relación de carga flexión es un factor útil en mecanismos de rápida acción.	

Nota. Se indica una clasificación general de los resortes mecánicos. Tomado de (Shigley, Budynas, & Nisbett, 2012)

Chumacera

Este tipo de elemento mecánico generalmente se compone de un muñón de acero rectificado, trabaja en contra de un buje de material no ferroso, el aumento de temperatura en el anillo giratorio de la chumacera es directamente proporcional a la carga a la cual es sometida, presentan un amplio campo de aplicación (Shigley, Budynas, & Nisbett, 2012). Se caracteriza por

ser un rodamiento montado que soporta a un eje de rotación y consecuentemente permite un libre movimiento rotacional y excluye deslizamiento horizontal (Hanz, 2018).

Tabla 16

Tipos de chumaceras

Tipo	Característica	Gráfico
Chumaceras hidrodinámicas	El movimiento del muñón genera la presión del soporte y esta debe de ser constante, se diferencia de los demás por tener uno o más orificios para inyectar lubricante, este también depende de la viscosidad del fluido.	
Chumaceras hidrostáticas	Las capas externas del muñón y la chumacera se encuentran alejadas por una porción de fluido en constante inyección, su principal característica es que no depende del movimiento relativo entre capas, su componente rotacional o eje es soportado de manera ligera.	
Chumaceras híbridas	Posee geometría cilíndrica, es capaz de soportar esfuerzos radiales, este tipo trabaja con la inyección de lubricantes a una presión elevada y no puede tener varios puertos de inyección de	

Tipo	Característica	Gráfico
	lubricante debido a que estaría afectando el desempeño del elemento rotativo.	

Nota. Se indica los principales tipos de chumaceras independientemente de su aplicación en campo. Tomado de (Rivera, 2017)

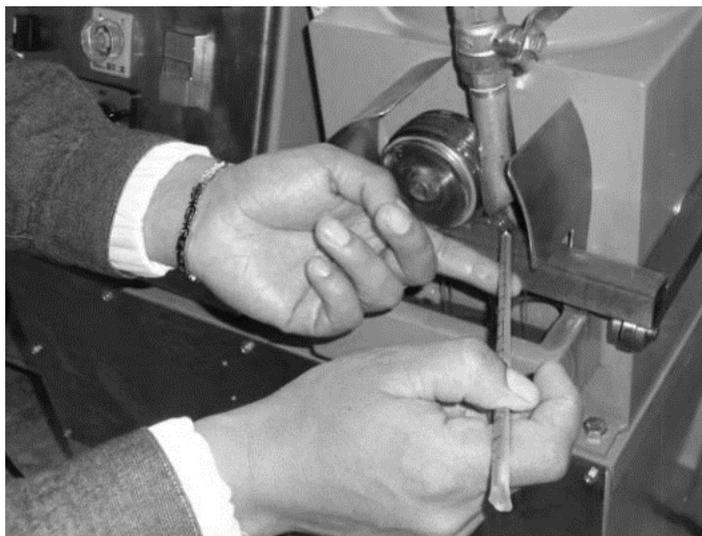
Rodamientos

Los rodamientos o cojinetes es un conjunto de piezas sobre las que soporta y gira el sistema de transmisión de una máquina o mecanismo, que tiene como función reducir el rozamiento y desgaste de los ejes y piezas sobre las que rotan los ejes como se muestra en la Figura 10.

(Norton R. L., 2011)

Figura 10

Aplicaciones de rodamientos en maquinaria

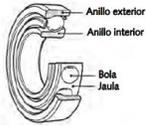
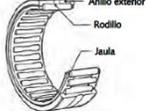
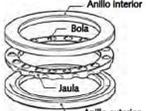


Nota. Se muestra un ejemplo de aplicación de rodamiento. Tomado de (Montalvo Lima, 2013)

Existen diferentes tipos de cojinetes, dependiendo de su correcta aplicación al que se va ser sometido ya sea cargas dinámicas y estáticas soportando cargas radiales, axiales o ambas como se muestra en la Tabla 17.

Tabla 17

Tipos de cojinetes

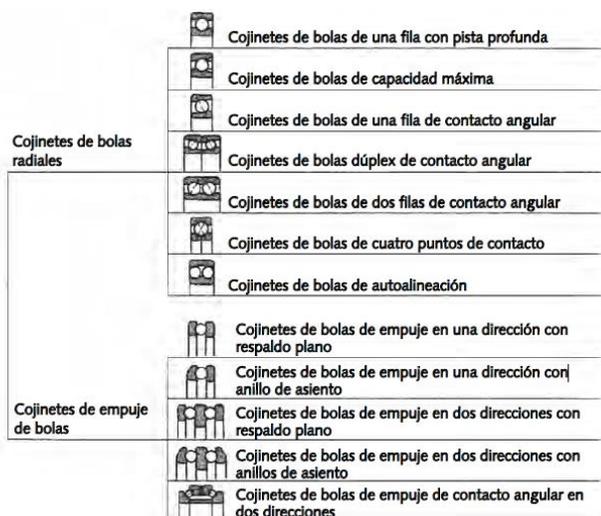
Tipo	Características	Gráfico
Cojines de bolas	Son más adecuados para aplicaciones pequeñas de alta rapidez con cargas ligeras, soportan cargas radiales y de empuje.	
Cojinetes de rodillos	Son más adecuados para sistemas grandes, con cargas pesadas, soportan cargas estáticas y dinámicas más grandes que los cojines de bolas.	
Cojines de empuje	Son cojines de bolas y de rodillos diseñados para cargas de empuje puro, no son aptos para aplicaciones de alta velocidad.	

Nota. Se detalla los diferentes tipos de cojinetes independientemente de su aplicación. Tomado de (Norton R. L., 2011).

Dentro de la clasificación de los diferentes tipos de cojinetes según su aplicación existen subclasificaciones para cojinetes de bola y de empuje como se muestra en la Figura 11.

Figura 11

Clasificación de cojinetes de bola y de empuje

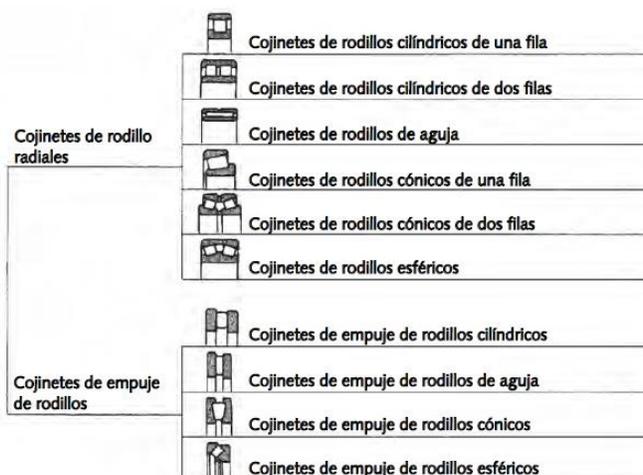


Nota. Tomado de (Norton R. L., 2011)

Dentro de la clasificación de los diferentes tipos de cojinetes según su aplicación, existen subclasificaciones para cojinetes de rodillos y de empuje como se muestra en la Figura 12.

Figura 12

Clasificación de cojinetes de rodillos y de empuje



Nota. Tomado de (Norton R. L., 2011)

Eje y flecha

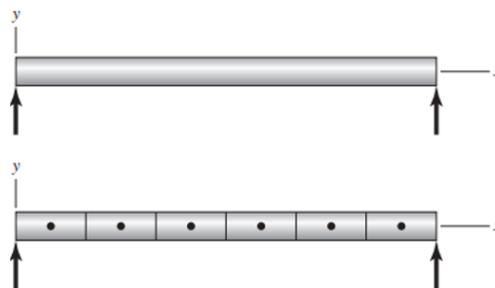
La flecha es un componente que rota con una sección transversal circular, son de gran utilidad para emitir potencia o movimiento de un componente a otro. Se compone generalmente de un eje rotatorio y de componentes mecánicos como acoples, poleas, volantes de inercia entre otros mecanismos de las mismas características (Shigley, Budynas, & Nisbett, 2012).

El eje generalmente es un componente con sección circular y se le analiza como un tirante estático, no presenta par de torsión y son aplicados para sostener volantes de rotación, poleas o otros elementos de igual similitud (Shigley, Budynas, & Nisbett, 2012).

Los ejes generalmente son construidos con materiales de alta resistividad, como por ejemplo de acero al carbono, acero estirado en frío y acero laminado en caliente, comúnmente son aceros que obedecen a la norma de construcción AISI 1020 y AISI 1050. En su diseño es importante considerar los diagramas de cuerpo libre a fin de obtener valores de fuerzas y momentos cortantes de su sección transversal (Shigley, Budynas, & Nisbett, 2012).

Figura 13

Eje con sección transversal circular



Nota. Se muestra la forma constructiva de un eje de acero al carbono con sección transversal circular. Tomado de (Shigley, Budynas, & Nisbett, 2012).

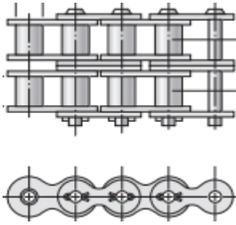
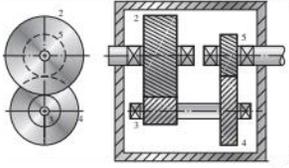
Sistemas de transmisión de potencia

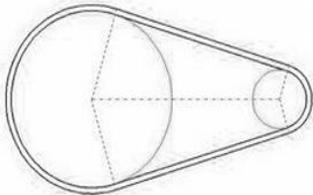
Generalmente son transmisiones mecánicas, se las denominan así por ser las encargadas de transferir la energía mecánica de un motor a los elementos que requieren movimiento giratorio de la máquina. Estos sistemas de transmisión mecánica transforman valores de velocidad, fuerzas, momentos y en varias aplicaciones con inversiones de movimiento (Flores, 2012).

En la industria estos sistemas son de gran importancia dado que dependiente del proceso y su aplicación son de tipo cadena, engranes, piñones y de correa como se muestra en la Tabla 18.

Tabla 18

Tipos de sistemas de transmisión de potencia

Tipo	Característica	Gráfico
Cadenas	Proporcionan versatilidad y suavidad en la transmisión de movimiento, presentan altos rendimientos de trabajo y son útiles en sistemas que requieren dependencia reciproca.	
Engranes y piñones	Proporcionan movimiento entre dos ejes, logran cambiar valores de velocidad y giro, pueden tener configuración paralela, coincidente y cruzada.	

Tipo	Característica	Gráfico
Correas	<p>Transmiten movimiento y potencia entre sistemas totalmente paralelos, se caracterizan por no tener relaciones de transmisión exactas y constantes. Generalmente presentan perdidas en potencia y movimiento por cuestiones de deslizamiento entre la rueda motriz y dirigida.</p>	

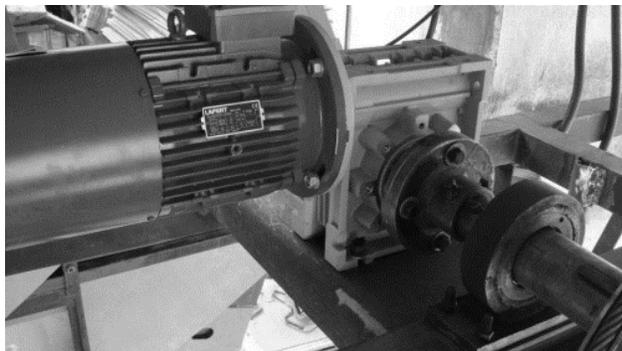
Nota. Se indica la principal clasificación de los sistemas de transmisión mecánica. Tomado de (Flores, 2012)& (Shigley, Budynas, & Nisbett, 2012).

Motor eléctrico

Un motor eléctrico es una máquina eléctrica que convierte la energía eléctrica en energía mecánica, existen de corriente directa C.C y corriente alterna C.A, los mismos que se usan en una amplia gama de aplicaciones comerciales, residenciales e industriales, es decir, el motor eléctrico debe alinearse con el propósito y objetivos del sistema como se muestra en la Figura 14. (Chapman S. J., 2012)

Figura 14

Sistema transferidor de movimiento de un elevador de carga industrial.



Nota. Se observa la aplicación de un motor eléctrico acoplado al sistema de transmisión.

Tomado del trabajo de titulación de (BUSTAMANTE SARABIA & EUGENIO SALTOS, 2015).

En los motores eléctricos es necesario considerar los siguientes parámetros de placa como voltaje, frecuencia, número de fases, corriente, factor de potencia, potencia, velocidad nominal y eficiencia, además un motor eléctrico presenta ventajas y desventajas como se muestra en la

Tabla 19:

Tabla 19

Ventajas y desventajas de los motores eléctricos.

Ventajas	Desventajas
Tamaño y peso reducidos	Mantenimiento
Son maquina reversibles (generador-motor)	Incapaz de funcionar a velocidades bajas
Silenciosos en su mayoría	Falta de sistema eléctrico el motor no se podrá conectar a la red

Ventajas	Desventajas
Ausencia de gases contaminantes	
Funcionan con electricidad	

Nota. Tomado de (Chapman S. J., 2012)

Control eléctrico

El control de un motor o máquina hace referencia al mando de sus funciones y características de operación, como arranque, parada, velocidad, aceleración, potencia y sentido de giro, el control se caracteriza por el conjunto de dispositivos que generalmente actúan de forma predeterminada y de forma ordenada, a continuación, se indica los tipos de control más comunes en la industria (Torres, n.d.).

Tabla 20

Tipos de control de un motor o máquina

Control	Descripción
Manual	Su control lo realiza el operario, se caracteriza por ser un control en sitio, de preferencia se recomienda aplicar en operaciones de arranque y parada de máquina.
Semiautomático	En este control se utiliza dispositivos electromagnéticos, interruptores, pulsadores

Control	Descripción
Automático	<p>y dispositivos análogos, son de ayuda en circunstancias donde se requiere de flexibilidad y donde el control manual se torna imposible.</p> <p>Utiliza dispositivos automáticos que ejecutan ordenes de trabajo y operan en coordinación, generalmente se compone de un componente electromagnético, este control puede ser la combinación de los dos controles anteriores.</p>

Nota. Se define los tipos de mando de un motor o máquina. Tomado de (Torres, n.d.).

Fusible

Es un elemento que actúa como interruptor y censa señales eléctricas de corriente, la conexión entre el circuito y el fusible es en serie, actúa frente a niveles altos de corriente y están diseñados para interrumpir en un determinado tiempo, su actuación depende de la magnitud de corriente que atraviesa sobre él (Conagua, n.d.).

Los fusibles con mayor limitación de corriente generalmente son los de elevada tensión y elevada capacidad de interrupción y son aplicativos en transformadores y motores respectivamente, para su aplicación es necesario conocer las curvas características de fusión, los niveles de tensión y de corriente (Conagua, n.d.).

Figura 15*Fusible*

Nota. Vista general de un fusible con el eslabón de sobrecarga y cortocircuito. Tomado de (Eaton, 2017)

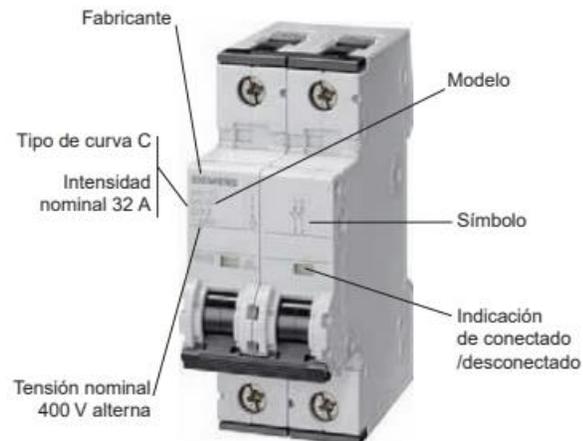
Disyuntor

Dispositivo electromecánico que actúa de forma automática, protege a los elementos conectados aguas abajo, consta de dos formas de apertura una de ellas apertura magnética y apertura térmica disipa corrientes de cortocircuito y corrientes de sobrecargas respectivamente (Martin & Garcia, 2009).

La apertura magnética de este interruptor está asociada a un electroimán, cuando la intensidad de corriente que circula es la máxima los contactos ligados a él, se abren por una fuerza en cuestión de los milisegundos. Por otro lado, la apertura térmica asocia dos láminas de distinto material, que al circular una determinada intensidad se calientan y se dilatan, como son de diferente material, una se dilatará más pronto que la otra, por lo que provocará una apertura en cuestión de segundos (Martin & Garcia, 2009).

Figura 16

Interruptor automático o magnetotérmico



Nota. Se muestra las características generales de un interruptor magnetotérmico. Tomado de (Martin & Garcia, 2009).

Contacto

Dispositivo que interrelaciona los campos eléctricos con los campos magnéticos, resultando de ello un dispositivo electromagnético, con la capacidad de abrir o cerrar circuito a distancia, su aplicabilidad está en los motores eléctricos, aunque también son usados para alimentar cualquier tipo de elemento receptor ejemplo de ello líneas de iluminación (Martin & Garcia, 2009).

El contactor actúa cuando se energiza una bobina, aquí la bobina se excita y los circuitos magnéticos tienden a cerrarse, es decir al energizar una bobina los contactos que en un inicio permanecían abiertos se cierran, dando paso al flujo de corriente hacia el equipo receptor (Martin & Garcia, 2009).

Figura 17

Contactador (siemens ag)



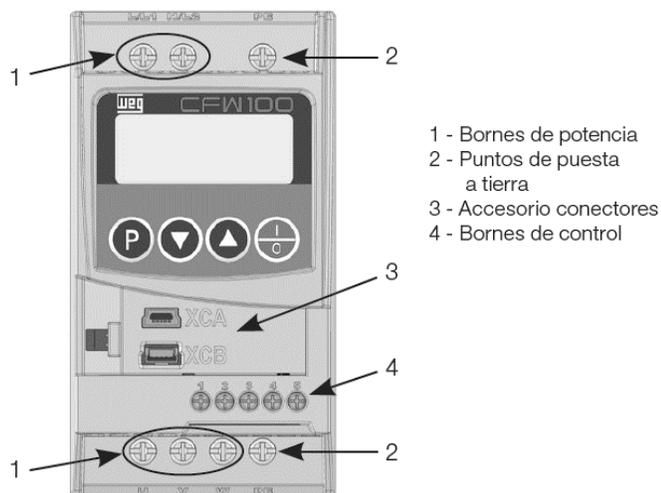
Nota. Se indica la estructura y modelo básico de un contactor de la marca Siemens AG. Tomado de (Martin & Garcia, 2009)

Variador de frecuencia

Un VFD: Variable Frequency Drive es un sistema que permite modular la energía, convirtiendo las magnitudes fijas de frecuencia y tensión de la red de suministro en magnitudes variables, permitiendo controlar la velocidad rotacional de motores eléctricos. (López Utrera, 2018)

Un variador de frecuencia presenta beneficios en los procesos industriales como son:

- Ahorro de energía
- Vida útil más larga
- Menos mantenimiento
- Procesos de control programados

Figura 18*Variador de frecuencia*

Nota. Partes de un variador de frecuencia. Tomado de (López Utrera, 2018).

Dispositivos de mando y señalización

Tienen como finalidad establecer un enlace de comunicación entre el operario y la máquina, estos dispositivos deben presentar niveles altos de seguridad para el operario, pueden ser distintos dependiendo de su campo de aplicación (Schmersal & Schmersal, 2013).

Serie E. Han sido desarrollados para el campo industrial y para aplicaciones como máquinas, instalaciones y vehículos en general, también en máquinas vibratoras o en cargas de contacto constante, mayormente se sitúan en tableros de pequeña, mediana y gran dimensión, se constituye de un cabezal y un elemento de contacto creando una mayor flexibilidad e interacción entre hombre y máquina (Schmersal & Schmersal, 2013).

Serie N. Desarrollados bajo normas de higiene, específicamente para la construcción de máquinas que manejan producto alimenticio, son adecuados para aplicaciones como vehículos municipales e instalaciones de lavado de vehículos, su mayor ventaja es que tienen corto pulso

de actuación frente a los elementos de mando y presentan niveles altos de protección IP (Schmersal & Schmersal, 2013).

Serie R. Se caracteriza por el campo de aplicación robusta, son capaces de soportar cargas mecánicas y no necesitan instalarse dentro de tableros de control (Schmersal & Schmersal, 2013).

En Tabla 21 se indica una clasificación según el tipo de aplicación de los dispositivos de mando y señalización:

Tabla 21

Dispositivos de mando y señalización

	SERIE-E	SERIE-N	SERIE-R
Medio de aplicación	Aplicaciones en condiciones de funcionamiento hostiles	Alimentos, aplicaciones higiénicas y en zonas exteriores	Aplicaciones robustas
Pulsador de Paro de Emergencia			
Piloto luminoso			
Pulsador			

	SERIE-E	SERIE-N	SERIE-R
Medio de aplicación	Aplicaciones en condiciones de funcionamiento hostiles	Alimentos, aplicaciones higiénicas y en zonas exteriores	Aplicaciones robustas
Pulsador luminoso			
Pulsador de impacto/Pulsador con forma de seta			
Interruptor-selector/Pulsador-selector			
Interruptor-selector/pulsador-selector con llave		-	
Interruptor multi - posición			
Accionamiento de potenciómetro			

Nota. Se presenta una clasificación general de los dispositivos de mando y señalización según su campo y serie de aplicación. Tomado de (Schmersal & Schmersal, 2013).

Normativas existentes.

Las normas en la industria es un factor importante, para ofertar los productos elaborados, poseen propiedades comunes y disponibilidad comercial para las diferentes organizaciones, como en construcción y seguridad, en la Tabla 22 se muestra a detalle estas normas.

Tabla 22

Normativas existentes para la maquinaria.

Norma	Definición	Normas Referentes
SAE	Sociedad Americana de ingenieros (SAE), normativa estándar de construcción de ejes, flechas y numeración de aceros. (SAE, 2018)	<ul style="list-style-type: none"> - SAE-1005 a 1015: Aceros de muy bajo % de carbono. - SAE-1016 a 1030: Aceros de bajo % de carbono. - SAE-1035 a 1053: Aceros de medio % de carbono. - SAE-1055 a 1095: Aceros de muy bajo % de carbono.
ISO	Organización Internacional de Normalización (ISO), dedicada al desarrollo de normas para el desarrollo de productos y servicios de	-ISO 12100: Guía para la fabricación de máquinas seguras, aspectos que toma en cuenta son peligros mecánicos,

Norma	Definición	Normas Referentes
	calidad, eficiencia y seguridad. (ISO, 2020)	<p>eléctricos, térmicos, ruido, vibraciones, radiaciones, materiales y sustancia.</p> <p>-ISO 4017: Especifica las características de pernos de cabeza hexagonal milimétricos.</p>
ANSI	<p>Instituto Nacional Estadounidense de Estándares (ANSI), es un organismo encargado de regular y coordinar los estándares tecnológicos e industriales mejorando la competitividad global de las empresas. (ANSI, 2022)</p>	<p>-ANSI B4.1-1967, R1974: Tolerancias estándar apropiadas para los agujeros y ejes que pueden ser seleccionados.</p> <p>-ANSI/AISC 360: Diseño de sistemas estructurales en acero o sistemas con acero estructural con o sin concreto</p>
ASME	<p>Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (ASME), aporta con el desarrollo de ingeniería mecánica relacionados con el diseño, la construcción y pruebas adecuadas para garantizar la previsibilidad y confiabilidad de la producción. (ASME, s.f.)</p>	<p>-ASME Y14.5-2018: Dimensionamiento y Tolerancia.</p> <p>-ASME B20.1-2018: Estándar de seguridad.</p>

Norma	Definición	Normas Referentes
AWS	Sociedad Americana de Soldadura (AWS), contribuye a la aplicación de procesos de corte y unión de soldadura en avances tecnológicos. (WESTARCO, 2022)	-AWS D1.1/D1.1:2020: Código de soldadura estructural. -AWS A2.4:2012: Símbolos estándar para la soldadura.
IEC	Comisión Electrotécnica Internacional (IEC), es una organización para las tecnologías eléctricas y electrónicas para la operación y seguridad de los equipos industriales. (IEC, 2022)	-IEC 61508: Seguridad funcional de sistemas eléctricos, electrónicos y electrónicos programables. -IEC 62061: Seguridad de la maquinaria.

Nota. Se presenta algunas de las normas existentes en la industria, en seguridad, construcción y control de maquinarias.

Sistema para prefabricados de hormigón

Los sistemas para la elaboración de prefabricados de hormigón brindan facilidad y accesibilidad de producir bloques de hormigón armado a diferentes dimensiones, con altos niveles de resistividad y calidad (Santizo, 2015), con ello la subdivisión de estos sistemas están dados por componentes de moldeo, por mesa vibratoria y mecanismos de evacuación ejemplo de ello la Figura 19. Al combinarlos permite que el prefabricado de hormigón sea lo más compacto y que el sistema trabaje lo más optimizado posible, reduciendo tiempos de fabricación y desgaste físicos sobre el operario.

Figura 19

Sistema vibratorio comercial



Nota. Se muestra un prototipo de una máquina empleando un sistema vibratorio. Tomado de (Bucher, n.d)

- **Componente de moldeo**

En este componente se deposita la materia prima más la viga metálica que conforma el prefabricado de hormigón, puede ser diseñada de varios prototipos y tamaños, en ella se deposita la cantidad deseada por el operario, permanece estático para que se acople a la vibrocompactación.

- **Unidad de compactación**

En la actualidad el sector de la construcción ha desarrollado nuevas formas de trabajar con hormigón considerando métodos de compactación manual y mecánicos con el objeto de facilitar mano de obra y generar balances de producción (Salas , 2016).

En la Tabla 23, se muestra algunos métodos de compactación que han ayudado a obtener un hormigón más compacto, libre de huecos y de aire atrapado en su interior (Salas , 2016):

Tabla 23*Métodos de compactación de hormigón*

Método	Características	Aplicación
Manual	<ul style="list-style-type: none"> – Poco recomendados – Bajo en rendimiento – Requieren de supervisión cuidadosa 	<ul style="list-style-type: none"> – Obras pequeñas.
Vibradores de moldaje	<ul style="list-style-type: none"> – Deben operar con frecuencias de 50 a 100 Hz. – Ejerce mayor grado de compacidad – Mejor calidad de superficie. – Reduce niveles de fatiga en las formaletas. – Trabaja con espesores menor a 30cm. – El sistema de vibración se sitúa a una distancia similar al radio de acción. 	<ul style="list-style-type: none"> – Prioritariamente en elementos prefabricados. – Raro en hormigón estructural de sección muy delgadas. – Apropiado para evitar huecos de aire en los moldes. – Encobrados de hormigón.

Método	Características	Aplicación
Vibradores de superficie	<ul style="list-style-type: none"> – Opera con formaletas rígidas de acero, a fin de evitar vibraciones con distorsión. – Opera con frecuencias de hasta 100 Hz. – Estabilizan y son eficaces para nivelar suelos. – Eficaces en superficies de 20cm sin varilla interna y de 15cm con varilla interna delgada. 	<ul style="list-style-type: none"> – Útil para pisos y pavimentos. – Muy usado en losas con pendientes ligeras.
Vibradores internos	<ul style="list-style-type: none"> – Presentan características como diseño, tamaño, peso fácil de maniobrar. – Compactan mezclas de cualquier viscosidad. 	<ul style="list-style-type: none"> – Útil en hormigón estructural. – Apropiado para hormigón en masa. – Eficaz para pisos. – Recomendado para prefabricados – Útil para lugares de poca accesibilidad

Método	Características	Aplicación
		ejemplo de ello molde y armadura.

Nota. Se indica el método manual y mecánico para trabajar con prefabricados de hormigón.

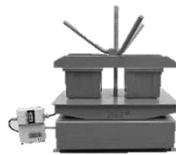
Tomado de (Salas , 2016).

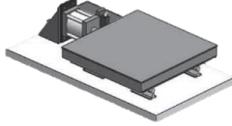
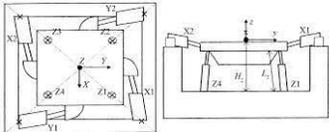
- **Mesa vibro-compactadora**

Este tipo de compactación hace referencia a la compactación mecánica, dado que este posee un mecanismo que proporciona el efecto vibratorio suficiente para compactar el hormigón, aquí se trata de aprovechar el peso muerto del sistema y la fuerza activa que genera el mecanismo vibrador, mayormente esta fuerza actúa de forma vertical y son operados de forma manual y automática. (Rico & Mejía, 1992) . Se pueden clasificar de la siguiente forma:

Tabla 24

Clasificación de mesas vibro-compactadoras

Clasificación	Tipo	Descripción	Grafico
Según el tamaño	Bajas	Esta mesa está en función del requerimiento del operador y depende del tipo de prefabricado o del molde a ser usado.	
	Altas		

Clasificación	Tipo	Descripción	Grafico
Según el actuador	Horizontal Vertical	Mesa vibratoria con actuadores neumáticos estos pueden ser cilindros o válvulas alimentadas por uno o dos compresores de aire	
Según los grados de libertad	Un grado Dos o más grados	Este tipo de mesas permiten desarrollar movimiento en una sola coordenada Este tipo de mesas permiten desarrollar cualquier patrón de oscilación o movimiento espacial	

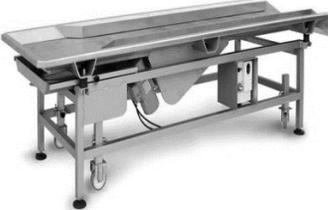
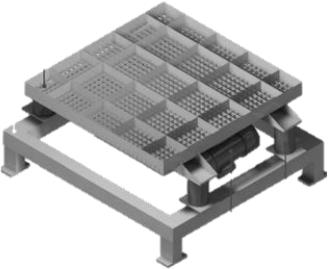
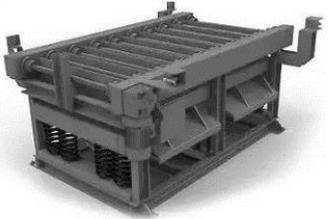
Nota. Se indica la clasificación general de las mesas vibro-compactadoras. Tomado (Carrillo , Bernal, & Porras, 2013) (Okumura & Uriol , 2018) (Bernal, Aponte, & Carrillo, 2015)

- **Tipos de plataforma vibrante.**

Las maquina compactadoras están constituidos de una plataforma vibrante accionada mediante un motor eléctrico y será aplicado dependiendo la aplicación como se muestra en la Tabla 25.

Tabla 25

Clasificación de plataformas vibrantes.

Clasificación	Descripción	Gráfico
Plataforma solida	Plataforma vibrante en mesa plana para compactación de fundiciones.	
Plataforma mallada	Plataforma vibratoria clasificadora de material y compactadora de piezas de fundición.	
Plataforma tubular	Plataforma vibrante integrada con camino de rodillos.	
Plataforma emparrillada	Plataforma vibrante en forma de emparrillado, de tal manera, se consigue una separación de materiales.	

Nota. Se indica la clasificación de plataformas vibrantes.

- **Mecanismo de evacuación**

Este sistema tiene como finalidad expeler de la formaleta al prefabricado de hormigón después del proceso de elaboración para luego llevar al sitio de fraguado, a su vez debe conservar su calidad, uniformidad y la maleabilidad. Este tipo de mecanismo puede operar de forma manual o automática, generalmente se acopla mediante palancas que hacen que la formaleta se desplace dejando solo el prefabricado para luego evacuarlo (Carlosama , 2014).

Figura 20

Mecanismo de evacuación del prefabricado



Nota. Se muestra un mecanismo de palanca para la evacuación de prefabricado de hormigón.

Tomado de (Haiyu, n.d)

- **Mecanismos de evacuación externos**

Existe mecanismos externos que facilitan el transporte del prefabricado de hormigón hacia su punto de secado como:

- Carretillas
- Capachos
- Cintas transportadoras
- Canoas y canaletas

- Mangas

Ventajas de los sistemas para prefabricados de hormigón

A continuación, se indica las principales ventajas de trabajar con sistemas semiautomáticos y automáticos para la producción de prefabricados de hormigón:

- Mayor producción
- Mayor calidad de los prefabricados
- Menor esfuerzo físico para el operador
- Mayor nivel de compactibilidad
- Mejor acabado del prefabricado
- Rápida fabricación del prefabricado
- Producto con mayor solidez y competitivo en el mercado

Capítulo III

Diseño y construcción de la máquina compactadora de postes de hormigón.

Análisis de la producción y entorno.

Dentro de este segmento se optó por una entrevista, destinado a los colaboradores de la fábrica “Jesús del Gran Poder” y a productores de Cunchibamba y sectores aledaños de la provincia de Tungurahua. Seguidamente, se presentará el formato de encuesta y por tanto los resultados obtenidos serán indicados en el Anexo A.

Formato de la encuesta

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA MÁQUINA COMPACTADORA DE POSTES DE HORMIGÓN “ALAMBRADO” APLICABLE A LA FÁBRICA JESÚS DEL GRAN PODER PARA LA OPTIMIZACIÓN DE PRODUCCIÓN.

Nombre: _____ Edad: _____ Fecha: __/__/__

Firma: _____ Teléfono: _____

Por favor, siga las instrucciones que a continuación se indican para llenar la hoja de respuestas cuidadosamente:

- Lea cuidadosamente las preguntas antes de contestar.
- Cualquier duda que se tenga preguntar al colaborador presente.
- Esta encuesta se realiza para fines educativos.

1) ¿Cómo realiza la compactación de los postes de hormigón?

- a. Tradicional ()
- b. Automatizada (Maquinaria) ()

2) ¿Por qué realiza ese método de compactación?

- a. Decisión propia ()
- b. Exigencias del mercado ()
- c. Ahorrar recursos ()

3) ¿Cuál es la dimensión más grande de poste de hormigón que elabora su fábrica?

- a. 1 metro ()
- b. 2 metros ()
- c. 3 metros ()
- d. Otro. ___ metros.

4) ¿Cuánto tiempo se demora en compactar un poste de hormigón tradicionalmente?

- a. 3 min ()
- b. 5 min ()
- c. 10 min ()
- d. Otro: ___ min.

5) ¿Cuánto personal se requiere para la compactación de los postes de hormigón?

- a. 1 persona ()
- b. 2 personas ()
- c. 3 personas ()
- d. Otros ___ personas

6) ¿Con qué frecuencia realiza la compactación de postes de hormigón?

- a. Diario ()
- b. Semanalmente ()
- c. Mensualmente ()
- d. Otros. ¿Cada cuánto tiempo? _____

7) ¿Qué cantidad de postes de hormigón produce a la semana?

_____ Unidades.

8) En cuanto a calidad cómo definiría Usted un poste de hormigón fabricado de forma automática vs manual.

- a. Regular ()
- b. Buena ()
- c. Excelente ()

9) Si Usted está dispuesto a automatizar el proceso de compactación de postes de hormigón o derivados ¿Cuánto estaría dispuesto a invertir?

- a. \$ 1500-2000 ()
- b. \$ 2000-2500 ()
- c. \$ 2500-3000 ()

10) Seleccione las expectativas más importantes que considera que debe tener la máquina compactadora de postes de hormigón o derivados.

- a. Tamaño óptimo ()
- b. Peso ligero ()
- c. Estructura amigable ()

- d. Mínimo ruido ()
- e. Bajo costo ()
- f. Compactación de forma precisa ()
- g. Compactación de forma rápida ()
- h. No maltrate el producto ()
- i. Fácil operación ()
- j. Transportable ()
- k. Otro. _____

Nota. Se muestra la encuesta. Elaboración de autores

Tamaño de los postes de hormigón para alambrado

Para los moldes de premoldeado son los que definen el tamaño de los postes de hormigón (alambrado). Estas medidas fueron recolectadas en las diferentes fabricas aledañas, siendo estas las medidas que exige el mercado actual.

Tabla 26

Longitudes de los diferentes tipos postes de hormigón.

Muestras	Mojones (m)	Poste Olímpico (m)	Poste Recto (m)
1	1.10	3.30	2.00
2	1.00	3.20	2.10
3	1.05	3.10	2.00
4	1.10	3.10	2.10
5	1.00	3.30	2.10
6	1.10	3.10	2.10
7	1.10	3.20	2.00
8	1.00	3.30	2.00
Promedio	1.05	3.20	2.05

Nota. Se muestra las medidas de postes tomadas por encuesta.

Las medidas mostradas en la anterior tabla son tomadas del producto final (fuera del molde), en el cual se utilizó un flexómetro como instrumento de medida.

Recolección de datos

Finalizado el sistema de evaluación de encuestas destinados a los productores de prefabricados de hormigón de Cunchibamba y sectores aledaños, se obtuvo que la mayoría de los productores, realizan el proceso de compactación y elaboración de los procesos de forma tradicional, método que se realiza por decisión propia, recalcando que esta forma de elaborar ejerce mayor desgaste y recursos para el personal, entorno a la demanda que exige el mercado, las dimensiones de los postes están entre los 2 y 3 metros de longitud, tomando en cuenta que el tiempo empleado por la mayoría de los productores es de 10 minutos por poste y se requiere de al menos 2 personas para una producción semanalmente de 100 a 200 postes.

En cuanto a la decisión de emplear un sistema automatizado y remplazar el método tradicional, la mayoría de los productores opina que el producto elaborado con maquinaria automatizada tendrá una buena calidad que, elaborado manualmente, en definitiva la mayoría, de los productores estas dispuestos a invertir entre los 1500 a 2000 dólares con el fin de mejorar tiempos de producción y calidad, el optimizar la elaboración de los productos de hormigón exige varias expectativas en maquinaria vibro compactadora cómo: estructura amigable, sistemas de fácil operación, mínimo ruido, compactación de forma rápida y precisa sin maltratar el producto.

Por la cordial colaboración de las diferentes fábricas encuestadas se obtuvo información cualitativa y cuantitativa, permitiendo entender y palpar la problemática que presentan los productores del sector, a su vez nos permitió profundizar y despejar dudas respecto al tema de estudio en beneficio de los mismos.

Análisis de factibilidad de implementación

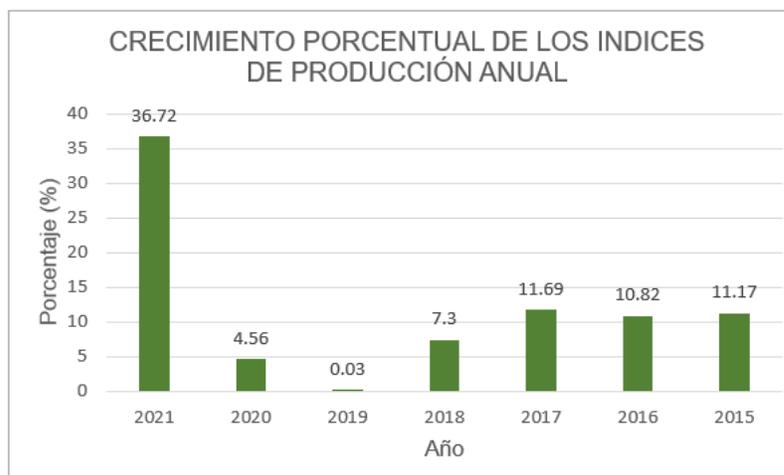
Para la construcción de la máquina compactadora de postes de hormigón, es factible analizar varios factores que comprometen a su posterior implementación:

Recurso económico: Es uno de los factores que mayor impacto tiene sobre la construcción de la máquina compactadora de postes de hormigón este factor compromete directamente a la fábrica y analiza el costo y la disponibilidad de inversión. Con las encuestas realizadas a los productores de las diferentes fábricas aledañas al sector de implementación, se pudo esclarecer que la disponibilidad de inversión para dicha máquina es entre los 1500 a 2000 dólares, considerando que en la selección de los componentes de la máquina se deberá tomar en cuenta valores accesibles y no elevar el costo inicial de inversión.

Producción: Dentro del sector de la construcción se tiene productos como bloques, postes, tubos, adoquines, baldosas, etc. es por esto que las variaciones porcentuales de los índices los postes de cerramiento han tenido un incremento anual del 4.56 % del año 2020, mientras que en el año 2021 presenta un 36.72% a nivel nacional. (INEC, 2021)

Figura 21

Crecimiento porcentual de los índices de producción anual



Nota. Se muestra el crecimiento de producción anual de postes de hormigón para cerramiento.

Tomado de (INEC, 2021)

Mercado: Los postes de hormigón de cerramiento o alambrado son productos muy usados en el mercado de la construcción, a nivel nacional en el ámbito de la ganadería, agricultura, perimetrales, limitación de terrenos, etc. Debido a su gran utilidad varias empresas disponen de modelo y longitudes según su utilidad, es por eso que los precios varían según el sector y proveedor como se puede observar en la tabla 27.

Tabla 27

Precio de valor unitario por poste según fabricante o proveedor.

Fábrica	Mojones (1m)	Poste Olímpico (3m)	Poste Recto (2m)
	(\$)	(\$)	(\$)
MAPRECAR (Ibarra)	7,00	12,00	10,00
ESMACOPRE (Riobamba)	6,50	11,50	9,50
RHYNO (Quito)	6,50	-	8,50
PREFABRICADOS NACIONALES (Quito)	6,00	11,50	8,00
JC-VENTAS (Tungurahua)	5,50	10,00	8,00
TUBOS ROCAFUERTE (Tungurahua)	6,00	11,00	8,00

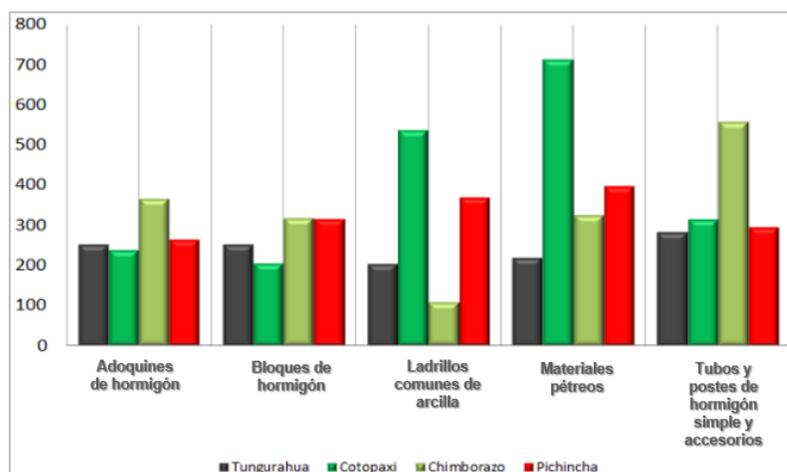
Fábrica	Mojones (1m)	Poste Olímpico (3m)	Poste Recto (2m)
	(\$)	(\$)	(\$)
JESUS DEL GRAN PODER (Tungurahua)	4,00	9,00	7,00
PREFABRICADOS COTOPAXI (Quito)	6,50	11,70	8,90

Nota. Se indica los precios de las diferentes fábricas de la región cierra en el Ecuador sobre postes de cerramiento o alambrado.

De acuerdo a la tabla 27 mostrada se observa que los costos por unidad dependen del fabricante, ciudad y del tipo de poste a utilizar, teniendo en cuenta que en la provincia de Tungurahua los postes están entre los precios más accesibles del mercado con una variación de hasta los 3 dólares. Además, esto demuestra que resulta de gran importancia apoyar a las pequeñas empresas con capacitaciones para la elaboración de productos de calidad y confiabilidad, como por ejemplo en el proceso de compactación de hormigón para su posterior comercialización.

Figura 22

Ventas en el sector de la construcción 2011 - 2020



Nota. Se puede evidenciar los índices de precios en sector de la construcción. (Sánchez, Vayas, Mayorga, & Freire, 2020)

Como se observa en la figura 22, estos productos en el mercado de Tungurahua son bastante estable y no presenta mayor variación es así que al año 2020 se tiene un promedio de 243.93 en relación al índice nacional de 244.05 en evolución de precios. (Sánchez, Vayas, Mayorga, & Freire, 2020)

Tungurahua entre el año 2019 y 2020 representa el 2.4% en ventas dentro del campo de la construcción con productos como adoquines de hormigón, bloques de hormigón, ladrillos comunes de arcilla, materiales pétreos, tubos hormigón y postes de hormigón (Sánchez, Vayas, Mayorga, & Freire, 2020).

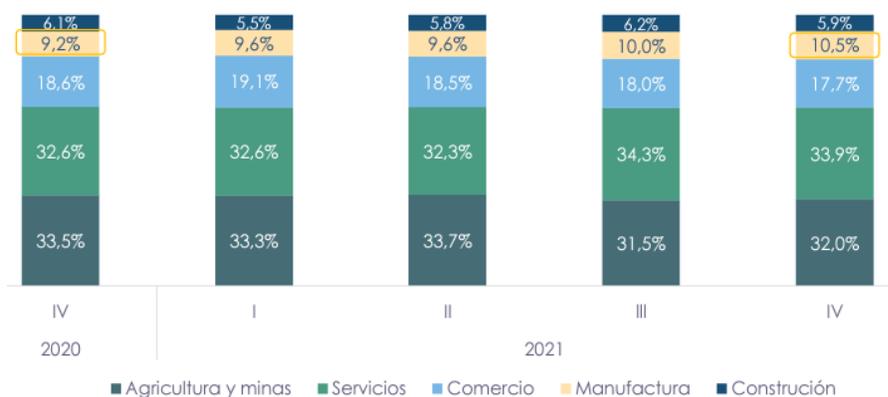
Este sector en el año 2019 obtuvo en impuestos de retención por servicio de mano de obra y de asesoramiento profesional un alrededor de 22.415.085 dólares y en impuestos al SRI un monto de 339.923.928 dólares, con ello se puede evidenciar que el campo de la construcción

es un factor muy importante en el mercado y economía de la provincia y del país. (Sánchez, Vayas, Mayorga, & Freire, 2020).

Empleo: La actividad de la construcción es uno de los sectores que genera empleos a nivel nacional, este sector comprende el 6.1% del IV trimestre del 2020 y el 5.9% del IV trimestre del 2021, con respecto a los demás sectores, debido al COVID-19 se ve disminuido un 0.2% como se observa en la Figura 23. (INEC, 2021)

Figura 23

Población ocupacional según rama de actividad nacional

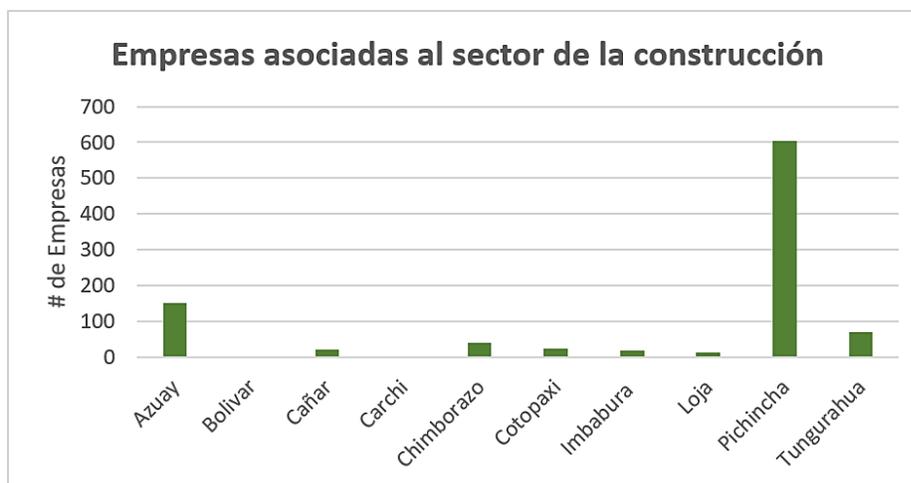


Nota. Se muestra la población ocupacional en los distintos sectores al año 2021. Tomado de (INEC, 2021)

A nivel nacional el sector de la construcción cuenta con 562 empresas, el cual ofrece 37.059 plazas de empleo repartidos en un 9,9% de hombres y el 0,5% de mujeres dentro de la región sierra, la provincia de Tungurahua ocupa el tercer lugar con alrededor de 70 empresas registradas y 419 empleados. (INEC, 2020)

Figura 24

Empresas de la región sierra asociadas al sector de la construcción



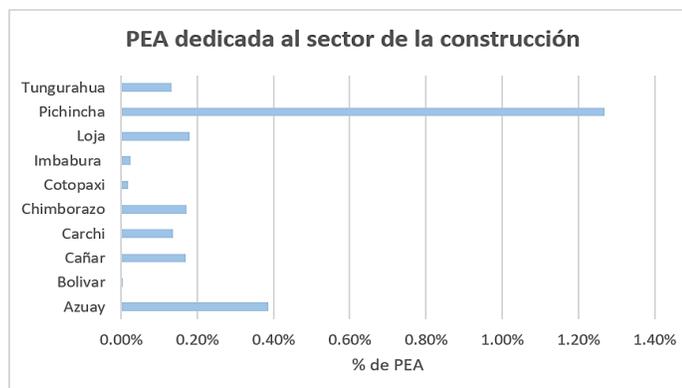
Nota: Se muestra el número de empresas asociadas al sector de la construcción en la región sierra. (Elaboración de autores).

Análisis de factibilidad. Con todos los puntos tratados anteriormente se considera idóneo la implementación de la máquina compactadora de postes, dado que de esta forma se promueve la mejora continua y beneficio de producción para las empresa y microempresas asociadas al sector de la construcción. Además, dentro del mercado el campo de la construcción de prefabricados representa el 2.4% en ventas dentro de la provincia de Tungurahua y en ganancias por producción el 1.8%, es decir, genera alrededor de 173.651,20 mil dólares anuales abarcando el 7.4% en la participación económica sin mencionar que esta puede incrementar en los próximos años y generar aún más ganancia y demanda de producción.

A su vez en el análisis de empleo, se pudo recabar que Tungurahua cuenta con 70 empresas dedicadas a este sector y según la Figura 25, el 0.13% de 318.386 de la población económicamente activa se dedica a este campo, por ende, se concluye que es una fuente de trabajo rentable debido a la disponibilidad de recurso y aumento de población.

Figura 25

Población económicamente activa asociada al sector de la construcción



Nota: Se muestra el porcentaje de participación por parte de la PEA en el sector de la construcción región sierra. Tomado de (BCE, 2020).

Varias actividades de la construcción requieren de hormigón compactado a fin de facilitar la labor del constructor, por ello resulta conveniente contar con maquinaria que ejecute la compactación de prefabricados de hormigón y ofrecer ventajas y productos competitivos al mercado, lo más preponderante al contar con este tipo de maquinaria es que los recursos empleados manualmente reducen de forma considerable, beneficiando a la empresa o microempresa en tiempos de producción y demanda.

Por otra parte, los recursos empleados manualmente para la producción de este tipo de prefabricados, se verá disminuido y se reducirá los esfuerzos y desgastes físicos hacia el productor, mismos que a la larga serán aprovechados para aumentar la producción o para producir otro tipo de prefabricado.

Despliegue de función de la calidad

El QFD (Quality Function Deployment), es una metodología que engloba las demandas requeridas por el consumidor (voz-usuario), y las especificaciones dadas por el especialista (Voz

ingeniero). Ambas características analizan la calidad de cada componente en operación a fin de cumplir con las exigencias del cliente y del fabricante.

Las demandas y especificaciones que debe cumplir cada componente son exigencias y características asociadas a la máquina ejemplo de ello el tamaño, el peso, la funcionalidad, etc. Juntas establecen el modelo bajo requerimientos para su posterior diseño y fabricación, están pueden ser sencillas o exigentes todo dependerá de la necesidad del desarrollador o del cliente.

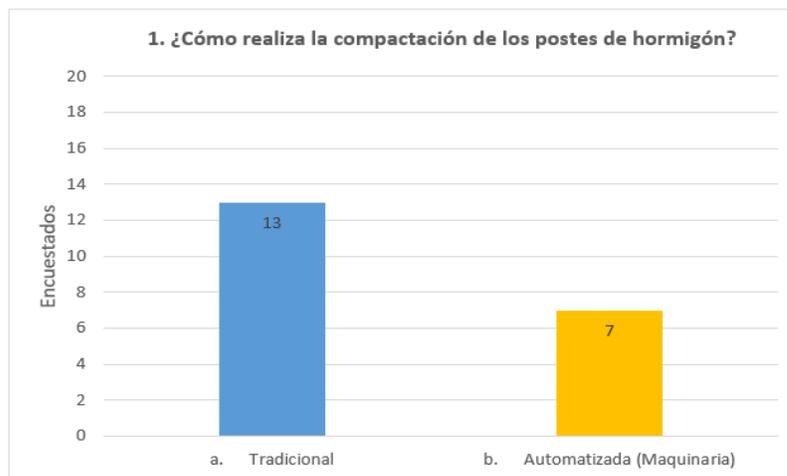
Voz del usuario

Son las especificaciones y exigencias que marca el usuario ante el diseño e implementación de la máquina. Con las preguntas sustentadas por la encuesta a los 20 productores del sector de análisis y de los sectores aledaños, la pregunta uno, ocho y diez fueron el eje de nuestro estudio por ser el enfoque hacia los requerimientos y necesidades del usuario.

Pregunta uno, en la Figura 26 se muestra los resultados de ¿Cómo realiza la compactación de los postes de los postes de hormigón?:

Figura 26

Forma de compactar los postes de hormigón



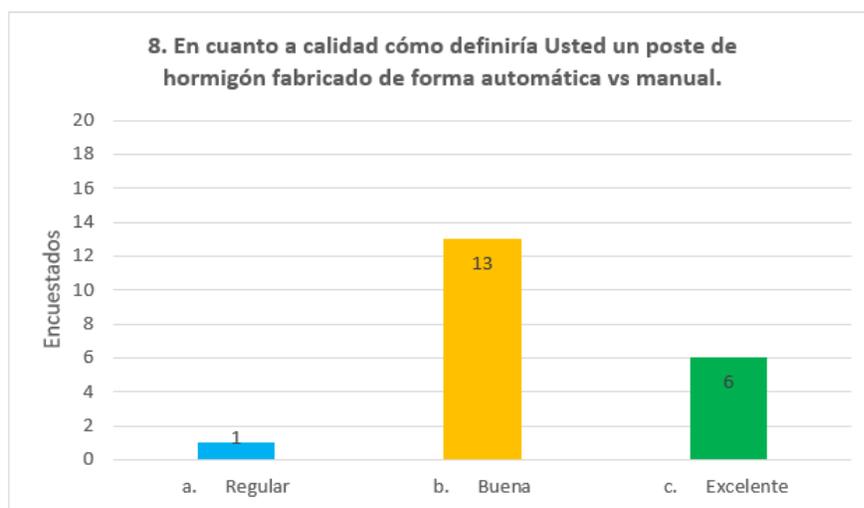
Nota: Se muestra los resultados de la encuesta a los productores sobre la forma de compactar los postes de hormigón.

De los 20 encuestados pertenecientes al 100%, 13 opiniones es decir el 65% realizan la compactación de los postes de hormigón de forma tradicional, mientras que 7 opiniones es decir el 35% responden que su forma de compactar los postes de hormigón es con maquinaria automatizada.

Con esto se concluye que en su mayor parte los fabricantes de los postes de hormigón emplean el método arcaico generando desgaste físico, bajos niveles de producción y calidad, por lo que se busca con la pregunta ocho complementar la opinión sobre tener un producto de las mismas características fabricado manualmente versus maquinaria automática.

Figura 27

Calidad de un poste de hormigón fabricado de forma automática versus manual



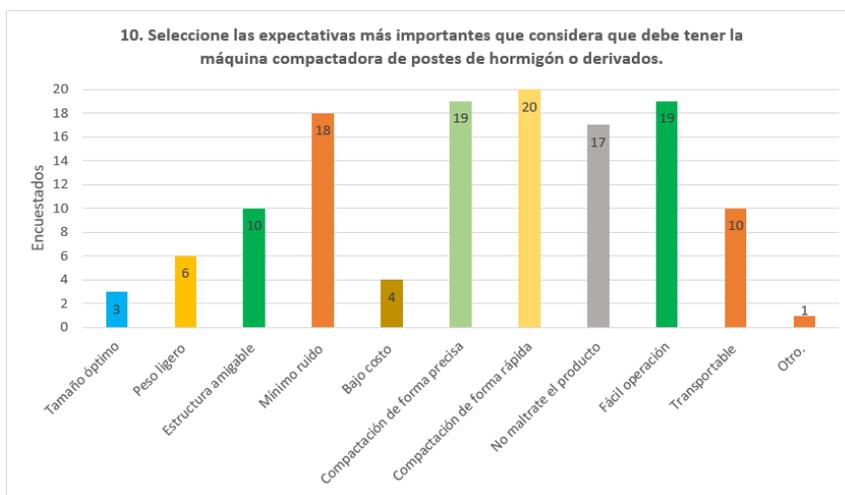
Nota: Se muestra los resultados de la encuesta a los productores sobre la calidad de los postes de hormigón fabricados de forma automática versus manual.

De los 20 encuestados pertenecientes al 100%, 1 opinión, es decir el 5% define que la calidad es regular, mientras que 13 opiniones es decir el 65% define que la calidad es buena y finalmente 6 opiniones es decir el 30% califica que el poste de hormigón fabricado en maquinaria automática es de excelente calidad.

Con el análisis de estas dos preguntas se concluye que la mayoría de los productores califican que un poste de hormigón fabricado en maquinaria automática, será de buena y excelente calidad por lo que, al analizar la rentabilidad de la empresa, la mayoría de ellos estarían de acuerdo en cambiar su modo de producción tradicional a automática, por el simple hecho de brindar al mercado productos de calidad y hacer crecer la economía de la empresa.

Figura 28

Expectativas a considerar para implementar la máquina compactadora de postes de hormigón



Nota: Se muestra los resultados sobre las expectativas que el usuario considera para una máquina compactadora de postes de hormigón.

De los 20 encuestados pertenecientes al 100%, consideran que la máquina compactadora de postes de hormigón a implementar tenga las siguientes expectativas, compactación de forma rápida con 20 opiniones pertenecientes al 16%, de igual forma 19 opiniones pertenecientes al

15% requieren que la compactación sea de forma precisa y con el mismo porcentaje opinan que debe ser fácil de operar, también 18 opiniones pertenecientes al 14% requieren que haga el menor ruido posible, a su vez 17 opiniones pertenecientes al 13% desean que no maltrate el producto al fabricar, 10 opiniones pertenecientes al 8% consideran que debe ser de estructura amigable y otras 10 opiniones pertenecientes al 8% requieren que sea transportable, junto con ello 6 opiniones pertenecientes 5% desean que la máquina sea de peso ligero, 4 opiniones pertenecientes al 3% seleccionan que debe ser de bajo costo, inclusive 3 opiniones pertenecientes al 2% opinan que debe tener un tamaño óptimo y 1 voto perteneciente al 1% opina que debe ser amigable con el medio ambiente.

Con los resultados obtenidos en esta pregunta se puede enumerar a continuación los prerequisites que debe tener la máquina antes de su diseño e implementación, prerequisites que fueron planteados por los mismos productores o posibles usuarios:

- Compactación de forma rápida
- Compactación de forma precisa
- Fácil operación
- Mínimo ruido
- No maltrate el producto
- De estructura amigable
- Transportable
- De peso ligero
- Bajo costo
- Tamaño óptimo
- Amigable con el medio ambiente

Voz del ingeniero

La voz del ingeniero son requerimientos obtenidos por parte de los usuarios. Para el cliente es importante que exista al menos una característica y el diseñador lo tomara en cuenta, como se muestra en la tabla 28.

Tabla 28

La voz del ingeniero

Requerimientos del usuario	Voz ingeniero
Tamaño optimo	Dimensionamiento de la máquina
Peso ligero	Consistencia de los materiales
Estructura amigable	Geometría elemental
Mínimo ruido	Ajuste y tolerancias
Bajo costo	Materiales asequibles
Compactación de forma precisa	Tipo de mecanismo vibratorio
Compactación de forma rápida	Rapidez de elaboración (producto)
No maltrate el producto	Velocidad de compactación (variable)
Fácil operación	Automatización del sistema
Transportable	Tipo mecanismo móvil

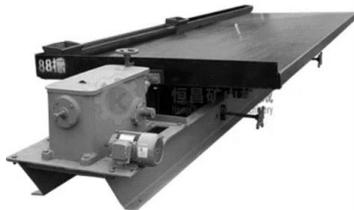
Nota. Se muestra los requerimientos solicitados para el diseño por parte del usuario.

Competencia

Para el desarrollo de la función de la calidad es necesario una selección de las competencias, es decir, las máquinas compactadoras de postes de hormigón o productos derivados existentes en el mercado. Los mismo que son evaluados en un rango de 1 a 5, siendo estos introducidos en la casa de la calidad.

Tabla 29

Características de máquinas compactadoras de dos marcas diferentes.

Especificaciones	Competencia 1 (JXSC)	Competencia 2 (Chinvest)
Figura		
Modelo	GZD-800X3000	6-S
Tipo de compactación	Mesa Vibrante	Mesa Vibrante
Dimensiones (mm)	3110X1800X1600	4450x1855x1546
Peso (kg)	3195	<1000
Capacidad (kg/min)	1300	10 – 40
Potencia (hp)	3	1.5
Voltaje (v)	230	220

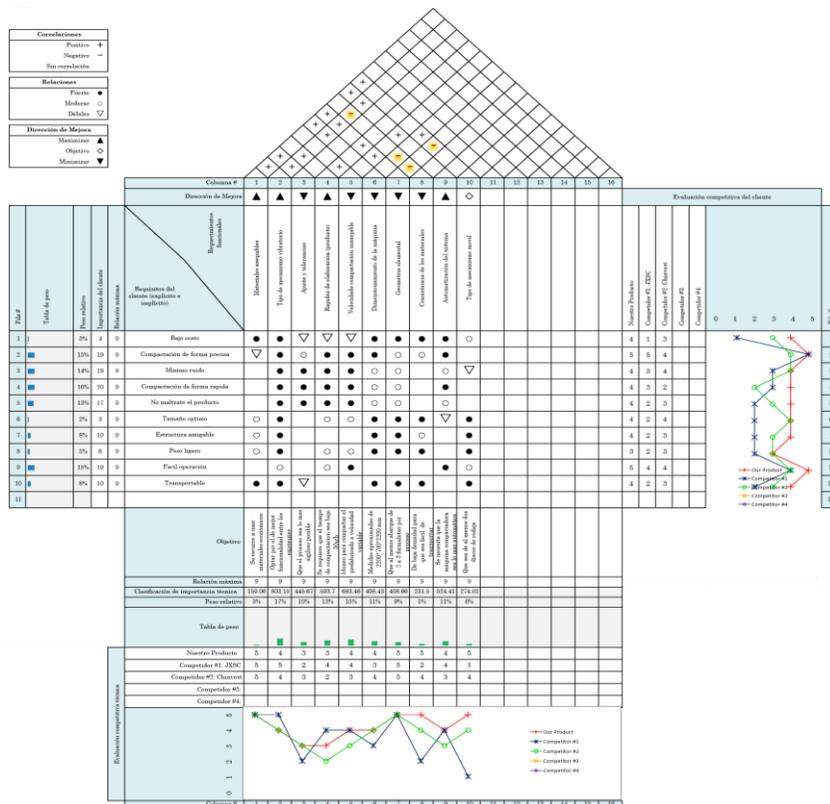
Especificaciones	Competencia 1 (JXSC)	Competencia 2 (Chinvest)
Material	Acero resistente	Acero, fibra de vidrio y plástico reforzado
Frecuencia (Hz)	60	50/60

Nota. Se muestra las características principales de dos ejemplos de este tipo de máquinas.

Casa de la calidad

Figura 29

Casa de la calidad para el diseño e implementación de una máquina compactadora de postes de hormigón



Nota: Se presenta la casa de la calidad para validar requerimientos.

Resultados de la casa de la calidad

Con el resultado obtenido en el despliegue de la casa de la calidad, se puede conocer los requisitos del cliente con cierto porcentaje de relevancia, como se indica en la tabla 30.

Tabla 30

Requisitos del cliente

Requisitos del cliente	Peso relativo (%)
Compactación de forma rápida	16
Compactación de forma precisa	15
Fácil operación	15
Mínimo ruido	14
No maltrate del producto	13
Estructura amigable	8
Transportable	8
Peso ligero	5
Bajo costo	3
Tamaño optimo	2

Nota. Se muestra los requerimientos solicitados por el usuario.

Junto con ello, la casa de la calidad nos dio a conocer los requerimientos funcionales que se debe considerar como los más importantes, mismos que se indican en la tabla 31.

Tabla 31*Requerimientos funcionales*

Requerimientos funcionales	Peso relativo (%)
Tipo de mecanismo vibratorio	17
Velocidad compactación manejable	15
Rapidez de elaboración (producto)	13
Dimensionamiento de la máquina	11
Automatización del sistema	11
Ajuste y tolerancias	10
Geometría elemental	9
Tipo de mecanismo móvil	6
Consistencia de los materiales	5
Materiales asequibles	3

Nota. Se muestra los requerimientos funcionales de la máquina.

En base al análisis y resultados que se obtiene a partir de la casa de la calidad, se puede determinar los aspectos que mayor relevancia tiene al momento de diseñar y construir la máquina compactadora de postes de hormigón (alambrado).

Tipo de mecanismo vibratorio. El mecanismo de vibración es un factor muy importante en proceso de la elaboración de los postes de hormigón, es por eso que el sistema que se seleccione como: el sistema de plataforma sólida, plataforma mallada, plataforma tubular y

plataforma emparrillada, entre otros. Cumpla características de: economía, no maltrate el producto (poste) y sobre todo que compacte de forma rápida y precisa.

Velocidad de compactación manejable. Se desea que la velocidad del mecanismo de vibración de la máquina sea el adecuado para cumplir con el requerimiento del usuario de no maltratar el producto, este parámetro dependerá de las dimensiones y contextura del poste a fabricar.

Rapidez de elaboración (producto). Se requiere que la máquina compacte el prefabricado de hormigón en el menor tiempo posible y que los tiempos de producción automáticos sean menores en comparación de los tiempos de producción manual.

Dimensionamiento de la máquina. Para que cumpla con los requerimientos del usuario de tamaño óptimo, la máquina deberá ser dimensionada aproximadamente de 2200*600*900 mm.

Automatización del sistema. Se requiere que el control sea lo más automático posible, que los puntos de operación de máquina opere de forma automática a fin de evitar la intervención por parte del operario y aumentar la producción en el menor tiempo posible.

Ajustes y tolerancias. Se requiere que los parámetros como ruido, velocidad, control de encendido y apagado de la máquina sean tolerables y manejables para el operario.

Geometría elemental. La máquina no debe de ser muy robusta debe tener un tamaño óptimo capaz de soportar y compactar de 2 a 3 postes de hormigón por proceso.

Tipo de mecanismo móvil. Si es necesidad del productor desplazar la máquina para distintos lugares de trabajo, se requiere que esta sea fácil de transportar por ende deberá tener al menos dos discos de rodaje.

Consistencia de los materiales. En lo posible los materiales para la construcción de la máquina debe ser de baja densidad, con en el fin de favorecer a la movilidad y ser manejable para el operario.

Materiales asequibles. Economizar en la adquisición de materia prima, con el fin de brindar una máquina accesible para los productores de prefabricados de hormigón.

Especificaciones técnicas

En la tabla 32 se muestra las especificaciones técnicas de la máquina compactadora de postes de hormigón donde se estable los requerimientos propuestos por el usuario/cliente (C), o Ingeniero (I) y con ellos identificar si es un deseo (D) o requerimiento (R). Con estas especificaciones y características se desea obtener un mejor diseño de la máquina compactadora de postes de hormigón.

Tabla 32

Especificaciones técnicas para el diseño del sistema compactador de postes de hormigón.

Universidad de las Fuerzas Armadas Espe sede Latacunga		Proyecto: Diseño e implementación de una máquina compactadora de postes de hormigón (alambrado)		
Especificaciones del producto				
Concepto	Propone	R/D	Descripción	
Función	C+I	R	Compactar de 2 a 3 postes de hormigón por proceso y un aproximado de 18u/h (1107Kg/h).	
	C	D	Compactar el poste de hormigón de manera sigilosa	

Universidad de las Fuerzas Armadas Espe sede Latacunga **Proyecto: Diseño e implementación de una máquina compactadora de postes de hormigón (alambrado)**

Especificaciones del producto

Concepto	Propone	R/D	Descripción
	C+I	R	No maltratar el poste de hormigón durante la compactación.
	C+I	R	Compactar el poste de hormigón de manera precisa, libre de huecos y de aire atrapado en su interior
	I	D	Velocidad de compactación controlable.
Dimensión	I	D	La máquina debe cumplir con un tamaño óptimo, aproximado de 2200*60*900 mm.
Mantenimiento	I	R	Segura, controlable y de fácil mantenimiento.
Materiales	I	R	Para condiciones de durabilidad y resistividad de preferencia será de aceros inoxidable y derivados existentes en el mercado.
Alimentación	I	R	Con suministro de energía eléctrica.
Usabilidad	C+I	D	Interacción hombre máquina y fácil de operar.
Seguridad	I	D	Máquina sigilosa.

Universidad de las Fuerzas Armadas Espe sede Latacunga **Proyecto: Diseño e implementación de una máquina compactadora de postes de hormigón (alambrado)**

Especificaciones del producto

Concepto	Propone	R/D	Descripción
	C+I	R	Mecanismos con peligro de atrapamiento, corte o seccionamiento deben constar con cubiertas de protección a fin de evitar accidentes inesperados.
Costos	I	D	Implica eficiencia energética.
	C+I	R	La máquina debe tener un costo de fabricación de 1500 a 2000\$.

Nota. Se muestra las especificaciones de función del producto.

Análisis Funcional

La máquina compactadora de postes de hormigón requiere de algunas variables importantes para que desempeñe su función principal como son:

- Materia: Hormigón (Cemento, agua, áridos, aditivos y adiciones), molde del poste de hormigón.
- Energía: Eléctrica (Suministrada por la EEASA).
- Señal: Puesta en operación por operario (Tablero de control).

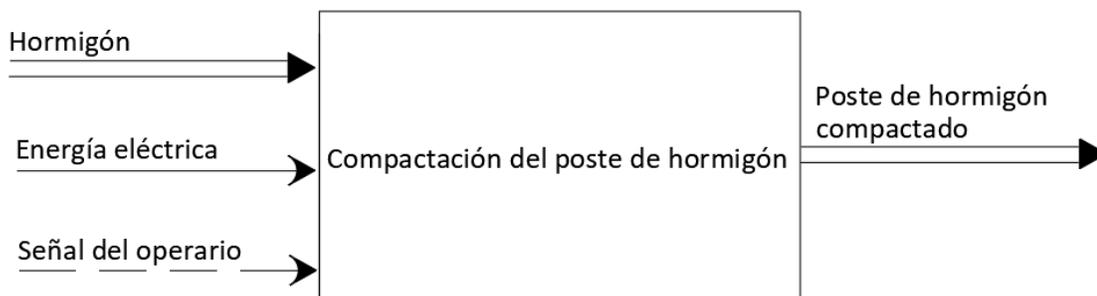
Como resultado:

- Materia: Poste Compactado (libre de huecos y espacios de aire)

El análisis funcional analizado se puede representar por medio de una caja negra de nivel cero, como se observa en la Figura 29.

Figura 30

Diagrama funcional de la máquina compactadora de hormigón

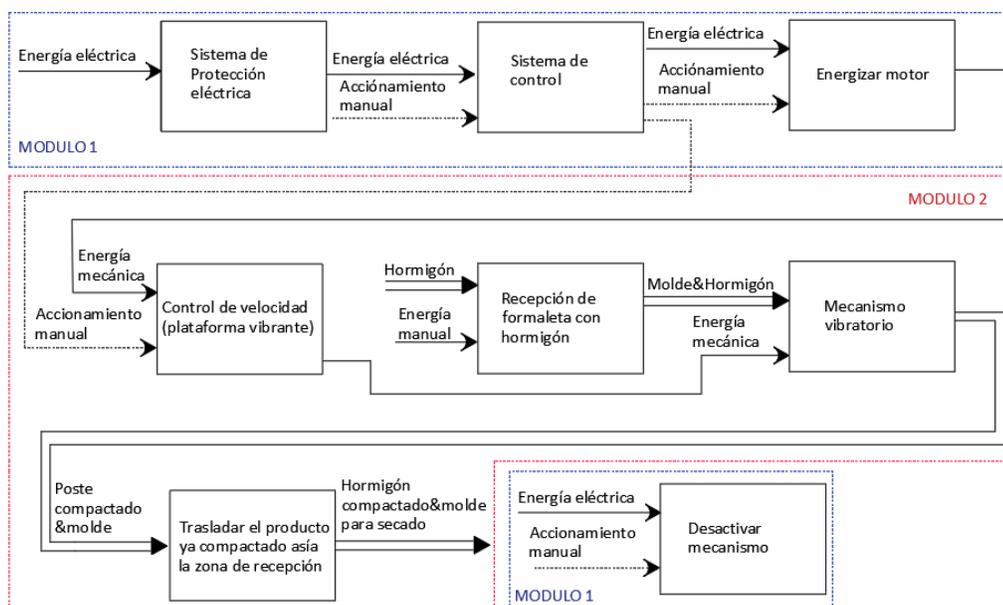


Nota. Se muestra el diagrama funcional de la máquina.

La función principal de la compactadora de postes de hormigón puede contener subfunciones, las mismas que están divididas por bloques que son: modulo 1 (parte eléctrica) y el módulo 2 (parte mecánica) como se puede observar en la siguiente Figura 31.

Figura 31

Diagrama de subfunciones de la máquina compactadora de postes



Nota. Se muestra el diagrama de subfunciones de la máquina.

Matriz morfológica

Con el análisis de las subfunciones de la máquina compactadora de postes de hormigón (alambrado), se plantea los elementos eléctricos y mecánicos que facilitan la operación de estas funciones. Para plantear la matriz morfológica se hace un estudio de las ventajas y desventajas de los elementos que influyen en el funcionamiento de la máquina.

Tabla 33

Subfunciones de la máquina compactadora de postes de hormigón (alambrado)

Subfunciones	Elementos
Sistema de protección eléctrica	• Fusibles

Subfunciones	Elementos
	<ul style="list-style-type: none"> • Interruptor magnetotérmico • Relé térmico • Guardamotor
Energizar sistema de control y motor	<ul style="list-style-type: none"> • Variador de frecuencia • Motor eléctrico
Accionar dispositivo de control manual/automático	<ul style="list-style-type: none"> • Interruptor • Pulsador • Potenciómetro
Sistema de transmisión de potencia mecánica	<ul style="list-style-type: none"> • Poleas • Engranajes • Cadena
Recepción de formaleta con hormigón	<ul style="list-style-type: none"> • Plataforma solida • Plataforma mallada • Plataforma tubular • Plataforma emparrillada
Mecanismo vibratorio	<ul style="list-style-type: none"> • Vibrador de moldaje • Vibrador de superficie • Vibrador interno
Desactivar el mecanismo	<ul style="list-style-type: none"> • Interruptor

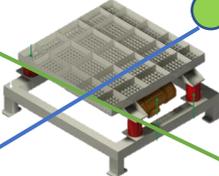
Subfunciones	Elementos
	<ul style="list-style-type: none"> • Pulsador

Nota: Se muestra las subfunciones de la máquina con su elemento actuador.

Tabla 34

Construcción de la matriz morfológica

Subfunción	Componente 1	Componente 2	Componente 3
Energizar dispositivo de control			
Accionar el dispositivo de control manual/automático			
Energizar máquina			
Sistema de transmisión de potencia			
Mecanismo vibratorio			

Subfunción	Componente 1	Componente 2	Componente 3
Recepción de formaleta con hormigón			
Desactivar el mecanismo			
Alternativa	1	2	3

Nota: se indica la matriz morfológica de selección de los elementos que se implementa en una máquina de este tipo.

Planteamiento de las alternativas de solución

Se describe a continuación las tres alternativas que podrían ser aplicadas para la máquina compactadora de postes de hormigón (alambrado).

Alternativa 1

En esta alternativa comprende de un variador de frecuencia, un interruptor de tres posiciones ON y OFF para el encendido y apagado, un motor eléctrico, un sistema de transmisión de potencia de tipo engranajes, un sistema de vibración de eje con contrapesos, una plataforma vibrante tipo mallada.

Alternativa 2

En esta alternativa comprende de un variador de frecuencia que contiene un indicador de verde, un botón pulsador (+/-) que regula la velocidad del motor eléctrico por medio del variador, un selector de tres posiciones para parada e inversión de giro, un sistema de

transmisión de potencia por medio de correas, un sistema de vibración de eje con contrapesos, una plataforma vibrante tipo sólido.

Alternativa 3

En esta alternativa comprende de un variador de frecuencia, indicador verde, un motor eléctrico, un sistema de transmisión de potencia por cadena, un sistema de vibración de eje con contrapesos, una plataforma vibrante tubular.

Selección de la alternativa adecuada

Luego de analizar las tres alternativas obtenidas por medio de la matriz morfológica, se determina las posibles soluciones considerando los requerimientos y especificaciones de mayor relevancia obtenidas en la casa de la calidad para construir la máquina. Para valorar de mejor manera las alternativas planteadas se hace uso del “*Método Ordinal Corregido de Criterios Ponderados*”, este método nos ayuda a seleccionar la más adecuada entre las existentes.

Tabla 35

Método ordinal corregido de criterios ponderados

	Tipo de mecanismo vibratorio	Velocidad de compactación manejable	Rapidez de elaboración (producto)	Dimensionamiento de la máquina	Automatización del sistema	Ajuste y tolerancia	Geometría elemental	Tipo de mecanismo móvil	Consistencia de los materiales	Materiales asequibles	$\Sigma+1$	Ponderación
Tipo de mecanismo vibratorio		1	1	0,5	1	1	0,5	1	1	0	8	0,1455
Velocidad de compactación manejable	0		1	0	0	1	1	1	0	1	6	0,1091
Rapidez de elaboración (producto)	0	0		0	0	1	0	1	0	1	4	0,0727
Dimensionamiento de la máquina	0,5	1	1		1	0,5	1	1	0	0	7	0,1273
Automatización del sistema	0	1	1	0		1	0	1	1	0	6	0,1091
Ajuste y tolerancia	0	0	0	0,5	0		0	0	1	1	3,5	0,0636
Geometría elemental	0,5	0	1	0	1	1		1	1	0	6,5	0,1182
Tipo de mecanismo móvil	0	0	0	0	0	1	0		0	0	2	0,0364

	Tipo de mecanismo vibratorio	Velocidad de compactación manejable	Rapidez de elaboración (producto)	Dimensionamiento de la máquina	Automatización del sistema	Ajuste y tolerancia	Geometría elemental	Tipo de mecanismo móvil	Consistencia de los materiales	Materiales asequibles	$\Sigma+1$	Ponderación
Consistencia de los materiales	0	1	1	1	0	0	0	1	0	5	0,0909	
Materiales asequibles	1	0	0	1	1	0	1	1	1	7	0,1273	
									Suma	55	1	

Nota. Se muestra los requerimientos del usuario aplicado el método ordinal corregido.

Tabla 36

Evaluación de las soluciones con respecto a tipo del sistema vibrador.

Tipo de mecanismo vibratorio	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		0,5	0,5	2	0,33
Solución 2	0,5		0,5	2	0,33
Solución 3	0,5	0,5		2	0,33
			Suma	6	1,00

Nota. Se muestra la evaluación de las respectivas soluciones del sistema actuante.

Tabla 37

Evaluación de las soluciones con respecto a la velocidad de compactación.

Velocidad de compactación manejable	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		0	1	2	0,33
Solución 2	1		1	3	0,50
Solución 3	0	0		1	0,17
			Suma	6	1,00

Nota. Se muestra la evaluación de las respectivas soluciones del sistema en condición de velocidad.

Tabla 38

Evaluación de las soluciones con respecto a la rapidez de elaboración del producto.

Rapidez de elaboración del producto	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		0	1	2	0,33
Solución 2	1		1	3	0,50
Solución 3	0	0		1	0,17
			Suma	6	1,00

Nota. Se muestra la evaluación de las respectivas soluciones del sistema en condición de rapidez.

Tabla 39

Evaluación de las soluciones con respecto al dimensionamiento de la máquina.

Dimensionamiento de la máquina	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		0	0	1	0,17
Solución 2	1		0	2	0,33
Solución 3	1	1		3	0,50
			Suma	6	1,00

Nota. Se muestra la evaluación de las respectivas soluciones del sistema en condición de dimensionamiento.

Tabla 40

Evaluación de las soluciones con respecto a la automatización del sistema.

Automatización del sistema	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		0,5	0,5	2	0,33
Solución 2	0,5		0,5	2	0,33
Solución 3	0,5	0,5		2	0,33
			Suma	6	1,00

Nota. Se muestra la evaluación de las respectivas soluciones del sistema en condición de automatización.

Tabla 41

Evaluación de las soluciones con respecto al ruido.

Ajuste y Tolerancia	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		0	1	2	0,33
Solución 2	1		1	3	0,50
Solución 3	0	0		1	0,17
			Suma	6	1,00

Nota. Se muestra la evaluación de las respectivas soluciones del sistema en condición de ruido.

Tabla 42

Evaluación de las soluciones con respecto a la geometría elemental.

Geometría elemental	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		0	0	1	0,17
Solución 2	1		0	2	0,33

Geometría elemental	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 3	1	1		3	0,50
			Suma	6	1,00

Nota. Se muestra la evaluación de las respectivas soluciones del sistema en condición de geometría.

Tabla 43

Evaluación de las soluciones con respecto a la movilidad de la máquina.

Tipo de mecanismo móvil	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		0	0,5	1,5	0,25
Solución 2	1		1	3	0,50
Solución 3	0,5	0		1,5	0,25
			Suma	6	1,00

Nota. Se muestra la evaluación de las respectivas soluciones del sistema en condición de movilidad.

Tabla 44

Evaluación de las soluciones con respecto a la consistencia de los materiales.

Consistencia de los materiales	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		0,5	0,5	2	0,33
Solución 2	0,5		0,5	2	0,33
Solución 3	0,5	0,5		2	0,33
			Suma	6	1,00

Nota. Se muestra la evaluación de las respectivas soluciones del sistema en condición de material.

Tabla 45

Evaluación de las soluciones con respecto a materiales económicos.

Materiales asequibles	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		1	0	2	0,33
Solución 2	0		0	1	0,17
Solución 3	1	1		3	0,50
			Suma	6	1,00

Nota. Se muestra la evaluación de las respectivas soluciones del sistema en condición de valor de material.

Tabla 46

Evaluación total y selección de la solución.

Selección de la alternativa	Tipo de mecanismo	Velocidad de compactación	Rapidez de elaboración	Dimensionamiento de la	Automatización del sistema	Ajuste y tolerancia	Geometría elemental	Tipo de mecanismo móvil	Consistencia de los	Materiales asequibles	Σ	Prioridad
Solución 1	0,048	0,036	0,024	0,021	0,036	0,021	0,020	0,009	0,030	0,042	0,289	3
Solución 2	0,048	0,055	0,036	0,042	0,036	0,032	0,039	0,018	0,030	0,021	0,359	1

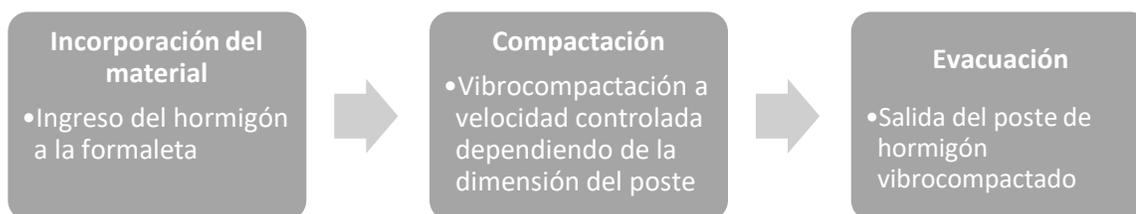
Selección de la alternativa	Tipo de mecanismo	Velocidad de compactación	Rapidez de elaboración	Dimensionamiento de la	Automatización del sistema	Ajuste y tolerancia	Geometría elemental	Tipo de mecanismo móvil	Consistencia de los	Materiales asequibles	Σ	Prioridad
Solución 3	0,048	0,018	0,012	0,064	0,036	0,011	0,059	0,009	0,030	0,064	0,352	2

Nota. Se muestra la evaluación resultante.

Luego de realizar un análisis y evaluación por medio del método ordinal corregido de criterios ponderado, la solución seleccionada de la tabla 38 es el número 1, es decir la solución 2 por ser la que mayor prioridad tiene frente a los parámetros necesitados y con respecto a las tres soluciones propuestas.

Figura 32

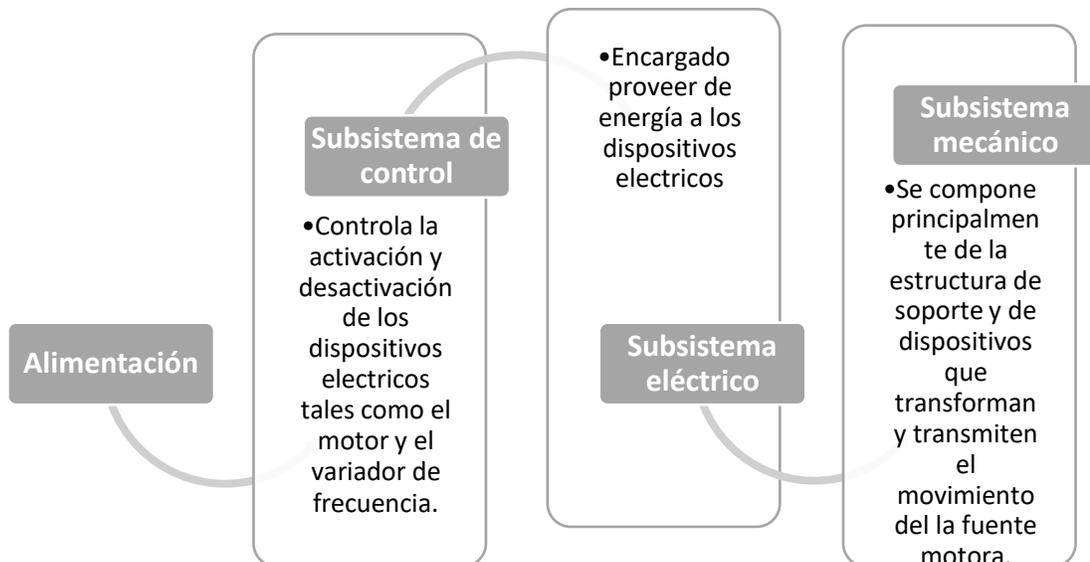
Flujograma general del proceso de alternativa seleccionada



Nota: se muestra el flujograma de proceso de elaboración de producto.

Figura 33

Subsistemas del proceso



Nota: Se muestra el subsistema con el proceso de función.

Análisis del entorno de cargas

Masa de hormigón a compactar sobre la plataforma vibrante

Es recomendable analizar el dimensionamiento de la máquina compactadora de postes de hormigón (alambrado), en función de su capacidad y peso a soportar, mediante encuestas, la fábrica y fabricas aledañas al lugar de implementación producen en su mayor parte postes de 2 metros de longitud con un peso aproximado de 61.5 Kg, empleando un tiempo de 10 minutos por poste.

Con estos antecedentes el objetivo de este proyecto es maximizar la producción, cambiando el modo de producción manual a automática, a fin de triplicar la producción en el mismo tiempo, es decir producir 3 postes en 10 minutos lo que daría un total de 18 postes en una hora o (1107 kg de hormigón compactado por hora).

Cálculo del hormigón compactado (poste) en base a la capacidad

Este cálculo se realiza en función de la cantidad de hormigón a compactar y lo propuesto anteriormente.

$$C_{requerida} = 1107 \frac{Kg}{h}$$

Con esto será necesario determinar en torno a la capacidad por minuto es decir los Kg/min:

$$C_{requerida} = 1107 \frac{Kg}{h} * \left(\frac{1h}{60min} \right)$$

$$C_{requerida} = 18,45 \frac{Kg}{min}$$

Por ende, la máquina deberá ser apta para compactar 18.45 Kg de hormigón por minuto y un aproximado de 184.5 Kg en 10 minutos, que es la cantidad de 3 postes con un peso aproximado de 61.5 Kg por unidad.

Masa de la plataforma vibrante

La estructura de la máquina no solo deberá ser capaz de soportar el peso del hormigón, dado que adicional a ello deberá soportar el peso de la plataforma vibrante y de los elementos mecánicos que la compone. Para verificar y aproximarnos al peso real de estos componentes se ha considerado determinar mediante el software versión estudiantil SolidWorks, mismos que al aplicarlos el material y las dimensiones de construcción (planos adjuntos), se ha logrado obtener lo siguiente:

$$M_{estructura} = 79,51Kg$$

$$M_{moldes} = 53,1Kg$$

$$M_{\text{mecanismo vibratorio}} = 30,14 \text{ Kg}$$

$$M_{\text{soporte internos}} = 2 \text{ Kg}$$

$$M_{\text{plataformavibrante}} = M_{\text{estructura}} + M_{\text{moldes}} + M_{\text{mecanismo vibratorio}} + M_{\text{soportes internos}}$$

$$M_{\text{plataformavibrante}} = 79,51 \text{ Kg} + 53, \text{ Kg} + 30,14 \text{ Kg} + 2 \text{ Kg}$$

$$M_{\text{plataformavibrante}} = 164,75 \text{ Kg}$$

Para definir la carga total de la plataforma vibrante es necesario sumar la masa propia de la plataforma vibrante más el peso del producto. Para cuestiones de fiabilidad en el funcionamiento de la máquina se estima un 10% más a la masa del producto.

$$M_{\text{producto}} = 202,95 \text{ Kg}$$

$$M_{\text{total}} = M_{\text{plataformavibrante}} + M_{\text{producto}}$$

$$M_{\text{total}} = 164,75 \text{ Kg} + 202,95 \text{ Kg}$$

$$M_{\text{total}} = 367,7 \text{ Kg}$$

Para condiciones de variación de masa en material y producto, se estima **380 kg** como valor próximo ante la presencia de sobrecargas externas.

Cálculo de la masa de la excéntrica

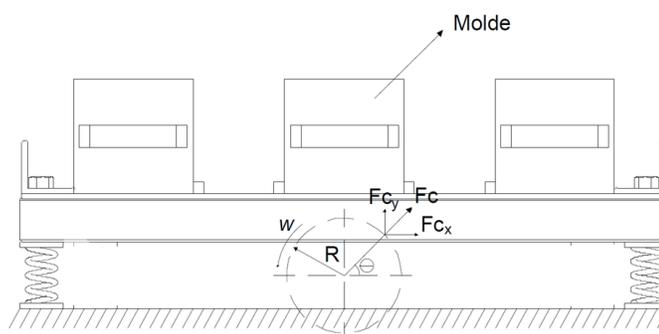
Estudio de la fuerza vibratoria vertical

Considerando que el sistema de vibración posee resortes y el constante movimiento de las excéntricas, movimiento provocado por una fuente motora, podemos mencionar que este sistema presenta oscilaciones forzadas con amortiguamiento es decir el molde sobre la

plataforma percibirá vibraciones en sentido vertical, en la Figura 34 se muestra el boceto del sistema de vibración de la máquina.

Figura 34

Sistema de vibración de la máquina

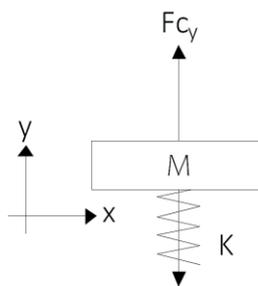


Nota. Diagrama 2D de la vista lateral de la máquina.

Con el posicionamiento de los resortes en paralelo optamos por analizar y tomar uno solo de ellos y representar en la figura 35, el movimiento del sistema.

Figura 35

Diagrama de cuerpo libre vibración vertical



Nota. Se muestra el diagrama de cuerpo libre del sistema.

Empleando un análisis con la segunda ley de Newton, se hace una sumatoria de fuerzas de la Figura 35.

$$\sum F_y = M * a$$

$$\dot{y} = v$$

$$\ddot{y} = a$$

$$F_{c_y} - ky = M * \ddot{y}$$

$$M * \ddot{y} + ky = F_{c_y}$$

$$w_n = \sqrt{\frac{k}{M}}$$

Ecuación 1 Frecuencia circular natural de vibración

Nota. (Beer, Russell, & Eisenberg, 2007)

$$k = w_n^2 * M$$

$$F_c = m * w^2 * R$$

Ecuación 2 Fuerza centrífuga

Nota. (Norton R. , 2009)

Sustituimos los valores de F_{c_y} y k se obtiene la siguiente ecuación:

$$M * \ddot{y} + (w_n^2 * M) * y = m * w^2 * R * \text{sen}(wt)$$

$$\ddot{y} + w_n^2 * y = \frac{m * w^2 * R}{M} * \text{sen}(wt)$$

Solución:

$$y = A * \cos(w_n t) + B * \text{sen}(w_n t) + \frac{m * w^2 * R}{M} * \frac{\text{sen}(wt)}{w_n^2 - w^2}$$

Ecuación 3 Amplitud de vibración (mm)

Nota. (Martinez & Preciado, 2011)

Donde:

$y \rightarrow$ Amplitud de vibración

$w_n \rightarrow$ Frecuencia natural

$W \rightarrow$ Frecuencia forzada

$M \rightarrow$ Masa del sistema

$m \rightarrow$ Masa excéntrica

$R \rightarrow$ Distancia de excentricidad

Hay que mencionar que la ecuación 3, responde a dos tipos de vibraciones, los dos primeros términos representan la vibración libre del sistema (vibración transitoria) que interactúa con la frecuencia natural, esta vibración depende solamente de la constante k del resorte y la masa del elemento, en aplicaciones como la de nuestro caso estas se ven amortiguadas inmediatamente por las fuerzas de fricción inmersas en el sistema. El tercer término representa la vibración en estado estable aquí interviene la frecuencia forzada, esta vibración resulta de la fuerza y el movimiento aplicado por el soporte o apoyo, a razón de ello se mantienen en el tiempo. Con esta explicación se puede reducir la ecuación 3 a la ecuación 4, dado que la amplitud de vibración depende de la razón de frecuencias $r = w/w_n$.

$$y = \frac{m * r^2 * R * \text{sen}(wt)}{M * (1 - r^2)}$$

Ecuación 4 Amplitud de vibración vertical (mm)

Nota. (Martinez & Preciado, 2011)

Para $\text{sen}(wt) = \pm 1$; valor máximo cuando $wt = 90^\circ$ y 270°

Estimaciones de diseño para el cálculo de la masa excéntrica

Para estimar el valor de la masa de la excéntrica se parte con las siguientes consideraciones:

- Velocidad angular de la fuente motora. $1725 \text{ rpm} = 180,64 \text{ rad/s}$
- Velocidad angular del eje. $1725 \text{ rpm} = 180,164 \text{ rad/s}$
- Masa total sobre la plataforma vibrante. 380 kg
- Geometría de la excéntrica. Cilíndrica
- Material de la excéntrica. ASTM A36 Acero
- Densidad del material. 7850 Kg/m^3
- Diámetro estimado de la excéntrica. $150 \text{ a } 160 \text{ mm}$

$$\frac{y}{R} = \left(\frac{m * \text{sen}(wt)}{M} \right) * \left(\frac{r^2}{1-r^2} \right)$$

Ecuación 5 Ecuación adimensional

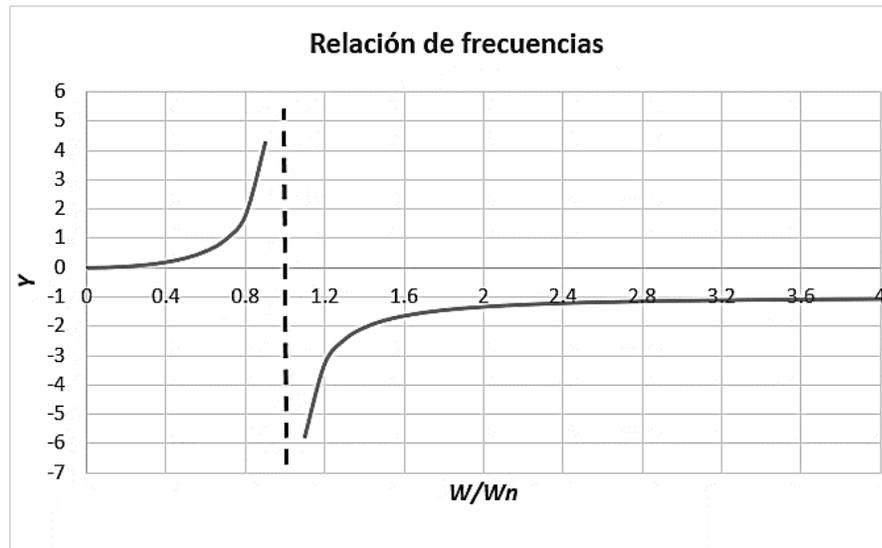
Nota. (Martinez & Preciado, 2011)

Para graficar la amplitud de vibración y en función de la razón de frecuencias $r = w/w_n$, se considera que los valores de m , M , R y $\text{sen}(wt)$ constantes:

$$y = \left(\frac{r^2}{1-r^2} \right)$$

Ecuación 6 Amplitud de vibración en función de la relación de frecuencias.

Nota. (Martinez & Preciado, 2011)

Figura 36*Relación de frecuencias*

Nota. Se muestra el diagrama de relación de frecuencias.

En la Figura 36, se ha graficado la amplitud de frecuencia en función de la razón de frecuencias, se analiza que cuando $w = w_n$, la amplitud de vibración se vuelve infinita es decir la fuerza o el movimiento aplicado está en resonancia con el sistema, por otro lado, se analiza que si $w < w_n$, el coeficiente de wt es positivo y si $w > w_n$, el coeficiente de wt es negativo tal como se muestra en la figura 35.

En función de la figura 39, se determina que la razón de frecuencias para nuestro caso de estudio puede ser de 3,7 con ello evitamos que la fuerza o movimiento aplicado por el apoyo entre en resonancia con el sistema.

$$r = \frac{w}{w_n} = 3.7$$

De:

$$w_n = \sqrt{\frac{k}{M}}$$

Se obtiene:

$$k = w_n^2 * M$$

Ecuación 7 Constante elástica en sentido vertical (kgf/cm)

Nota. (Beer, Johnston, & Clausen, 2007)

$$k = \left(\frac{w}{3.7}\right)^2 * M$$

$$k = \left(\frac{180.64 \text{ rad} / \text{s}}{3.7}\right)^2 * \frac{380 \text{ Kg}}{980 \text{ cm} / \text{s}^2}$$

$$k = 923.30 \frac{\text{Kgf}}{\text{cm}} \approx 92.33 \frac{\text{Kgf}}{\text{mm}}$$

$$k = k_i * N_i$$

Ecuación 8 Constante elástica por resorte

$$k_i = 7.69 \frac{\text{Kgf}}{\text{mm}}$$

Con el valor de la constante elástica se calcula la deflexión máxima que tendrá la máquina debido al peso aplicado en dirección vertical.

$$\delta = \frac{M}{k}$$

Ecuación 9 Deflexión estática (mm)

Nota. (Beer, Johnston, & Clausen, 2007)

$$\delta = \frac{380 \text{ Kg}}{923.30 \text{ Kgf} / \text{cm}}$$

$$\delta = 0,4115cm \approx 4,12mm$$

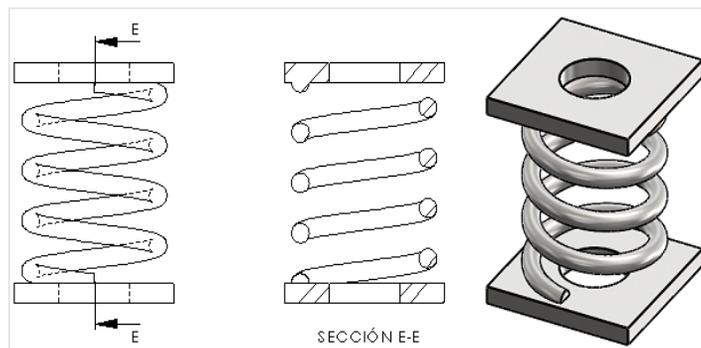
Para el diseño se estima una posición máxima de amplitud de **4mm**, valor recomendado para este tipo de maquinaria y a fin de asegurar que el resorte entre en compresión al aplicar carga, para garantizar un buen diseño la deflexión estática debe ser mayor que la máxima amplitud de vibración, es decir $\delta > y$ (Carlosama , 2014).

$$y = y_{extendida} + y_{compresion}$$

$$y_{extendida} = y_{compresion} = 2mm$$

Figura 37

Resorte diseño solidworks



Nota. Se muestra el diseño del resorte en vista 2D y 3D.

Con el valor de la constante elástica $k_i = 7,69Kgf / mm$ se procede a seleccionar un resorte con un valor aproximado al calculado, para ello se selecciona por catálogo un resorte HEFTY de carga media pesada serie LHL 1250B 04 con un diámetro de alambre de 5,26mm y una constante $k_i = 8,929Kgf / mm$, para más detalle revisar **anexo**.

La masa de las excéntricas juega un papel importante en la calidad y rapidez de compactación de hormigón, en maquinaria de prefabricados esta masa varia entre los 2 y 2.5kg (Carlosama , 2014).

Con el dato de la amplitud de vibración se determina el valor resultante del producto entre la masa de la excéntrica y de la excentricidad, ecuación 5.

$$m * R = \frac{y * M * (1 - r^2)}{r^2}$$

Remplazamos:

$$m * R = \frac{0,2cm * 380Kg * (1 - (3,7)^2)}{(3,7)^2}$$

$$m * R = 70,45Kg \cdot cm$$

Con los valores calculados se procede generar la tabla 47, a fin ponderar la mejor geometría y dimensión de la excéntrica.

Tabla 47

Ponderaciones de la dimensión de la excéntrica

Excentricidad (mm)	Masa (kg)	Volumen (mm³)	# Excéntricas	Espesor (mm)
20	35.22	4,487,165.77	4	55.79
30	23.48	2,991,443.85	4	37.20
40	17.61	2,243,582.88	4	27.90

Excentricidad (mm)	Masa (kg)	Volumen (mm ³)	# Excéntricas	Espesor (mm)
50	14.09	1,794,866.31	4	22.32
60	11.74	1,495,721.92	4	18.60
70	10.06	1,282,047.36	4	15.94
80	8.81	1,121,791.44	4	13.95
90	7.83	997,147.95	4	12.40
100	7.04	897,433.15	4	11.16

Nota. Se muestra las dimensiones previas a la construcción de las excéntricas.

Con los datos de la tabla 47, se determina el valor de masa y espesor de la excéntrica, concluyendo que conforme se aumenta el valor del radio de excentricidad estos disminuyen. Para este cálculo se eligió provisionalmente un eje existente en el mercado de 38,10 mm para obtener una excéntrica de **3,52Kg** con un espesor de **2,23cm**.

Tabla 48

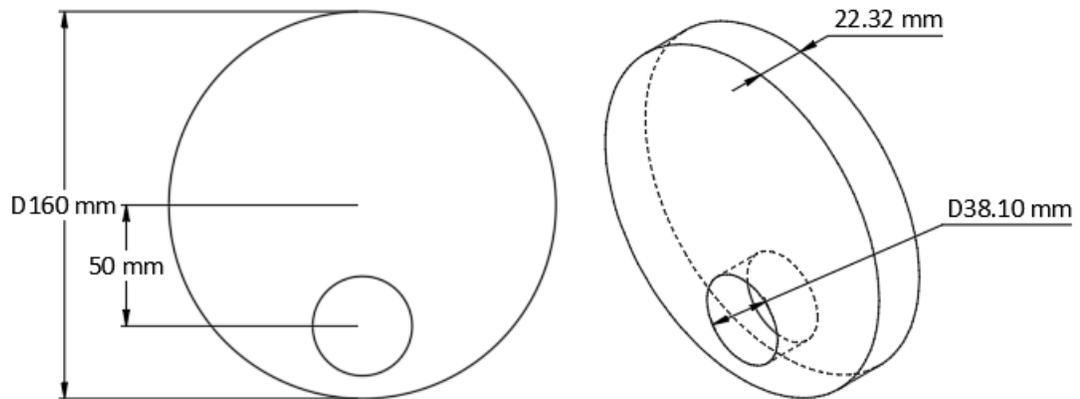
Dimensiones de la excéntrica

Excentricidad (mm)	Masa (kg)	Volumen (mm ³)	# Excéntricas	Espesor (mm)
50	14,09	1.794.866,31	4	22,32

Nota. Se muestra las dimensiones de la excéntrica.

Figura 38

Geometría y dimensiones de excéntrica



Nota. Vista 2D Y 3D de las excéntricas.

Cargas radiales sobre el eje

Para la obtención total de la masa que soportara el eje, se suma los pesos de las excéntricas y de la polea conducida.

$$M_{total} = M_{polea} + M_{eje}$$

$$M_{total} = 0,4Kg + 4,4Kg$$

$$M_{total} = 4,8Kg$$

Para la obtención del peso total en Newton se requiere multiplicar la masa total por la constante gravitatoria de la tierra.

$$C \text{ arg } a_{total} = M_{total} \cdot 9,81 \frac{m}{s^2}$$

$$C \text{ arg } a_{total} = 4.8Kg \cdot 9,81 \frac{m}{s^2}$$

$$C \text{ arg } a_{total} = 47,09N$$

Carga de las excéntricas:

$$C_{Excéntricas} = M_{Excéntrica} \cdot 9,81 \frac{m}{s^2}$$

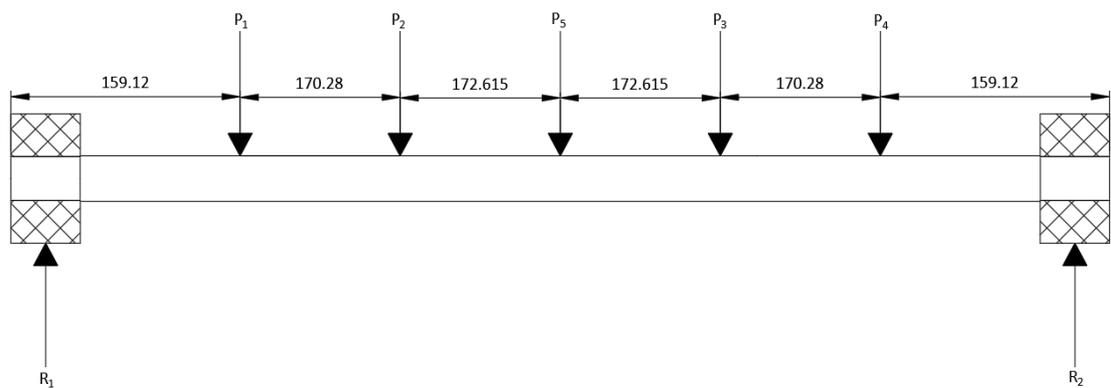
$$C_{Excéntricas} = 3,52 \text{Kg} \cdot 9,81 \frac{m}{s^2}$$

$$C_{excéntricas} = 34,55 \text{N}$$

Se procede a determinar las cargas en los rodamientos de componentes puramente radiales R1 y R2 como se muestra en la Figura 39.

Figura 39

Fuerzas ante cargas en los rodamientos



Nota. Distribución de las cargas a lo largo del eje.

Donde las fuerzas:

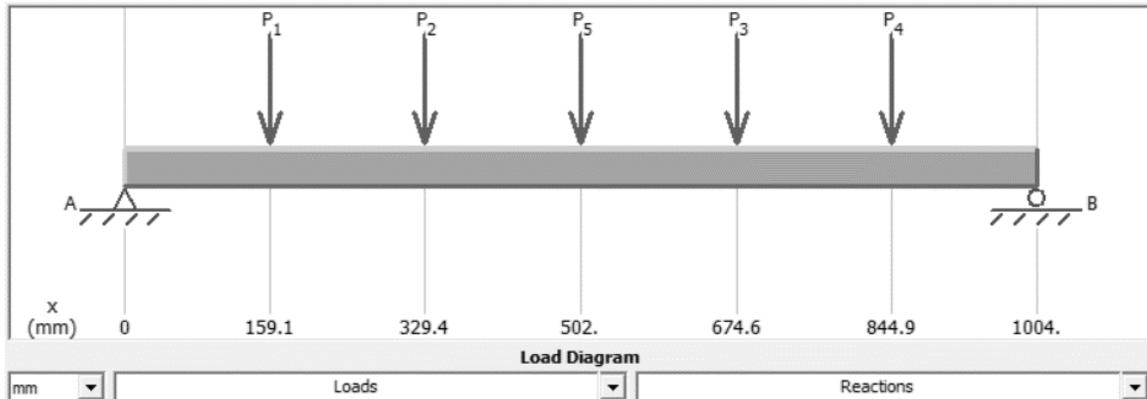
$$C_{excéntricas} = P_1 = P_2 = P_3 = P_4 = 34,55 \text{N}$$

$$C_{arg a_{total}} = F_5 = 47,09 \text{N}$$

Para la validación de los cálculos se utilizó el software MDSolid versión libre, aquí se comprueba los esfuerzos cortantes y momentos flectores que ejercen las masas excéntricas y la polea sobre el eje, como se muestra en la figura 40 y figura 41.

Figura 40

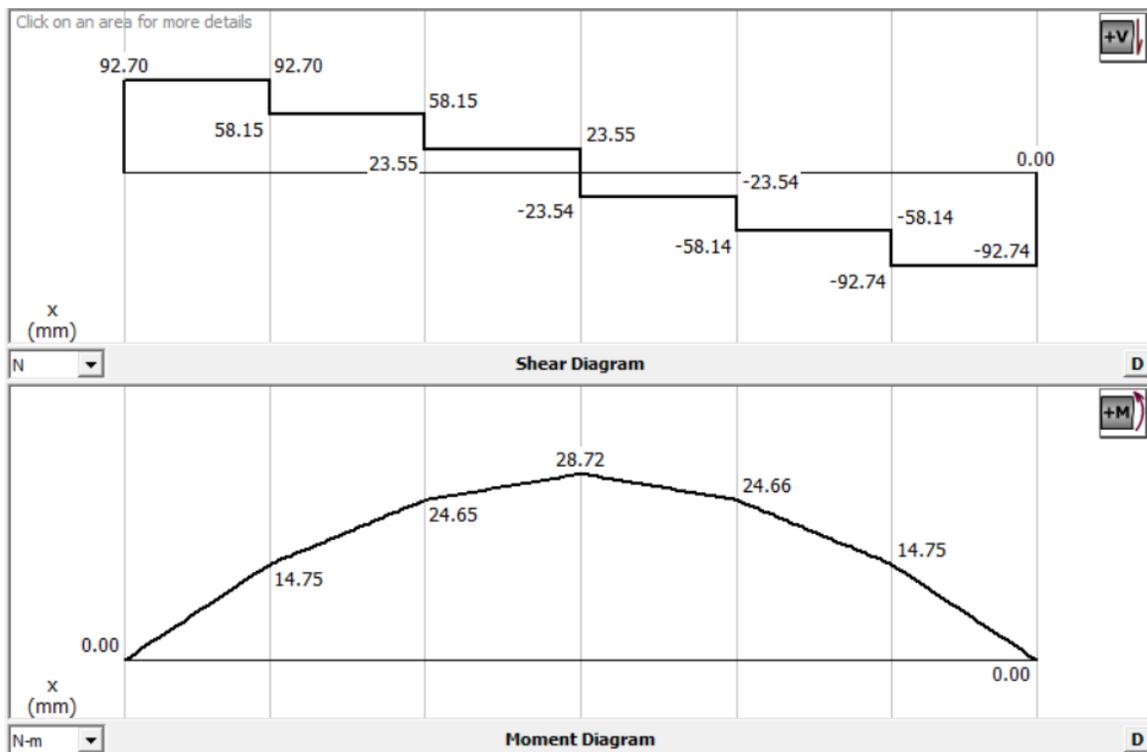
Diagrama de las cargas actuantes en el eje



Nota. Distribución de cargas en el eje. Tomado de (Software MDSolid) versión libre.

Figura 41

Diagrama de fuerzas cortantes y momentos flectores del eje



Nota. Se muestra los diagramas de fuerza cortante y momentos. Tomado de (Software MDSolid) versión libre.

Mediante la sumatoria de fuerzas en Y se obtiene que las cargas radiales son las siguientes:

$$\uparrow + \sum F_y = 0$$

$$R_1 - F_1 - F_2 - F_3 - F_4 - F_5 + R_2 = 0$$

$$R_1 + R_2 = (4) * 34,55N + 47,09N$$

$$R_1 + R_2 = 185,31N$$

Para determinar las fuerzas en los rodamientos es necesario realizar una sumatoria de momentos en el punto A:

$$\downarrow + \sum M_A = 0$$

$$-F_1(159,12mm) - F_2(329,39mm) - F_3(674,61mm) - F_4(844,88mm) - F_5(502mm) + R_2(1004mm) = 0$$

$$\text{Siendo: } F_1 = F_2 = F_3 = F_4 = 38,19N$$

$$-34,55(159,12mm + 329,39mm + 674,61mm + 844,88mm) - 47,09(502mm) + R_2(1004mm) = 0$$

$$R_2 = \frac{69386,42Nmm + 23638,176Nmm}{1004mm}$$

$$R_2 = 92,654N$$

Obteniendo el valor de R2, se reemplaza en la ecuación antes obtenida en la sumatoria de fuerzas en Y:

$$R_1 + R_2 = 185,31N$$

$$R_1 = 185,31 - R_2$$

$$R_1 = 185,31N - 92,654N$$

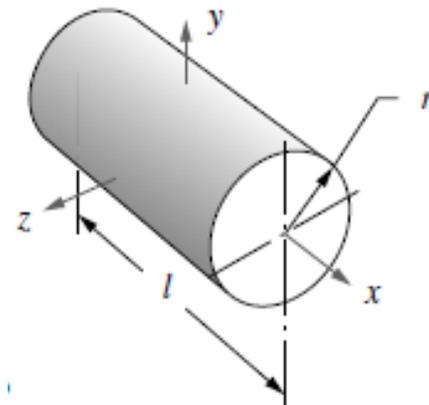
$$R_1 = 92,654N$$

Inercia de los componentes

El eje se divide en tres partes sólidas, el diámetro del eje es de 38.10 mm, cabe mencionar que este valor será recalculado en el apartado de diseño de eje.

Figura 42

Cilindro sólido (eje de transmisión)



Nota. Se muestra un cilindro sólido. Tomado de (Norton R. L., 2011)

$$I = \frac{1}{2}mr^2; I = \frac{1}{2}m(r_o^2 + r_i^2)$$

Ecuación 10 Inercia de cilindros sólidos y huecos ($Kg.m^2$)

Nota. (Norton, Robert L, 2011)

Inercia del eje de transmisión de entrada y de salida

El eje está formado por un material sólido de acero AISI-1045 por su dureza y resistencia ideal para procesos industriales, para el eje de transmisión de entrada y de salida el eje se rebajó a un diámetro de 38 mm del diámetro original.

$$m_{SolidWorks} = M_{eje} = 1,47 Kg$$

$$d = 0,038m$$

$$I = \frac{1}{2}mr^2 = \frac{1}{8}md^2$$

$$I_{eje1} = \frac{1}{8}(1,47Kg)(0,038m)^2$$

$$I_{eje1} = 0,00026534Kg \cdot m^2$$

$$I_{eje1} = I_{eje2}$$

Inercia del eje de transmisión central

El eje hueco está formado por un acero AISI-1020 por su dureza y resistencia ideal para procesos industriales.

$$m = M_{eje} = 1,46Kg$$

$$d_o = 0,0381m$$

$$d_i = 0,0341m$$

$$I_{eje3} = \frac{1}{8}(1,46Kg) \left[(0,0381m)^2 + (0,0341m)^2 \right]$$

$$I_{eje3} = 0,00047713Kg \cdot m^2$$

Para calcular la inercia total de eje, se suma las tres inercias distintas que posee, teniendo así:

$$\sum I_{Total-eje} = I_{eje1} + I_{eje2} + I_{eje3}$$

$$\sum I_{Total-eje} = 0,00026534Kg \cdot m^2 + 0,00026534Kg \cdot m^2 + 0,00047713Kg \cdot m^2$$

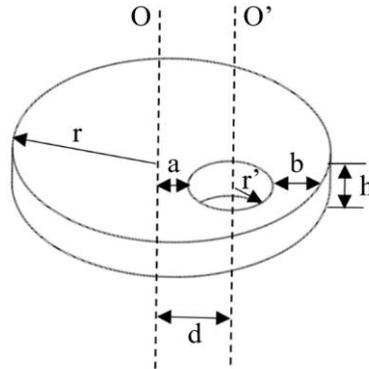
$$I_{Total-eje} = 0,0010078Kg \cdot m^2$$

Inercia de las masas excéntricas

Para el cálculo de la inercia de las excéntricas es necesario aplicar el teorema de Steiner.

Figura 43

Variables de las excéntricas para el momento de inercia según steiner



Nota. Se muestra las variables presentes en la excéntricas.

Para el cálculo de la inercia de la masa excéntrica primero sacamos la inercia del diámetro de mayor dimensión, la masa es obtenida mediante el software SolidWorks.

$$m_1 = 3,52Kg$$

$$r = \frac{d}{2} = \frac{0,16m}{2} = 0,08m$$

$$I_D = \frac{1}{2} m_1 r^2$$

$$I_D = \frac{1}{2} (3,52Kg)(0,08m)^2$$

$$I_D = 0,011264Kg \cdot m^2$$

Una vez obtenido la inercia encontramos la inercia de menor dimensión, es decir del agujero, la masa y algunas dimensiones son obtenidas mediante el software SolidWorks, aplicamos el teorema de Steiner.

$$m_2 = 0,2Kg$$

$$r' = \frac{d'}{2} = \frac{0,0381m}{2} = 0,01905m$$

$$d = 0,05m$$

$$I_d = \frac{1}{2} m_2 (r')^2 + m_2 d^2$$

Ecuación 11 *Inercia del Teorema de Steiner (Kg.m²)*

Nota. (Norton, Robert L, 2011)

$$I_d = \frac{1}{2} (0,2Kg)(0,01905m)^2 + (0,2Kg)(0,05m)^2$$

$$I_d = 0,00058992Kg \cdot m^2$$

Una vez obtenido los momentos de inercia de ambos diámetros obtenemos la inercia total:

$$\sum I_{electrica} = I_D - I_d$$

$$\sum I_{electrica} = 0,011264Kg \cdot m^2 - 0,00058992Kg \cdot m^2$$

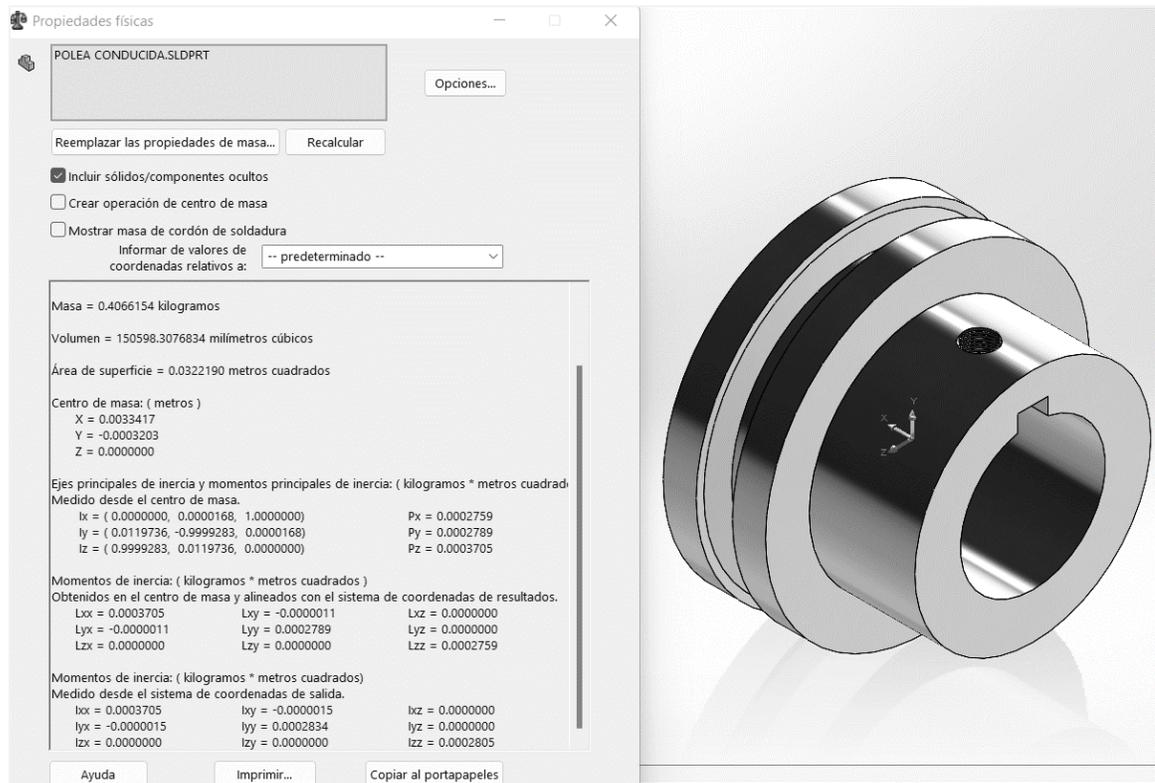
$$I_{electrica} = 0,01067408Kg \cdot m^2$$

Inercia de la polea

Para el cálculo de inercia se usa el software SolidWorks como valor referencial, donde el valor de momento de inercia es $I_{Estructura} = I_{yy} = 0,0002834Kg \cdot m^2$ como su puede observar a continuación:

Figura 44

Momento de inercia de la polea mediante solidworks



Nota. Momento de inercia de la polea.

Inercia total

Para la obtención de la inercia total se hace la sumatoria de todas las inercias ya calculadas, teniendo como resultado:

$$\sum I_{Total} = 4I_{Exentrica} + I_{Total-eje} + I_{Polea}$$

$$\sum I_{Total} = [4(0,01067408) + 0,0010078 + 0,0002834]Kg \cdot m^2$$

$$\sum I_{Total} = 0,044Kg \cdot m^2$$

Potencia del motor

Para el cálculo de la potencia es necesario considerar las siguientes variables

como:

Aceleración angular

Para el cálculo de aceleración angular es necesario considerar la velocidad angular del motor con el sistema, para ello se consideró el máximo valor de $V = 1725rpm$ para un motor trifásico de 4 polos:

$$\omega = V \cdot \frac{2\pi rad}{1 rev} \cdot \frac{1 min}{60 s}$$

$$\omega = 1725 \cdot \frac{2\pi rad}{1 rev} \cdot \frac{1 min}{60 s}$$

$$\omega = 180,641 \frac{rad}{s}$$

Se considera un tiempo $t = 5s$ para la aceleración angular, tiempo de arranque de un motor eléctrico, este es programado desde la interfaz del variador de frecuencia:

$$\alpha = \frac{\omega}{t}$$

Ecuación 12 Aceleración angular (rad/s^2)

Nota. (Chapman S. J., 2012)

$$\alpha = \frac{180,64 rad / s}{5 s}$$

$$\alpha = 36,128 \frac{rad}{s^2}$$

Torque

Es necesario determinar la siguiente variable, ya que con este cálculo se podrá estimar cuál es el torque necesario para vencer la inercia del sistema:

$$T = I \cdot \alpha$$

Ecuación 13 Torque (Nm)

Nota. (Chapman S. J., 2012)

Considerando la inercia total del sistema ya calculado $I_{Total} = 0,044 Kg \cdot m^2$

$$T = (0,044 Kg \cdot m^2)(36,128 \frac{rad}{s^2})$$

$$T = 1,589 Nm$$

Potencia requerida del motor

La potencia requerida para el eje y las masas excéntricas es:

$$P = T \omega$$

Ecuación 14 Potencia del motor (W)

Nota. (Norton R. L., 2011)

$$P = (1,589 Nm)(180,64 \frac{rad}{s})$$

$$P = 287,036 W$$

La misma potencia transformada en HP será:

$$P_{HP} = \frac{P_W}{746}$$

$$P_{HP} = \frac{287,036 W}{746}$$

$$P_{HP} = 0,3847 Hp$$

Es necesario usar un factor de carga de 2 ante posibles sobrecargas perpetuadas por factores externos, se hace esto con la finalidad de garantizar una mejor funcionalidad y evitar daños durante su operación.

$$P_{HP} = 0,769Hp$$

Con el dato obtenido anteriormente se selecciona un motor WEG trifásico cerrado W22 MOD. TE1BFOXO# con una potencia de 1,11kW (1.5Hp), disponible en la fábrica con él a fin de avalar un correcto funcionamiento del sistema mecánico de vibración se selecciona un valor mayor próximo al calculado, este motor opera a 1725 rpm energizado por el variador de frecuencia con salida trifásica.

Par real

Con el motor seleccionado anteriormente de 1,1 Kw, podremos calcular el par real que tendremos en el sistema de vibración

$$T = \frac{P}{\omega}$$

$$P = 1.1kW \approx 1100W$$

$$\omega = 1725rpm \approx 180,64ras / s$$

$$T_{real} = \frac{1100W}{180,64rad / s}$$

$$T_{real} = 6,08Nm$$

Diseño de eje

En el mercado la mayoría de ejes para este tipo de aplicaciones son fabricados en Acero AISI 1020 laminados en caliente, este material presenta un límite a la rotura de $S_u = 380MPa$ ($55Kpsi$) y un límite elástico (resistencia a la fluencia) de $S_y = 210MPa$ ($30Kpsi$). Con la norma ASME para diseños de ejes en rotación, recomienda que el esfuerzo permisible va ser igual al 30% del límite elástico sin sobrepasar el 18% del esfuerzo ultimo a la tracción (límite a la rotura), tomando en cuenta el valor más pequeño (teoría de esfuerzo cortante máximo).

$$S_{ut} = 380MPa$$

$$S_y = 210MPa$$

$$\sigma_{perm_1} = 30\% * S_u$$

$$\sigma_{perm_1} = 30\% * 380MPa$$

$$\sigma_{perm_1} = 114MPa$$

$$\sigma_{perm_2} = 18\% * S_y$$

$$\sigma_{perm_2} = 18\% * 210MPa$$

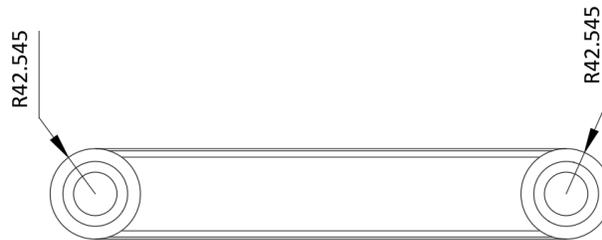
$$\sigma_{perm_2} = 37.8MPa$$

Con lo ya calculado anteriormente y con lo mencionado en la norma ASME se considera el valor más pequeño de esfuerzo permisible $\sigma_{perm_2} = 37,8MPa$.

Para el posterior análisis es necesario conocer el tipo de transmisión diseñado para el sistema de vibración.

Figura 45

Sistema de transmisión de la máquina



Nota. Se muestra el diseño de la banda polea.

Posterior es necesario determinar el torque transmitido desde la polea motriz T_m (acoplada al motor) a la polea conducida T_c (acoplada al eje).

$$T_c = T_m * \left(\frac{R_c}{R_m} \right)$$

Ecuación 15 Relación de torque (Nm)

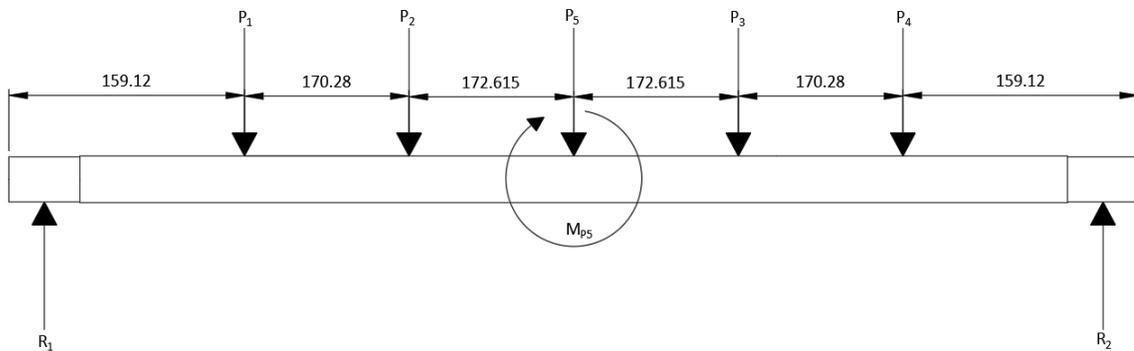
Nota. (Norton R. L., 2011)

Considerando que nuestro sistema de transmisión consta de la misma polea y con el mismo diámetro tanto en el motor como el eje se deduce que el torque va ser el mismo.

$$T_c = 6,08Nm * \left(\frac{42,545mm}{42,545mm} \right)$$

$$T_c = T_m = 6,08Nm$$

Con el fin de comprobar que el factor de seguridad en el eje diseñado sea el correcto, se procede a comprobar usando el método modificado de Goodman, dado que este método considera los fenómenos físicos de flexión y torsión en un eje.

Figura 46*Reacciones y momentos del eje*

Nota. Se muestra las reacciones y momentos en el eje.

Como se puede observar en la figura 46, el punto más crítico a posible falla es en el punto P_5 , dado que aquí se encuentra conectado el sistema de transmisión ejerciendo flexión y torsión al eje, con esta justificación se analizará el momento existente en ese punto.

Este momento será calculado con las reacciones obtenidas en el diagrama de cargas y las áreas correspondientes de la figura 39.

$$M_{R1} = 0Nm$$

$$M_{P1} = 0 + (92,70 * 0,15912)Nm = 14,75Nm$$

$$M_{P2} = 14,75Nm + (58,15 * 0,17028)Nm = 24,65Nm$$

$$M_{P3} = 24,65Nm + (23,55 * 0,172615)Nm = 28,72Nm$$

$$M_{P3} = 28,72Nm - (23,54 * 0,172615)Nm = 24,65Nm$$

$$M_{P4} = 24,65Nm - (58,14 * 0,17028)Nm = 14,75Nm$$

$$M_{R2} = 14,75Nm - (92,70 * 0,15912) = 0Nm$$

Con este cálculo se obtiene el momento en el punto P5:

$$M_{P_5} = 28,72Nm$$

Resistencia a la fatiga

Para determinar el límite de la resistencia a la fatiga se estima como:

$$S_e^l = \begin{cases} 0,5S_{ut} & S_{ut} \leq 200kpsi(1400MPa) \\ 100kpsi & S_{ut} > 200kpsi \\ 700MPa & S_{ut} > 1400MPa \end{cases}$$

Ecuación 16 Ecuaciones para límites de resistencia a la fatiga

Nota. (Shigley, Budynas, & Nisbett, 2012)

Donde $S_{ut} = 380MPa \leq 1400MPa$ es la resistencia a la tensión mínima siendo:

$$S_e^l = 0,5S_{ut}$$

$$S_e^l = 0,5(380)MPa$$

$$S_e^l = 190MPa$$

Factores que modifican el límite de resistencia a la fatiga

Cálculo del límite de fatiga mediante la ecuación de Marín, que se define como la resistencia a la fatiga de un elemento de maquinaria real:

$$S_e = k_a \cdot k_b \cdot k_c \cdot k_d \cdot k_e \cdot k_f \cdot S_e^l$$

Ecuación 17 Ecuación de Marín para limite a la fatiga

Nota. (Shigley, Budynas, & Nisbett, 2012)

$$S_e = 121,387MPa$$

$$S_e = 17,601Kpsi$$

Factor de superficie [k_a]

El factor de superficie depende de la calidad del acabado de la pieza y resistencia a la tensión del material:

$$k_a = aS_{ut}^b$$

Ecuación 18 Factor de superficie

Nota. (Shigley, Budynas, & Nisbett, 2012)

Figura 47

Tabla de factor de superficie [k_a]

Acabado superficial	Factor a		Exponente b
	S_{ut} , kpsi	S_{ut} , MPa	
Esmerilado	1.34	1.58	-0.085
Maquinado o laminado en frío	2.70	4.51	-0.265
Laminado en caliente	14.4	57.7	-0.718
Como sale de la forja	39.9	272.	-0.995

Nota. Tomado de (Shigley, Budynas, & Nisbett, 2012)

Tomando la consideración que tiene un acabado superficial en maquinado del eje: donde el factor $a = 4,51MPa$ y $b = -0,265MPa$ donde:

$$k_a = aS_{ut}^b$$

$$k_a = (4,51MPa)(380MPa)^{-0.265}$$

$$k_a = 0,934$$

Factor de tamaño [k_b]

Dado que el diámetro del eje es de $d = 38,1mm$ cumple con los parámetros de la tercera columna:

$$k_b = \begin{cases} (d / 0.3)^{-0.107} = 0,879d^{-0.107} & ; 0.11 \leq d \leq 2 \text{ pulg} \\ 0,91d^{-0.157} & ; 2 < d \leq 10 \text{ pulg} \\ (d / 7,62)^{-0.107} = 1,24d^{-0.107} & ; 2.79 \leq d \leq 51 \text{ mm} \\ 1,51d^{-0.157} & ; 51 < d \leq 254 \text{ mm} \end{cases}$$

Ecuación 19 Factor de modificación de tamaño

Nota. (Shigley, Budynas, & Nisbett, 2012)

$$2,79 \leq 38,1 \leq 51 \text{ mm}$$

$$k_b = 1,24d^{-0.107}$$

$$k_b = 1,24(38,1 \text{ mm})^{-0.107}$$

$$k_b = 0,840$$

Factor de carga [k_c]

El factor de carga analiza cómo está sometido el eje, en este caso al ser sometido a flexión y torsión se debe tomar un valor de $k_c = 1$.

$$k_c = \begin{cases} 1 & \text{flexión} \\ 0,85 & \text{axial} \\ 0,59 & \text{torsión} \end{cases}$$

Ecuación 20 Factor de carga

Nota. (Shigley, Budynas, & Nisbett, 2012)

Factor de temperatura [k_d]

Para el factor de temperatura se considera la temperatura de trabajo de la máquina en la fábrica siendo $k_c = 1$.

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

Ecuación 21 Factor de temperatura

Nota. (Shigley, Budynas, & Nisbett, 2012)

Figura 48

Tabla para determinar el factor de temperatura

Temperatura, °C	S_T/S_{RT}	Temperatura, °F	S_T/S_{RT}
20	1.000	70	1.000
50	1.010	100	1.008
100	1.020	200	1.020
150	1.025	300	1.024
200	1.020	400	1.018
250	1.000	500	0.995
300	0.975	600	0.963
350	0.943	700	0.927
400	0.900	800	0.872
450	0.843	900	0.797
500	0.768	1 000	0.698
550	0.672	1 100	0.567
600	0.549		

Nota. Tomado de (Shigley, Budynas, & Nisbett, 2012)

Factor de confiabilidad [k_e]

Para el factor de confiabilidad se considera una confiabilidad de 99% , donde

$$k_e = 0,814.$$

Figura 49

Tabla de factor de confiabilidad

Confiabilidad, %	Variación de transformación z_a	Factor de confiabilidad k_e
50	0	1.000
90	1.288	0.897
95	1.645	0.868
99	2.326	0.814
99.9	3.091	0.753
99.99	3.719	0.702
99.999	4.265	0.659
99.9999	4.753	0.620

Nota. Tomado de (Shigley, Budynas, & Nisbett, 2012)

El factor de efectos diversos no siempre está disponible por ende se considera un valor $k_f = 1$, obtenidos todos los factores se opta por reemplazar en la ecuación 17.

$$S_e = k_a \cdot k_b \cdot k_c \cdot k_d \cdot k_e \cdot k_f \cdot S_e^t$$

$$S_e = (0,883)(0,833)(1)(1)(0,814)(1)(235MPa)$$

$$S_e = 121,3387MPa$$

$$S_e = 17,601Kpsi$$

Análisis de concentración de esfuerzos

Concentración de esfuerzos para flexión:

Calculamos la relación de r/d; donde: $r = 3mm$; $d = 35mm$

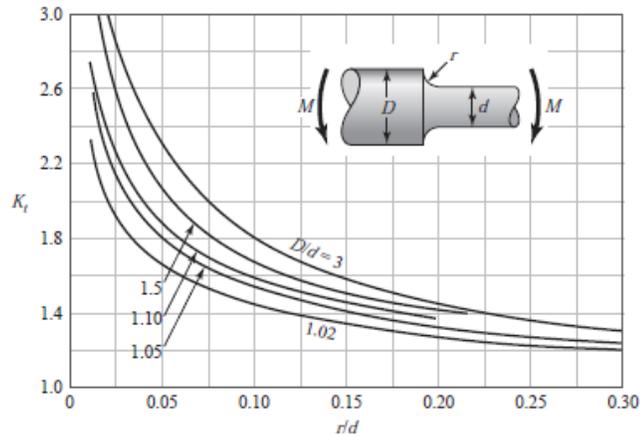
$$\frac{r}{d} = \frac{3mm}{35mm} = 0,1$$

Calculamos la relación de D/d; donde: $D = 38,1mm$; $d = 35mm$

$$\frac{D}{d} = \frac{38,1mm}{35mm} = 1,088$$

Figura 50

Concentración de esfuerzos para eje redondo con filete en el hombro en flexión



Nota. Tomado de (Shigley, Budynas, & Nisbett, 2012)

$$K_t = 1,57$$

Es necesario encontrar la el esfuerzo y la inercia del eje para su evaluación:

$$\sigma_{\max} = K_t \frac{M \cdot C}{I}$$

Ecuación 22 Esfuerzo del eje redondo con filete en el hombro en flexión

Nota. (Shigley, Budynas, & Nisbett, 2012)

$$I = \frac{\pi \cdot (D^4 - d^4)}{64}$$

Ecuación 23 Inercia de circulo ($Kg \cdot m^2$)

Nota. (Shigley, Budynas, & Nisbett, 2012)

Donde $M = 28,72 Nm$, el diámetro es de $D = 38,1 mm = 0.0381 m$ y $C = d / 2$

$$\sigma_{\max} = K_t \frac{M \cdot C}{\pi \cdot D^4}$$

$$\sigma_{\max} = 1,55 \frac{28,72Nm \cdot \frac{0,0381m}{2}}{\pi \cdot \left[(0,0381m)^4 - (0,0350m)^4 \right]}$$

$$\sigma_{\max} = 28,850MPa$$

$$\sigma_{\max} = \sigma_{\min}$$

$$\sigma_{\text{amplitud}} = \frac{\sigma_{\max} - (-\sigma_{\min})}{2} = \sigma_{\max}$$

$$\sigma_{\text{medio}} = \frac{\sigma_{\max} + (-\sigma_{\min})}{2} = 0$$

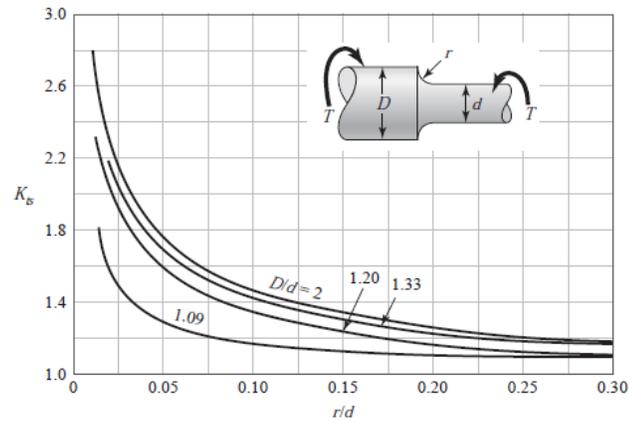
Concentración de esfuerzos para torsión

Para el análisis de torsión se tomó los valores de $\frac{r}{d} = 0,1$ y de $\frac{D}{d} = 1,088$; donde el valor de

$$K_{ts} = 1,15$$

Figura 51

Concentración de esfuerzos para eje redondo con filete en el hombro en torsión



Nota. Tomado de (Shigley, Budynas, & Nisbett, 2012)

$$\tau_{\max} = K_{ts} \frac{TC}{I}$$

Ecuación 24 Esfuerzo de eje redondo con filete en el hombro en torsión

Nota. (Shigley, Budynas, & Nisbett, 2012)

Por otra parte, también es necesario determinar la inercia del eje con las especificaciones se dónde se va evaluar:

$$I = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{32}$$

Ecuación 25 Momento de inercia polar de círculo

Nota. (Shigley, Budynas, & Nisbett, 2012)

$$\tau_{\max} = K_{ts} \frac{TC}{\frac{\pi(D^4 - d^4)}{32}}$$

$$\tau_{\max} = 1,15 \frac{(6,08Nm)(0,0190m)}{\frac{\pi[(0,0381m)^4 - (0,035)^4]}{32}}$$

$$\tau_{\max} = 2236826,7Pa = 2,236MPa$$

$$\tau_{\text{amplitud}} = 0$$

$$\tau_{\text{medio}} = \tau_{\max}$$

Para la obtención del factor de seguridad se lo realizara con la recta de Goodman modificable:

$$\frac{1}{n} = \frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}}$$

Ecuación 26 Ecuación del factor de seguridad

Nota. (Shigley, Budynas, & Nisbett, 2012)

$$\frac{1}{n} = \frac{\sqrt{\sigma_a^2 + 3\tau_a^2}}{S_e} + \frac{\sqrt{\sigma_m^2 + 3\tau_m^2}}{S_{ut}}$$

$$\frac{1}{n} = \frac{\sqrt{(28,850MPa)^2 + 3(0)^2}}{121,388MPa} + \frac{\sqrt{(0)^2 + 3(2,236MPa)^2}}{380MPa}$$

$$n = 4,106$$

Sistema de transmisión

Transmisión por bandas

La trasmisión por bandas son los elementos de mayor utilidad para este tipo de aplicaciones, en su mayoría se usan en sistemas con velocidades de gran magnitud, el tipo que

comúnmente se usa son las bandas de tipo V, por ser las de mejor agarre y por permitir la transmisión de altos pares sin deslizamiento alguno. Con estos antecedentes, para nuestro proyecto se utilizará este tipo de transmisión.

Especificaciones del motor

- Potencia. $P_m = 1.5Hp$
- Velocidad. $w_m = 1725rpm$

En el diseño de transmisión por bandas en V, es importante considerar las condiciones de operación para ello se utilizan tablas proporcionadas por los mismos fabricantes que dependen de la aplicación y las horas de funcionamiento, a este factor se le denomina factor de servicio k_s con este factor se calcula la potencia de diseño a fin de compensar su vida útil por las demandas de potencia que están arriba de la requerida.

Figura 52

Factor de servicio para bandas en v

Tipo de máquina impulsada	Tipo de impulsor					
	Motores de CA: par torsional normal ^a Motores de CD: bobinado en derivación Motores de combustión: múltiples cilindros			Motores de CA: Alto par torsional ^b Motores de CD: bobinado en serie, bobinado compuesto Motores de combustión: 4 cilindros o menos		
	<6 h por día	6-15 h por día	>15 h por día	<6 h por día	6-15 h por día	>15 h por día
Agitadores, sopladores, ventiladores, bombas centrífugas, transportadores ligeros	1.0	1.1	1.2	1.1	1.2	1.3
Generadores, máquinas herramienta, mezcladores, transportadores de grava	1.1	1.2	1.3	1.2	1.3	1.4
Elevadores de cangilones, máquinas textiles, molinos de martillos, transportadores pesados	1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	1.6
Trituradoras, molinos de bolas, malacates, extrusoras de hule	1.3	1.4	1.5	1.5	1.6	1.8
Toda máquina que se pueda ahogar	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0

Nota. Tomado de (Mott R. , 2009)

Con la figura 52, se logra determinar el factor de servicio siendo este de $k_s = 1.2$, accionado por un motor de CA, con par torsional normal empleado en máquinas herramientas de 6 a 15h de operatividad.

$$P_d = k_s * P_m$$

Ecuación 27 *Potencia de diseño*

Nota. (Mott R. , 2009)

$$k_s = 1.2$$

$$P_d = 1,2 * 1,5Hp$$

$$P_d = 1,8Hp \approx 1,3kW$$

$$i = \frac{w_1}{w_2} = \frac{D_2}{D_1}$$

Ecuación 28 *Relación de velocidades angulares y diámetros*

Nota. (Mott R. , 2009)

Donde:

i → Relación de transmisión para poleas

D_1 → Diámetro de la polea acoplada al motor $D_2 = 85.09mm$

D_2 → Diámetro de la polea acoplado el sistema mecánico de vibración

w_1 → velocidad del motor $w_1 = 1725rpm$

w_2 → velocidad del sistema mecánico de vibración $w_2 = 1725rpm$

$$i = \frac{1725rpm}{1725rpm} = 1$$

$$1 = \frac{85,09}{D_1}$$

$$D_1 = 85,09mm$$

En si las dimensiones de las dos poleas serán las mismas, no tendrán relación de transformación y serán del mismo diámetro de paso, luego es necesario determinar la distancia nominal en centros de polea.

$$D_2 < C < 3(D_2 + D_1)$$

Ecuación 29 *Distancia nominal en centros de polea*

Nota. (Mott R. , 2009)

$$85,09 < C < 3(85,09 + 85,09)$$

$$85,09 < C < 510$$

Arbitrariamente se escoge un valor de C dentro del intervalo calculado $C = 445\text{mm}$ para de esta forma poder calcular la longitud total de la banda.

Longitud de la banda

Para determinar la longitud de la banda se utiliza la siguiente ecuación:

$$L = 2C + 1,57(D_2 + D_1) + \frac{(D_2 - D_1)^2}{4C}$$

Ecuación 30 Longitud de paso

Nota. (Mott R. , 2009)

$$L = 2(445) + 1,57(85,09 + 85,09) + \frac{(85,09 - 85,09)^2}{4(445)}$$

$$L = 1157,18\text{mm}$$

Haciendo referencia a esta longitud calculada se selecciona una banda tipo 3V de la marca BANDO serie V-Belt 3V460 de longitud 1168,4 mm, dado que es la que más se asemeja al valor calculado, revisar el **anexo** para más detalles.

Distancia entre centros de las bandas

Posterior a ellos se procede a calcular la distancia entre centros con la siguiente

formula:

$$C = \frac{B + \sqrt{B^2 - 32(D_2 - D_1)^2}}{16}$$

Ecuación 31 *Distancia entre centros de banda**Nota. (Mott R. , 2009)*

Donde:

$$B = 4L - 6.28(D_2 + D_1)$$

$$B = 4(1157,18) - 6,28(85,09 + 85,09)$$

$$B = 3560mm$$

$$C = \frac{B + \sqrt{B^2 - 32(D_2 - D_1)^2}}{16}$$

$$C = \frac{3560 + \sqrt{3560^2 - 32(85,09 - 85,09)^2}}{16}$$

$$C = 445mm$$

Distancia entre centros real

Esta distancia toma en consideración la longitud de la banda seleccionada por catálogo y la calculada se calcula con la siguiente ecuación:

$$a = a_0 + \frac{L_2 - L_1}{2}$$

Ecuación 32 *Distancia real entre centros (mm)**Nota. (Jiang, 2019)*

$$a = 445 + \frac{1168,4 - 1157,18}{2}$$

$$a = C = 450,61mm$$

Angulo de contacto

Para el cálculo del ángulo de contacto se usa la siguiente ecuación:

$$a_1 = 180^\circ - \frac{D_c - D_m}{a} * 57,3^\circ \geq 120^\circ$$

Ecuación 33 *Ángulo de contacto en la polea pequeña (grados)*

Nota. (Jiang, 2019)

$$a_1 = 180^\circ - \frac{85,09mm - 85,09mm}{450,61mm} * 57,3^\circ$$

$$a_1 = 180^\circ$$

$$a_1 = 180^\circ \geq 120^\circ$$

El cálculo satisface el diseño, dado que para garantizar un contacto y una fuerza de fricción adecuada este ángulo debe ser mayor o igual a 120°.

Número de bandas

Es necesario determinar si una sola correa es capaz de transmitir la potencia requerida, es por ello se calcula el número necesario con la siguiente ecuación:

$$z = \frac{P_d}{(P_o + \Delta P_o) K_a K_L}$$

Ecuación 34 *Número de correas*

Nota. (Jiang, 2019)

Donde:

z → Número de correas

P_d → Potencia de diseño

P_o → Potencia básica de una sola correa trapezoidal estándar

ΔP_o → Incremento de la potencia básica de una sola correa trapezoidal estándar

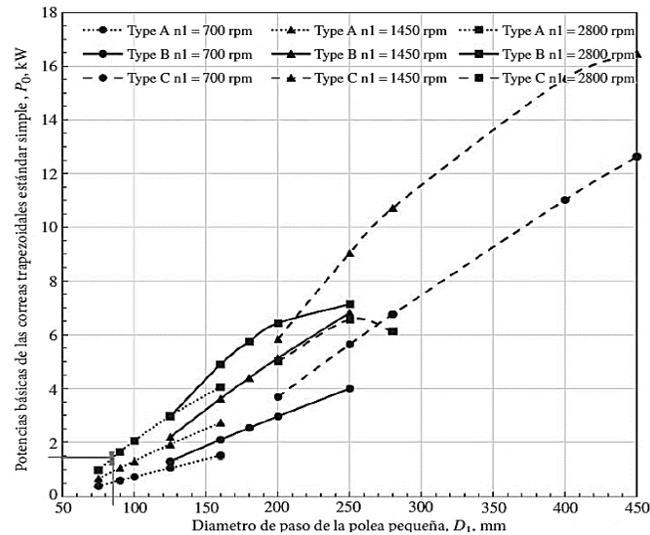
$K_a \rightarrow$ Factor de corrección del ángulo de contacto

$K_L \rightarrow$ Factor de corrección de la longitud de la cinta

$$\Delta P_o = 0,01kW$$

Figura 54

Potencia básica de las correas trapecoidal estándar simples



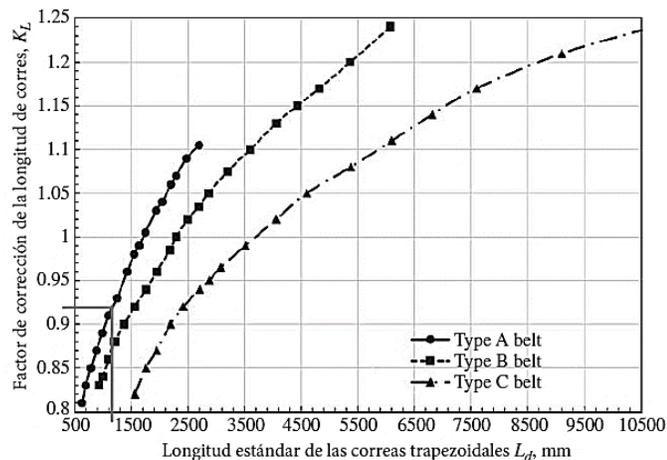
Nota. Se muestra el diagrama de potencias de correas. Tomado de (Jiang, 2019)

La potencia básica de una sola correa trapecoidal estándar, con la figura 56 se obtiene que

$$P_o = 1,4kW$$

Figura 55

Longitudes estándar del punto de referencia de la correa trapezoidal l_a frente a los factores de corrección de la longitud K_L



Nota. Se muestra el diagrama de longitudes de correas (Jiang, 2019)

El factor de corrección de la longitud, con la figura 55 se obtiene que $K_L = 0,92$.

Se considera el factor K_a en función del ángulo de contacto, este parámetro afecta a la fuerza de fricción y a la potencia transmitida por el motor, para nuestro caso el ángulo es de 180 grados con ello tenemos un $K_a = 1,0$.

$$z = \frac{0,89kW}{(1,4kW + 0,01kW) * 1,0 * 0,92}$$

$$z = 0,69$$

Se aproxima el valor a $z = 1$, con ello se concluye que el sistema de transmisión debe tener una sola banda de transmisión tipo V.

Velocidad de la banda

La mayoría de velocidades dependen de la dimensión de la polea y de las maquinas motoras, en condiciones ideales sin deslizamiento se considera la siguiente fórmula para el cálculo de esta velocidad:

$$V = \frac{\pi * D * n}{60 * 1000}$$

Ecuación 35 Velocidad de la banda (m/s)

Nota. (Jiang, 2019)

$$V = \frac{\pi * 85,09mm * 1725rpm}{60 * 1000}$$

$$V = 7,66m / s$$

$$5m / s < V < 25m / s$$

Las velocidades mínimas de las correas tipo V, deben estar dentro de un rango de 5 a 25m/s, una velocidad inferior a esta puede provocar un aumento de tensión mientras que una velocidad superior puede producir efectos de latigazo y vibraciones y terminen con la vida útil de la correa, con ello se concluye que nuestro diseño está dentro de $5m / s \leq 7,66m / s \leq 25m / s$ y cumple las condiciones de diseño.

Tensión inicial de la banda

Los fabricantes recomiendan que las bandas deben instalarse con una tensión inicial considerando la fuerza centrífuga y el ángulo de contacto:

$$F_o = 500 * \frac{P_d}{z * V} \left(\frac{2.5}{K_a} - 1 \right) + qV^2$$

Ecuación 36 Tensión inicial de banda (N)

Nota. (Jiang, 2019)

Donde:

$q \rightarrow$ para bandas de tipo A o V se considera una masa por unidad de longitud de $0.105\text{kg} / m$ debido a su configuración.

$$F_o = 500 * \frac{0,89\text{kW}}{1 * 7,66\text{m} / \text{s}} \left(\frac{2.5}{1} - 1 \right) + (0,105\text{kg} / m)(7,66\text{m} / \text{s})^2$$

$$F_o = 133,44\text{N}$$

Factor de seguridad en banda

Los fabricantes muestran por catálogo las especificaciones técnicas de las distintas configuraciones de banda, entre ellas la del esfuerzo máximo permisible como se indica en la tabla 49:

Tabla 49

Esfuerzo máximo permisible en bandas tipo V

Bandas configuración trapezoidal tipo V						
Tipo	Perfil trapezoidal			Perfil curvilíneo		
	3V	5V	8V	3mm	5mm	8mm
Esfuerzo máximo admisible (N)	80	300	750	72	195	575

Nota. Se muestra los esfuerzos permisibles de correas. Tomado de (Rodriguez , s.f)

Los esfuerzos máximo permisibles en bandas tipo 3V es de aproximadamente de $\sigma_{mb} = 80N$, con ello se procede a calcular el factor de seguridad mediante la siguiente ecuación:

$$n = \frac{F_o}{\sigma_{mb}}$$

Ecuación 37 *Factor de seguridad en bandas de transmisión*

$$n = \frac{133,44N}{80N}$$

$$n = 1,66$$

Se puede concluir que el diseño es admisible dado que el factor de seguridad en banda es mayor que 1, garantizando la vida útil y el correcto funcionamiento en el sistema de transmisión.

Selección de los rodamientos

Es necesario identificar el diámetro del eje y la capacidad de carga dinámica el cual se determina utilizando la siguiente ecuación:

$$C = P \left(\frac{L_d}{10^6} \right)^{\frac{1}{k}}$$

Ecuación 38 *Capacidad de carga dinámica del rodamiento*

Nota. (Mott R. , 2009)

Donde:

C → Capacidad de carga dinámica

P → Carga a la que está sometido el rodamiento

k → Factor que depende del tipo de rodamiento

$L_d \rightarrow$ Duración de diseño en revoluciones

Figura 56

Duración recomendada para rodamientos

Aplicación	Duración de diseño L_{10} , h
Electrodomésticos	1000-2000
Motores de aviación	1000-4000
Automotores	1500-5000
Equipo agrícola	3000-6000
Elevadores, ventiladores industriales, transmisiones de usos múltiples	8000-15 000
Motores eléctricos, sopladores industriales, máquinas industriales en general	20 000-30 000
Bombas y compresores	40 000-60 000
Equipo crítico en funcionamiento durante 24 h	100 000-200 000

Nota. Se muestra la duración de diferentes rodamientos. Tomado de (Mott R. , 2009)

Para el caso de máquina compactadora de postes, es necesario determinar las horas de funcionamiento, según la figura 56 para una máquina industrial en general están de $20K - 30K$ horas, tomando en cuenta que la maquina compactadora será utilizado por trabajo intermitente, se selecciona un valor promedio de $L = 25000horas$.

Determinado el valor de las horas es necesario pasar el valor a revoluciones, pero es necesario los rpm del eje al que será sometido el cual es de $n = 1725$ rpm.

$$L_d = L(n)60 \frac{\text{min}}{h}$$

Ecuación 39 Número de revoluciones de diseño para rodamientos (rev)

Nota. (Mott R. , 2009)

$$L_d = 25000h(1725rpm)60 \frac{\text{min}}{h}$$

$$L_d = 2587500000rev$$

Determinado las revoluciones es necesario conocer los esfuerzos radiales del rodamiento, los mismo que ya han sido cálculos: $R_1 = R_2 = P = 113,35N$.

Retomando a la ecuación 37:

$$C = 0,1133KN \left(\frac{2587500000}{10^6} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$C = 1,55KN$$

Determinado la capacidad de carga dinámica se selecciona dos rodamientos para un eje de 35mm, el tipo de rodamiento seleccionado es de la marca UCP-207 de bolas con soporte de pie que soportara una carga dinámica $C = 25,5KN$ y una carga estática de $C = 15,3KN$ por lo que el rodamiento es más que satisfactorio.

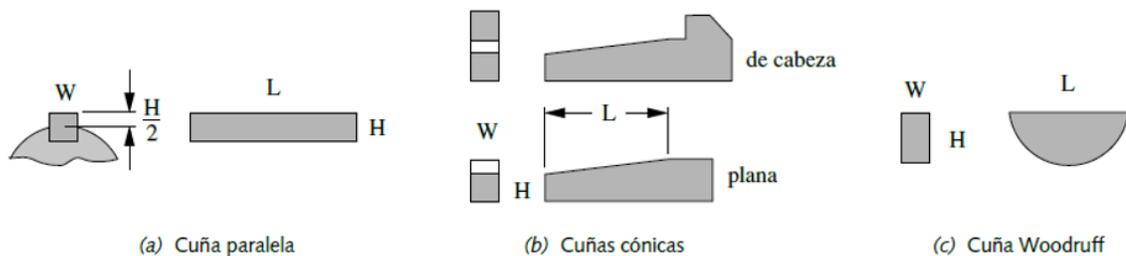
Diseño de chaveta

Este tipo de elementos no debe faltar en los sistemas de transmisión, ASME define a una chaveta como una pieza desmontable que actúa positivamente con la transmisión de torque entre el eje y los elementos acoplados a él, normalmente las chavetas son fabricadas en acero de bajo contenido en carbono, ejemplo de ello el acero AISI 1020. Las chavetas de cuña paralela son recomendadas para ejes de hasta 6.5 in de diámetro, se instalan en la mitad de la altura de acople del eje y la otra mitad en la masa a fusionar. (Norton R. L., 2011)

Bajo estas especificaciones se selecciona una chaveta de cuña cuadrada o paralela respecto a las dimensiones del eje. El punto donde ese ubica la chaveta junto al elemento de soporte tiene un diámetro de 35mm, con ello se selecciona la dimensión de la cuña según la figura 60 a fin de garantizar un buen acople y una mejora en la transmisión de torque.

Figura 57

Cuñas estándar en medidas estadounidenses y métricas de ejes



Diámetro del eje (in)	Ancho nominal de la cuña (in)	Diámetro del tornillo prisionero (in)	Diámetro del eje (mm)	Ancho x alto de la cuña (mm)
$0.312 < d \leq 0.437$	0.093	#10	$8 < d \leq 10$	3 x 3
$0.437 < d \leq 0.562$	0.125	#10	$10 < d \leq 12$	4 x 4
$0.562 < d \leq 0.875$	0.187	0.250	$12 < d \leq 17$	5 x 5
$0.875 < d \leq 1.250$	0.250	0.312	$17 < d \leq 22$	6 x 6
$1.250 < d \leq 1.375$	0.312	0.375	$22 < d \leq 30$	8 x 7
$1.375 < d \leq 1.750$	0.375	0.375	$30 < d \leq 38$	10 x 8
$1.750 < d \leq 2.250$	0.500	0.500	$38 < d \leq 44$	12 x 8
$2.250 < d \leq 2.750$	0.625	0.500	$44 < d \leq 50$	14 x 9
$2.750 < d \leq 3.250$	0.750	0.625	$50 < d \leq 58$	16 x 10
$3.250 < d \leq 3.750$	0.875	0.750	$58 < d \leq 65$	18 x 11
$3.750 < d \leq 4.500$	1.000	0.750	$65 < d \leq 75$	20 x 12
$4.500 < d \leq 5.500$	1.250	0.875	$75 < d \leq 85$	22 x 14
$5.500 < d \leq 6.500$	1.500	1.000	$85 < d \leq 95$	25 x 14

Nota. Se muestra las medidas estándar de cuñas y chavetas. Tomado de (Norton R. L., 2011)

Como se puede observar en la figura 57, se selecciona una chaveta cuadrada de 12x8mm ya que es la recomendada para ejes de 38 a 44 mm de diámetro.

Diseño de componentes eléctricos

El sistema eléctrico está conformado por el método de arranque directo para un motor trifásico el cual estará conectado a un variador de frecuencia para su respectivo control de acuerdo a sus parámetros de placa. El sistema de potencia está conformado por:

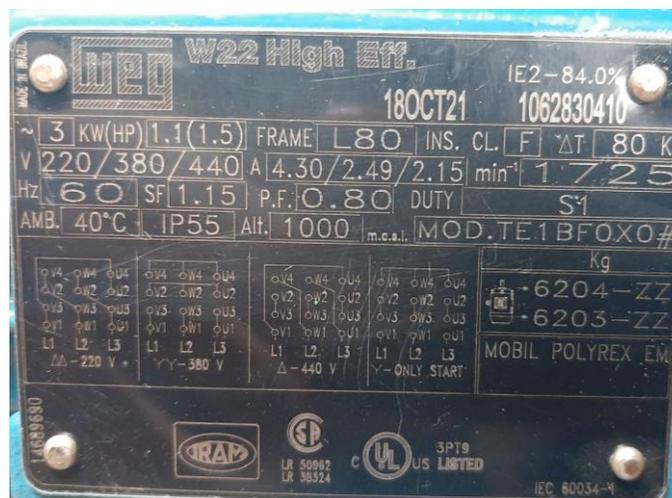
- Un Disyuntor (Protección ante cortocircuitos y sobrecargas)

Se debe conocer los parámetros implicados en la placa del motor:

- Alimentación: Corriente Alterna trifásico
- Frecuencia: 60Hz
- Potencia: 1,5HP (3KW)
- Tensión nominal: 220V/380V/440V
- RPM de salida: 1725 rpm
- Corriente nominal: 4,20A-/2,49A-/2,15 A

Figura 58

Placa del motor trifásico WEG MOD.TE1BFOXO#



Nota. Se muestra las especificaciones del motor WEG.

Selección del variador de frecuencia

Para el variador de frecuencia se considera uno de 2Hp para su adecuado funcionamiento ya que el motor al ser de 1,5Hp y evitar sobrecalentamiento. Es por eso que se ha considerado de la marca WEG CFW100 7,3A-/2Hp/220V/2F salida 3F al ser compatible con el motor.

Figura 59

Variador de frecuencia weg cfw100



Nota. Se muestra el variador seleccionado para la máquina. Tomado de (WEG, 2022)

Selección del Disyuntor

La selección del disyuntor se hará en base a las características del variador de frecuencia, por consiguiente, se iniciará con la corriente nominal como se observa en la figura 59:

$$I_{nom-\text{variador}} = 16,1A$$

Este dispositivo debe asegurar al circuito ante posibles sobrecargas y cortocircuitos producidos, es por ello que se debe considerar 10% para garantizar cualquier eventualidad del sistema eléctrico:

$$I_{nom} = (1,1)I_{nom-\text{variador}}$$

$$I_{nom} = (1,1)(16,1A)$$

$$I_{nom} = 17,71A$$

Ecuación 40 Condición de funcionamiento de un dispositivo de protección

Nota. (Lopez & Viteri, 2017)

Con ello se procede a buscar por catálogo un disyuntor con una corriente de 17.71 A o al más cercano del mercado disponible como de la marca WEG ofrece un disyuntor de la serie MDW-C20 - 2P - C – 20 A para conexión bifásica 220V.

Tabla 50

Especificaciones técnicas del interruptor termomagnético

Parámetro	Magnitud	Gráfico
Modelo	MDW-C20	
Voltaje de operación	220V-400V	
Corriente nominal	20 ^a	
Número de polos	2	
Frecuencia	60Hz	

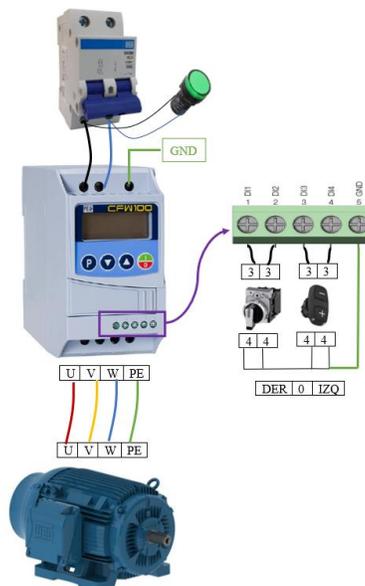
Nota. Se muestra un disyuntor de marca WEG.

Sistema eléctrico

Una vez determinado los parámetros necesarios es necesario determinar la conexión eléctrica del sistema con el variador para su correcto funcionamiento como se puede observar en la figura 60:

Figura 60

Diagrama de conexión eléctrica del variador de frecuencia-weg

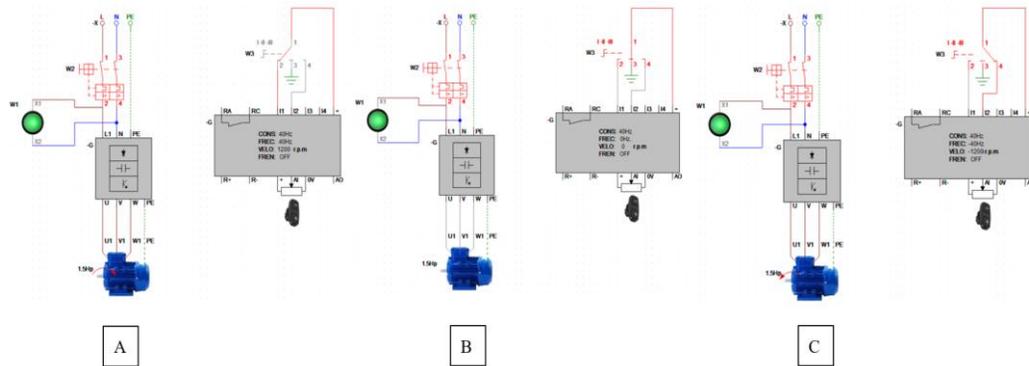


Nota. Se muestra el diagrama de potencia y de control.

Se uso el software computacional CAde_SIMU para la comprobación del funcionamiento del variador de velocidad media el selector de tres posiciones: A: Giro a la derecha; B: parada del motor; C: Giro a la izquierda como se puede observar en la siguiente figura 61, mientras en la figura 62 se puede observar el funcionamiento mediante Botones pulsantes.

Figura 61

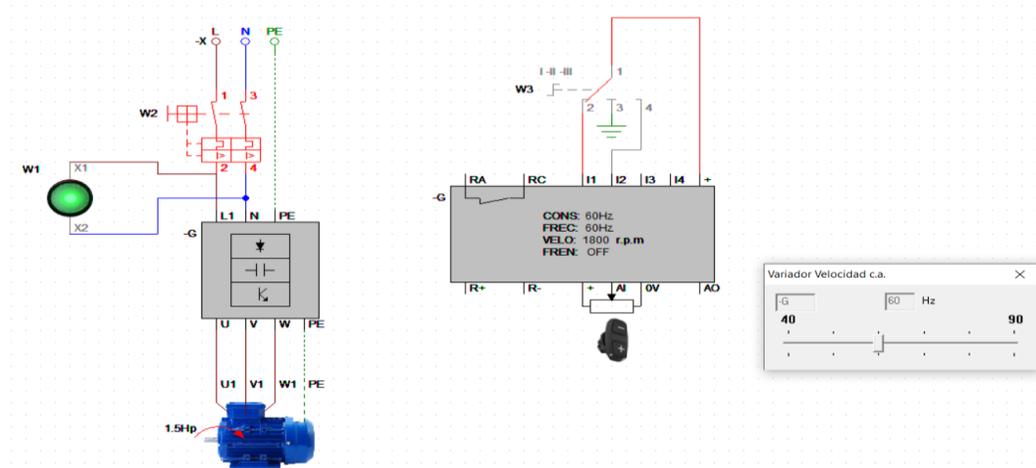
Diagrama de funcionamiento por medio del software CADe_SIMU



Nota. Se muestra la simulación del diagrama de potencia y de control.

Figura 62

Variación de la frecuencia mediante botones pulsantes



Nota. Se muestra la simulación del diagrama de potencia y de control.

Modelado 3D de la máquina compactadora de postes de hormigón (alambrado)

En este ítem se procede a realizar el modelado 3D de los componentes de la máquina para su posterior ensamblaje, con ello se verifica si la geométrica o las dimensiones propuestas

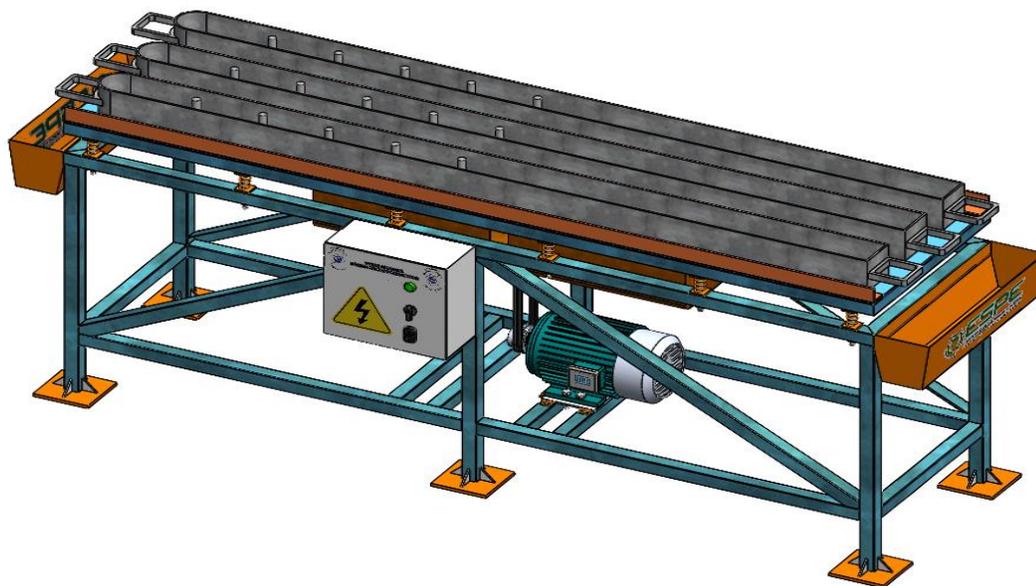
anteriormente en la casa de la calidad son las correctas, a su vez se comprueba si lo diseñado no presenta colisión o interferencia con los otros componentes.

El modelado 3D también facilita obtener variables físicas ejemplo volumen, masas, momentos de inercia, densidad, área entre otras. Uno de los beneficios es que también mediante esta herramienta nos permite dar terminados estéticos variando el material y el color del producto a fin de mejorar su presentación y simpatía con el cliente.

A continuación, se presenta varias vistas isométricas de la máquina mismas que fueron modeladas considerando los parámetros anteriormente mencionados.

Figura 63

Vista isométrica de la máquina compactadora de postes de hormigón

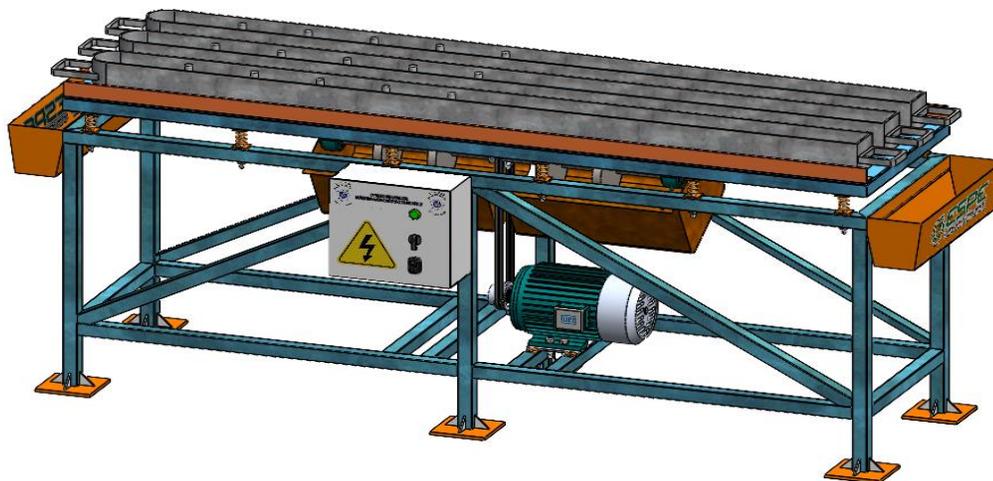


Nota. Elaborado por software computacional (CAD)

Esta máquina está diseñada para compactar y fabricar tres postes por proceso, misma que en condición automática triplicara la producción en comparación de producción manual.

Figura 64

Vista isométrica de la máquina compactadora de postes de hormigón

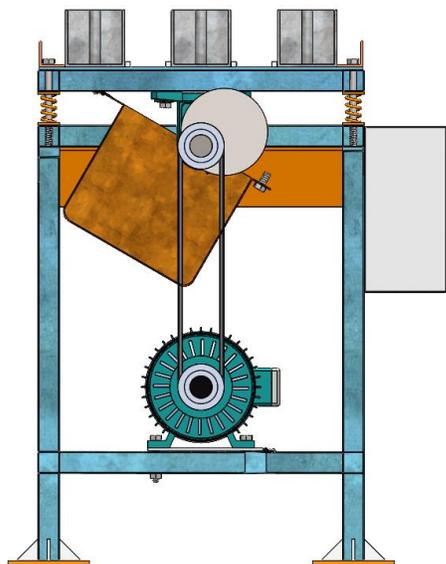


Nota. Elaborado por software computacional (CAD)

Como se observa en la figura 64, los componentes anexados a la estructura inferior y superior no presenta colisión en su diseño.

Figura 65

Vista isométrica lateral de la máquina compactadora de postes de hormigón

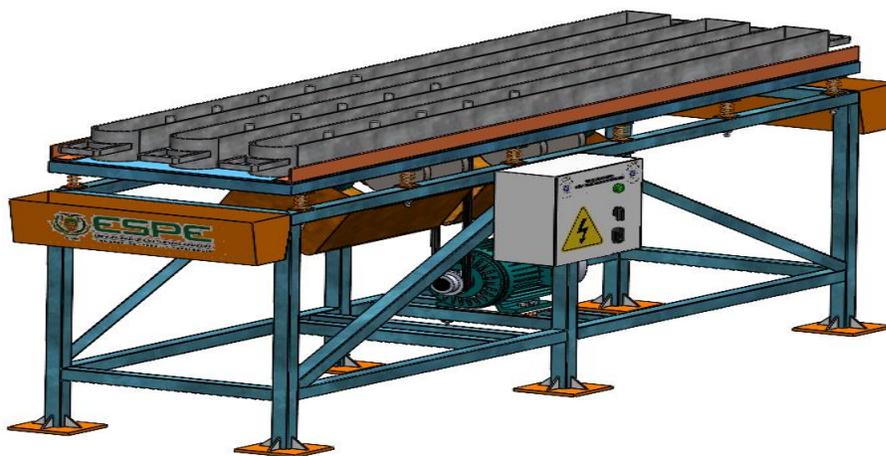


Nota. Elaborado por software computacional (CAD)

En la figura 65, se puede apreciar de mejor manera el sistema transmisión y la conexión de la fuente motora hacia el sistema vibratorio.

Figura 66

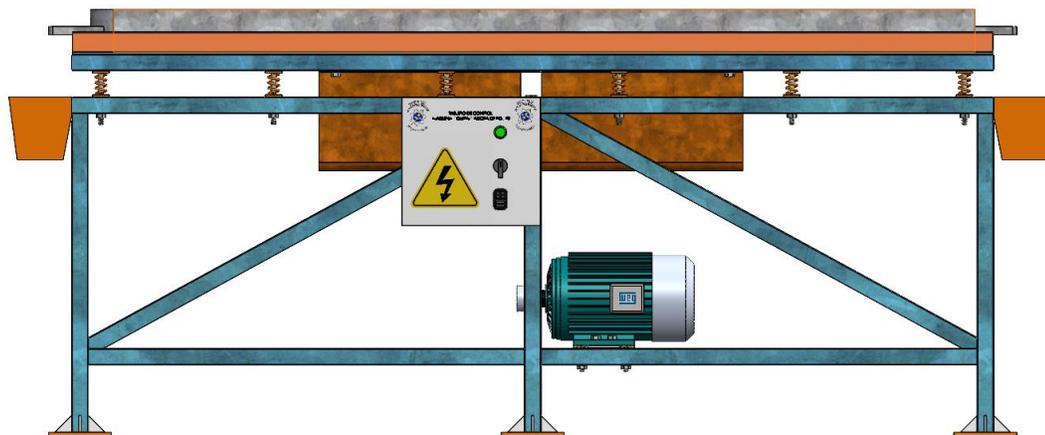
Vista isométrica de la máquina compactadora de postes de hormigón



Nota. Elaborado por software computacional (CAD)

Figura 67

Vista frontal de la máquina compactadora de postes de hormigón



Nota. Elaborado por software computacional (CAD)

Tabla 51

Calidad de mallado en función de Orthogonal Quality

Orthogonal Quality	Calidad de la malla
0-0,001	Inaceptable
0,001-0,14	Mala
0,15-0,20	Aceptable
0,20-0,69	Buena
0,70-0,95	Muy buena
0,95-1	Excelente

Nota. Se muestra las calidades de mallado. Tomado de (Andrade Clavijo, 2021)

Otro aspecto importante de considerar es el factor de seguridad y que cumpla las normativas establecidas:

Tabla 52

Factores de seguridad para materiales dúctiles

Factor de seguridad	Característica
N=1,25-2,0	El diseño de estructura bajo cargas estáticas, para las que haya un alto grado de confianza en todos los datos del diseño (como cargas determinadas con certeza, o materiales más confiables)

Factor de seguridad	Característica
N=2,0-2,5	Diseño de elementos de máquina bajo cargas dinámicas con una confianza promedio en todos los datos de diseño.
N=2,5-4,0	Diseño de estructuras estáticas o elementos de máquinas bajo cargas dinámicas con incertidumbre acerca de las cargas, propiedades de los materiales, análisis de esfuerzos o el ambiente
N=4,0-máyores	Diseño de estructuras estáticas o elementos de máquina bajo cargas dinámicas con incertidumbre en cuanto a alguna combinación de cargas, propiedades de los materiales, análisis de esfuerzos o el ambiente.

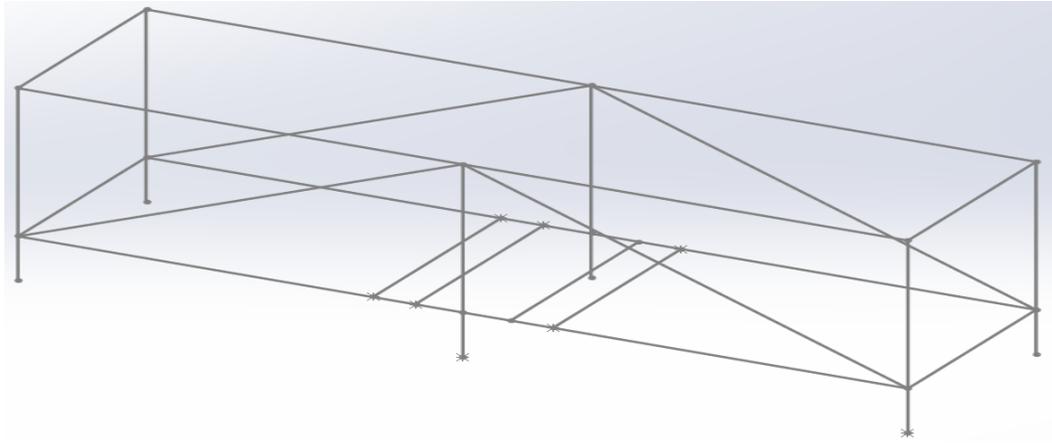
Nota. Se muestra los factores de seguridad permisibles. Tomado de (Mott R. , 2009)

Análisis por el método de elementos finitos (MEF) de la estructura

Para el análisis de la estructura es necesario evaluar el factor de seguridad se procedió con el modelo de la estructura por medio del software computacional Solid Works versión de prueba, por lo cual es necesario realizar un dimensionamiento unifilar como se puede observar en la Figura 69 y Figura 70.

Figura 69

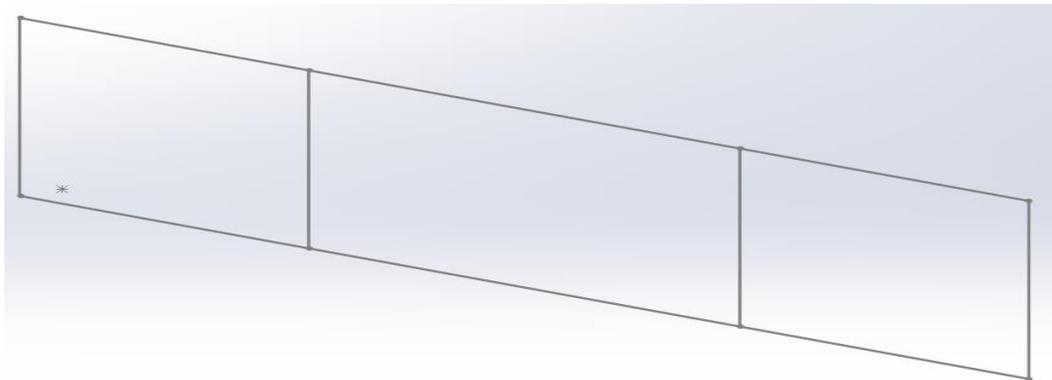
Diagrama estructural inferior unifilar.



Nota. Elaborado por software computacional (CAD)

Figura 70

Diagrama estructural superior unifilar



Nota. Elaborado por software computacional (CAD)

Estructura inferior

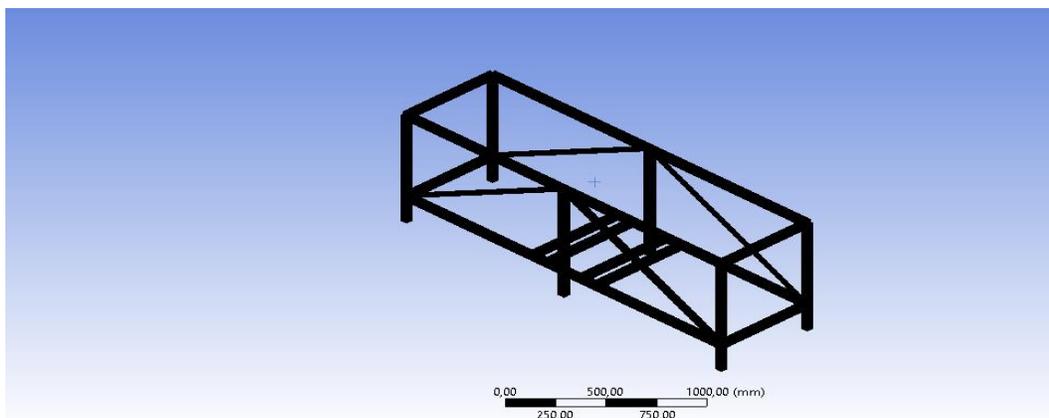
Con el modelo 1D se exporta al Software Ansys-Static Structural en formato STEP

AP2014 (*step; *stp) para la asignación de perfiles a cada una de las líneas conformadas por el

sistema como se puedes ver en la figura 71, los perfiles asignados son de tubo cuadrado de 40x40x1.5 mm y un perfil en L de 40x40x1.5 mm.

Figura 71

Perfiles asignados a la estructura inferior



Nota. Elaborado por software computacional (CAD)

Una vez analizado que el modelo no presente fallas en la estructura, se procede en el análisis de las cargas que soportara la estructura como se puede ver en la tabla 53.

Tabla 53

Cargas de la estructura inferior

Nombre	Carga	Descripción
Carga A	4000 N	Una carga de 3607,137 N que se aproxima a 4000 N

El mismo que este compuesto de las siguientes masas:

- M plataforma vibrante: 164,75 Kg
- M postes (3): 202,95 Kg

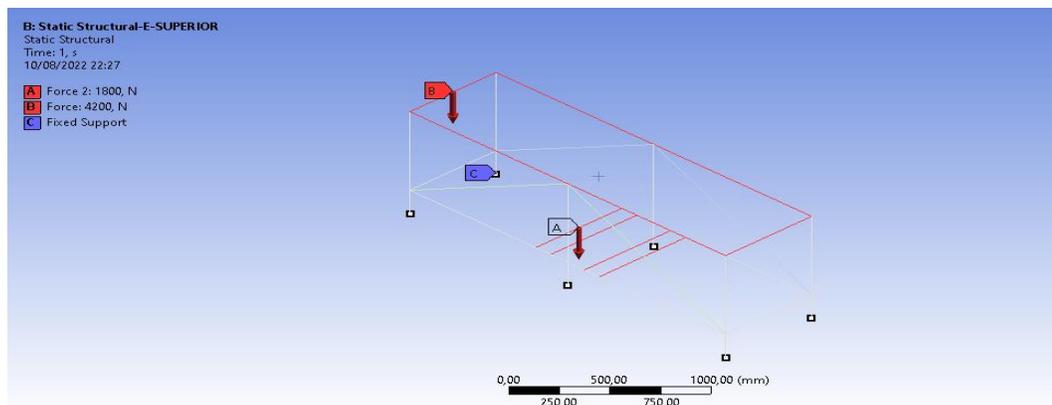
Nombre	Carga	Descripción
Carga B	1800 N	Una carga de 1766,545 N que se aproxima a 1800 N que está conformado por la masa del motor que es de 180,076 Kg

Nota. Se muestra las diferentes cargas del sistema.

A continuación, se presenta las cargas y su ubicación en la estructura y donde los soportes fijos son representados con la letra C como se muestra en la Figura 72.

Figura 72

Ubicación de las cargas que soporta la estructura inferior



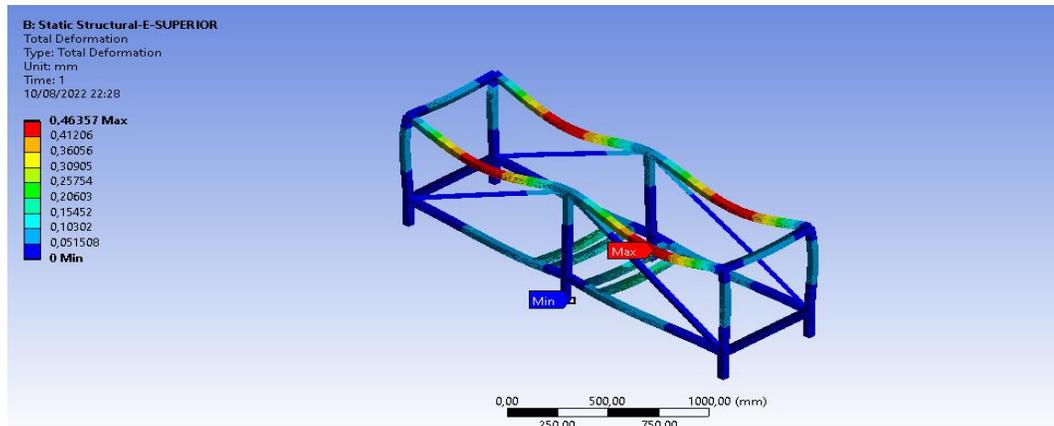
Nota. Elaborado por software computacional (CAE)

El material para el diseño de la estructura es el acero estructural ASTM-A36. El cual tiene las siguientes propiedades; resistencia a la fluencia de $S_y = 250MPa$ y resistencia última de

$S_{ut} = 400MPa$. Con los datos ya ingresados se obtiene los siguientes resultados:

Figura 73

Desplazamientos en la estructura inferior



Nota. Elaborado por software computacional (CAE)

En la figura 73 se observa que la región crítica (color rojo) tiene un desplazamiento de 0.46357 mm, es decir, no representa una deformación considerable producidas por el peso de las cargas presentes, se lo puede comprobar mediante el criterio de deflexión con la ecuación

$$\delta_r < [\delta]$$

$$\delta_r < [\delta] = \frac{L}{800}$$

Ecuación 41 Deflexión (mm)

(Andrade Clavijo, 2021)

Donde $\delta_r = 0.315mm$ es igual a la deflexión de la viga, δ es la deflexión, criterio típico y $L = 2200mm$ es la longitud del componente estructural, remplazando obtenemos:

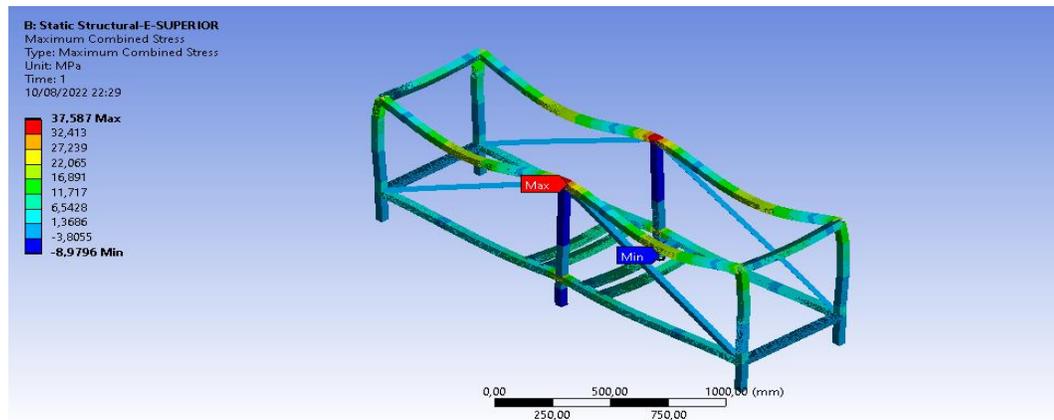
$$0,46357mm < [\delta] = \frac{2200mm}{800}$$

$$0,46357mm < [\delta] = 2,75mm$$

Por lo tanto, el desplazamiento en la estructura de la máquina compactadora es un valor adecuado para las condiciones al que se está sometiendo.

Figura 74

Esfuerzos principales máximos en la estructura



Nota. Elaborado por software computacional (CAE)

En la siguiente figura 74 se muestra las zonas donde se producen mayor concentración de esfuerzos, donde el máximo esfuerzo presente es de 37.587 MPa que es el menor límite elástico del material de $S_y = 250 \text{ MPa}$, es decir, la estructura recupera su forma sin deformarse permanentemente a las cargas sometidas. Es por eso que es necesario determinar el factor de seguridad reemplazando el esfuerzo máximo $\sigma_d = 37.587 \text{ MPa}$ en la ecuación 43.

$$n = \frac{S_y}{\sigma_d}$$

Ecuación 42 Factor de seguridad

Nota. (Mott R. , 2009)

$$n = \frac{250 \text{ MPa}}{37,587 \text{ MPa}}$$

$$n = 6,65$$

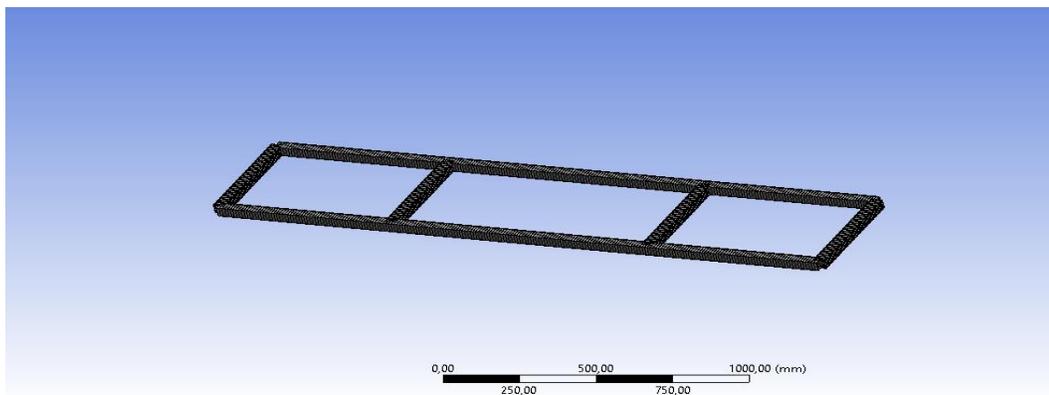
La estructura inferior de la máquina garantizará que resistirá a las cargas que se encuentren sometidas y las cargas que pueden ocurrir por motivos externos y ante eventuales vibraciones.

Estructura superior

Para la asignación de perfiles a cada una de las líneas conformadas por el sistema como se puede ver en la figura 75, los perfiles asignados son el tubo cuadrado de 40x40x1.5 mm.

Figura 75

Perfiles asignados a la estructura superior



Nota. Elaborado por software computacional (CAD)

Una vez analizado que el modelo no presente fallas en la estructura en la estructura, se procede en el análisis de las cargas que soportan la estructura como se puede ver en la tabla 54.

Tabla 54*Cargas de la estructura superior*

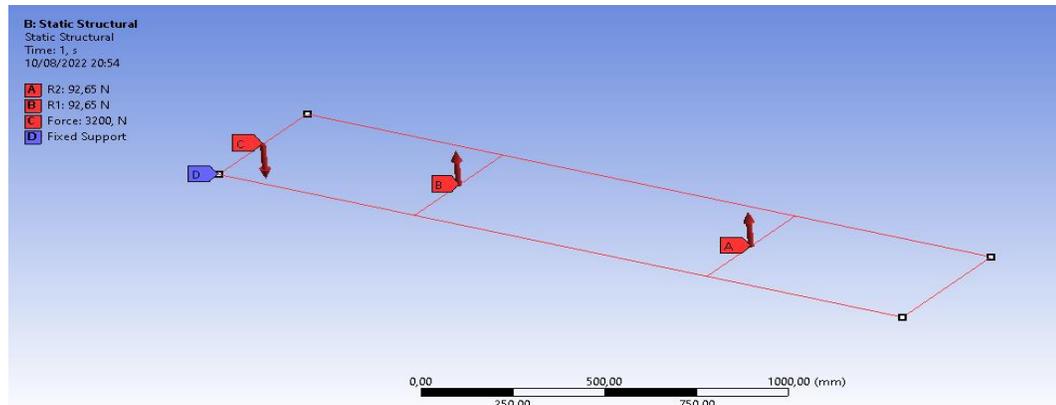
Nombre	Carga	Descripción
Carga A	185,31 N	El mismo que este compuesto por las reacciones del eje:
Carga B		<ul style="list-style-type: none"> • R1 estructura: 92,65 N • R2 moldes: 92,65 N <p>Las mismas que están compuestas por el peso del eje, masas excéntricas, la polea.</p>
Carga C	3100 N	<p>Una carga de 3036,6855 N que se le aproxima a 3100 N que está conformado por las siguientes masas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • M moldes (3): 53,1 Kg • M postes (3): 202,95 Kg • M plancha: 31,38 Kg • M retenedor lateral 15,84 Kg • M separador de molde 6,28 Kg

Nota. Cargas determinadas mediante cálculo y tomadas de software computacional.

A continuación, se presenta las cargas y su ubicación en la estructura y donde los soportes fijos son representados con la letra D como se muestra en la Figura 76:

Figura 76

Las cargas que soportan la estructura superior



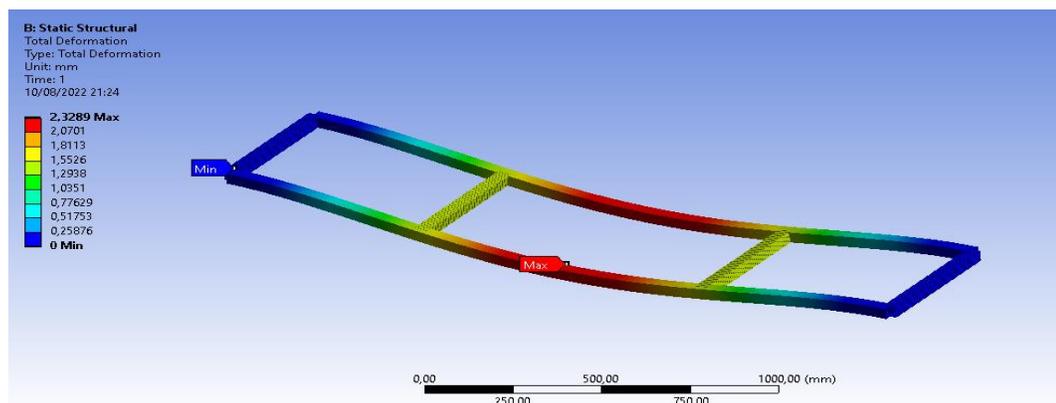
Nota. Elaborado por software computacional (CAE)

El material para el diseño de la estructura es el acero estructural ASTM-A36. El cual tiene las siguientes propiedades; resistencia a la fluencia de $S_y = 250MPa$ y resistencia última de

$S_{ut} = 400MPa$.Con los datos ya ingresados se obtiene los siguientes resultados:

Figura 77

Desplazamiento en la estructura inferior



Nota. Elaborado por software computacional (CAE)

En la Figura 77 se observa que la región crítica (color rojo) presenta un desplazamiento de 2,3289 mm, es decir, representa una deformación considerable producidas por el peso de las cargas y reacciones presentes, se lo puede comprobar mediante el criterio de deflexión con la ecuación 42.

$$\delta_r < [\delta] = \frac{L}{800}$$

Donde $\delta_r = 0.0901mm$ es igual a la deflexión de la viga, δ es la deflexión, criterio típico y $L = 2200mm$ es la longitud del componente estructural, remplazando obtenemos:

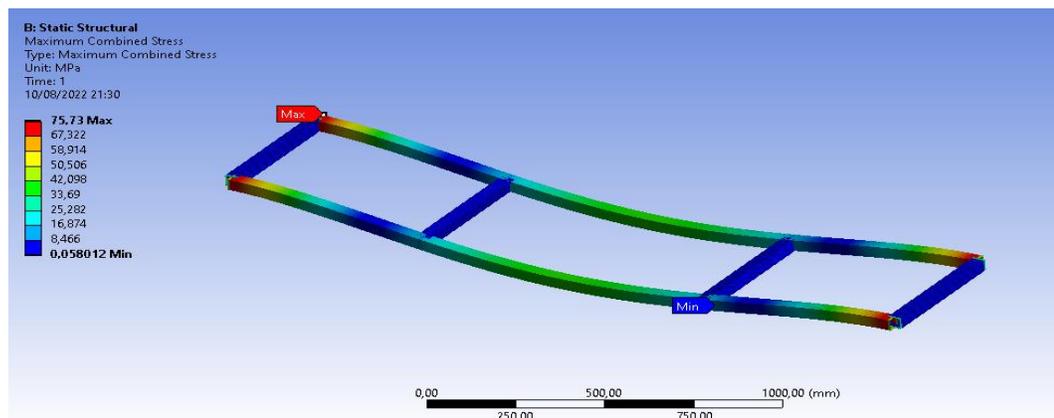
$$2,3289mm < [\delta] = \frac{2200mm}{800}$$

$$2,3289mm < [\delta] = 2,75mm$$

Por lo tanto, el desplazamiento en la estructura de la máquina compactadora es un valor adecuado para las condiciones al que se está sometiendo.

Figura 78

Esfuerzos principales máximos en la estructura



Nota. Elaborado por software computacional (CAE)

En la siguiente figura 78 se muestra las zonas de mayor concentración de esfuerzos, siendo el máximo esfuerzo de $75,73 \text{ MPa}$ este valor es menor al límite elástico del material $S_y = 250 \text{ MPa}$, la estructura recupera su forma sin deformarse permanentemente. Se procede a determinar el factor de seguridad reemplazando el esfuerzo máximo $\sigma_d = 75,73 \text{ MPa}$ en la ecuación 43.

$$n = \frac{S_y}{\sigma_d}$$

$$n = \frac{250 \text{ MPa}}{75,73 \text{ MPa}}$$

$$n = 3,30$$

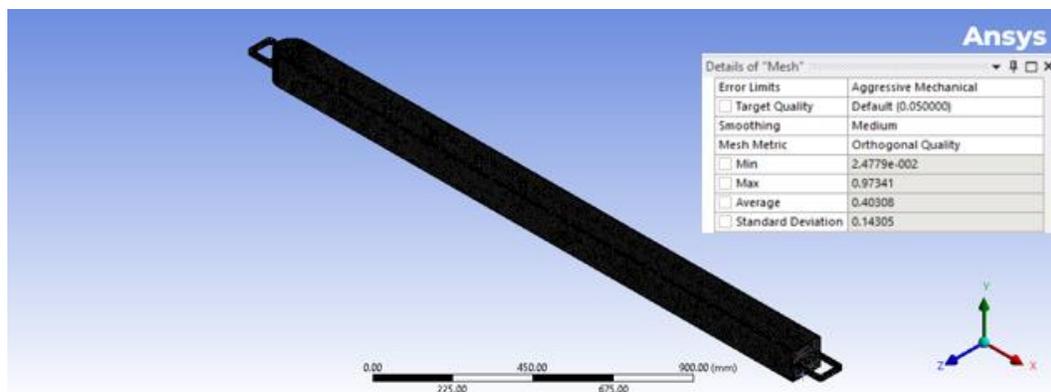
Con este factor de 3.30 se garantiza que la estructura superior resistirá las cargas a la que se encuentra sometida y a las cargas que pueden ocurrir por motivos externos y ante eventuales vibraciones.

Análisis por el método de elementos finitos (MEF) para el molde o formaleta

Con los rangos definidos en la tabla 51, se propone trabajar con una malla tipo Orthogonal Quality, con ello se obtiene una malla de 0,40308 concluyendo que se encuentra en los rangos de calidad buena.

Figura 79

Malla en el molde



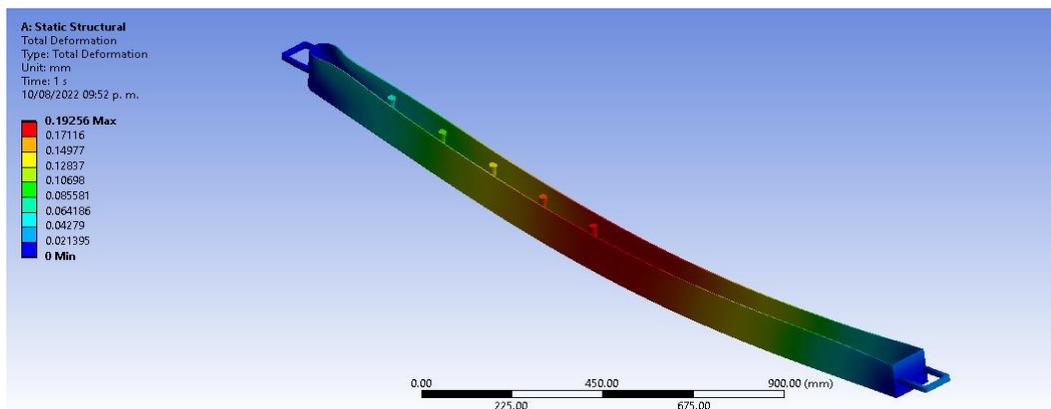
Nota. Elaborado por software computacional (CAE)

El molde está construido en acero galvanizado, con un espesor de 3mm soporta una fuerza de 605N a lo largo de su cara inferior esta fuerza es equivalente al peso propio de un poste de 2m de longitud más un cierto peso de tolerancia.

Con ello se logra obtener los siguientes valores:

Figura 80

Deformación total del molde

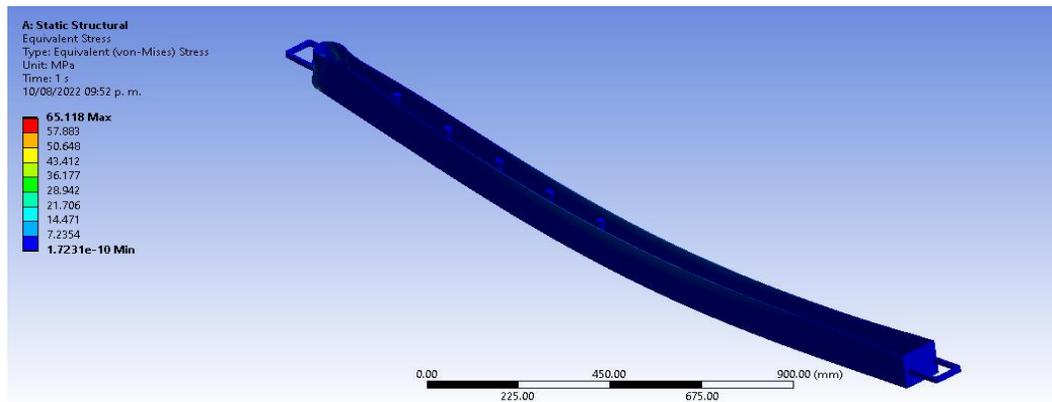


Nota. Elaborado por software computacional (CAE)

En la figura 80, se observa que el molde con el peso de 605N apenas se deforma 0.19256 mm, con ello se comprueba que el diseño es bueno debido a su mínimo desplazamiento.

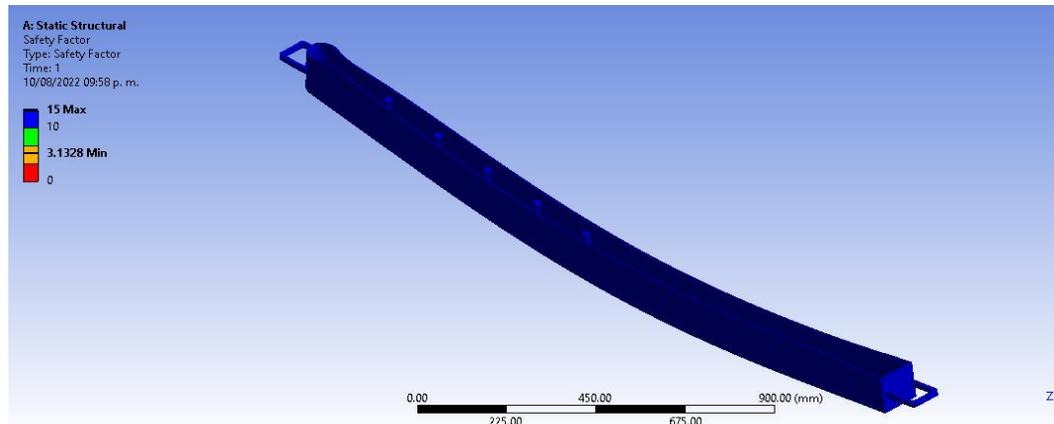
Figura 81

Esfuerzo máximo según Von-Misses en el molde



Nota. Elaborado por software computacional (CAE)

En la figura 81, se puede observar las zonas que mayor esfuerzo presenta a lo largo del molde, siendo esta la parte media, esta concentración se produce debido a que los extremos están sujetos fijamente por el personal de producción al momento de su desplazamiento. Por simulación el máximo esfuerzo por teoría de Von Misses es de 65,118 Mpa siendo este un esfuerzo menor al límite elástico del acero galvanizado 204 Mpa.

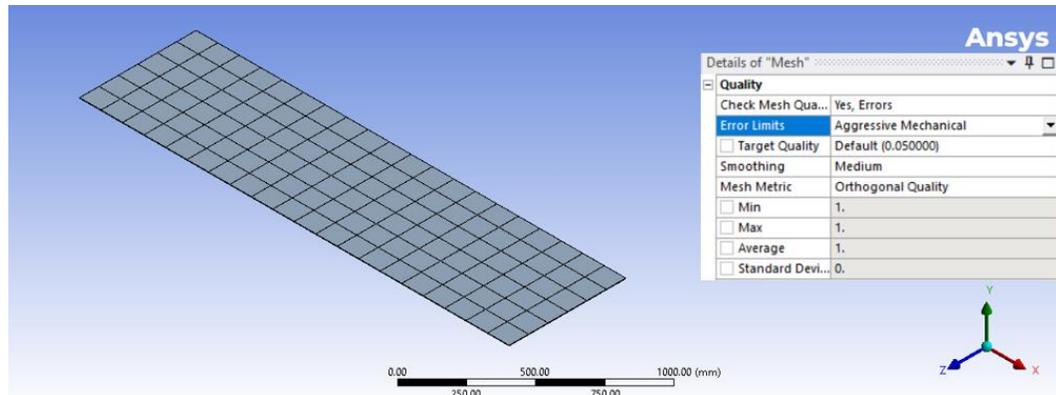
Figura 82*Factor de seguridad del molde*

Nota. Elaborado por software computacional (CAE)

Para el diseño de los elementos de esta máquina se consideró un factor de seguridad de 1,25 por ser una estructura sometida a cargas estáticas como se muestra en la tabla 52. Con ello en la Figura 82 se puede comprobar que el factor mínimo de seguridad en el molde es de 3,1328 concluyendo que es un valor aceptable y que garantiza que el diseño soportara el peso aplicado durante su uso.

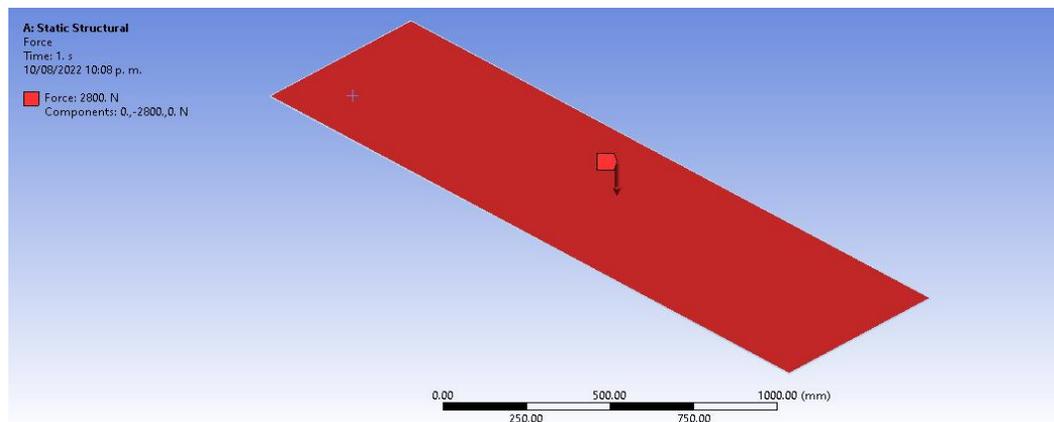
Análisis por el método de elementos finitos (MEF) para la plancha de acero

Se selecciona un mallado tipo Orthogonal Quality, con ello se obtiene una malla para la plancha de acero de 1, y según la tabla 51 está dentro del rango de una malla de excelente calidad.

Figura 83*Malla de la plancha de acero*

Nota. Elaborado por software computacional (CAE)

La plancha de acero tiene un espesor de 3mm, soporta una fuerza distribuida de 2800 N esta fuerza es equivalente al peso propio de tres postes de 2m de longitud más la formaleta y pesos externos, a ello se suma un cierto peso de tolerancia.

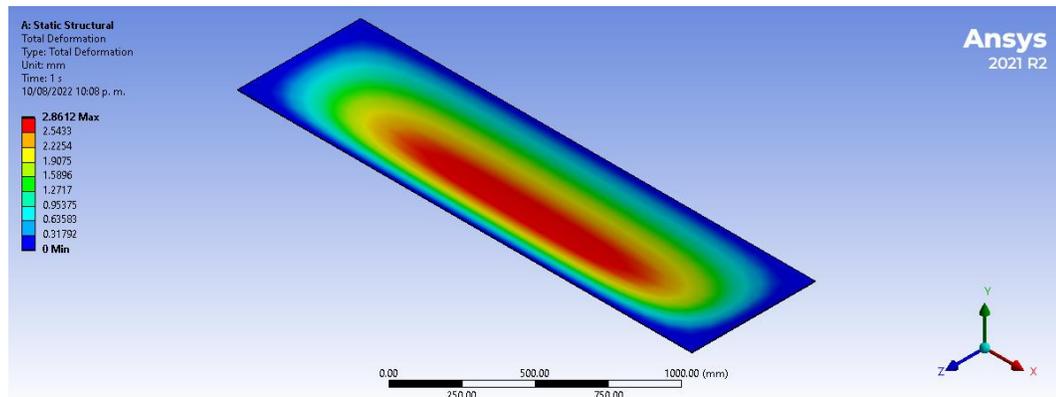
Figura 84*Carga sometida en la plancha de acero*

Nota. Elaborado por software computacional (CAE)

Es sujeta por resortes a lo largo de sus vértices, con ello se logra obtener los siguientes valores:

Figura 85

Deformación total de la plancha de acero

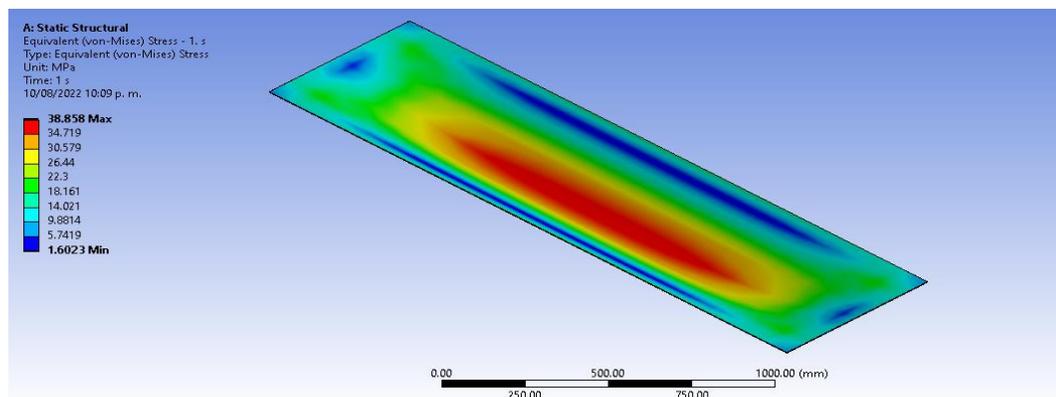


Nota. Elaborado por software computacional (CAE)

En la figura 85, se observa que la plancha de acero al someterle un peso de 2800 N, presenta una deformación mínima de 2,8612 mm, con ello se concluye que el diseño es óptimo para esta magnitud de carga.

Figura 86

Esfuerzo máximo según Von-Mises en la plancha de acero

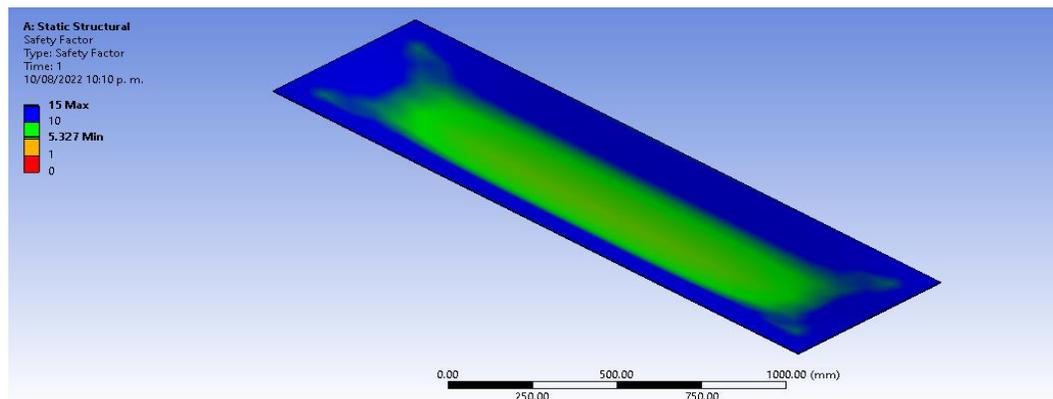


Nota. Elaborado por software computacional (CAE)

En la figura 86, se puede observar que la zona de mayor esfuerzo es en el centro de la plancha, esta concentración se produce debido a que los puntos de mayor sujeción son a lo largo de sus vértices mediante resortes distribuidos en serie y paralelamente a lo largo y ancho de la estructura. Por simulación el máximo esfuerzo por teoría de Von Misses es de 38,858 Mpa siendo este un esfuerzo menor al límite elástico del acero estructural 250 Mpa.

Figura 87

Factor de seguridad de la plancha de acero



Nota. Elaborado por software computacional (CAE)

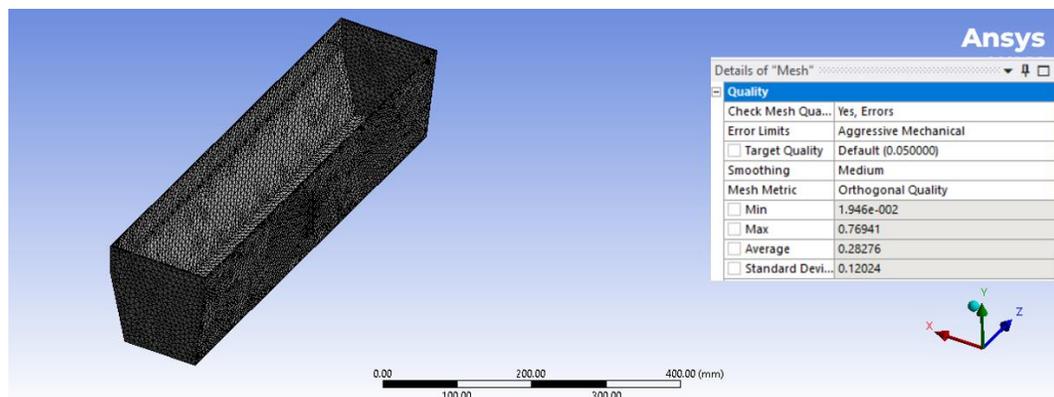
Considerando un factor de seguridad mayor a 1,25 como se muestra en la tabla 52, se puede comprobar que el factor de seguridad mínimo en la plancha de acero es de 5,327 concluyendo que es un valor aceptable que garantiza el diseño y es apto para la carga en estudio.

Análisis por el método de elementos finitos (MEF) para contenedor de material no compactado

Considerando una malla tipo Orthogonal Quality, se obtiene una malla para el contenedor de material no compactado de 0,28276 y según la tabla 51, está dentro del rango de una malla de buena calidad.

Figura 88

Malla en el contenedor de material no compactado



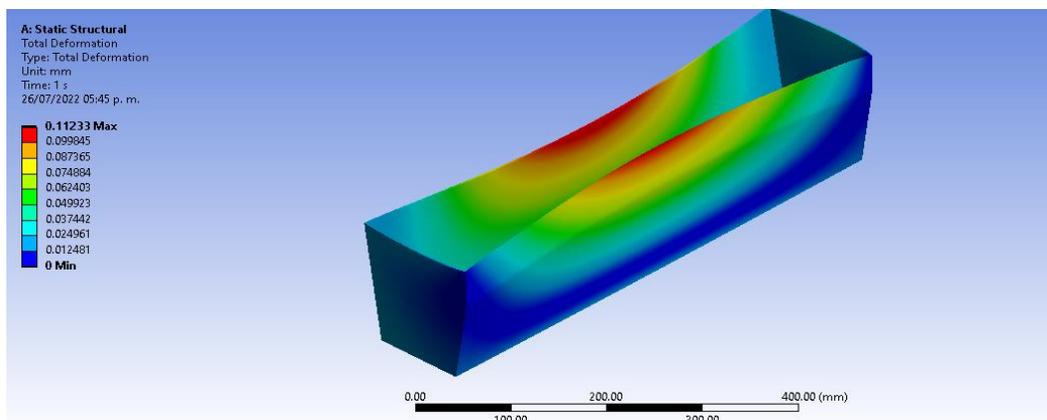
Nota. Elaborado por software computacional (CAE)

El contenedor de material no compactado tiene un espesor de pared de 2mm, se ha considerado un peso de 210 N este peso es equivalente a la tercera parte de lo que pesa un poste de 2m de longitud (material no compactado en una hora de proceso), más un peso de tolerancia.

La fuerza será aplicada en la parte interna y baja del contenedor de material no compactado.

Figura 89

Deformación total del contenedor de material no compactado

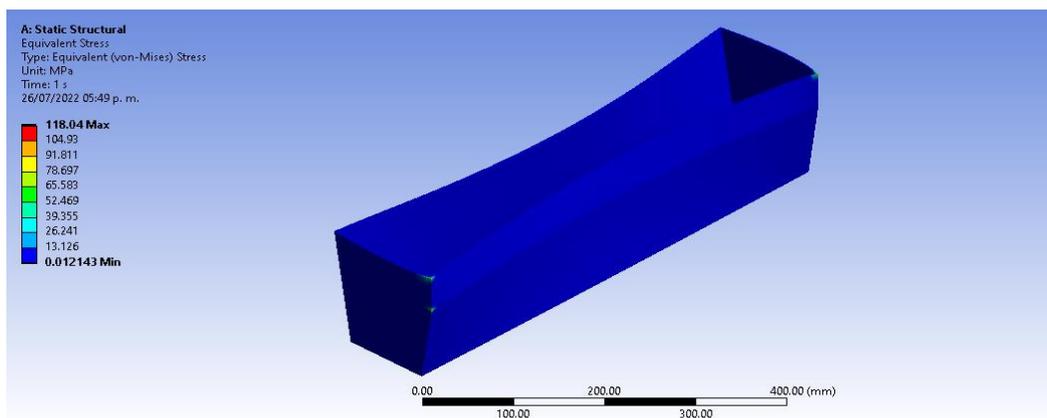


Nota. Elaborado por software computacional (CAE)

En la figura 89, se observa que el contenedor de material no compactado con un peso de 210 N, presenta una deformación de 0,11233 mm, con ello se concluye que el diseño es óptimo para soportar el material no compactado en una hora de proceso.

Figura 90

Esfuerzo máximo según Von-Mises en el contenedor de material no compactado

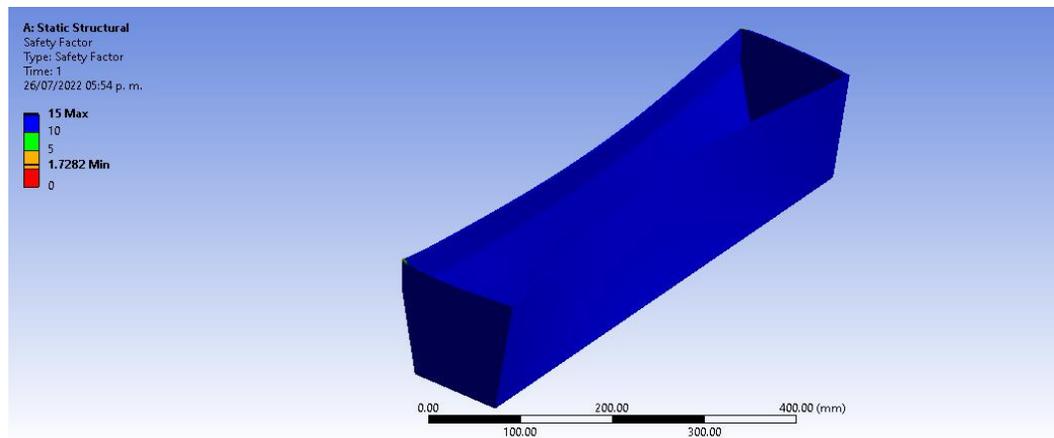


Nota. Elaborado por software computacional (CAE)

En la figura 90, se puede observar que la zona de mayor esfuerzo es en la parte alta de la cara frontal, esta concentración se produce debido al peso y deformación aplicada en la parte baja interna del contenedor y por el punto de sujeción con la estructura inferior. Por simulación el máximo esfuerzo por teoría de Von Mises es de 118,04 Mpa siendo este un esfuerzo menor al límite elástico del acero galvanizado de 204 Mpa.

Figura 91

Factor de seguridad en el contenedor de material no compactado



Nota. Elaborado por software computacional (CAE)

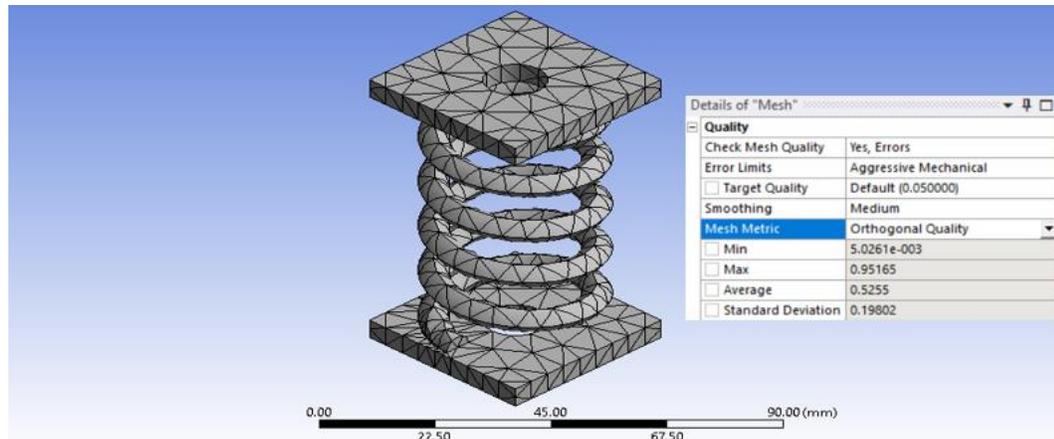
Considerando que el factor de seguridad debe ser mayor a 1,25 como se muestra en la tabla 52, se puede comprobar que el factor de seguridad mínimo en el contenedor de material no compactado es de 1,7282, concluyendo que es un valor aceptable para la implementación de este componente.

Análisis por el método de elementos finitos (MEF) para el resorte helicoidal

Se procede con una malla tipo Orthogonal Quality para obtener un mallado de 0,5255, según la tabla 51 está dentro del rango de una malla de buena calidad.

Figura 92

Malla en el resorte helicoidal



Nota. Elaborado por software computacional (CAE)

El resorte presenta las siguientes especificaciones:

Diámetro de hilo $\rightarrow D_h = 5,26mm$

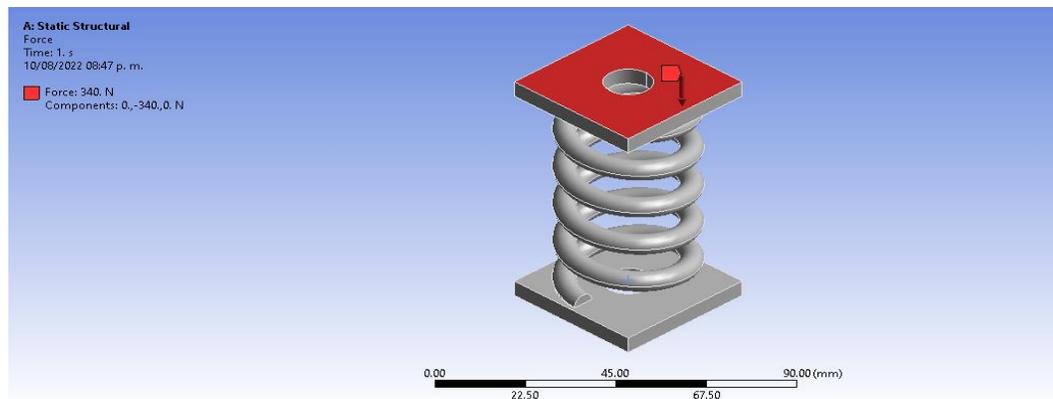
Diámetro exterior $\rightarrow D_{ext} = 29,59mm$

Longitud sin carga $\rightarrow L_{sc} = 76,20mm$

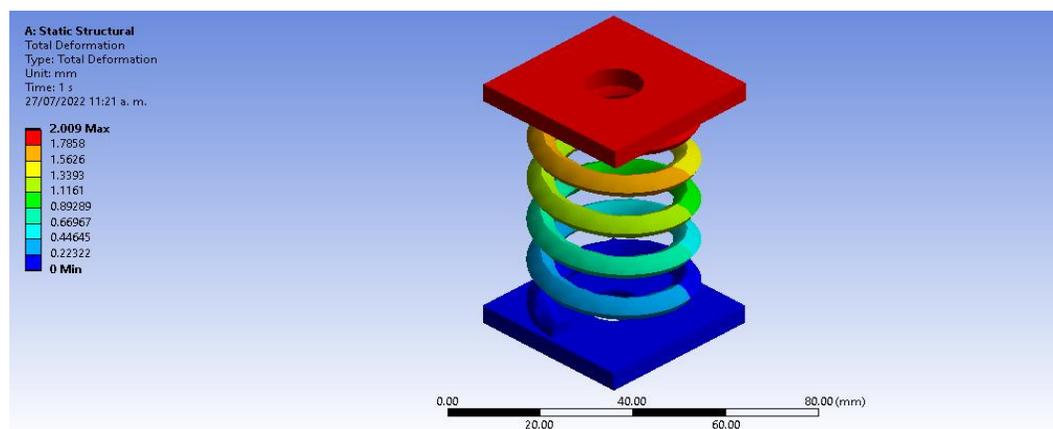
Constante de espasticidad $\rightarrow k = 7,679Kg/mm$

Altura solida $\rightarrow A_s = 47,37mm$

Número de espiras activas $\rightarrow N_{es} = 4$

Figura 93*Fuerza sobre el resorte helicoidal**Nota.* Elaborado por software computacional (CAE)

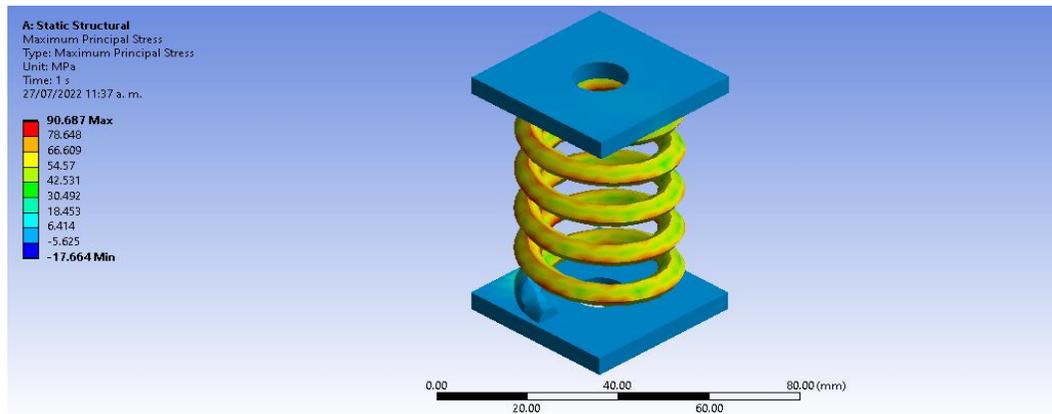
Para el estudio de deformación y esfuerzos se considera un peso de 3579,7671 N aproximado a 4000 N, esta fuerza es distribuida para doce resortes existentes en él diseño de la máquina más un peso de tolerancia 340 N.

Figura 94*Deformación total del resorte helicoidal**Nota.* Elaborado por software computacional (CAE)

En la figura 94, se observa que el resorte helicoidal con un peso de 340 N, presenta una deformación de 2 mm, con ello se concluye que el diseño es óptimo para soportar el peso existente en la plataforma vibrante más el peso del producto.

Figura 95

Esfuerzo máximo según von-misses para el resorte helicoidal



Nota. Elaborado por software computacional (CAE)

En la Figura 95, se puede observar que el máximo esfuerzo es de 90,687 Mpa, esta concentración de esfuerzo se produce debido al peso y la fuerza perpendicular de 340 N propia de la estructura total superior. Por simulación este esfuerzo es menor al límite elástico del acero de 250 Mpa.

Con estas especificaciones se procede a determinar el factor de seguridad reemplazando el esfuerzo máximo $\sigma_d = 90.687MPa$ en la ecuación 43.

$$n = \frac{S_y}{\sigma_d}$$

$$n = \frac{250MPa}{90,687MPa}$$

$$n = 2,76$$

Con este factor de 2,76 mayor que la unidad, se garantiza que el resorte helicoidal no presentara fallas o ruptura alguna debido a las cargas a la cual va a estar sometido.

Análisis por el método de elementos finitos (MEF) para el eje de transmisión

Por condiciones de diseño el eje se conforma de tres secciones. En las dos secciones solidas se acoplan los rodamientos y soportes del eje y la otra sección es un tubo hueco con un espesor considerable para soportar la polea y las excéntricas acopladas a él. Las dos secciones solidas son construidas en Acero AISI 1045 estirado en frio y la sección tubular con Acero AISI 1020.

Tabla 55

Propiedades mecánicas de acero AISI 1045 y 1020

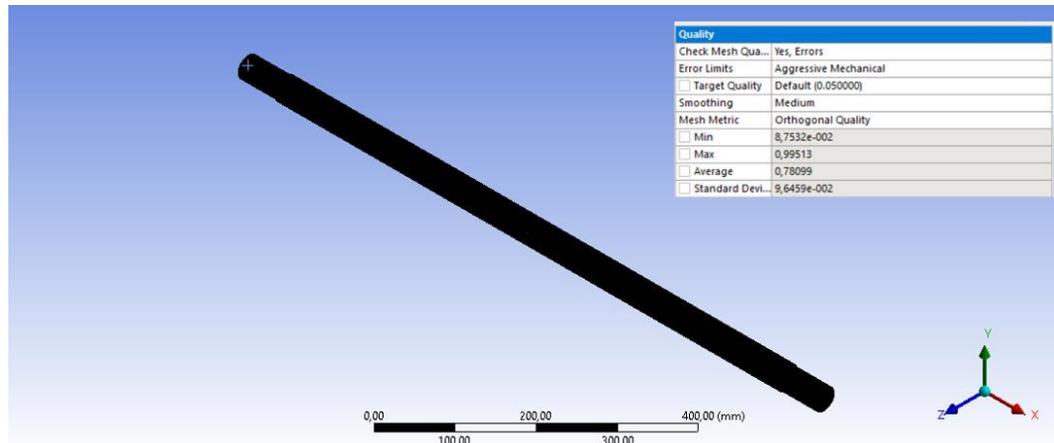
Material	Propiedades mecánicas			
	Resistencia a la Fluencia		Resistencia ultima	
	[Mpa]	[Kpsi]	[Mpa]	[Kpsi]
AISI 1045	310	45	570	82
AISI 1020	210	30	380	55

Nota. Las propiedades mecánicas son obtenidas por medio del distribuidor.

Se procede a implementar una malla tipo Orthogonal Quality, para obtener un mallado de 0.78099, con lo que se concluye que mediante la tabla 51 está magnitud de mallado está dentro del rango establecido para una malla de muy buena calidad.

Figura 96

Mallado del eje



Nota. Elaborado por software computacional (CAE)

Las fuerzas y el momento que actúa en el eje son las establecidas y calculadas en la sección de cálculos ahí se muestra un total de 4 fuerzas de 38.259 N propias de las excéntricas y una fuerza de 73.575 N correspondiente a la fuerza ejercida por la polea y el propio peso del eje, junto con ello se direcciona un momento de 39.420 Nm, torque transmitido desde la fuente motora.

A continuación, se muestra la distribución de las fuerzas a lo largo del eje:

$$\text{Fuerza en } P_{1x} = 0; P_{1y} = 34,55N; P_{1z} = 0$$

$$\text{Fuerza en } P_{2x} = 0; P_{2y} = 34,55N; P_{2z} = 0$$

$$\text{Fuerza en } P_{3x} = 0; P_{3y} = 34,55N; P_{3z} = 0$$

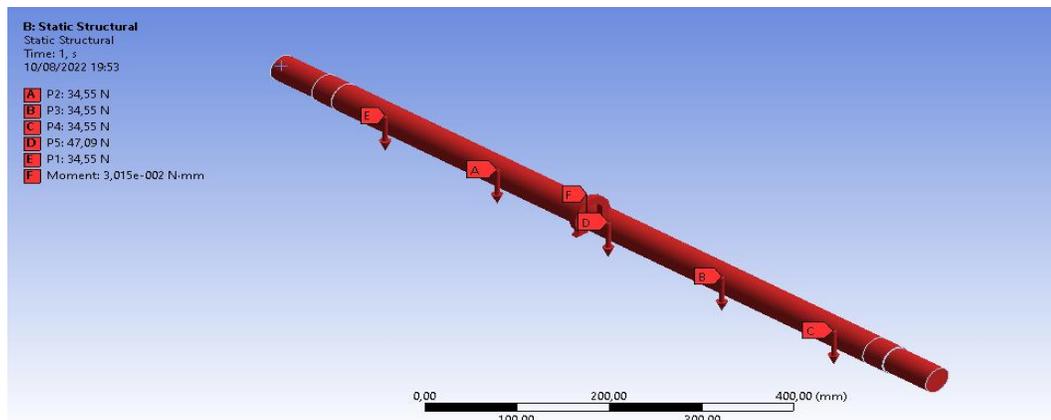
$$\text{Fuerza en } P_{4x} = 0; P_{4y} = 34,55N; P_{4z} = 0$$

$$\text{Fuerza en } P_{5x} = 0; P_{5y} = 47,09 N; P_{5z} = 0$$

$$\text{Momento } M_1 = 30,15 Nm$$

Figura 97

Fuerzas y momentos en el eje de transmisión

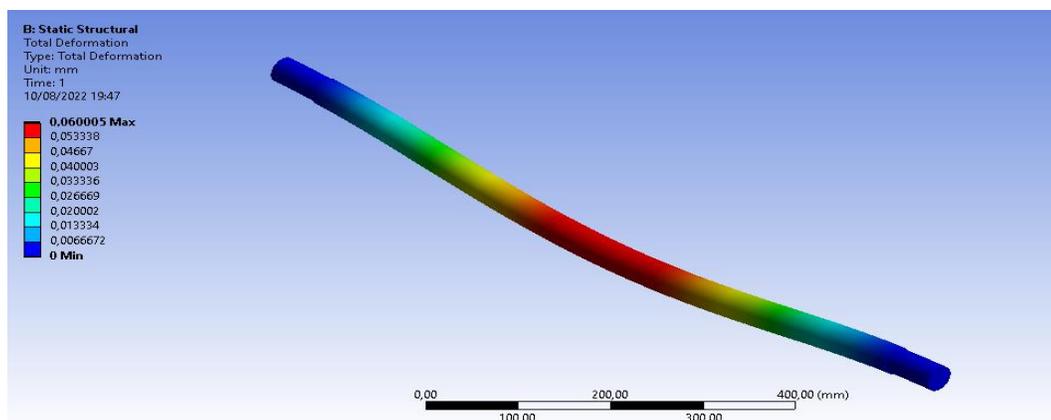


Nota. Elaborado por software computacional (CAE)

Con ello se logra obtener los siguientes datos por simulación para luego compararlos con los calculados.

Figura 98

Desplazamiento total del eje de transmisión

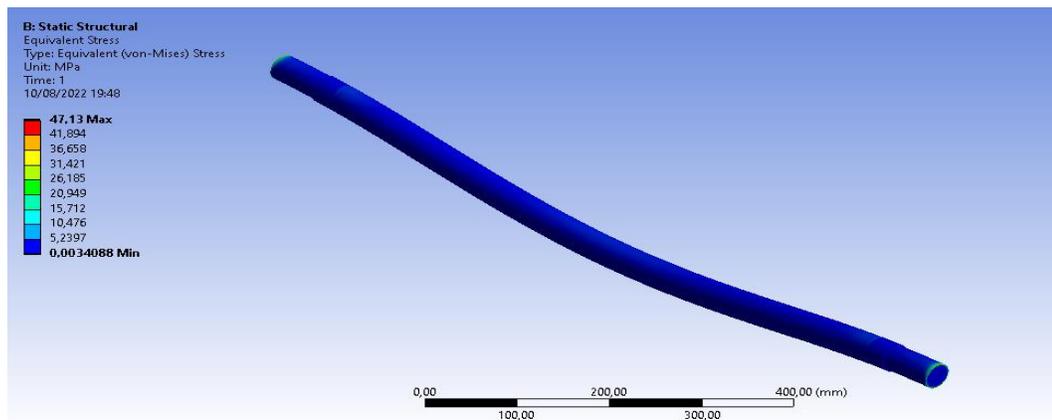


Nota. Elaborado por software computacional (CAE)

En la figura 98, se observa que el mayor desplazamiento se encuentra en la zona media, esto ocurre debido a que es la zona que comprende la sección tubular a lo largo del eje, en consideración se tiene un desplazamiento de 0,060005 mm con lo que se concluye que es un valor mínimo y despreciable a razón de las fuerzas aplicadas.

Figura 99

Esfuerzo máximo presente en el eje de transmisión

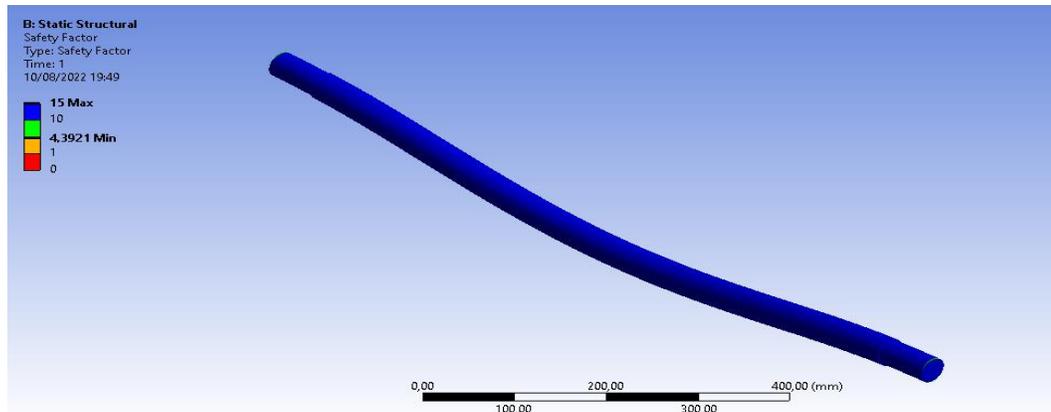


Nota. Elaborado por software computacional (CAE)

En la figura 99, se observa que las zonas de mayor esfuerzo están en el centro del eje producto de la magnitud de fuerza ejercida por la polea y el peso propio del eje, con ello se tiene un máximo esfuerzo de 47,13 Mpa que comparado con el límite elástico del material AISI 1020 es menor.

Figura 100

Factor de seguridad para el eje



Nota. Elaborado por software computacional (CAE)

Por teoría de Von Misses, menciona que el elemento mecánico a diseñar debe tener un factor de seguridad mayor que 1 a fin de asegurar su resistencia y larga vida útil, en la Figura 100 se puede comprobar que el factor para nuestro diseño es de 4,392, con ello se concluye que el factor está dentro de lo establecido por Von Misses y que el elemento mecánico va a resistir las cargas anteriormente mencionadas.

Implementación y construcción de la máquina

Para la construcción de la máquina compactadora de postes de hormigón se procede a realizar planos de las piezas mecánicas y planos del sistema eléctrico, garantizando medidas y su correcta implementación.

El realizar planos de toda la máquina facilitara la toma decisión al momento de efectuar rediseños o nuevas implementaciones. Con las piezas mecánicas diseñadas se efectúa simulaciones a fin de garantizar calidad, solidez y efectividad de la estructura mecánica y de su

funcionamiento, el simular nos da paso a verificar errores que deberán ser corregidos antes de su construcción y evitar malas inversiones y tiempos de empleo innecesarios.

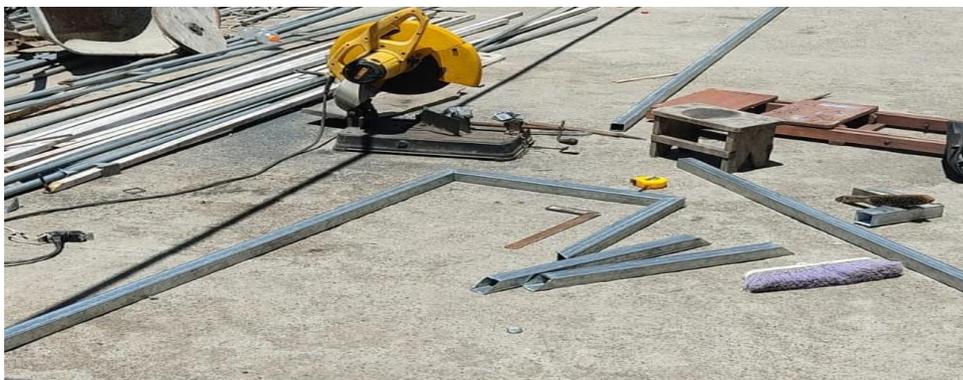
Realizado el procedimiento anterior se procederá a cortar y ensamblar la estructura y sus componentes mecánicos, luego se continuará con el armado de la parte eléctrica (circuito de control y potencia) y se anexará a la máquina en un lugar donde el operario pueda maniobrar fácilmente.

La estructura mecánica de la máquina compactadora de postes de hormigón para alambrado, será de tubos cuadrados y de ángulos con medidas y propiedades mecánicas dadas por los fabricantes, estos serán cortados y unificados con respecto a las dimensiones que se reflejadas en planos adjuntos.

En la figura 101, se muestra los tubos seccionados en distintas medidas para la construcción de la estructura.

Figura 101

Tubos cuadrados cortados a diferente medida



Nota. Se muestra los cortes de tubos para la máquina.

En la Figura 102 y 103, se muestra el ensamble de la estructura superior e inferior de la máquina.

Figura 102

Ensamble y soldado de la estructura superior de la máquina



Nota. Se observa el proceso de armado y soldado de los tubos.

Figura 103

Ensamble y soldado de la estructura inferior de la máquina



Nota. Se observa el proceso de armado y soldado de los tubos.

En la figura 104, se muestra el proceso de pulido y remoción de exceso de soldadura en los puntos de unión.

Figura 104

Pulido y remoción de exceso de soldadura



Nota. Se muestra el proceso de esmerilado de soldadura.

En la figura 105 y 106, se presenta el ensamble final de la estructura superior e inferior, respectivamente.

Figura 105

Ensamble final de la estructura superior



Nota. Se muestra la estructura superior armada.

Figura 106

Ensamble final de la estructura inferior



Nota. Se muestra la estructura inferior armada.

Se adquiere planchas de acero de 3mm de espesor, en geometría rectangular con medida de 2,20m por 0,60m a esta plancha se realiza orificios pasantes para encajar doce pernos de unión, realizado este proceso de manufactura se toma medidas para coincidir los orificios en la estructura inferior y la estructura superior con ello se consigue evitar fenómenos de fricción entre ellos.

Figura 107

Orificios pasantes en la plancha de acero



Nota. Se muestra la plataforma vibrante armada.

Figura 108

Mecanizado de orificios en la estructura inferior y superior



Nota. Mecanizado de orificios en el estructura inferior y superior.

Con el mecanizado de los orificios pasantes en todas tres partes de la máquina, se procede a soldar y ensamblar la estructura inferior con la estructura superior, en la sección intermedia de las dos partes se coloca resortes y en la parte de arriba de la estructura superior se coloca ángulos en L, destinados a evitar el deslizamiento de los moldes o formaletas.

Figura 109

Ensamble de las dos estructuras mecánicas de la máquina



Nota. Se muestra el proceso de soldado y armado de las dos estructuras de la máquina.

Posterior a ello, se procede con el mecanizado del eje más sus componentes (excéntricas, polea), se efectúa soldaduras de contorno en la unión de la parte hueca y la parte sólida del eje.

Figura 110

Mecanizado del eje



Nota. Se muestra el mecanizado del eje.

Figura 111

Soldadura de contorno alrededor del eje



Nota. Se muestra la aplicación de soldadura de contorno en el eje.

Figura 112

Mecanizado de excéntricas y polea

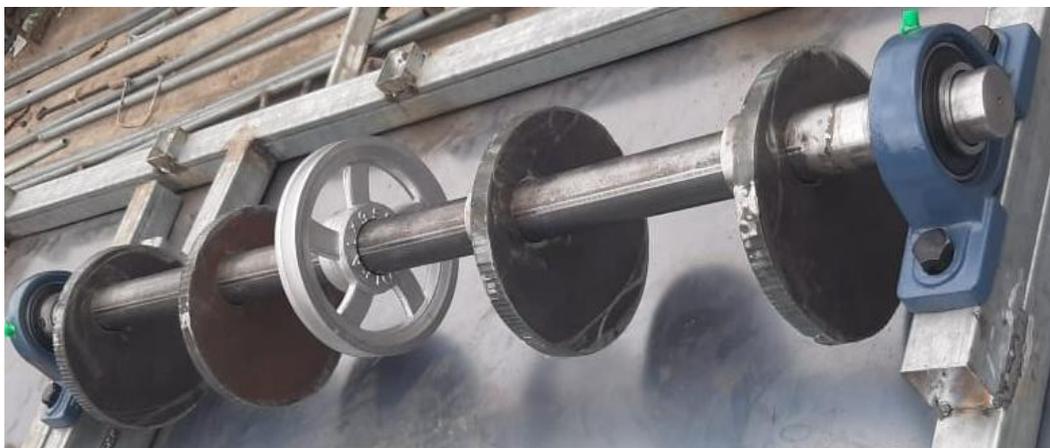


Nota. Se muestra el mecanizado de las excéntricas.

Luego, se procede a ensamblar los componentes en el eje para su posterior montaje en la plataforma vibrante de la máquina compactadora de postes.

Figura 113

Eje mecanizado más sus componentes (excéntricas y polea)

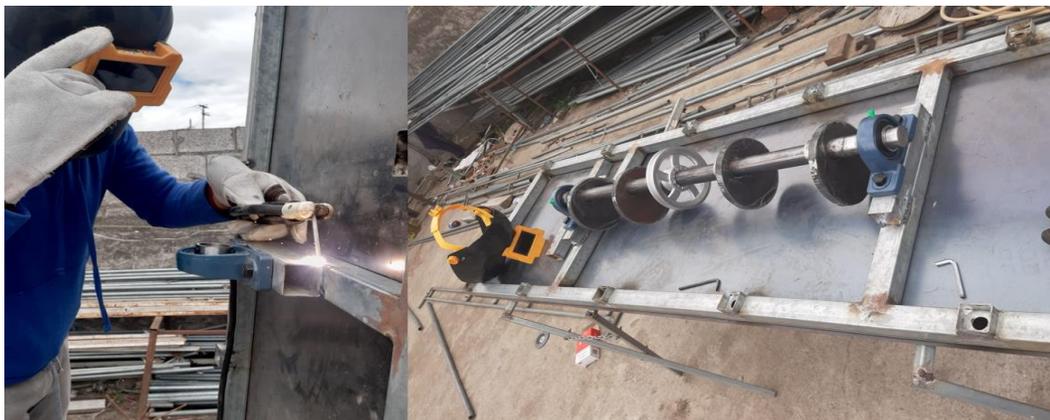


Nota. Armado del sistema de vibración.

Seguidamente se centra el eje en la plataforma vibrante y se procede a soldar las bases de las chumaceras, asegurando que no exista deslizamiento o desmontaje durante el proceso de vibro compactación.

Figura 114

Soldadura y ensamble del eje más sus componentes a la plataforma vibrante



Nota. Ensamble de las bases para el sistema de vibración.

Se ensambla los tres mecanismos de la máquina (la estructura inferior, el sistema de vibración y la plataforma vibrante), asegurándose que la polea de la fuente motora se ubique paralela a la polea del sistema de vibración.

Figura 115

Ensamble de los tres mecanismos de la máquina

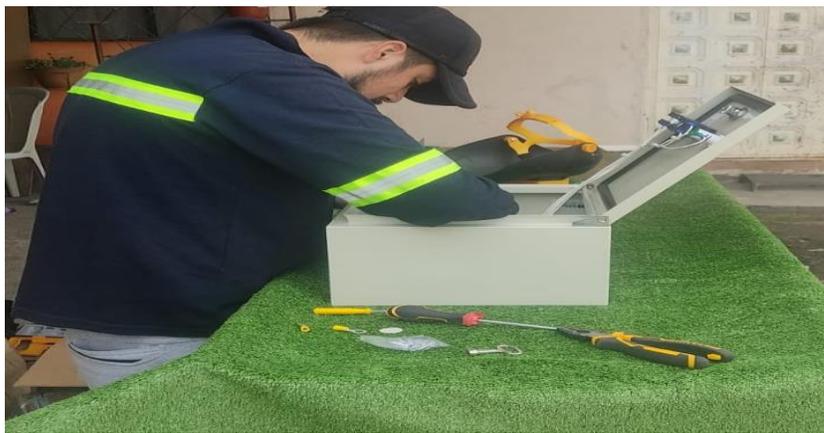


Nota. Se muestra el ensamble de los tres mecanismos de la máquina.

Luego, se instala los componentes eléctricos en el tablero de control, se considera que los cables de conexión del tablero de control hacia la fuente motora no colisionen con el mecanismo o sistema de vibración.

Figura 116

Armado del tablero de control



Nota. Se muestra el armado de tablero eléctrico de control.

Por condiciones de vibración la máquina tiende a desplazarse durante su funcionamiento, por lo tanto, debe ser posicionada con soportes fijos en las patas y con bases empotradas a una cierta profundidad de la tierra mediante mezcla de hormigón, se ha considerado uno de los requisitos del cliente mencionados en la tabla 30, que sea transportable por ende se implementa acoples entre la base y las patas de la máquina con pernos para su fácil traslación.

Figura 117

Posicionamiento de la máquina compactadora de postes de hormigón



Nota. Se muestra el empotramiento de la máquina con sus respectivas bases.

Seguidamente se pulveriza la estructura y se aplica una capa de pintura Durapox anticorrosiva esta contiene propiedades como resistencia al agua, minimiza la corrosión y es recomendable para estructuras metálicas expuestas a ambientes bruscos.

Figura 118

Empleo de la pintura anticorrosiva Durapox en la estructura inferior



Nota. Se muestra la aplicación del tratamiento anticorrosivo.

Figura 119

Empleo de la pintura anticorrosiva Durapox en la plataforma vibrante



Nota. Se observa el pintado de la plataforma vibrante.

Posterior a este proceso, se aplica tonos de pintura color azul sobre la pintura anticorrosiva en la estructura inferior y la plataforma vibrante, en cambio para el retenedor de material, separador de molde, contenedor de hormigón y el cubre mecanismo se usa pintura color tomate para destacar que son accesorios anexados a la máquina, finalmente se aplica pintura negra en los resortes y en el mecanismo de vibración (excéntricas, polea, eje) a fin de indicar que son las partes de mayor importancia y de compleja fabricación para ensamblar una máquina compactadora de postes de hormigón.

Figura 120

Empleo de la pintura azul en la estructura inferior y la plataforma vibrante



Nota. Resultado de pintado de la máquina.

Figura 121

Empleo de la pintura tomate sobre los accesorios que se anexan a la máquina compactadora de postes



Nota: se muestra el proceso de pintado de los accesorios de la máquina.

Finalmente se ensambla sobre la estructura inferior la plataforma vibrante esta contiene: el sistema de vibración acoplado mediante una correa a la fuente motora, el retenedor de material, el separador y el molde, intermedio a estas dos estructuras se coloca

resortes y pernos de 1/2" como guía, para terminar, se acopla los dos contenedores de hormigón en las dos partes laterales de la estructura inferior.

Figura 122

Montaje de la máquina compactadora de postes de hormigón



Nota. Se muestra el ensamble de la máquina con sus accesorios.

Figura 123

Montaje de los moldes sobre la plataforma vibrante



Nota: Comprobación de la distribución de los moldes sobre la plataforma vibrante.

Figura 124

Montaje final de la máquina compactadora de postes de hormigón



Nota. Máquina final para ser entregada.

Capítulo IV

Resultado de la investigación

Simulación computacional del funcionamiento de la máquina compactadora de postes

En lo que concierne al diseño previo de la máquina es importante cotejar la efectividad que tendrá el proceso de compactar los postes de hormigón aplicado en campo y cumplir con las especificaciones requeridas por el usuario y por diseño, para determinar estos aspectos se emplea el software Altair EDEM Student Edition.

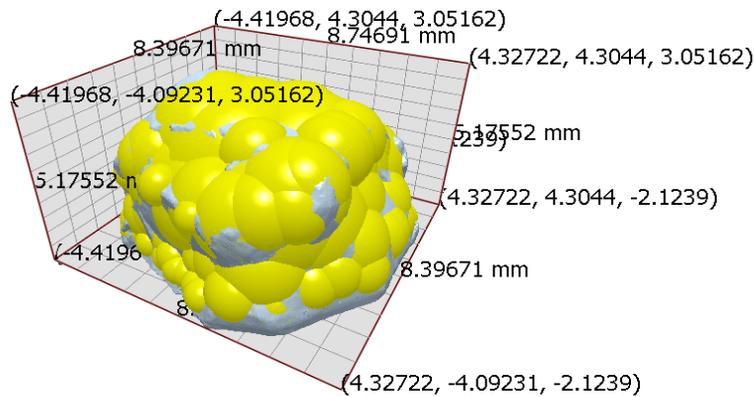
Altair EDEM Student Edition es un software de alto rendimiento, simula partículas de consistencia sólida como granel, granulares, ripio, rocas, tabletas, polvos y más brindando información importante sobre el comportamiento de la partícula sobre la máquina en condiciones de operación y proceso (Altair, 2022).

En primera instancia este programa recomienda seleccionar el Bulk material, las dimensiones y tipo de partícula a interactuar con el equipo o máquina, para nuestro caso se ingresará la forma de una partícula de roca por ser el material que más prevalece en la mezcla de aditivos para formar el prefabricado de hormigón.

El ripio es una partícula de variada geometría, pero para este tipo de prefabricado de hormigón no sobrepasa diámetros mayores a 10mm, desarrollado este dimensionamiento se importa la geometría de la máquina compactadora de postes de hormigón alambreado como archivo step para llevarlo hacia el software Altair EDEM Student Edition.

Figura 125

Partícula base modelo roca de ripio



Altair EDEM™

Nota. Se muestra la configuración de la partícula en Altair EDEM.

Como se puede observar en la figura 125, el ripio se compone de roca en este modelo de geometría se considera medidas pequeñas por ser la consistencia ideal para trabajar como aditivo del hormigón prefabricado, para este caso se toma como valor inicial rocas de 8,39mm de ancho por 4.32mm de alto, pero como se sabe no es una medida estándar esta varía dependiendo del tamaño es por ello que se considera un incremento de medida y masa como se muestra en la figura 126.

Figura 126

Variación de medida y masa de la partícula roca

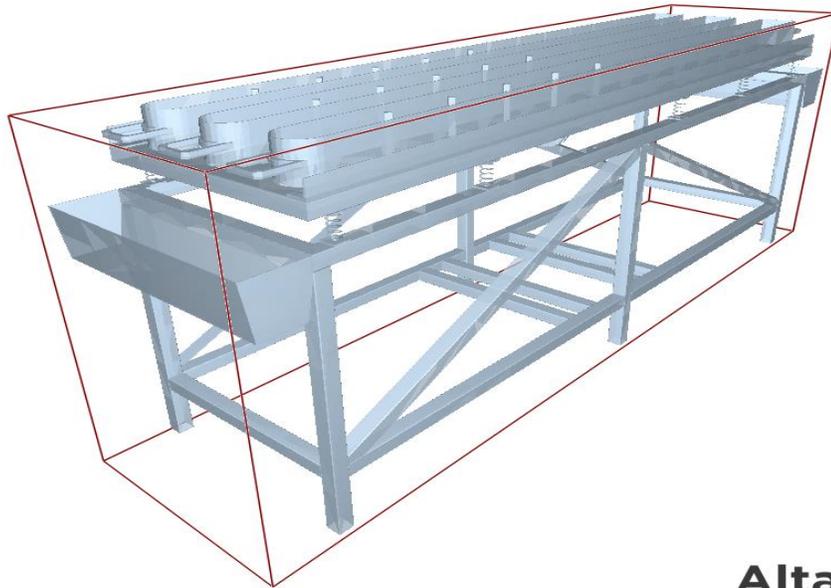
	Scale	% of mass	
1	1	5	Scale By <input checked="" type="radio"/> Radius <input type="radio"/> Volume Total %: 100 <input type="button" value="Import"/>
2	1.3	15	
3	1.5	26	
4	1.9	54	

Nota. Se muestra la configuración de las diferentes masas de la partícula en Altair EDEM.

Con la geometría y medidas de la partícula (roca), se procede a importar la geometría de la máquina compactadora de postes de hormigón en archivo tipo step.

Figura 127

Máquina compactadora de postes de hormigón en archivo step



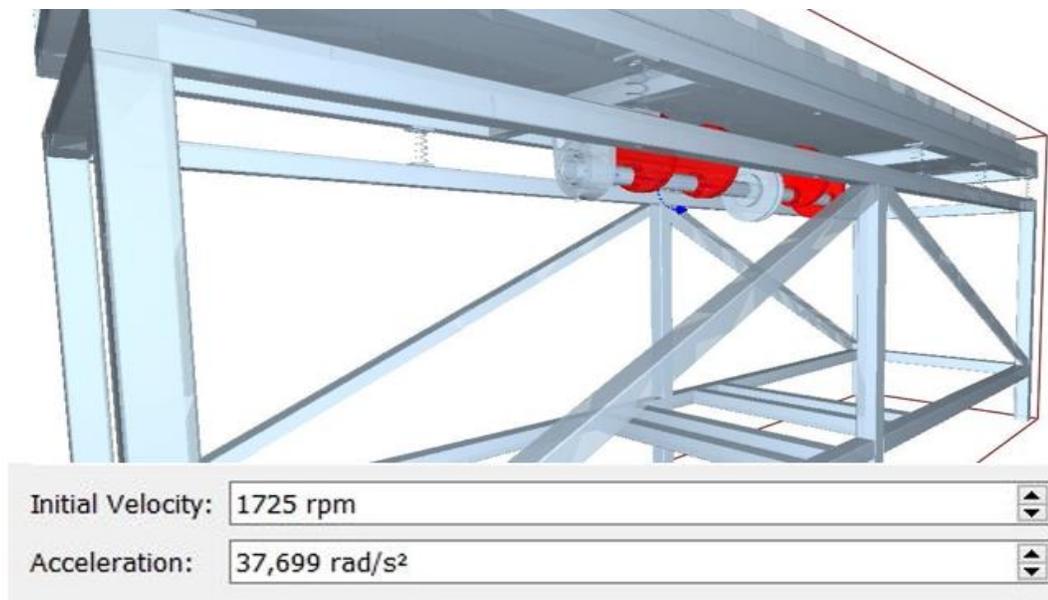
Altair EDEM™

Nota. Se muestra el sistema CAD de la máquina hacia Altair EDEM.

El sistema de vibración está sometido a la misma velocidad de su fuente motora a fin de garantizar una compactación eficiente y que el hormigón sea distribuido equitativamente a lo largo del molde, para este caso se considera la velocidad máxima de rotación de 1725 rpm, se simula con esta velocidad por ser la máxima entregada por la fuente motora, cabe mencionar que este sistema cuenta con un sistema de control de velocidad que ayuda a evitar daños en el producto y garantizar una eficiente compactación del poste de hormigón.

Figura 128

Configuración de la velocidad de giro del sistema de vibración de la máquina

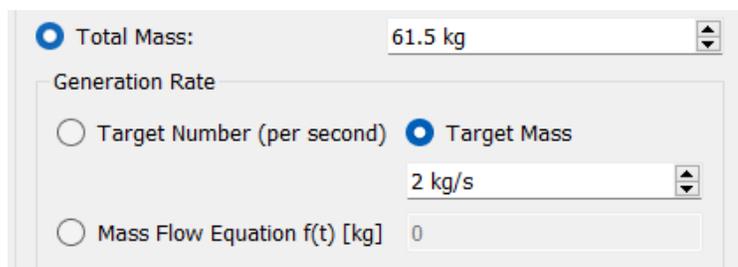


Nota. Se muestra la selección y configuración de los mecanismos giratorios de la máquina.

Es importante considerar la cantidad en masa o materia prima a ingresar en cada uno de los moldes de poste, en este punto se requiere ingresar un peso aproximado de 61,5kg, peso estimado de un poste de hormigón prefabricado. Los 2kg/s es la cantidad de masa aproximada que puede acarrear una pala cuadrada por segundo.

Figura 129

Cantidad de masa que ingresa en el molde



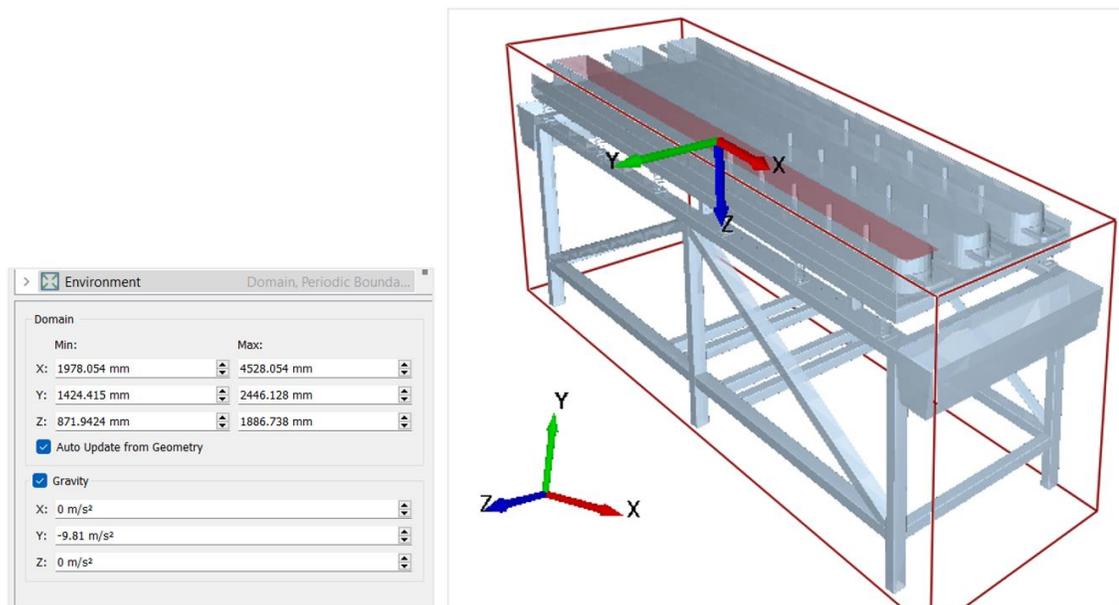
Nota. Se muestra la configuración de la fábrica.

Es importante trazar la geometría de entrada de producto para distribuir la materia que ingresa al molde del poste equitativamente.

El ingreso de la materia depende de la ubicación del equipo en el sistema de coordenadas, para este caso depende de la variable de gravedad ubicada en el eje Y, esta variable define la dirección de entrada de la materia dentro del molde.

Figura 130

Configuración del sistema de gravedad para el ingreso de materia



Nota. Se muestra la configuración de la entrada de partículas hacia los moldes.

Análisis con los resultados obtenidos en simulación con el software Altair Student Edition

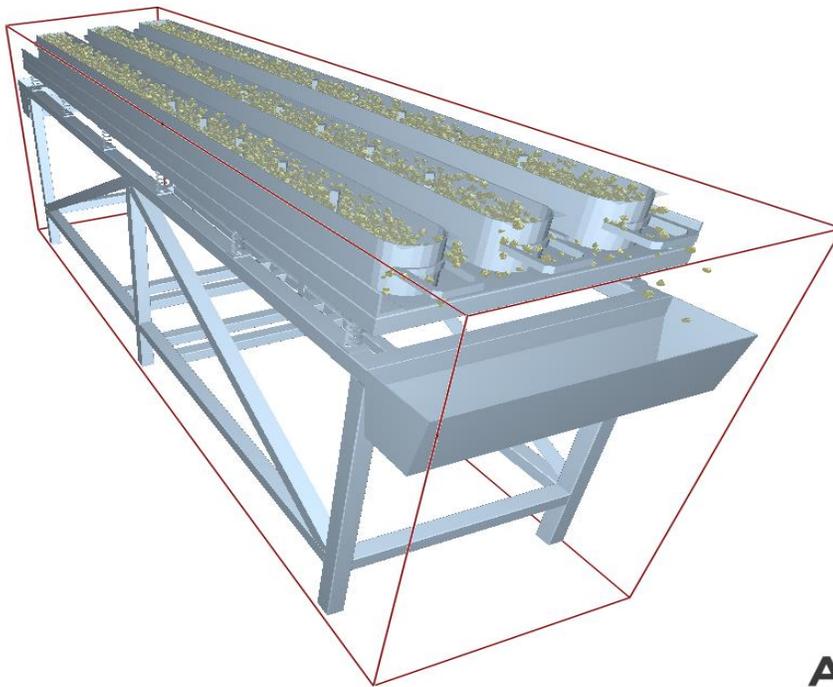
El comportamiento del sistema con la mezcla de hormigón dentro del molde es eficiente, ya que como se puede observar con la velocidad de rotación de 1725 rpm presentes en el sistema de vibración, las mezcla se distribuye equitativamente a lo largo del molde, evitando la concentración en un solo lugar y la deserción del material, posterior a ello se incorpora el restante de mezcla en los bordes superiores para concluir con la compactación y distribución

uniforme de la mezcla, con ello se puede verificar la optimización de producción y los tiempos de elaboración del poste, finalmente se obtiene el poste de hormigón armado de consistencia compacta, de buena resistencia y considerable uniformidad en la distribución de la mezcla.

En las (figuras 131, 132, 133), se muestra el proceso de distribución y llenado de la mezcla de hormigón dentro de molde con el sistema en funcionamiento.

Figura 131

Simulación del llenado de la mezcla de hormigón dentro del molde

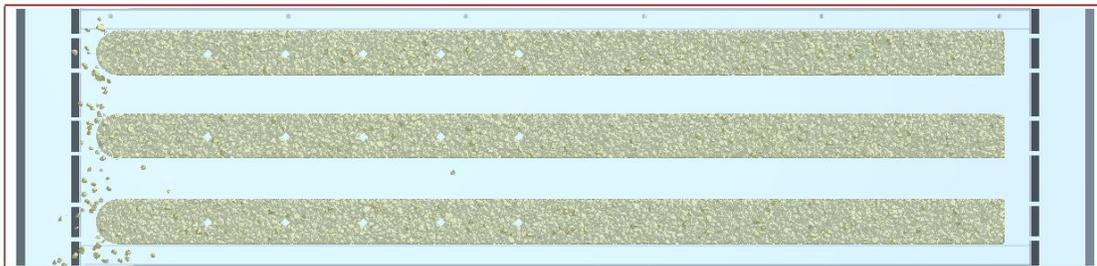


Altair EDEM™

Nota. Se muestra el llenado total de las partículas de roca en los moldes.

Figura 132

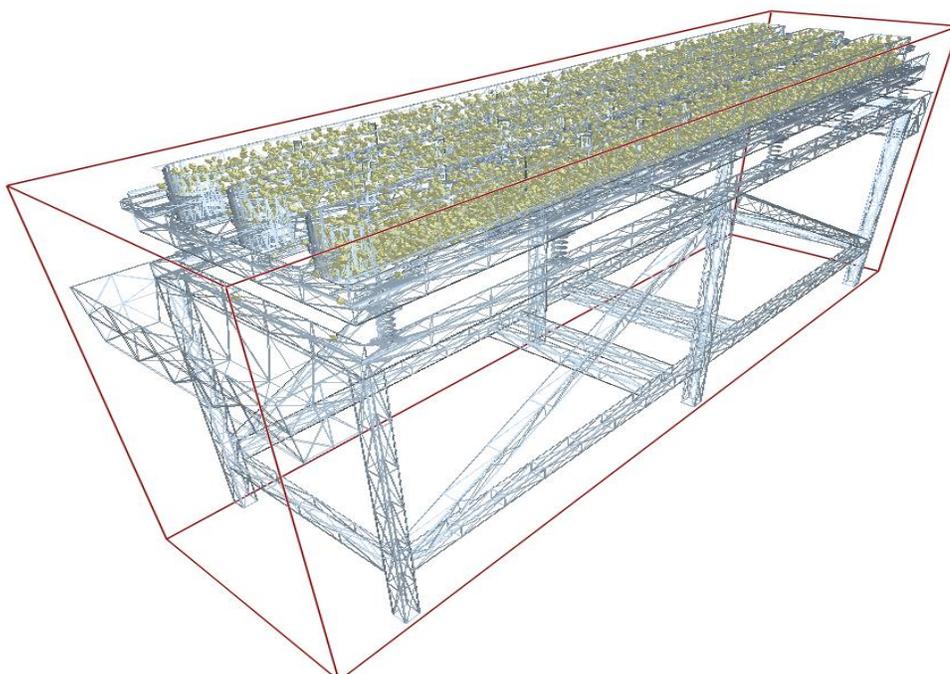
Distribución uniforme de la mezcla de hormigón dentro del molde

**Altair EDEM™**

Nota. Se muestra la distribución de las partículas de roca en los moldes.

Figura 133

Mezcla de hormigón con consistencia compacta y llenado completo dentro del molde



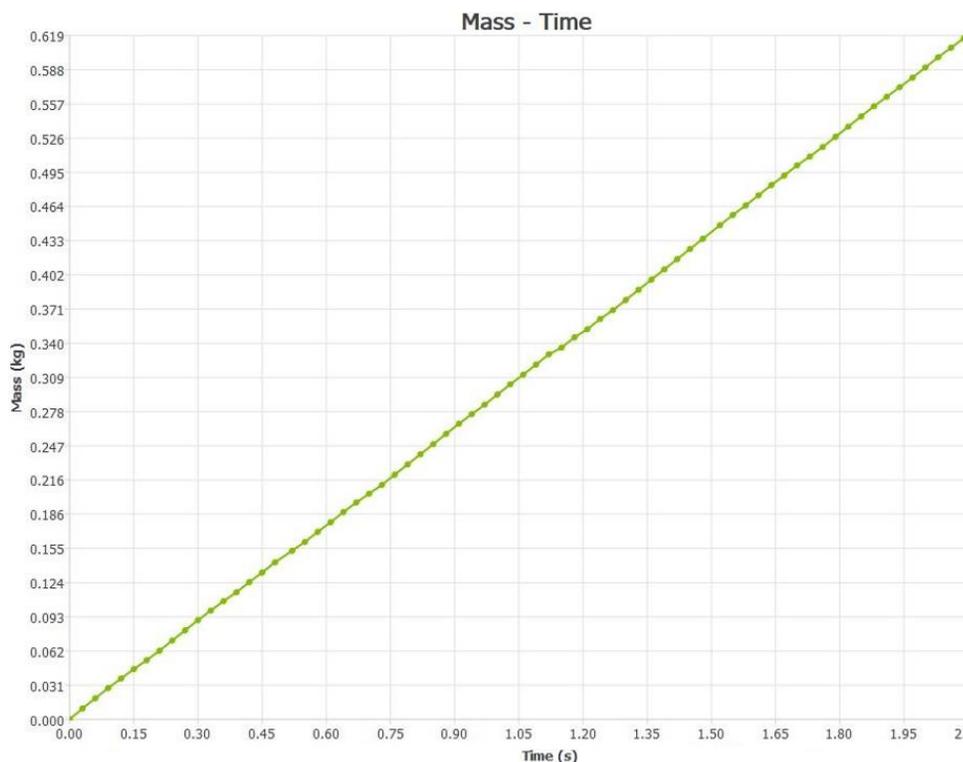
Nota. Se muestra el llenado total de las partículas de roca en los moldes.

Capacidad de compactación de mezcla de hormigón dotada por el sistema: El software

Altair Edem Student Edition brinda la facilidad de obtener gráficas con variables definidas por simulación en este caso se efectúa un gráfico de la masa a compactar en función del tiempo.

Figura 134

Masa a compactar en función del tiempo



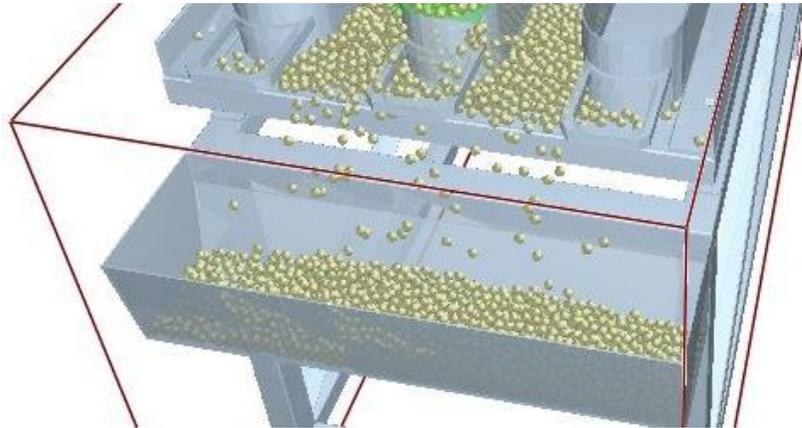
Nota. Se muestra el diagrama de masa vs tiempo del llenado de partículas en los moldes.

El ingreso de las partículas al molde es la cantidad de mezcla de hormigón requerida para compactar y elaborar el poste de hormigón en un determinado tiempo, se estima que la cantidad de mezcla que ingresa al molde es de aproximadamente 0.3075kg por segundo. La gráfica permanece constante en el tiempo a fin de llegar a su capacidad de masa requerida, a final del llenado existe pequeña variación de mezcla de hormigón por la acumulación en los bordes del molde, esta mezcla se acumula en la plataforma vibrante y en los contenedores de

material no compactado, garantizando cero pérdidas y ahorros económicos como se observa en la figura 135.

Figura 135

Mezcla acumulada en la PLATAFORMA VIBRANTE y en los contenedores



Nota. Se muestra la masa no compactada en los contenedores de material.

De igual forma, se determina que la mezcla de hormigón a compactar es superior a la estimada es decir 0.31kg por segundo, como se puede observar en la figura 134, se concluye que la capacidad que tiene el sistema para compactar el hormigón es mayor a la estimada de 0.3075kg por segundo.

Por cuestión de comprobación se efectúa una regla de tres a fin de determinar la cantidad de mezcla de hormigón compactada en una hora (Kg/h) versus la estimada por diseño, como se indica a continuación:

$$0.31Kg \rightarrow 0.00028h$$

$$x \rightarrow 1h$$

$$x = \frac{0.31Kg * 1h}{0.00028h}$$

$$x = 1107.14Kg$$

$$Capacidad = 1107.14Kg / h$$

Con esta comprobación se puede afirmar que la máquina compactadora de postes de hormigón cumple con los parámetros de diseño, teniendo en cuenta que la capacidad requerida por diseño es de 1107Kg/h y la que se obtiene por simulación es de 1107.14Kg/h.

Validación de funcionamiento de la máquina compactadora de postes de hormigón

Finalizado la implementación de la máquina con su sistema de vibro compactación se procede a verificar el correcto funcionamiento y validar los parámetros de diseño, es importante establecer pruebas de funcionamiento por partes y de forma general, a fin de equiparar defectos existentes y establecer de ser necesario soluciones que cumplan con las funciones fijadas.

En primera instancia se verifica las dimensiones de la máquina, ya que se debe ingresar tres postes de la misma geometría y medida, posterior a ello se controla si la velocidad dotada por la fuente motora hacia el sistema de vibración es la adecuada para efectuar la vibro compactación y la distribución uniforme de la mezcla de hormigón, ya que no es lo mismo ingresar a la mesa vibratoria un poste de hormigón a 1200rpm, que ingresar tres postes a 1725 rpm, dado el caso que el incrementar carga sobre la mesa vibrante exige mayor vibración y por ende aumento de rpm en el motor.

Validación por parte de:

- Fábrica de bloques Jesús del Gran Poder
- Giovanni Aldas
- Luis Toapaxi

Con el beneficiario presente y el personal de diseño e implementación, se procede a validar y verificar el funcionamiento de la máquina compactadora de postes de hormigón de la siguiente forma:

Se verifica si las entradas de energía al tablero de control están conectadas a la toma de la energía (220V) de la empresa eléctrica, posterior a ello pone en marcha desde el mismo tablero de control la fuente motora para transmitir el movimiento al sistema de vibro compactación. Con el movimiento de todos los elementos ensamblados al sistema de vibro compactación (eje, polea, excéntricas), se ingresa el material (mezcla de hormigón), dentro de los moldes ubicados sobre la plataforma vibrante.

Es importante ajustar y verificar si la velocidad es la adecuada para que la mezcla de hormigón se distribuya uniformemente a lo largo del molde, esta inspección se la debe realizar durante toda la compactación del poste de hormigón a fin de evitar deserción de mezcla fuera del molde.

Figura 136

Colocación de la mezcla de hormigón dentro del molde



Nota. Se muestra el llenado de hormigón en los moldes para pruebas físicas.

Figura 137

Proceso de distribución y moldeado uniforme de la mezcla de hormigón para la vibro compactación



Nota. Se muestra la distribución del hormigón de forma física.

Figura 138

Colocación del refuerzo del poste (varilla)



Nota. Se muestra la inserción de la estructura de acero en el molde de forma física.

Figura 139

Producto fraguado y fuera del molde para su posterior secado



Nota. Se muestra el producto final para el proceso de secado.

Figura 140

Producto final listo para su comercialización



Nota. Se muestra el producto hacer comercializado.

Realizado el proceso de vibro compactación por parte máquina compactadora de postes de hormigón y con el producto ya fuera del molde, la fábrica de bloques “Jesús del Gran Poder” toma en cuenta los siguientes parámetros para su aprobación:

Tabla 56*Parámetros de aprobación*

Requisitos	Aprobación
Alimentación (Encendido/Apagado)	Cumple
Velocidad adecuada de vibro compactación	Cumple
Capacidad de compactación	Cumple
Distribución uniforme del material (mezcla de hormigón)	Cumple
Protección del producto (poste de hormigón)	Cumple
Mínimo ruido	Cumple
Calidad de producto	Cumple
Adecuado funcionamiento del sistema eléctrico	Cumple

Nota. Se muestra los parámetros de validación de funcionamiento de la máquina.

Mediante los parámetros de aprobación se puede verificar que no se tiene problema alguno durante el proceso de vibro compactación, a su vez se demuestra que la velocidad de giro cumple con distribuir la mezcla de hormigón uniformemente a lo largo del molde y el de obtener una mezcla de consistencia compacta como se observa en la con la figura 142, se verifica que la capacidad de compactación de la mezcla de hormigón dentro del molde es de 0.31kg por segundo o lo que es lo mismo 18.6kg por minuto, este patrón se repite en los tres moldes presentes en la plataforma vibrante.

De la misma manera, los 1107Kg/h (masa equivalente a 18 postes de 61.5kg) estimados en diseño con lo resultante por simulación que fue de 1107.14Kg/h (masa equivalente a 19 postes de 61.5kg), son valores que presentan similitud tanto en masa como en número de postes, con ello se cumple con los requerimientos y la capacidad de compactación.

Figura 141

Ingreso de la mezcla de hormigón en porciones de 0.31kg/s



Nota. Ingreso del hormigón con el sistema funcionando.

Figura 142

Cumplimiento de la distribución de la mezcla de hormigón uniformemente a lo largo del molde





Nota. Se muestra la distribución equitativa de la mezcla del hormigón con la máquina en funcionamiento.

Figura 143

Producto vibro compactado de consistencia compacta



Nota. Se muestra el producto dentro del molde con distribución equitativa de mezcla de hormigón y de consistencia compacta.

Protocolo de pruebas de la máquina compactadora

Para el correcto funcionamiento de la máquina compactadora de postes de hormigón es necesario realizar un protocolo de pruebas, en caso de problemas técnicos es necesario realizar mejoras, cambios o rediseños para comprobar un buen funcionamiento del sistema mecánico y eléctrico de la máquina.

Tabla 57*Protocolo de pruebas-Maquina compactadora*

Protocolo de pruebas	
Ítems	Disposición
Función del sistema de compactación	Si la máquina compacta los prefabricados de hormigón mediante la regulación de la vibración de manera rápida y precisa el funcionamiento es correcto. Un mal funcionamiento será cuando el sistema compactador maltrata el producto.
Capacidad de carga	Es adecuado si la maquina soporta uno o más postes de hormigón sin ningún inconveniente. No sería adecuado si la maquina no soporta hasta un poste de hormigón.
Capacidad de compactación	Es correcto el funcionamiento si la máquina compacta uno o más postes de hormigón de manera rápida y precisa sin maltratar el producto. No es correcto si la máquina no logra compactar por lo menos un poste de hormigón.
Movilidad y peso	El sistema será apropiado que soporte un peso aproximado de 185Kg, con fácil desplazamiento de los moldes con mezcla en la plataforma vibrante mientras se realiza el proceso.
Materiales	Es correcto si los acabados o terminados de la máquina son los adecuados para un sistema de trabajo pesado que garantice durabilidad, precisión y factibilidad con el producto

Protocolo de pruebas

Ítems	Disposición
Instalación mecánica y eléctrica	<p>sometido. Es incorrecto si los materiales no son los adecuados para un trabajo pesado perjudicando la calidad del producto o al operador.</p> <p>Es adecuado si la instalación del sistema eléctrico como el variador de frecuencia y el motor están protegidos con las debidas protecciones de tensión o corriente. Si el sistema eléctrico no cuenta con protecciones eléctricas no es adecuado.</p>

Nota. Se muestra los ítems a considerar para las pruebas de campo.

Formato para el protocolo de pruebas

Se tomará en cuenta que los aspectos tratados en la tabla 57, para determinar el funcionamiento adecuado de la máquina, teniendo en cuenta las recomendaciones del usuario, mostradas en la tabla 58:

Tabla 58

Máquina compactadora-Formato del protocolo de pruebas

PROTOCOLO DE PRUEBAS: Máquina compactadore de postes			N.-
Elaborado por:		Fecha:	
Nombre del equipo:		Lugar:	

Valoración	Óptimo	No óptimo	Observaciones
Función del sistema compactador de postes de hormigón			
Función de sistema de compactación			
Capacidad de carga			
CAPACIDAD DE COMPACTACIÓN:			
.....kg/h			
PESO Y TRANSPORTE:			
Hasta 185Kg			
Desplazamiento del material			
Materiales e higiene			
Materiales			
Limpieza			
SISTEMA ELÉCTRICO			
Conexión del Motor y protecciones			

Instalación eléctrica			
-----------------------	--	--	--

Nota. Se muestra el formato de protocolo de pruebas.

Capítulo V

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

- De acuerdo las necesidades de la Fábrica Jesús del Gran Poder, se realizó el diseño y fabricación de una máquina compactadora de los postes de hormigón, permitiendo reducir el tiempo de elaboración, reutilización de recursos, precaución del operador y la calidad del producto.
- Se realizó un análisis investigativo de las diferentes máquinas existentes en el mercado con propósitos iguales o similares en la elaboración de postes de hormigón de alambrado, para la recopilación de información se aplicó una encuesta a los pequeños productores del sector, permitiendo llegar a un modelo de acuerdo a las necesidades de la empresa.
- En Cunchibamba existe una demanda creciente de producción en la elaboración de prefabricados de hormigón entre ellos los postes, por lo que este proyecto ayudara al desarrollo comercial y tecnológico, en consecuencia, la implementación del sistema es factible para el aumento de producción.
- Una correcta metodología de diseño, ayudó a identificar las diferentes necesidades de los usuarios, por tanto, se dimensiono la estructura y el mecanismo de la compactadora de postes, bajos normas internacionales de diseño, garantizando fiabilidad y durabilidad ante eventualidades externas.
- Se llevó a cabo la simulación del sistema 3D mediante software computacional, donde se comprobó los diferentes resultados necesarios para el cumplimiento de normas y estándares internacionales, seleccionando materiales e implementos bajo las

características requeridas existentes en el mercado nacional como: la tubería para la estructura, el eje giratorio, excéntricas circulares, bases de soporte, planchas, pernos, rodamientos y resortes, mientras que para el diseño de protecciones eléctricas se consideró parámetros de carga, corriente y voltaje salvaguardando al variador y al motor ante fenómenos eléctricos.

- Para la validación del correcto funcionamiento del sistema compactador de postes de hormigón se realizó el protocolo de pruebas comprobando los parámetros requeridos por la empresa “JESUS DEL GRAN PODER”, obteniendo postes en buenas condiciones sin fisuras y sobre todo sin espacios huecos garantizando calidad y durabilidad.
- Con la automatización del sistema arcaico de compactación de postes de hormigón, permite controlar la velocidad de vibro compactación ya que no es lo mismo ingresar a la mesa vibro compactadora un poste de hormigón con el sistema de vibración girando a 1200rpm, que ingresar tres postes a 1725 rpm, en si el incremento de carga sobre la mesa vibrante es directamente proporcional al aumento de rpm en el sistema de vibración.

Recomendaciones

- Establecer un buen método de diseño y recolección de información para analizar detenidamente las mejores opciones en implementos y materiales para la construcción de las diferentes máquinas, ahorrando tiempo, recursos económicos, materiales y humanos.
- Realizar un análisis completo de los diferentes softwares computacionales de simulación, que garantice resultados lo más reales posibles, puesto que, ayuda a tener valores próximos al cálculo realizado, teniendo en cuenta las unidades a trabajar.

- Para la elaboración de postes es necesario determinar una correcta proporción de los materiales, teniendo en cuenta que no es lo mismo preparar para un poste de manera tradicional que uno de manera automatizada.
- Considerar el dimensionamiento de las excéntricas ya que no es similar implementar excéntricas en máquinas móviles con máquinas sujetas al lugar de trabajo, puesto que las vibraciones aumentan considerablemente provocando el movimiento excesivo de la estructura y mas no de la plataforma vibrante.
- Para posibles mejoras a futuro se recomienda implementar un sistema de mezclado y llenado automatizado, a fin de reducir aún más el tiempo de producción y esfuerzos físicos del operario.

Bibliografía

Altair. (2022). *Software de método de elementos discretos (DEM)*. Obtenido de Altair EDEM:

<https://www.altair.com/edem>

Andece. (02 de 2019). *Estructuras prefabricadas de hormigón* . Obtenido de Asociación Nacional

de la Industria del Prefabricado de hormigón:

http://www.andece.org/images/BIBLIOTECA/guia_tecnica%20estructuras_%20prefabricadas_hormigon_andece.v1.pdf

Andrade Clavijo, D. M. (23 de 02 de 2021). *Repositorio Institucional de la Universidad de las*

Fuerzas Armadas ESPE. Obtenido de implementación de la Ingeniería Concurrente para el

Diseño de un Sistema de Ensayo a Carga de Impacto IK en Luminarias de Alumbrado

Público de Acuerdo a la Norma IEC 60068-2-75 para el Instituto de Investigación Geológico

y Energético del Ecuador.: <https://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/24268>

ANSI. (2022). *ANSI*. Obtenido de DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA ORGANIZACIÓN:

<https://www.ansi.org/about/introduction>

ARGOS. (08 de 08 de 2013). *360 En concreto*. Obtenido de RECOMENDACIONES PARA LA

COLOCACIÓN DE CONCRETO EN OBRA: [https://www.360enconcreto.com/blog/que-](https://www.360enconcreto.com/blog/que-hacer-cuando/colocacion-del-concreto-en-obra)

[hacer-cuando/colocacion-del-concreto-en-obra](https://www.360enconcreto.com/blog/que-hacer-cuando/colocacion-del-concreto-en-obra)

Arrieta Freyre, J. (01 de 01 de 2001). *Fabrica de bloques de concreto con una mesa vibradora*.

Obtenido de Repositorio Universidad Nacional de Ingeniería:

<http://www.cismid.uni.edu.pe/fabricacion-de-bloques-de-concreto-con-una-mesa-vibradora/>

- ASME. (s.f.). *ASME WEBSTORE*. Obtenido de ASME: Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos:
https://webstore.ansi.org/sdo/asme?gclid=Cj0KCCQjw3v6SBhCsARIsACyrRAIknz6Y6UTdEt e-g93ig1mXvRt1YF2pICFyAOZyc8ZUY7qyCZr-1kaArzAEALw_wcB
- BCE. (2020). *Banco Central del Ecuador*. Obtenido de Cuentas Nacionales Regionales:
<https://www.bce.fin.ec/index.php/component/k2/item/293-cuentas-provinciales>
- Beer, F., Russell, J., & Eisenberg, E. (2007). *Mecánica Vectorial para Ingenieros*. México : Mc Graw Hill.
- Beer, Ferdinand; Johnston, Russell; Clausen, William. (2007). *Mecánica vectorial para ingenieros* (Octava ed.). Mexico: McGraw-Hill Interamericana Editores, S.A.,.
- Bernal, M., Aponte, J., & Carrillo, J. (2015). Sistemas de control para mesas vibratorias: una revisión crítica. *Scielo*, 336.
- Bucher, V. (n.d). *Mesa de separación de granos de uva Delta TRV 25*. Obtenido de AgriExpo:
<https://pdf.agriexpo.online/es/pdf/bucher-vaslin/delta-trv-20-35/176084-39525.html#open67695>
- BUSTAMANTE SARABIA, L. F., & EUGENIO SALTOS, D. A. (21 de 08 de 2015). *Repositorio Espe*. Obtenido de Diseño y construcción de un elevador de carga industrial automatizado tipo columna de tres niveles para transportar los productos cerámicos en la Empresa Novel.:
<http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/12294>
- Carlosama , J. (02 de 06 de 2014). *Máquina vibradora para fabricar postes de hormigón armado para alambrado perimetral*. Obtenido de Repositorio Digital Universidad Técnica del Norte: <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/3503>

- Carrillo , J., Bernal, N., & Porras, P. (2013). Evaluación del diseño de una pequeña mesa vibratoria para ensayos en ingeniería sismo-resistente. *Scielo*, 93.
- Chapman, S. (2012). *Máquinas eléctricas* (Quinta ed.). Mexico: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A.
- Chapman, S. J. (2012). *Máquinas eléctricas (Quinta edición)*. Mexico: Mc Graw Hill.
- Conagua. (n.d.). *Cálculo, estudio y diseño de instalaciones electricas*. Obtenido de Manual de agua potable, alacantarillado y sanamiento: https://www.academia.edu/33353533/C%C3%A1lculo_Estudio_y_Dise%C3%B1o_de_Instalaciones_El%C3%A9ctricas?email_work_card=view-paper
- Cordero, M., & Reyes, M. (2015). *Estudio de hormigon pulido y el microcemento y su aplicación en acabados arquitectónicos* . Obtenido de Repositorio Institucional Universidad de Cuenca : <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/21068>
- Cueva , J. (2012). *Sistematización en el diseño de una vivienda modular con estructura metálica y paneles de concreto* . Obtenido de Repositorio Institucional Universidad de Cuenca: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/582>
- Eaton. (2017). *Fundamentos acerca de la protección contra sobrecorriente*. Obtenido de Euroelectrica: <https://euroelectrica.com.mx/wp-content/uploads/2019/04/Fuseolog%C3%ADa-Fundamentos-de-la-protecci%C3%B3n-contra-sobrecorriente.pdf>
- Flores, J. (2012). *Sistemas de transmisión mecánica* . Obtenido de Repositorio de la Universidad Mayor de San Andres: <http://repositorio.umsa.bo/xmlui/handle/123456789/15454>

- Garrido, A., Ortega, M., & Lanzon, M. (2008). *Materiales de Construcción II - Hormigón*. Obtenido de Universidad Politécnica de Cartagena : https://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/6202/mod_resource/content/1/Hormigon_01._Historia.pdf
- Haiyu. (n.d). *Molde cuadrado de postes de hormigón* . Obtenido de Haiyu Industry Co., Ltd: <http://hypolemachines.com/1-2-2-square-pole-mold/>
- Hanz, W. (09 de 10 de 2018). *Que es una chumacera*. Obtenido de Rodacenter: <https://www.quinterohurtado.com/post/qu%C3%A9-es-una-chumacera>
- IEC. (2022). *IEC*. Obtenido de IEC: Comisión Electrotécnica Internacional: <https://iec.ch/homepage>
- INEC. (2020). *Encuesta estructural empresarial*. Obtenido de Instituto Nacional de Estadísticas y Censos: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/encuesta-a-empresas/>
- INEC. (2021). *Instituto nacional de estadística y censos*. Obtenido de Índice de Precios de la Construcción (IPCO): <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/indice-de-precios-de-la-construccion-ipco-2/>
- INEC. (2021). *Instituto nacional de estadística y censos*. Obtenido de ENEMDU-IV TRIMESTRE 2021: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/enemdu-iv-trimestre-2021/>
- ISO. (2020). *ISO*. Obtenido de Organización Internacional de Normalización: <https://www.iso.org/about-us.html>
- Jiang, W. (2019). *Analysis and design of machine elements*. China: The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex, PO19 8SQ, UK.

- López Utrera, L. R. (06 de 2018). *Instituto Tecnológico de Veracruz Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica*. Obtenido de "Variadores de frecuencia, uso y aplicaciones":
<https://www.eumed.net/libros/1752/index.html>
- Lopez, A., & Viteri, G. (22 de 09 de 2017). *APLICACIÓN DE FUSIBLES E INTERRUPTORES TERMOMAGNÉTICOS*. Obtenido de Repositorio de Escuela Politecnica del Litoral:
<http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/41013>
- Martin, J. C., & Garcia, M. P. (2009). *Automatismos industriales*. Madrid: Editex S.A.
- Martinez, P. H., & Preciado, F. L. (07 de 2011). *Diseño y construcción de una máquina transportadora y clasificadora de humus de lombriz de capacidad de 1500 kg/h*. Obtenido de Repositorio de la Escuela Politecnica Nacional :
<http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/3975>
- Montalvo Lima, D. A. (09 de 2013). *Repositorio Universidad Tecnica de Ambato*. Obtenido de ANÁLISIS DE MEDIOS LUBRICANTES DE LOS RODAMIENTOS 6202 Y NJ202E. TYP2 Y SU INCIDENCIA EN LA VELOCIDAD DE DESGASTE:
<https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/6504>
- Mott, R. (2009). *Diseño de elementos de máquinas* (Cuarta ed.). Mexico: Pearson Education.
- Mott, R. (2009). *Resistencia de materiales* (Quinta edición ed.). Mexico: Pearson Educación.
- Navarro Peñaherrera, C. P., & Romero Núñez, K. E. (02 de 2016). *Repositorio Universidad Técnica de Ambato*. Obtenido de Implementación de una mesa vibratoria para el análisis dinámico de estructuras civiles a escala en los Laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica de Ambato:
<http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/23043>

Norton, R. (2009). *Diseño de maquinaria* (Cuarta ed.). Mexico: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A.

Norton, R. L. (2011). *Diseño de Máquinas (Un enfoque integrado)*. México : Pearson.

Norton, Robert L. (2011). *Diseño de Máquinas*. México: Pearson.

Okumura , V., & Uriol , L. (2018). *Ensayo de pórtico a escala en una mesa vibratoria de un grado de libertad*. Obtenido de Repositorio Digital de la Universidad Privada Antenor Orrego:
<https://hdl.handle.net/20.500.12759/4441>

Rico, A., & Mejia, H. (1992). *Consideraciones sobre compactación de suelos en obras de infraestructura de transporte*. Obtenido de Instituto Mexicano del Transporte:
<https://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/DocumentoTecnico/dt7.pdf>

Rivera, D. (31 de 05 de 2017). *Investigación del comportamiento de la chumacera corta con puertos de presurización puntual* . Obtenido de Repositorio del Instituto Politecnico Nacional: <http://tesis.ipn.mx/handle/123456789/22079>

Rodriguez , H. (s.f). *Correas de transmisión cálculo y diseño*. Obtenido de Ingemecánica:
<https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn121.html>

SAE. (2018). SAR. Obtenido de CLASIFICACION DE LOS ACEROS:
<https://usuarios.fceia.unr.edu.ar/~adruker/Clasificaci%F3n%20de%20aceros%20Mat%20y%20Pro.pdf>

Salas , E. (2016). *Manual del Constructor* . Obtenido de Grupo Polpaico:
<https://fdocuments.ec/document/manual-del-constructor-56f3a43f6b12d.html?page=3>

- Sánchez, A., Vayas, T., Mayorga, F., & Freire, C. (07 de 2020). *Sector construcción Ecuador* .
Obtenido de Cedia : <https://blogs.cedia.org.ec/obest/wp-content/uploads/sites/7/2020/06/Sector-Construcci%C3%B3n-Ecuador.pdf>
- Santizo García , D. (01 de 01 de 2015). *Repositorio del sistema bibliotecario Universidad de San Carlos de Guatemala*. Obtenido de PREFABRICADOS DE CONCRETO PREESFORZADO: SPANCRETE Y DOBLE T Y SU USO EN LOSAS Y MUROS APLICADOS A LA ARQUITECTURA:
<http://www.repositorio.usac.edu.gt/5556/>
- Santizo, D. (02 de 01 de 2015). *Prefabricados de concreto preesforzado : spancrete y doble T y su uso en losas y muros aplicados a la arquitectura*. Obtenido de Repositorio de la Universidad de San Carlos de Guatemala :
<http://www.repositorio.usac.edu.gt/id/eprint/5556>
- Schmersal, H., & Schmersal, P. (2013). *Dispositivos de mando, accionamiento y señalizacion* .
Obtenido de SCHMERSAL:
https://www.interempresas.net/FeriaVirtual/Catalogos_y_documentos/146255/b_bm14_es.pdf
- Shigley, Budynas, R. G., & Nisbett, K. J. (2012). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley* (Octava ed.). México: Mc Graw Hill.
- Torres, O. (n.d.). *Fundamentos de los sistemas de control* . Obtenido de Control de motores electricos:
https://www.academia.edu/28564127/Control_de_motores_el%C3%A9ctricos
- Urban , P. (2006). *Construcción de estructuras metálicas* (Cuarta ed.). Alicante: Club Universitario.

Valdiviezo Naranjo, F. R. (04 de 2019). *Repositorio Dspace*. Obtenido de Implementación de una mesa vibratoria bidireccional para simulación de sismos:
<http://repositorio.ute.edu.ec/xmlui/handle/123456789/20581>

Victory, I. (2015). *Victory Industrial*. Obtenido de Máquina de dintel de hormigón pretensado:
<http://victoryprecast.com/product/Prestressed-lintel-machine.html>

Villavicencio, J. (2014). *Proyecto de inversión para la implementación de una planta de fabricación de postes de hormigón armado para sistemas de distribución eléctrica*. Obtenido de Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica Salesiana :
<http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/6873>

WEG. (01 de 12 de 2022). *WEG*. Obtenido de WEG-VARIADORES:
<https://www.weg.net/catalog/weg/US/en/search?text=drive+cfw100>

WESTARCO. (2022). *WESTARCO*. Obtenido de AGENCIA INTERNACIONAL DE AWS:
<https://www.westarco.com/westarco/sp/education/seminarios/cwi-inspector-soldadura-certificado.cfm>

ANEXOS