

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MESA VIBRADORA PARA LA
FABRICACIÓN DE POSTES Y PLACAS DE CONCRETO”**

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL
PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO AGRÍCOLA**

JOSE MANUEL BONILLA CAVIEDES

LIMA - PERÚ

2022

Document Information

Analyzed document	TSP - Bonilla Jose.docx (D151413860)
Submitted	2022-11-29 17:42:00
Submitted by	Alexis Enrique Rubio Valle
Submitter email	arubiov@lamolina.edu.pe
Similarity	0%
Analysis address	arubiov.unalm@analysis.arkund.com

Sources included in the report

W URL: <https://doi.org/10.1299/jamdsm.2014jamdsm0031>
Fetched: 2022-11-29 17:43:00

 1

Entire Document

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MESA VIBRADORA PARA LA FABRICACIÓN DE POSTES Y PLACAS DE CONCRETO”

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO AGRÍCOLA

JOSE MANUEL BONILLA CAVIEDES

LIMA - PERÚ 2022

La UNALM es titular de los derechos patrimoniales del presente trabajo (Art. 24 del Reglamento de Propiedad Intelectual)

TÍTULO “\f w\l 1 TÍTULO

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MESA VIBRADORA PARA LA FABRICACIÓN DE POSTES Y PLACAS DE CONCRETO.

DEDICATORIA

“A man who never made mistakes, never did anything.” A Baden Powell.

AGRADECIMIENTOS

A nuestro Creador, su infinita generosidad es tangible en nuestra brillante existencia. A mi esposa, por su apoyo y soporte constante. A mis padres, por su confianza y motivación. A mi asesor y guía, por ser modelo e inspiración a seguir.

ÍNDICE GENERAL

I. INTRODUCCIÓN 1 1.1. Problemática 2 1.2. Objetivos 3 1.2.1. Objetivo principal 3 1.2.2. Objetivos específicos 3 II.

REVISIÓN DE LITERATURA 4 2.1. ¿Qué es TRIZ? 4 2.2. Diseño de ingeniería: un enfoque sistemático 6 2.2.1. Planificación

y clarificación de la labor 10 2.2.2. Diseño conceptual 11 2.2.3. Diseño preliminar 13 2.2.4. Diseño de detalle o diseño

definitivo 14 2.3. Producción de concreto prefabricado en el Perú 16 2.4. Takt time 16 2.5. Resortes de compresión 17 2.6.

Motores eléctricos de corriente alterna 17 2.7. Automatización en motores eléctricos de corriente alterna 19 2.7.1.

Temporizadores 19 2.7.2. Variadores de velocidad 20 2.7.3. Guardamotor 21 III. DESARROLLO DEL TRABAJO 23 3.1.

Proceso de fabricación de cerco perimétrico de concreto prefabricado 24 3.2. Características del cerco perimétrico 26

3.3. Alcance de la investigación 30 3.4. Planificación y clarificación de la labor 32 3.5. Diseño conceptual 37 3.6.

Desarrollo del diseño conceptual 38 3.7. Características de diseño para la mesa vibradora: enfoque de rigidez y peso 40

3.8. Características de diseño para los moldes 50 3.8.1. Propiedades geométricas y dimensionales 51 3.8.2.

Consideraciones para la no adherencia de la mezcla al molde 52 3.9. Planos 52 3.9.1. Especificaciones de la mesa

vibradora 53 3.10. Costos de fabricación 54 3.10.1. Plan de trabajo para la construcción de la mesa vibradora 54 3.10.2.

Costos de fabricación de la mesa vibradora 55 IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES 58 4.1. Resultados 58 4.2. Discusiones

58 V. CONCLUSIONES 60 VI. RECOMENDACIONES 62 VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 63 VIII. ANEXOS 65

ÍNDICE DE TABLAS

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MESA VIBRADORA PARA
LA FABRICACIÓN DE POSTES Y PLACAS DE CONCRETO”**

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL PARA OPTAR EL TITULO DE:

INGENIERO AGRÍCOLA

Presentado por:

BACH. JOSE MANUEL BONILLA CAVIEDES

Sustentado y aprobado por el siguiente jurado:

Dr. ISSAAK RAFAEL VÁSQUEZ ROMERO
Presidente

Mg. Sc. ALEXIS ENRIQUE RUBIO VALLE
Asesor

Dr. JOSUÉ ELIEZER ALATA REY
Miembro

Mg. MARGARITA CHEVARRÍA MOSCOSO
Miembro

LIMA – PERÚ

2022

DEDICATORIA

“A man who never made mistakes, never did anything.”

A Baden Powell.

AGRADECIMIENTOS

A nuestro Creador, su infinita generosidad es tangible en nuestra brillante existencia.

A mi esposa, por su apoyo y soporte constante.

A mis padres, por su confianza y motivación.

A mi asesor y guía, por ser modelo e inspiración a seguir.

ÍNDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1.	Problemática.....	2
1.2.	Objetivos	3
1.2.1.	Objetivo principal.....	3
1.2.2.	Objetivos específicos.....	3
II.	REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1.	¿Qué es TRIZ?.....	4
2.2.	Diseño de ingeniería: un enfoque sistemático	6
2.2.1.	Planificación y clarificación de la labor	10
2.2.2.	Diseño conceptual	11
2.2.3.	Diseño preliminar	13
2.2.4.	Diseño de detalle o diseño definitivo	14
2.3.	Producción de concreto prefabricado en el Perú	16
2.4.	Takt time.....	16
2.5.	Resortes de compresión.....	16
2.6.	Motores eléctricos de corriente alterna	17
2.7.	Automatización en motores eléctricos de corriente alterna.....	19
2.7.1.	Temporizadores	19
2.7.2.	Variadores de velocidad	20
2.7.3.	Guardamotor.....	21
III.	DESARROLLO DEL TRABAJO	23
3.1.	Proceso de fabricación de cerco perimétrico de concreto prefabricado	24
3.2.	Características del cerco perimétrico	26
3.3.	Alcance de la investigación	32
3.4.	Planificación y clarificación de la labor	34
3.5.	Diseño conceptual	39
3.6.	Desarrollo del diseño conceptual	40
3.7.	Características de diseño para la mesa vibradora: enfoque de rigidez y peso.....	42
3.8.	Características de diseño para los moldes	53
3.8.1.	Propiedades geométricas y dimensionales	54
3.8.2.	Consideraciones para la no adherencia de la mezcla al molde.....	55

3.9. Planos	55
3.9.1. Especificaciones de la mesa vibradora.....	56
3.10. Costos de fabricación	57
3.10.1. Plan de trabajo para la construcción de la mesa vibradora.....	57
3.10.2. Costos de fabricación de la mesa vibradora	58
IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES	62
4.1. Resultados	62
4.2. Discusiones.....	63
V. CONCLUSIONES.....	64
VI. RECOMENDACIONES	66
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67
VIII. ANEXOS	68

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Lista de requerimientos para la mesa vibradora.....	38
Tabla 2: Vistas en planos de la mesa vibradora y moldes.....	56
Tabla 3: Especificaciones de la mesa vibradora.....	56
Tabla 4: Plan de trabajo para la construcción de la mesa vibradora.....	58
Tabla 5: Costo directo para la construcción de la mesa vibradora	59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Esquema de solución de problemas usando TRIZ.....	5
Figura 2: Esquema de proceso general para encontrar soluciones	7
Figura 3: Pasos en el proceso de planificación y diseño	9
Figura 4: Configuración de una lista de requerimientos.....	10
Figura 5: Etapas del diseño conceptual	12
Figura 6: Etapas del diseño preliminar	14
Figura 7: Etapas del diseño de detalle o diseño definitivo	15
Figura 8: Partes de un resorte de compresión.....	17
Figura 9: Motor eléctrico de corriente alterna	17
Figura 10: Temporizador digital.....	19
Figura 11: Variador de velocidad	20
Figura 12: Guardamotor	22
Figura 13: Elementos de concreto armado componentes del cerco prefabricado	26
Figura 14: Postes prefabricados de concreto armado	27
Figura 15: Placas prefabricadas de concreto armado	28
Figura 16: Encuentro de poste y placas de concreto prefabricado	29
Figura 17: Vista de elevación inclinada de instalación de cerco perimétrico	30
Figura 18: Vista de elevación horizontal de instalación de cerco perimétrico.....	30
Figura 19: Proceso de instalación de cerco perimétrico	31
Figura 20: Módulo de prefabricados instalados en campo	32
Figura 21: Alcance de la investigación.....	33
Figura 22: Modelos de mesas vibratoras en internet	35
Figura 23: Proceso de elaboración de prefabricados	39
Figura 24: Diseño preliminar de la estructura principal de una mesa vibradora.....	40
Figura 25: Mesa vibradora.....	43
Figura 26: Diseño en Solidworks de la mesa vibradora	44
Figura 27: Vista frontal de la mesa vibradora en Solidworks	45
Figura 28: Vista lateral de la mesa vibradora en Solidworks	46
Figura 29: Mesa vibradora en Solidworks al doble de su capacidad de trabajo.....	47
Figura 30: Diagrama de fuerza cortante en la estructura de la mesa.....	48
Figura 31: Diagrama de momento flector en la estructura de la mesa	49

Figura 32: Diagrama de fuerza cortante y momento flector en la plancha de 4.4 mm.....	49
Figura 33: Diagrama de fuerza cortante y momento flector en travesaño de tablero.....	50
Figura 34: Diagrama de fuerza cortante y momento flector en la estructura del tablero	51
Figura 35: Sección transversal de máxima probabilidad de falla	52
Figura 36: Factor de seguridad	53
Figura 37: Molde para placas	54
Figura 38: Molde para postes	55
Figura 39: Mesa vibradora de 125kg.....	60
Figura 40: Mesa vibradora de 100kg.....	60
Figura 41: Mesa vibradora de para baldosas y revestimientos.....	61

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Plano IA-E1. Vista isométrica del ensamble general y explosionado.....	69
Anexo 2: Plano IA-E2. Vista frontal y lateral del ensamble e isométrica de los moldes.....	70
Anexo 3: Propiedades mecánicas del acero LAC ASTM A36.....	71
Anexo 4: Tablas IRAM-IAS de tubo de acero de sección cuadrada.....	73
Anexo 5: Propiedades mecánicas del electrodo Supercito AWS E7018.....	77
Anexo 6: Especificaciones técnicas del rodamiento SKF YAR 205-2F, para chumaceras..	79
Anexo 7: Ficha técnica del motor trifásico Siemens 1LE0141-0EB46-4AA4.....	81

RESUMEN

A través del presente trabajo queremos demostrar los beneficios de fabricar una mesa vibradora, considerando el enfoque sistemático de diseño de ingeniería de Pahl y Beitz, y ante la necesidad de solucionar una demanda de cercar seis kilómetros del perímetro de propiedad de un cliente, con la problemática que se le presenta con la demora de la entrega de las piezas de concreto prefabricado y los trabajos de su instalación; siendo por tanto, a nuestro criterio, el diseño y construcción de una mesa vibradora, un importante elemento a nivel de producción y de carácter innovativo para la industria nacional.

En el primer capítulo desarrollamos los aspectos generales del trabajo, tales como el planteamiento del problema, los objetivos generales y específicos del presente estudio. En el segundo capítulo detallamos el marco teórico, realizando una revisión de la literatura en lo que respecta al desarrollo de las teorías para la solución de problemas en forma inventiva, los diseños de ingeniería, delimitando los de tipo conceptual, preliminar así como el de detalle o de diseño definitivo; asimismo, contiene el apartado de desarrollo de producción de concreto prefabricado en el Perú, detallando los conceptos tales como takt time, resortes de comprensión, motores eléctricos y automatización, en calidad de conceptos base para el desarrollo de la presente investigación.

En el tercer capítulo, delimitamos el despliegue del trabajo, el mismo que desarrolla aspectos tales como el proceso de fabricación de cerco perimétrico de concreto prefabricado, las características del cerco perimétrico, el alcance de la investigación, las especificaciones preliminares del diseño, las características de la mesa vibradora, las características de los moldes, de tipo geométricas y dimensionales; así como de no adherencia de la mezcla al molde, así como el detalle del análisis de datos realizados.

Finalmente, los capítulos cuarto, quinto y sexto presentamos los resultados obtenidos y las discusiones abordadas, las conclusiones y recomendaciones formuladas luego de haber realizado el presente estudio.

Palabras clave: mesa vibradora, acero, prefabricados, cerco perimétrico prefabricado.

ABSTRACT

Through this study we want to demonstrate the benefits of manufacturing a vibrating table, considering the systematic approach to engineering design of Pahl and Beitz, and in view of the need to solve a demand to fence six kilometers of the perimeter of a client's property, with the problems that arise with the delay in the delivery of prefabricated concrete pieces and their installation work; being therefore, in our opinion, the design and construction of a vibrating table, an important element at the production level and of an innovative nature for the national industry.

In the first chapter we develop the general aspects of the work of professional sufficiency, such as the approach to the problem, the general and specific objectives of the present study. In the second chapter we detail the theoretical framework, conducting a review of the literature regarding the development of theories for inventive problem solving, engineering designs, delimiting conceptual, preliminary, and detailed types. or final design; Likewise, it contains the section on the development of prefabricated concrete production in Peru, detailing concepts such as takt time, compression springs, electrical engine and automation, as basic concepts for the development of this investigation.

In the third chapter, we delimit the development of the work, which develops aspects such as the manufacturing process of the precast concrete perimeter fence, the characteristics of the perimeter fence, the scope of the investigation, the preliminary specifications of the design, the characteristics of the vibrating table, the characteristics of the molds, geometric and dimensional; as well as non-adherence of the mixture to the mold, as well as the detail of the data analysis carried out.

Finally, the fourth, fifth and sixth chapters present the results obtained and the discussions addressed, the conclusions and recommendations formulated after having carried out this study.

Keywords: Vibrating table, steel, precast concrete, precast perimeter fence.

I. INTRODUCCIÓN

Desde 1946 la metodología TRIZ que proviene del ruso “*Teoriya Rezheniya Izobretatelskih Zadach*” cuya traducción podría ser “Teoría para resolver problemas de forma inventiva” desarrollada por el inventor, ingeniero Genrich Saúlovich Altshuller, se han desarrollado los fundamentos de enfoque sistemático del diseño de ingeniería del Pahl y Beitz (Pahl and Beitz, 1996), lo que ha sido ampliamente aceptado y reconocido a nivel mundial; y, que constituye el soporte para el proceso de diseño de la mesa vibradora desarrollada en la presente monografía de trabajo de suficiencia profesional.

Investigar la esencia del pensamiento humano es el foco de la psicología cognitiva, por esta razón antes de abordar los pasos y reglas específicas del enfoque sistemático, debemos analizar las relaciones psicológicas cognitivas y los principios metodológicos generales, y así estructurar procedimientos y métodos que puedan aplicarse a la solución de tareas de diseño de manera útil.

En dicho orden, la temática del presente proyecto de trabajo de suficiencia profesional se circunscribe en torno a la importancia de fabricar una mesa vibradora, considerando el enfoque sistemático de diseño de ingeniería de Pahl y Beitz, para uno de los clientes de la empresa BEM SOLUTIONS, siendo que, el cliente tiene la necesidad de cercar seis kilómetros del perímetro de su propiedad y el problema que se le presenta es la demora en la entrega de las piezas de concreto prefabricado y de los trabajos de instalación, debido a factores que detallaremos en los apartados siguientes.

Como podrá advertirse, la mesa vibradora que se diseñó y construyó, está conformada por su propia estructura de acero, así como por un tablero rígido y resortes como suspensión vibrante, que soportan una carga distribuida de 140 kilogramos, en lo que respecta a los postes, y 80 kilogramos referente a las placas, elementos prefabricados necesarios para la construcción del cerco del perímetro.

En efecto, el diseño y construcción de una mesa vibradora para la fabricación de los elementos mencionados, es un importante paso en la producción, así como en la capacidad de innovación de la empresa, orientada al uso de materiales alternativos para la construcción; por lo que, consideramos que lo expuesto en el presente trabajo se encuentra revestido de innovación e interés para el sector productivo a nivel nacional.

1.1. Problemática

La producción de concreto prefabricado en entornos rurales, donde es necesario contar con una fuente de energía eléctrica, agua y canteras cercanas, así como proveedores de acero de refuerzo, favorecerá a la industria de la construcción promoviendo pequeñas iniciativas y fuentes de emprendimiento que podrían convertirse en progresivos nichos de desarrollo.

Industrializar la construcción, permitirá, además, a países como el nuestro que se encuentran en vías de desarrollo, mejorar sus indicadores de crecimiento económico, así como fomentar puestos de trabajo estable que favorezcan el incremento de la productividad dentro del sector constructivo, traducidos en una curva de aprendizaje incremental en el tiempo, que a su vez permita una mejora continua, una adecuada gestión de los procesos constructivos y una mayor competitividad del sector.

Para lograrlo, consideramos que es necesario invertir en la creación de áreas de investigación y desarrollo, tanto en el sector público como en el privado, orientadas a la resolución de problemas de forma inventiva, y que, a su vez, sean sostenibles en el tiempo.

En ese sentido y al no tener un fabricante local en la zona de trabajo, se trajeron inicialmente 180 toneladas de bloques de concreto (aproximadamente 700 metros de longitud de cerco) desde San Juan de Lurigancho, en nueve viajes a San Vicente de Cañete. Estos viajes demoraron aproximadamente 4 meses, debido a los tiempos de fabricación, y poca disponibilidad inmediata de vehículos de menos de 20 toneladas de capacidad de carga, ello debido a que los caminos rurales de acceso y curvas cerradas no permitían mayor maniobrabilidad para vehículos de mayor capacidad.

Asimismo, la demora y falta de disponibilidad de las piezas prefabricadas puestas en la zona

de trabajo, no permitían que la curva de aprendizaje del personal durante la instalación del cerco perimétrico mejore, puesto que el personal local contratado para las labores de instalación del cerco perimétrico, no se encontraba disponible para trabajar en la siguiente entrega de prefabricados, debido a que por la demora de la carga, la obra se tenía que paralizar, y los trabajadores por necesidad debían buscar otras fuentes de ingreso. Por tanto, el contexto mencionado imposibilitaba que la mayoría de los trabajadores retornen a la obra, siendo necesario capacitar a una nueva cuadrilla de instalación de cerco perimétrico.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo principal

Diseñar y construir por estabilidad una mesa vibradora que permita fabricar placas y postes de concreto prefabricado, que genere una mejora en la gestión de los procesos constructivos en la industria nacional.

1.2.2. Objetivos específicos

- Describir la idea de un mecanismo que permita vibrar el concreto premezclado para elaborar bloques de concreto prefabricado, basándonos en el enfoque sistemático de diseño de ingeniería de G. Pahl y W. Beitz.
- Crear un diseño que sea de fácil construcción, reducido costo y que tenga la capacidad de vibrar moldes con concreto premezclado de 169 kg de masa.
- Contribuir con el desarrollo de ideas simples a través de la innovación y uso de mecanismos existentes para la industria de la construcción.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ¿Qué es TRIZ?

TRIZ, fundado en Rusia a finales de la década de 1940, por el inventor, escritor y científico independiente Genrikh Saulowitsch Altshuller, es una metodología constructiva para generar ideas y resolver problemas, la traducción literal del idioma ruso del acrónimo TRIZ es “*Teoría de la Resolución Inventiva de Problemas*”.

Altshuller, estudió 200,000 patentes durante más de 50 años, para buscar principios y patrones básicos en las patentes más innovadoras del mundo y descubrió que cada una de las patentes más inventivas resolvía principalmente un problema inventivo, además definió los problemas inventivos como aquellos que contienen requisitos opuestos, a los que llamó contradicciones, y descubrió que las mismas soluciones fundamentales se repetían a lo largo de los años concluyendo que si los últimos inventores tuvieran el conocimiento de las soluciones anteriores, el trabajo hubiera sido más simple para ellos. Precisó entonces, 39 propiedades básicas y 40 principios inventivos (Altshuller, 1998) para resolver problemas que contienen contradicciones en dos de 39 propiedades. Esto lo indicó en forma de una matriz de contradicciones de tamaño 39 x 39 con cada celda dando hasta cuatro, que pueden usarse para eliminar la contradicción como principal herramienta. Asimismo, clasificó esas 200,000 patentes en cinco niveles, desde muy ordinarias hasta extremadamente inventivas, a los que llamo “Niveles de invenciones”.

Las herramientas y los procesos de TRIZ se sustentan en enfoques de pensamiento que lo ayudan a ver las cosas con mayor claridad, reconocer nuevas posibilidades y convertirse en un mejor solucionador de problemas. Estas habilidades de pensamiento no solo están en el corazón de la lógica TRIZ, sino que también son hábitos útiles para desarrollar si desea pensar de manera confiable como un genio, incluso cuando no esté aplicando explícitamente las herramientas TRIZ.

La mayoría de los inventos inteligentes implican la aplicación de tecnología existente en un nuevo campo o nuevas combinaciones, y aprender de TRIZ nos da la habilidad de pensar conceptualmente, lo cual significa descubrir cómo quitar los detalles de una situación y verla de una manera más general y abstracta, es decir, ver muchas posibilidades nuevas y evitar quedarnos atascados en detalles innecesarios para así, romper la inercia psicológica que nos impide pensar “fuera de la caja” ante una situación o solución. Pero para ello consideramos que es necesario comprender la diferencia entre un concepto y una idea.

Un concepto es una forma general de hacer algo; una idea es una forma específica de poner en práctica ese concepto. Por ejemplo, “inercia rotacional de un elemento” es un concepto; “girar el elemento con ayuda de una pala” es una idea. Rotar, voltear, y moverse en torno al elemento también son ideas. Podemos variar la inercia rotacional de un elemento de muchas maneras diferentes. Este enfoque nos ayudará a pensar de forma más flexible y creativa y definitivamente generar ideas es mucho más fácil cuando se tiene un punto de partida.

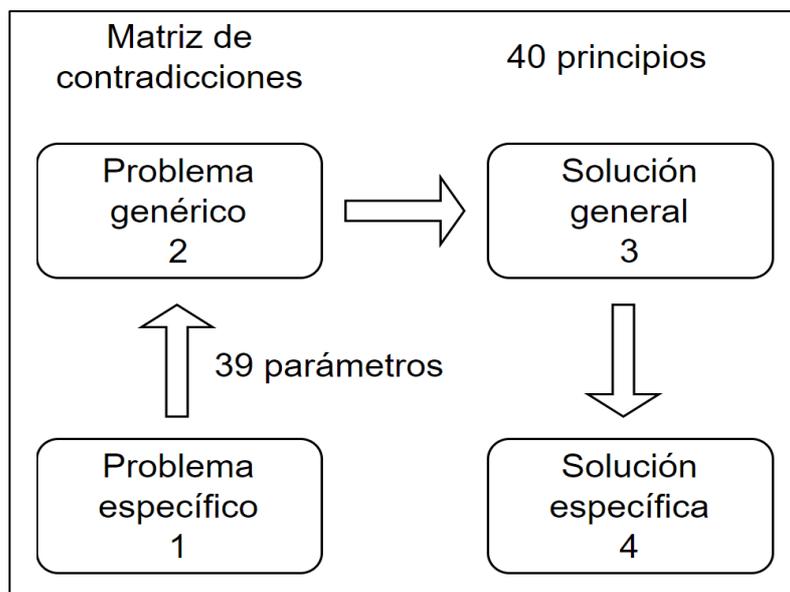


Figura 1: Esquema de solución de problemas usando TRIZ

FUENTE: <https://researchgate.net> (Córdova, 2008)

TRIZ nos dice que, si queremos ser un genial solucionador de problemas y desarrollar ideas innovadoras, no necesita resolver todos los problemas desde cero, podemos usar el conocimiento existente para generar muchas soluciones ingeniosas e inventivas, el objetivo desde mi punto de vista es no conformarnos con el mundo que nos rodea.

2.2. Diseño de ingeniería: un enfoque sistemático

El enfoque sistemático para el diseño de ingeniería propuesto por Pahl y Beitz (1988) es una metodología bien probada, válida tanto para el diseño de componentes como para el diseño de sistemas complejos.

TRIZ incluye algunos elementos muy útiles que no están incluidos en el enfoque sistemático tradicional para el diseño de sistemas mecánicos. Si bien éste se basa en el conocimiento de todas las áreas técnicas, su alcance es estrecho, dirigido a problemas específicos. ¿Cómo se podría usar TRIZ de manera efectiva en el diseño sistemático?

Según León-Rovira & Aguayo (1997), los conceptos TRIZ de idealidad, contradicción y recursos deben utilizarse a lo largo de todo el proceso de diseño. Los métodos de resolución de problemas TRIZ se pueden utilizar para eliminar contradicciones cada vez que se encuentran.

Terninko (1998) y Domb (1998) sugieren combinar TRIZ, *Quality function deployment* (QFD) y *Robust Design*. QFD debe usarse para identificar conflictos entre requisitos, que podrían resolverse con la primera de las teorías. Se debe utilizar un diseño robusto para encontrar niveles óptimos de parámetros técnicos.

Savransky (1998) sugiere utilizar métodos TRIZ en la parte inicial del proceso de desarrollo, para obtener conceptos innovadores; en tal sentido, los métodos de ingeniería tradicionales deben usarse luego para un mayor desarrollo del concepto. Según Savransky (1998), el mismo procedimiento podría usarse para rediseñar productos.

Malmquist *et al.* (1996) sugieren unificar TRIZ y el enfoque sistemático. El enfoque sistemático debe usarse como un marco con elementos TRIZ incluidos en algunos puntos. Linde & Hill (1993) han propuesto WOIS (estrategia de innovaciones de Widerspruchsorientierte o estrategia de innovación orientada a la contradicción). Esta es una metodología para el desarrollo de productos complejos, basada en metodologías alemanas de diseño sistemático. En su libro, Linde & Hill presentan muchos estudios de casos, demostrando que su enfoque funciona correctamente.

Recientemente, Mayda y Borklu (2013), plantean el desarrollo de un innovador proceso de diseño conceptual utilizando el diseño sistemático de Pahl y Beitz, TRIZ y QFD, donde el primero de ellos se utiliza como buscador de problemas a través de su matriz de contradicciones, a su vez como disparador de soluciones con los cuarenta principios de inventiva. Así, el segundo de ellos se utiliza para convertir las necesidades del cliente en parámetros de diseño que a su vez se usan para evaluar soluciones.

Entonces, al desarrollar el enfoque sistemático de Pahl y Beitz obtenemos una buena estrategia para proponer soluciones y para ello debemos examinar los fundamentos de los diferentes sistemas y procedimientos técnicos mediante las diversas alternativas de lenguaje-intérprete y dispositivos tecnológicos con los que contamos hoy en día. Este enfoque no se basa en un método, sino que aplica métodos conocidos y poco conocidos y brinda pautas útiles para cada tarea y trabajo específico generando así un proceso general para la solución de problemas de diseño, manteniendo las instrucciones repetitivas lo más pequeño posible para que el diseño funcione de manera efectiva y eficiente.

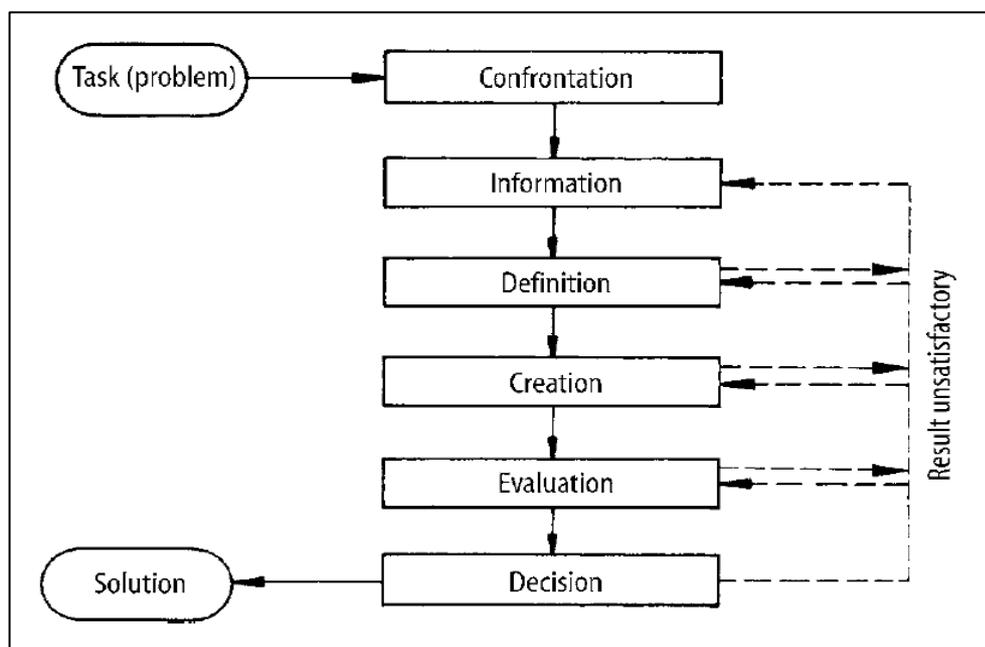


Figura 2: Esquema de proceso general para encontrar soluciones

FUENTE: Engineering Design: A Systematic Approach

Parte del proceso general para encontrar soluciones (Figura 2) es la etapa desarrollo, la cual implica, como se aprecia en el gráfico, confrontar inicialmente el problema, es decir asumirlo

en forma crítica para detallar completamente la lista de exigencias, ordenarlas, cuantificarlas y establecer las prioridades de estas. Por supuesto, esto va a depender del conocimiento del diseñador, es decir, de la información a detalle que el mismo conozca, así como de su habilidad y experiencia.

Una vez resuelta esta etapa de desarrollo, inicia lo que se conoce como el flujo de trabajo durante el proceso de diseño, en el cual se define una planificación de actividades compuestas por una serie de pasos principales de trabajo (Figura 3), como son la planificación y clarificación de la labor, el diseño conceptual, el diseño preliminar y el diseño definitivo.

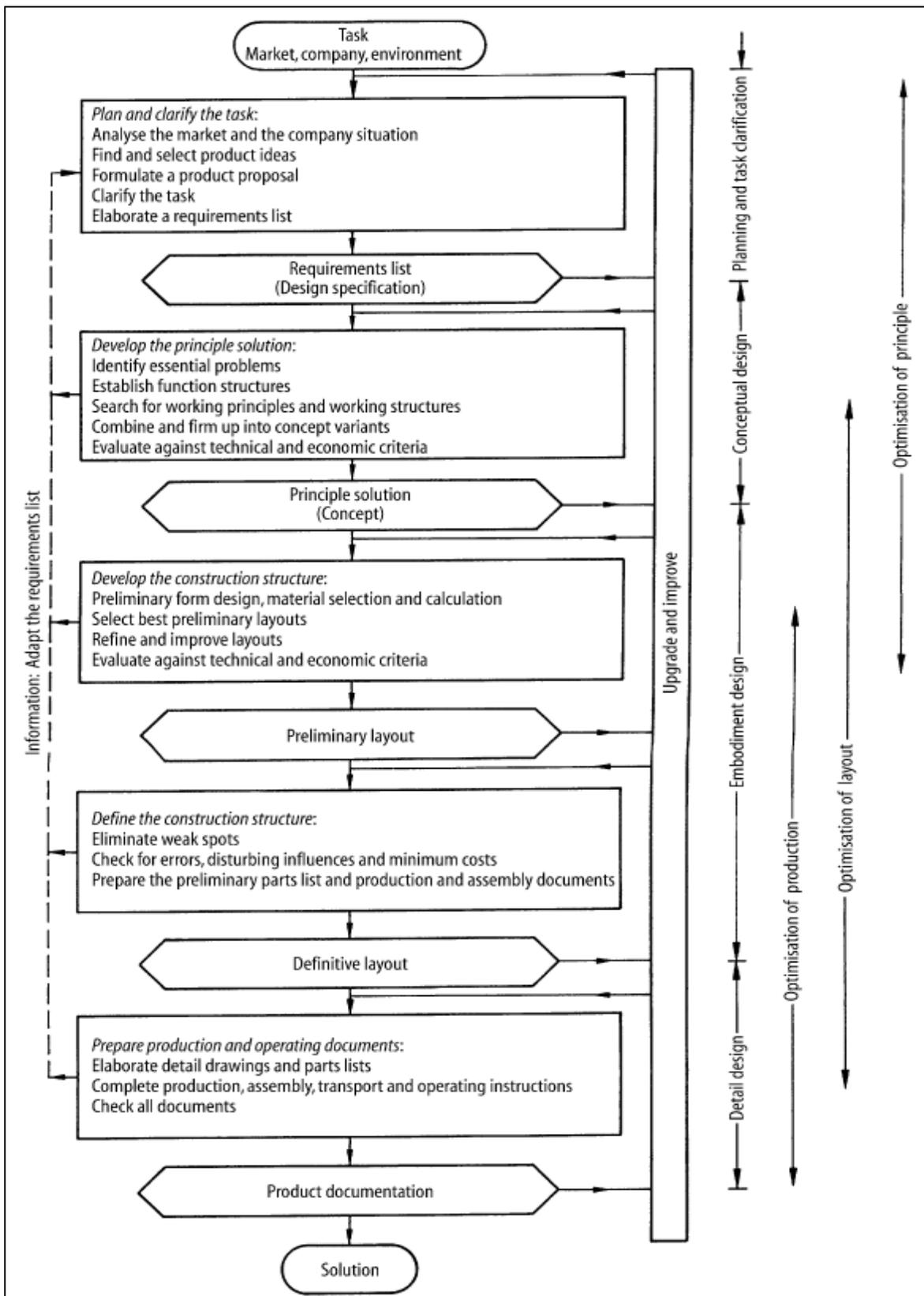


Figura 3: Pasos en el proceso de planificación y diseño

FUENTE: Engineering Design: A Systematic Approach

Los resultados de cada uno de estos pasos proporcionarán la base para los pasos posteriores de trabajo, los cuales mediante iteraciones permitirán obtener resultados y recopilar información útil e importante para la toma de decisiones. Como se advierte, es un proceso complejo pero necesario y siempre al final de cada paso principal de trabajo y decisión el enfoque debe evaluarse y ajustarse si es necesario, por eso es importante que los planes y procedimientos se tomen de manera flexible.

Ahora bien, no siempre es posible trazar una línea divisoria clara entre las actividades principales, ni tampoco es posible evitar retroceder a una actividad anterior; sin embargo, dividir el plan y control de todo proceso de desarrollo por actividades es siempre útil. En nuestro caso pasaremos a especificar cuatro actividades principales de trabajo:

2.2.1. Planificación y clarificación de la labor

En este paso es necesario definir que labor o labores específicas se requieren realizar antes de comenzar el desarrollo del producto:

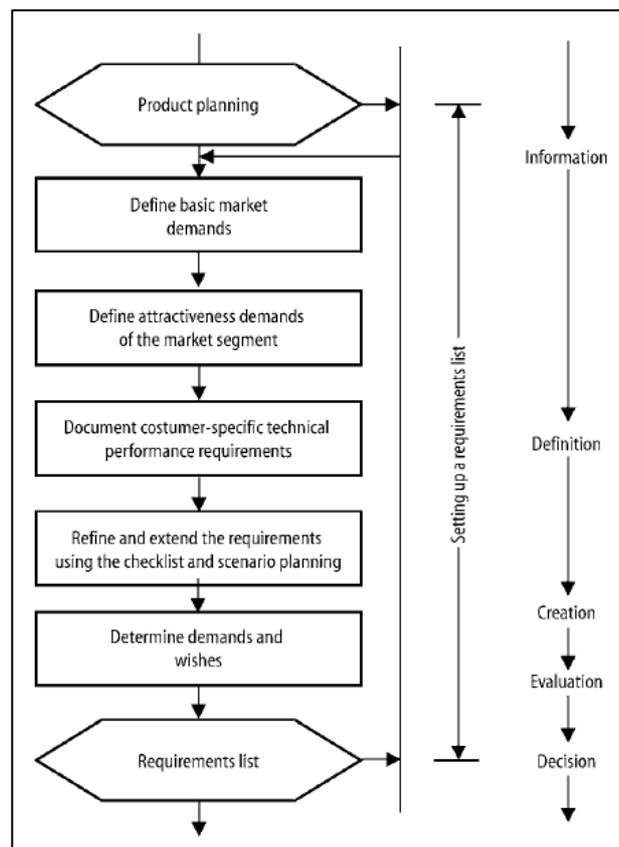


Figura 4: Configuración de una lista de requerimientos

FUENTE: Engineering Design: A Systematic Approach

La razón o propósito de esta clarificación es recopilar información sobre la función, restricciones e importancia, para establecer y documentar lo que llamaremos lista de requerimientos, es decir los componentes que conformarán el producto que realizará la labor.

Por supuesto, es importante tomar en consideración factores clave como la disponibilidad de estos componentes en el mercado, incluso buscar si existen productos similares o que cumplan los mismos requisitos, para poder formular una propuesta de producto. Los pasos subsiguientes deben estar constantemente actualizados y basarse en este documento.

2.2.2. Diseño conceptual

Culminado el paso anterior, el diseño conceptual determinará las especificaciones de la solución principal incluso con variantes de ésta, a través de la abstracción, el establecimiento de estructuras funcionales, la búsqueda de principios de trabajo apropiados y la combinación de estos en una estructura de trabajo, puesto que la representación de la solución principal puede tomar diversas formas. Para representar de manera esquemática esta solución en forma de una estructura funcional, se puede hacer uso de un diagrama de circuitos, un diagrama de flujos y en otros casos de un boceto lineal del proceso que se debe realizar.

Esta fase consta de diversos pasos, los cuales no deben omitirse si se desea encontrar la solución principal más prometedora. Las variantes de que no satisfagan la lista de requerimientos deben ser eliminadas, dando así paso a criterios técnicos y económicos que juegan un papel importante para seleccionar el mejor concepto dentro de una serie de variantes de solución hasta formar los que serían los diseños preliminares.

Los diseñadores, lejos de dejarse influenciar por ideas convencionales deben usar la abstracción para buscar caminos novedosos acentuados en lo que es general y esencial, que los conduzca al “*core*” de la labor. Si se formula bien, entonces la función general y las restricciones esenciales se vuelven claras y no perjudicarán la elección de una solución en específico.

En dicho sentido, una vez formulado el *core* del problema general, es posible indicar una función general del sistema, que puede expresar la relación neutral, con la mayor precisión

posible, a la solución entre *INPUT* y *OUTPUT*.

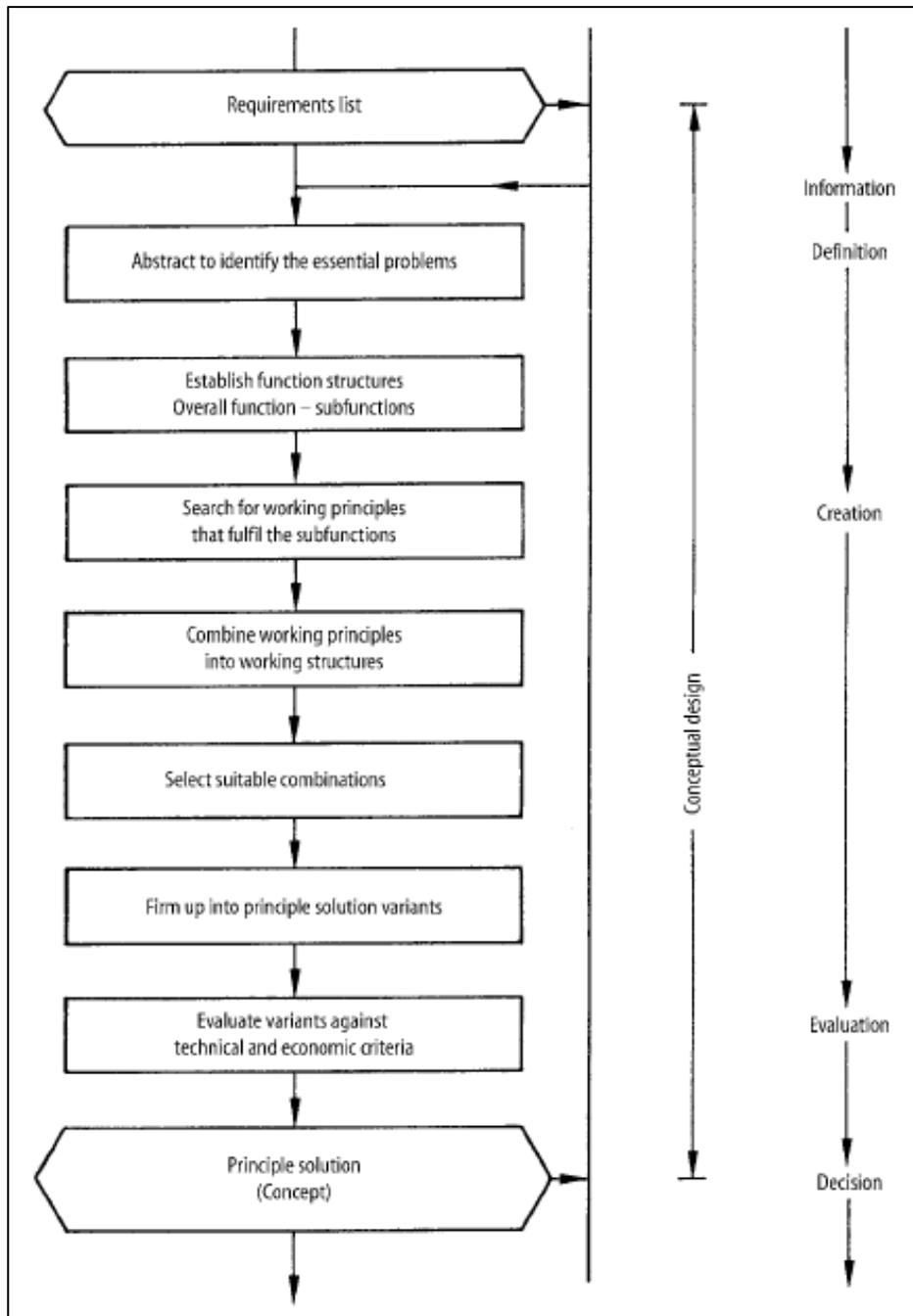


Figura 5: Etapas del diseño conceptual

FUENTE: Engineering Design: A Systematic Approach

El establecer estructuras de trabajo concretas permite al diseñador, conocer las características importantes del principio de funcionamiento, rendimiento, requisitos de espacio y vida útil del producto, y de ser necesario, recopilar información más detallada en un segundo o tercer proceso de selección, para evaluar si aún se satisfacen las demandas de

la lista de requerimientos. Esto implica, además, mediante un análisis de costo beneficio, si debe realizarse o no un nuevo proceso de selección o que se necesiten más criterios de evaluación.

Durante la evaluación en la fase conceptual debe considerarse criterios técnicos y económicos lo antes posible, a pesar de que en esta etapa es por lo general imposible dar los costos en cifras exactas, no obstante, los aspectos económicos deben tenerse en cuenta, así como los requisitos de seguridad industrial en simultaneo que permitan lograr un diseño preliminar.

2.2.3. Diseño preliminar

Durante esta fase a partir de varios diseños preliminares, se determinan las ventajas y desventajas de estos, frente a criterios técnicos y económicos, buscando la combinación más adecuada y la eliminación de los puntos débiles para obtener el mejor diseño. Durante todo esto, las consideraciones tecnológicas y económicas son de suma importancia. El diseño se desarrolla con la ayuda de dibujos a escala, revisados críticamente y sometidos a una evaluación técnica y económica.

Según Pahl y Beitz (1996), el diseño preliminar se caracteriza por deliberaciones y repetidas verificaciones del diseño conceptual. Cada diseño preliminar es un intento de cumplir con la función de las formas de los componentes y los materiales apropiados, donde se considera además la seguridad, la ergonomía, la producción, el embalaje, la operación, el mantenimiento, el reciclaje, los costos y los cronogramas. A esta lista de consideraciones se le conoce como la lista de verificación, siendo que la misma se presenta en un orden de procedimiento útil y brindará a los diseñadores una verificación sistemática de cada uno, asegurando que en el proceso no se olvide lo que es esencial.

El resultado que llamaremos diseño definitivo proporcionará un medio para comprobar la función, la resistencia, la compatibilidad espacial, etc., y es también en esta etapa que debe comprobarse la viabilidad financiera del proyecto, conforme puede advertirse del esquema siguiente:

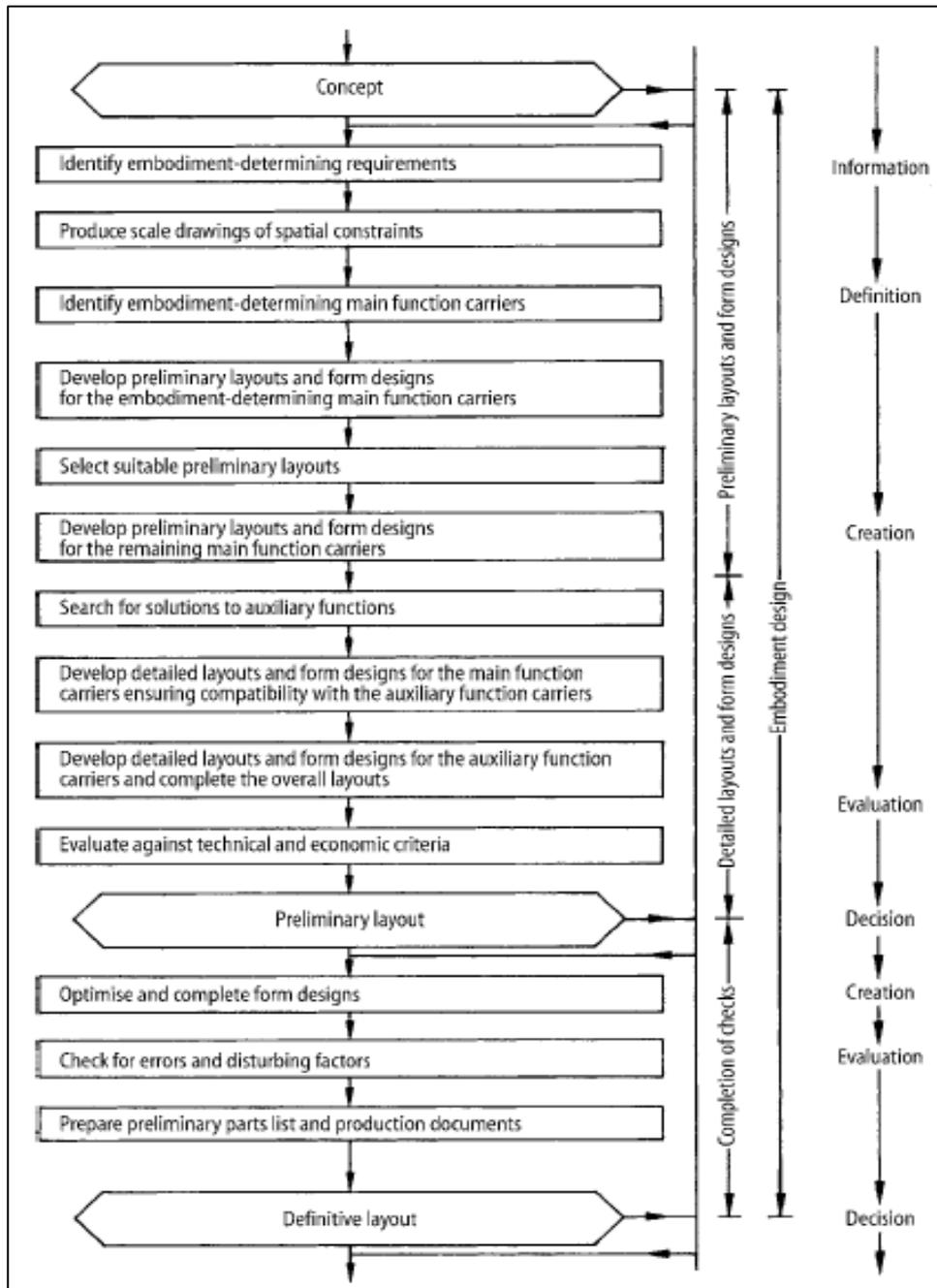


Figura 6: Etapas del diseño preliminar

FUENTE: Engineering Design: A Systematic Approach

2.2.4. Diseño de detalle o diseño definitivo

Esta es la fase del proyecto en la que finalmente se establecen las características de todas las partes individuales, así como materiales y facilidades de producción. Se estiman también los costos y se producen los planos necesarios para la producción.

Otro aspecto y quizá el más importante de esta fase, es la elaboración de los documentos de

producción, incluidos los planos detallados de los componentes, planos e instrucciones de montaje, documentación para transporte de ser necesario, las medidas de control de calidad, el listado de elementos para la construcción del producto, instrucciones operativas, y manuales de mantenimiento y reparación; optimizados con diseño asistido por computadora o CAD (*computer aided design*).

La fase de diseño de detalle o diseño definitivo implica las etapas que se muestran en la siguiente figura:

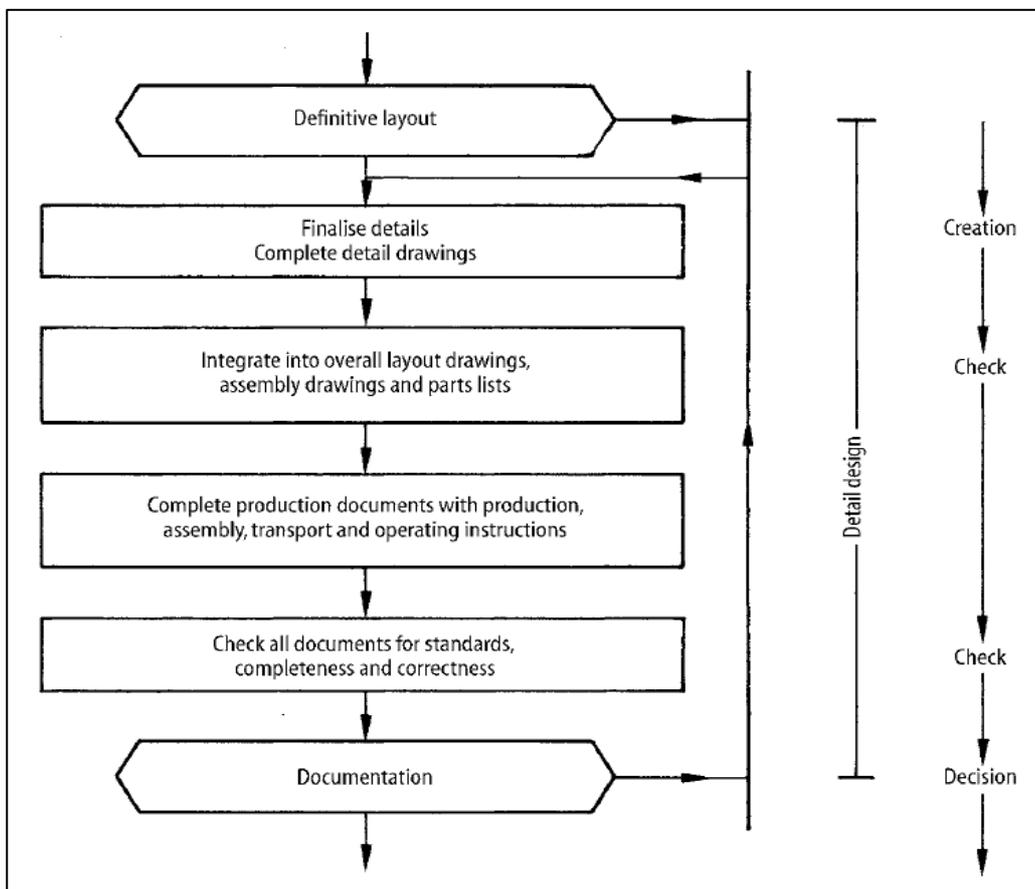


Figura 7: Etapas del diseño de detalle o diseño definitivo

FUENTE: Engineering Design: A Systematic Approach

Como puede advertirse, el diseño definitivo comprende el dibujo a detalle de los componentes, así como la optimización detallada de materiales, superficies, tolerancias y ajustes con el objetivo de maximizar la utilización de los materiales más adecuados, la rentabilidad y la facilidad de producción, respetando los estándares y cumpliendo con la calidad especificada.

2.3. Producción de concreto prefabricado en el Perú

Los prefabricados son sistemas constructivos basados en diseño y producción en serie de elementos y subsistemas en una planta fuera de ubicación final. Estos sistemas y subsistemas se instalan con una logística simple y de manera precisa y menos laboriosa.

Tal como lo indica el Ingeniero Fabian Agudelo, Gerente de la Unidad de Prefabricados de UNICOM durante el webinar “*Realidad de los Prefabricados en Perú*” publicado el cinco de junio del 2020, en el canal de UNICOM, los primeros prefabricados, no de concreto, ya se realizaban en Perú de forma artesanal con ladrillos de adobe, los cuales siguen siendo utilizados en la sierra peruana para la construcción hasta nuestros días; no obstante, donde se utilizaron los primeros prefabricados de concreto *per se* fue en el año 1937, en el distrito de Barranco, donde se reemplazaron las tuberías de alcantarillado que se realizaban de arcilla con concreto prefabricado, instalando así una de las primeras redes de saneamiento en la ciudad de Lima.

2.4. Takt time

El término “*takt time*” deriva de la palabra alemana “*Taktzeit*” y se traduce como tiempo "medida", "ciclo" o "pulso", dependiendo del sistema en el que sea leído. En pocas palabras, el tiempo *takt* se refiere a la cantidad de tiempo que un fabricante tiene por unidad para producir suficientes bienes y satisfacer la demanda del cliente.

Utilizado con frecuencia dentro de las líneas de producción *Lean*, *takt time* es una herramienta esencial para garantizar que las mercancías fluyan a través de cada estación de construcción de la manera más eficiente.

2.5. Resortes de compresión

Los resortes de compresión son resortes helicoidales, es decir, en forma de espiral, que mantienen la energía mecánica en sus estados comprimidos. Cuando estos resortes experimentan una carga de compresión, se comprimen y se vuelven más cortos, capturando y almacenando una fuerza potencial significativa. Una vez que la carga se reduce o se elimina, la energía almacenada obliga a los resortes a volver a sus formas y longitudes originales.

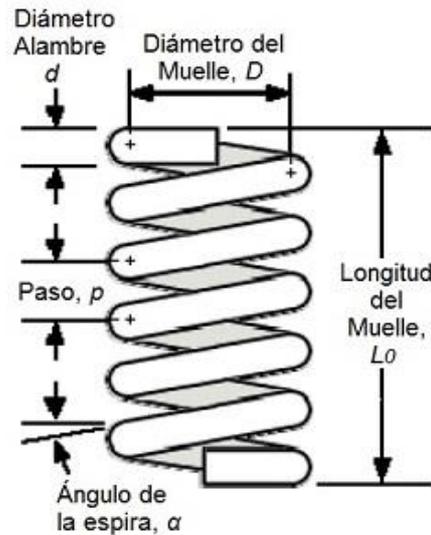


Figura 8: Partes de un resorte de compresión

FUENTE: <https://ingemecanica.com> Muelles Helicoidales

2.6. Motores eléctricos de corriente alterna



Figura 9: Motor eléctrico de corriente alterna

FUENTE: Catálogo Siemens

Los motores de corriente alterna son fuentes de energía viables para una amplia gama de aplicaciones debido a su flexibilidad, eficiencia y funcionamiento silencioso. Los usos generales de los motores de corriente alternan incluyen bombas, calentadores de agua, equipos de césped y jardín, hornos y equipos motorizados todoterreno. De hecho, muchos de los aparatos, equipos y herramientas que utiliza a diario funcionan con un motor de corriente alternar.

Para el diseño de esta mesa vibradora el más común de motores de corriente alterna es el motor de inducción trifásico. Estos motores son una fuente de energía viable para varias aplicaciones debido a su:

- **Eficacia:** son una fuente de energía eficiente para muchas aplicaciones. Sus características de velocidad u torque permiten que los motores de corriente alterna proporcionen un gran rendimiento en muchas aplicaciones sin sobrecalentamiento, frenado o degeneración. Esta es la razón por la que se eligen para aplicaciones de alta demanda, como bombas, equipos de alimentos y bebidas, y productos de manejo de materiales como equipos de envasado, transportadores y dispensadores.
- **Longevidad:** Con pocas piezas móviles, los motores de corriente alterna tienen el potencial de durar años incluso en las aplicaciones más exigentes. En la mayoría de los casos, los rodamientos son el único punto de desgaste, lo que hace que el mantenimiento y las reparaciones sean simples y asequibles. La durabilidad los convierte en la solución preferida para una diversidad de aplicaciones.
- **Funcionamiento silencioso:** El sonido relativamente bajo de los motores de corriente alterna es una de las principales razones por las que se eligen para muchas aplicaciones residenciales o comerciales. Son ideales para aplicaciones en las que el ruido es un factor importante para considerar.
- **Flexibilidad:** La mayoría de los motores de corriente alterna se pueden operar con un simple interruptor de encendido y apagado e incluso invertirse con cableado básico del interruptor. Esta flexibilidad, combinada con sus salidas variables de velocidad y potencia, hace que este tipo de motores sean la mejor opción para aplicaciones que involucran a múltiples usuarios y demandas.
- **Disponibilidad:** Los motores de corriente alterna están disponibles en una amplia gama de formas, tamaños y salidas de potencia. La fácil disponibilidad de tales motores significa que se puede encontrar o crear una solución para casi cualquier necesidad y aplicación.

En general, los motores de corriente ofrecen la flexibilidad, el rendimiento y la durabilidad necesarios para satisfacer las demandas de casi todas las aplicaciones en las que la alimentación de corriente alterna es la fuente de energía deseada.

2.7. Automatización en motores eléctricos de corriente alterna

Los dispositivos de control y automatización han sido diseñados para satisfacer las demandas continuas tanto en sistemas residenciales como comerciales mediante el control de múltiples cargas en función del tiempo y la velocidad. Hoy en día los fabricantes ofrecen una amplia gama de interruptores para operar los servicios eléctricos según sea necesario para satisfacer los requisitos de una amplia variedad de aplicaciones y se respaldan en sus planes de ahorro de energía controlando las cargas prioritarias.

2.7.1. Temporizadores

Con los interruptores de temporizador digital se puede reducir el consumo de energía fácilmente. Es posible programar perfectamente el uso de energía con un tiempo de configuración significativamente reducido a través de nuestros dispositivos móviles por medio de la comunicación bluetooth.



Figura 10: Temporizador digital

FUENTE: Catálogo ABB (2022)

Todo tipo de necesidades, por ejemplo, la iluminación, la calefacción, la ventilación y el riego de los jardines se pueden controlar fácilmente de acuerdo con un horario personalizado para usar solo la energía que se necesita. Los interruptores de tiempo digitales son ideales para programar la operación de acuerdo con los horarios diarios, semanales o anuales en aplicaciones residenciales, comerciales e industriales.

2.7.2. Variadores de velocidad

Los motores eléctricos juegan un papel muy importante en nuestros negocios y vidas cotidianas. La mayoría de estos motores funcionan con electricidad y para hacer su trabajo de proporcionar par y velocidad, necesitan una cantidad correspondiente de energía eléctrica. Estos motores consumen electricidad para proporcionar el par o la velocidad necesaria. Si ese par o velocidad es demasiado alto, o demasiado bajo, se utilizarán controles mecánicos para reducir la velocidad del cambio o controlar la salida. El resultado es la ineficiencia, con muchos materiales y energía desperdiciados. La velocidad del motor debe coincidir exactamente con lo que requiere el proceso. Sin la mejor manera de controlar la velocidad, se desperdicia mucha energía y eso no es bueno para el negocio de nadie.



Figura 11: Variador de velocidad

FUENTE: Catálogo ABB (2022)

Cuando se utiliza un variador de velocidad, se controla el torque o la velocidad y hablamos de "control de torque" o "control de velocidad". Cuando el variador de velocidad funciona en modo de control de par, la velocidad está determinada por la carga. Del mismo modo, cuando se opera en control de velocidad, el par está determinado por la carga.

La función básica de un variador de velocidad es controlar el flujo de energía desde la red eléctrica hasta el proceso. Los variadores de velocidad se encuentran entre la fuente eléctrica y el motor. La energía de la fuente de alimentación eléctrica va a un accionamiento y el accionamiento luego regula la potencia que se alimenta al motor. Además de ahorrar energía, también le ayudan a reducir los costos de mantenimiento, los residuos e incluso las emisiones de ruido al medio ambiente.

Las razones por las que elegimos instalar en el tablero general un variador de velocidad son:

- Mejora de la eficiencia operativa, se elimina la necesidad de mano de obra, ya que el sistema controlado por accionamientos se puede automatizar, ahorrando así costos de mano de obra.
- Reducción del consumo de electricidad, ya que solo se usa la cantidad necesaria de energía al hacer funcionar el motor a carga parcial.
- Ahorros en costos de mantenimiento y repuestos, ya que el estrés en el equipo mecánico durante el arranque y la operación se puede minimizar, lo que garantiza una mayor vida útil del equipo.

2.7.3. Guardamotor

La protección del motor se utiliza para evitar daños en el motor eléctrico, como fallas internas en el motor. También se deben detectar las condiciones externas al conectarse a la red eléctrica o durante el uso y se deben prevenir las condiciones anormales.

Los arrancadores manuales de motor, también conocidos como disyuntores de protección del motor o simplemente guardamotor, son dispositivos de protección electromecánica del circuito principal. Se utilizan principalmente para encender o apagar motores manualmente y para proporcionar protección sin complicaciones contra cortocircuitos, sobrecargas y fallas de fase. La protección sin complicaciones ahorra costos, espacio y garantiza una reacción rápida en condiciones de cortocircuito apagando el motor en milisegundos. Las combinaciones de arranque se configuran junto con los contactores y están disponibles con terminales de tornillo o de resorte *push-in*, que permite conectar conductores de forma rápida y sencilla, sin necesidad de utilizar herramientas, aumentando la confiabilidad y seguridad de sus tableros eléctricos.



Figura 12: Guardamotor

FUENTE: Catálogo ABB (2022)

Los principales beneficios de implementar un guardamotor en nuestro sistema de producción son:

- Pueden ser de control manual y ofrecen protección contra corriente de cortocircuito, sobrecarga y ofrecen una función de desconexión.
- Menos tiempo de inactividad de la máquina al proteger los motores y menor resolución de problemas y por consiguiente, menores gastos de mantenimiento al proteger los motores.
- Los terminales de resorte “*push-in*” ofrecen conexiones únicas, rápidas, fáciles y fiables.

III. DESARROLLO DEL TRABAJO

La obra, ejecutada hace cinco años, estuvo ubicada en el distrito de San Vicente de Cañete, provincia de Cañete y departamento de Lima, a unos diez kilómetros del centro poblado Laura Caller, donde inicialmente nuestra empresa se estableció como campamento de obra.

Como lo mencionamos en apartados precedentes, para el proyecto se requirió fabricar piezas de concreto prefabricado, los cuales cumplían con las siguientes características: placas de 2 metros de longitud por 50 centímetros metros de altura y 3 centímetros de espesor, así como postes de 3.60 metros de atura por 14 cm de sección.

Ahora bien, para fabricar dichos elementos fue necesario, diseñar y construir una mesa vibradora, que permita distribuir homogéneamente el concreto premezclado en unos moldes, también diseñados en acero; asimismo, fue necesario construir losas de concreto armado, donde secaron las piezas de concreto prefabricado luego de cada proceso de colocación de armadura de refuerzo y posterior vibrado.

La construcción de la mesa vibradora y las piezas prefabricadas “en el sitio” permitieron al cliente, ahorrar gastos de transporte, pero sobre todo tiempo de instalación; por lo cual, destacamos el conocimiento adquirido gracias a la formación académica otorgada en la Facultad de Ingeniería Agrícola de la Universidad Nacional Agraria La Molina, lo que nos permitió realizar diversas anotaciones y apuntes de clase, citando, por ejemplo:

IA3002: Circuitos y maquinas eléctricas, dictado por los docentes, ingeniero Jose Fernando Alva Yance y el ingeniero Alberto Yamamoto Miyakawa, nos brindó el criterio adecuado para determinar la potencia y velocidad adecuada del motor seleccionado para la rotación del eje excéntrico, así como comprender el uso del temporizador que controla el motor mencionado.

IA4015: Materiales y procedimientos de construcción, dictado por la docente ingeniera Rosa María Miglio, donde aprendimos sobre la dosificación de agregados y cemento, así como el tipo de portland a elegir, según el entorno en el cual nos encontremos, así como las facultades del uso del yeso en los procesos constructivos, de suma utilidad para los prefabricados.

IA4004: Concreto reforzado, dictado por el docente ingeniero Alfonso Cerna Vásquez, quien nos ayudó a diseñar los elementos de concreto armado tales como las placas y los postes prefabricados, así como analizar cómo se comportaron los mismos con una pequeña cimentación prefabricada en el sitio.

IA4001: Análisis de elementos de máquinas y mecanismos, dictado por el docente ingeniero Alindor Manuel Obando Villalobos, con quien comprendimos la importancia de conocer las características y propiedades de los materiales, de cada pieza y mecanismo, y que, con la ayuda de uniones atornilladas o soldadas, transmisiones flexibles, rodamientos y resortes, se pudo llegar a conformar, con claridad y criterio, el diseño de la mesa vibradora.

IA5014: Proyectos de inversión y desarrollo en ingeniería agrícola, dictado por el docente ingeniero Armenio Flaubert Galíndez Ore, curso fundamental que nos permitió determinar cómo realizar la inversión de construir la mesa vibradora, considerando el recupero de la misma en los meses subsiguientes a través de un breve, pero no menos importante flujo de caja.

Por tanto, como punto preliminar, manifestamos una extensa gratitud a la plana docente, quienes, a través del dictado de diversos cursos, nos dio sustento para proponer a nivel de iniciativa al cliente, el proyecto de diseñar y construir una mesa vibradora “en el sitio”, para a su vez elaborar las piezas de concreto prefabricado, necesarias para la ejecución y desarrollo exitoso de la obra.

3.1. Proceso de fabricación de cerco perimétrico de concreto prefabricado

La principal diferencia entre las construcciones donde el concreto es vaciado dentro de un encofrado previamente establecido y las construcciones con prefabricados, es su continuidad estructural, la misma que funciona cuando existe una unión entre dos elementos estructurales

que garantizan la transferencia de carga requerida. Así pues, para los elementos prefabricados, debe haber un esfuerzo consciente que garantice que se cree una continuidad estructural cuando se conectan los componentes prefabricados, como las placas con los postes de nuestro proyecto elaborado. Esta conexión debe actuar como enlace puente entre los componentes prefabricados.

Los elementos prefabricados, solo formaran un sistema estable, en este caso el cerco perimétrico de 2.50 metros de altura, después de que las juntas estén conectadas, las consideraciones estructurales para la estabilidad y seguridad son necesarias en todas las etapas. Para el caso, se requiere un cerco con elementos prefabricados que puedan soportar cargas tanto verticales como horizontales y transmitir las a la cimentación y al suelo. La estructura debe ser liviana y debe estar adecuadamente diseñada contra fallas y deformaciones.

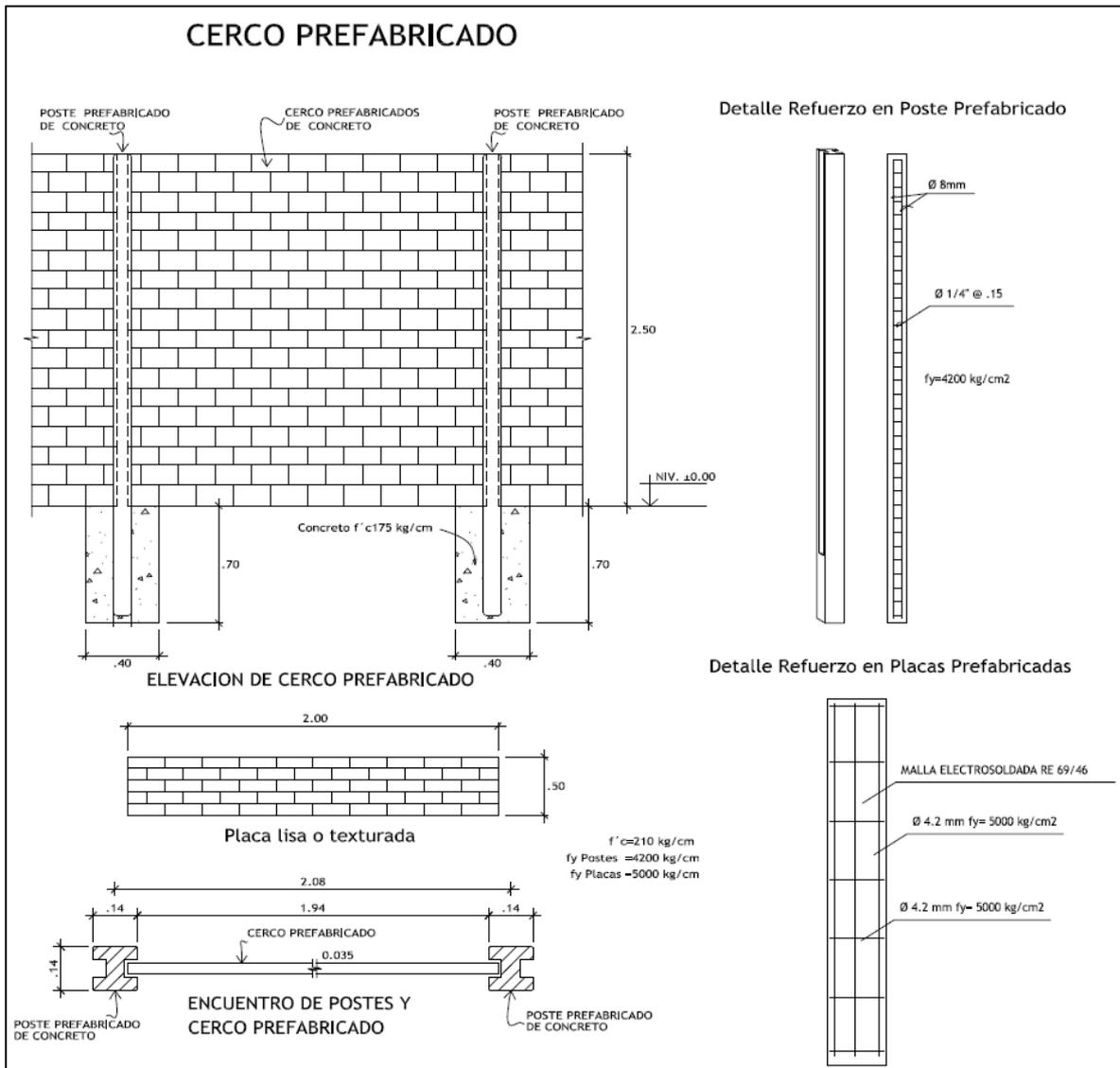


Figura 13: Elementos de concreto armado componentes del cerco prefabricado

Nota: Modelamiento con CAD por BEM SOLUTIONS

3.2. Características del cerco perimétrico

El sistema consta de un paño, conformado por dos postes elaborados de concreto armado, configurado a base de cemento andino tipo V (por la presencia de salitre en el terreno de la zona de trabajo), piedra chancada de ½ pulgada, arena gruesa y acero de refuerzo de 8 mm. Estos postes son de 3.20 metros de altura y 0.14 metros se sección en “H”, sin empalmar, instalados a una distancia de 2.08 metros al eje, uno de otro. Cada poste de concreto brinda el amarre para ubicar a las placas del cerco, a continuación, mostramos una imagen:



Figura 14: Postes prefabricados de concreto armado

Nota: Fotografía en obra por BEM SOLUTIONS

Los postes están restringidos en sus bases a una profundidad de 0.70 metros. Adicionalmente, cada paño cuenta con cinco placas elaboradas también de concreto armado, configurado a base de cemento andino tipo V, para las dos primeras placas inferiores (por la presencia de salitre en el terreno de la zona de trabajo) y cemento sol, para las tres placas superiores, confitillo, arena gruesa y acero de refuerzo de 4.2 mm, cuyas dimensiones son, 2.00 metros de largo, por 0.50 metros de alto y 0.035 metros de espesor.



Figura 15: Placas prefabricadas de concreto armado

Nota: Fotografía en obra por BEM SOLUTIONS

Estas placas se apoyan unas sobre otras y se sostienen por un canal de 0.035 m de espesor configurados a lo largo de las caras laterales de los postes.

En términos de materiales y procedimientos constructivos, la construcción tradicional de un muro de ladrillos resultaba bastante costosa considerando los seis kilómetros de cerco que requería el cliente. Por ello, inicialmente le recomendamos un proveedor de Lima quién incurrió en demoras y fue así como le ofrecimos a nuestro cliente la fabricación de los elementos de prefabricados de concreto armado en sus instalaciones, para lo cual era necesario hacer un símil de los postes con las columnas de concreto armado que conocemos, así como un símil de las placas con las losas de concreto armado que conocimos al largo de nuestra carrera.

Del mismo modo tuvimos que conocer un poco más del proceso de construcción de prefabricados, así que nos pusimos a investigar todos los equipos y materiales necesarios para adaptarlos a las necesidades. En efecto, toda la inversión en infraestructura, así como de las pruebas de ensayo error, fueron asumidas por el área de investigación y desarrollo de la empresa BEM SOLUTIONS.

A través de la figura 16, en una vista de planta, se detalla cómo se acomodaban las placas entre dos postes, es decir, dentro de un paño de cerco, aprovechándose la sección en “H” para que el espesor de las placas encajara de tal forma que se produzca el amarre necesario para brindar la continuidad estructural de la estructura de prefabricado.

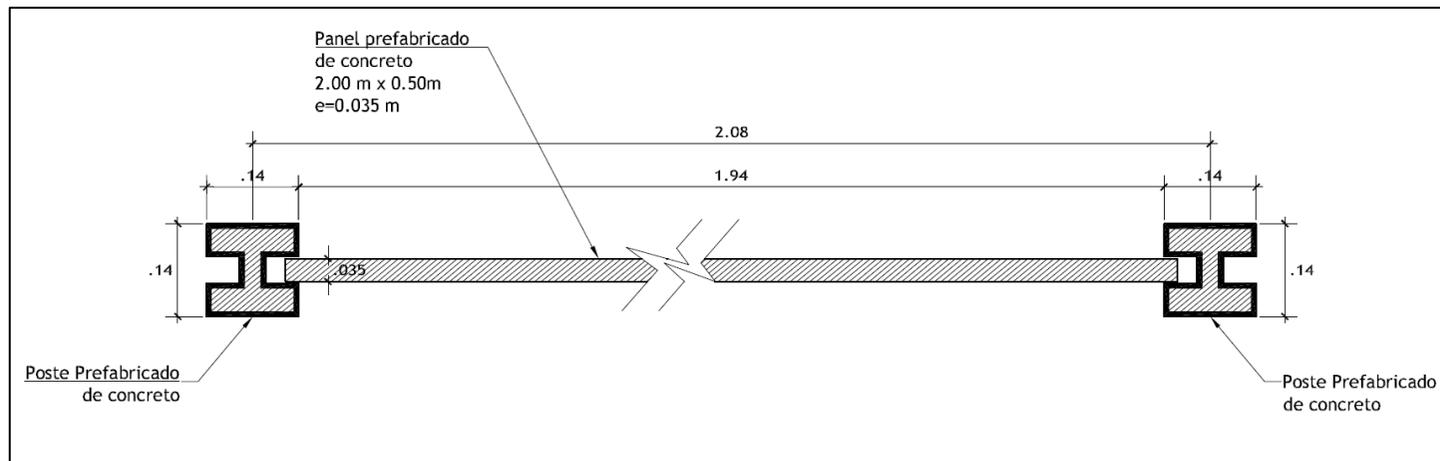


Figura 16: Encuentro de poste y placas de concreto prefabricado

Nota: Modelamiento con CAD por BEM SOLUTIONS

Como puede apreciarse en las figuras 11, 12 y 13, la instalación del cerco perimétrico de concreto prefabricado es sencilla y progresiva, brinda seguridad, con menor uso de mano de obra y se adapta fácilmente a las condiciones del terreno.

En la figura 17 se puede apreciar un módulo de prefabricados en vista de elevación inclinada.

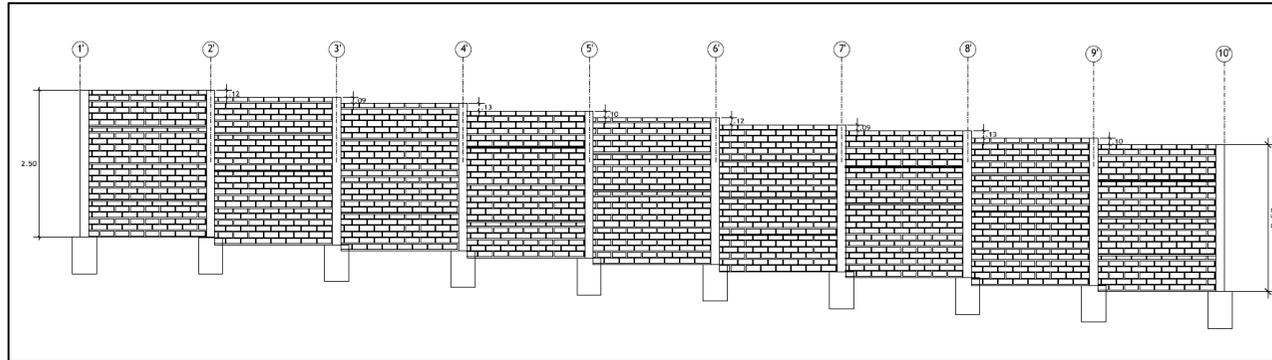


Figura 17: Vista de elevación inclinada de instalación de cerco perimétrico

Nota: Modelamiento con CAD por BEM SOLUTIONS

En la figura 18 se puede apreciar un módulo de prefabricados en una vista de elevación horizontal.

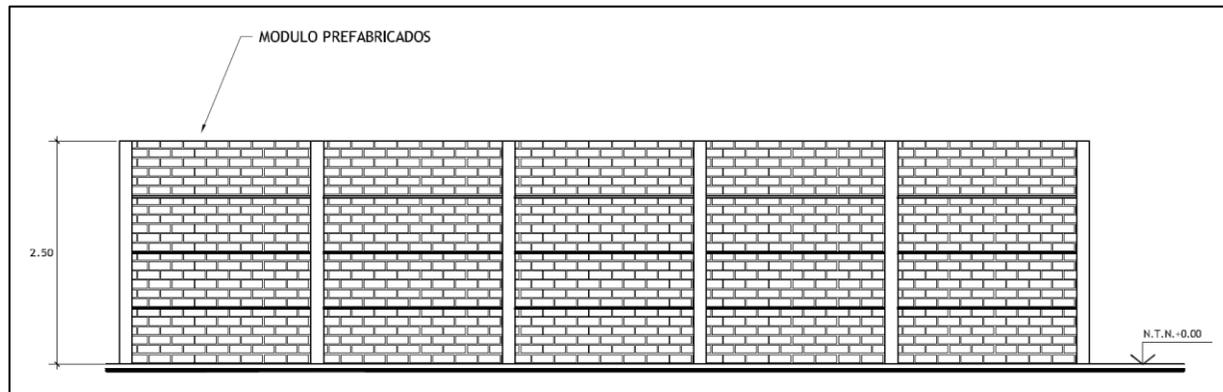


Figura 18: Vista de elevación horizontal de instalación de cerco perimétrico

Nota: Modelamiento con CAD por BEM SOLUTIONS

Como dato relevante debemos señalar que la mayoría de las instalaciones se realizaron en las zonas de terreno irregular e incluso con pendientes pronunciadas, como se puede apreciar a continuación:



Figura 19: Proceso de instalación de cerco perimétrico

Nota: Fotografía en obra por BEM SOLUTIONS

En efecto, pudimos advertir la versatilidad de este producto en campo, pero sobre todo resaltamos la capacidad que tuvo la cuadrilla de instalación para resolver los diferentes retos que nos propuso el terreno kilómetro tras kilómetro.



Figura 20: Módulo de prefabricados instalados en campo

FUENTE: BEM SOLUTIONS

Dentro de esta inversión se consideró el diseño y la fabricación de una mesa vibradora de concreto prefabricado; dos moldes de acero para postes y dos moldes de acero para placas, con el respectivo acabado de textura de ladrillo, los cuales en el proceso fueron cambiados por otros dos moldes distintos para los postes, pues los moldes iniciales no permitían que la mezcla saliera con facilidad del molde.

3.3. Alcance de la investigación

Para definir si el presente trabajo de suficiencia profesional será de alcance exploratorio, descriptivo, correlacional o explicativo, podemos recurrir a la doctrina que desarrolla el problema planteado en el desarrollo de la monografía. Así, la definición de la metodología del trabajo en mención “depende fundamentalmente de dos factores: el estado del conocimiento sobre el problema, así como la perspectiva que se pretenda dar al estudio” (Hernández Fernández y Baptista, 2014, p. 90).

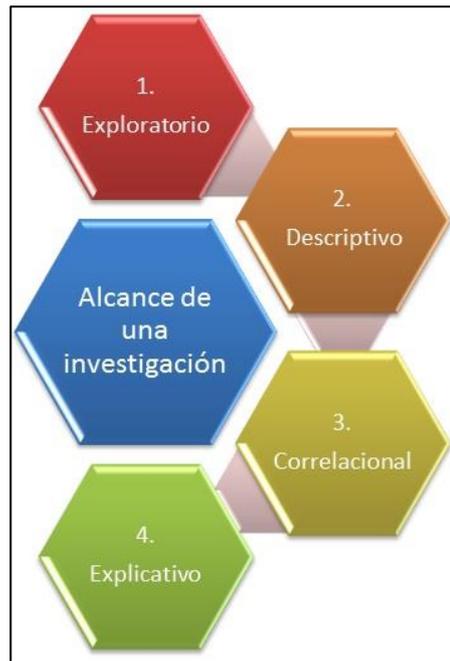


Figura 21: Alcance de la investigación

FUENTE: Hernández et al. (2014).

Al respecto, debemos señalar que un estudio de alcance exploratorio se realiza cuando el objetivo es examinar sobre un tema poco investigado, lo que permitirá generar una base para conocimientos futuros; por otro lado, un estudio de alcance descriptivo busca especificar las propiedades y características de cualquier fenómeno materia de estudio, el mismo que busca aportar el detalle que describa el comportamiento de ese fenómeno. El valor del estudio de alcance correlacional radica en poder predecir el comportamiento de una variable en función a otra. Posee, “en alguna medida, un valor explicativo, aunque parcial (...), pues hay otros factores vinculados” (Hernández *et al.*, 2014, pp. 94-95).

Un estudio de alcance explicativo “tiene como ventaja principal predecir la ocurrencia de determinados eventos dentro de una organización o conjunto de organizaciones” (Ponce & Pasco, 2015, p. 44).

Por lo expuesto, consideramos que el presente trabajo de suficiencia profesional clasificará como un estudio de alcance descriptivo, toda vez que está orientado a detallar la forma en cómo se diseñó y construyó la mesa vibradora, fundamentando tres de las cuatro fases del enfoque sistemático de G. Pahl y W. Beitz (Murat and Huseyin, 2014) en su libro

“*Engineering Design*”, y las cuales describimos a continuación:

- La clarificación y planificación de la labor, a partir de las necesidades de la labor que se quiere realizar;
- El diseño conceptual, a partir de la lista de requerimientos necesarios para cumplir con la labor; y,
- Las especificaciones del diseño preliminar y definitivo.

3.4. Planificación y clarificación de la labor

Vibrar el concreto reduce en número burbujas de aire atrapadas en la mezcla, lo que a su vez reduce la relación agua / cemento, y permite obtener un mejor acabado de las superficies en contacto con los moldes de acero de los postes y placas a fabricar, así como incrementa la resistencia y durabilidad del concreto.

La principal y única función que debe cumplir nuestra mesa es vibrar el concreto dentro del molde de manera uniforme. Pudimos haber construido una mesa estática y utilizar los vibradores de concreto, que hemos usado en otras obras adicionales requeridas por el cliente, pero esto no nos hubiera permitido cumplir con la homogeneidad del vibrado en todo el molde y además nos hubiera tomado mucho más tiempo en cuanto al ciclo de vibrado de cada pieza de prefabricado y nuestra planificación de tiempos de instalación se hubieran visto alterados por los tiempos de fabricación.

Conocíamos el taller de prefabricados que al inicio del proyecto recomendamos y habíamos visto que para su proceso productivo de prefabricados, contaban además de una mesa vibradora semejante a las que habíamos visto en imágenes por internet, con mezcladoras horizontales de concreto, bandas transportadoras de la mezcla de concreto y un pequeño cargador, pero estaban limitados de espacio pues su logística de entrega estaba circunscrita al tamaño de transporte y los caminos rurales de acceso hacia sus clientes.



Figura 22: Modelos de mesas vibratoras en internet

Nota: Google Search y mesas vibratoras de concreto

Entonces, teníamos una idea general de cómo debería ser la mesa vibradora, pero aún no habíamos aterrizado en los detalles ni tampoco estábamos seguros de si en la zona de trabajo encontraríamos todo lo necesario.

No obstante, habiendo hecho el ofrecimiento al cliente de fabricación “*in-situ*” y después de romper nuestra inercia psicológica buscando aclarar la diferencia entre concepto e idea, empezamos a utilizar la lógica TRIZ, es decir, a usar el conocimiento existente para generar soluciones ingeniosas e inventivas a partir de ello.

En efecto, gracias a estructuras anteriores de concreto, como pontones, canales y algunas vigas para portones de acero teníamos identificado que en la entrada de Imperial de Cañete existían dos proveedores de acero estructural, quienes se autoabastecían quincenalmente de SiderPeru, para láminas de acero y tubos de sección recta y de Aceros Arequipa, para acero de refuerzo del diámetro solicitado, tanto para placas como para postes. Asimismo, una cantera saliendo por la autopista Roma, hacia Imperial, donde una chancadora realizaba un segundo proceso de chancado que asegure que el diámetro de la piedra chancada prominente sea de ½ pulgada y no más grande que eso, donde conseguíamos el confitillo que se usa en afirmado de carreteras por si reducido diámetro de ¼ de pulgada, el cual es ideal para la construcción de placas prefabricadas por el requerimiento de espesor que necesita, arena

gruesa y arena fina de río; y, en la avenida Mariscal Benavides de San Vicente de Cañete un proveedor de cemento Andino Tipo V y cemento Sol Tipo I.

Como puede advertirse, el material pesado, estaba cubierto, en tanto lo conseguíamos de manera local y no teníamos que incurrir en gastos adicionales como flete.

Ahora bien, los resortes de compresión los mandábamos a fabricar en la avenida Argentina sito en Lima; asimismo, el motor necesario y la correa para hacer girar el tablero de la mesa, los adquiríamos de Siemens que ubicado en la avenida Separadora Industrial en el distrito de Ate.

De otro lado, el temporizador digital y guardamotor, así como los tableros eléctricos y cable vulcanizado 12 AWG trifásico con línea de aterramiento lo adquirimos en Promelsa, distrito de La Victoria; y, los kilos de electrodo supercito (elegidos por sus extraordinarias propiedades mecánicas) los encontramos en los Home Centers de Lima, en efecto, como puede advertirse ubicamos dichos componentes dentro del radio de la capital.

Finalmente, los elementos de transmisión de fuerza como las poleas, rodamientos y el elemento que producía la rotación excéntrica, que no era más que una masa adicional en uno de los cuadrantes de la polea posicionada sobre el eje de transmisión adherido al tablero de la mesa vibradora, los llevamos del distrito de Pisco, contando con un buen operador de torno, con alto grado de habilidad.

Con toda esa información ya podíamos ir definiendo nuestra lista de requerimientos, siendo entonces que, correspondía delimitar lo siguiente:

- La geometría, es decir, las dimensiones que debería tener la mesa vibradora;
- La cinemática, es decir, el tipo y la forma en que debía configurarse el desplazamiento del tablero para que generé el efecto de vibrar el concreto;
- La capacidad de carga, que debía soportar la masa del molde de poste o placa vaciado de concreto, el acero de refuerzo y, además la fuerza que ejercía el operador al usar el frotacho para uniformizar las paredes externas de la mezcla de concreto al

finalizar el último tiempo de vibrado;

- La energía, esto es el tipo de energía accionaria a la polea principal, eléctrica o mecánica;
- El material, es decir, cómo estaría configurada la estructura principal de la mesa vibradora;
- La seguridad, esto es, las consideraciones de seguridad para los operarios de la mesa vibradora;
- La producción, es decir, cómo íbamos a definir los ciclos de vibrado, vaciado, colocado de acero y el tener nuevamente un molde limpio y listo para un nuevo ciclo.
- La operación, en donde estaría ubicada la mesa vibradora; y,
- El cronograma, el mismo que proyectaría el tiempo de demora en obtener los componentes para empezar a construir la mesa vibradora hasta tenerla lista.

Como puede advertirse, se recopiló toda la información posible sobre la función a realizar, determinado las demandas (D) de producción en conjunto con nuestros deseos de optimización de procesos (W), clarificando la labor y estableciendo mediante algunas evaluaciones posibles nuestra lista de requerimientos, conforme se puede apreciar del cuadro siguiente:

Tabla 1: Lista de requerimientos para la mesa vibradora

Solicitud de cambios	Demanda (D) Deseo (W)	Requerimientos	Responsable
		1. Geometría	BEM SOLUTIONS
		Tablero con estructura base	
D		Longitud	3.00 metros
D		Ancho:	0.60 metros
D		Altura	0.80 metros
		2. Cinematica	
D		El movimiento generado por la rotación excéntrica	
D		y soportado por los resortes de compresion	
W		convirtiendolo en vibración implica un desplazamiento casi imperceptible pero de aproximadamente 5mm	
		3. Fuerzas	
D		Peso de postes:	140 kg
D		Peso de placas:	80 Kg
D		Peso de molves de postes:	30kg
D		Peso de moldes de placas:	20Kg
D		Paso maximo a soportar aprox:	170Kg
		4. Energia	
D		Contamos con energia eléctrica en el fundo	
		5. Materiales	
D		Planchas de acero negro	
D		Perfiles rectangulares y cuadrados de acero negro	
D		Resortes de compresion	
D		Tornillos y tuercas	
D		Motor electrico	
		6. Seguridad	
D		Seguridad del operador	
		7. Producción.	
		Producción diaria	
W		Cantidad de placas:	80
W		Cantidad de postes:	40
		8. Operación	
D		En la linea de producción	
		9. Cronograma	
D		Tiempo de construccion:	1 semana
D		Tiempo de pruebas:	1 semana
D		Tiempo de fabricación:	4 meses

Nota: Adaptado de Engineering Design: A Systematic Approach

3.5. Diseño conceptual

Definida nuestra lista de requerimientos, inicia nuestra fase de abstracción, combinando principios de trabajo con estructuras funcionales, teniendo en cuenta que la solución principal podría tomar diversas formas. No obstante, para darnos una idea general, la solución se puede representar de manera esquemática en el siguiente diagrama:



Figura 23: Proceso de elaboración de prefabricados

Nota: VSM elaborado por BEM SOLUTIONS

Cabe señalar que, ninguno de los pasos desde *INPUT* hasta el *OUTPUT*, debe omitirse para encontrar la solución más prometedora y las variantes que no cumplan con la lista de requerimientos que deben ser eliminadas. Para ello es necesario conocer el entorno de funcionamiento y las necesidades de espacio.

Asimismo, un punto relevante a considerar es que la mesa vibradora debe soportar la masa de moldes de acero con concreto premezclado en su interior, los cuales superan los 140 kg. En efecto, en el diseño se debe considerar construir dos tipos de moldes para las piezas de concreto previamente establecidos, los cuales serán:

- Moldes de acero de 2 metros de longitud por 0.50 metros de altura por 0.03 metros de espesor, para elaborar las placas prefabricadas de concreto armado; y,
- Moldes de acero con sección cuadrada de 0.14 por 0.14 metros y 3.40 metros de altura, para los postes prefabricados de concreto armado en forma de “H”.

Finalmente, consideramos relevante considerar los criterios técnicos y económicos inherentes a la mesa vibradora, pero sin definir un presupuesto definitivo, sino más bien tentativo, toda vez que ello permitirá aproximarnos a una solución a la cual llamaremos diseño preliminar.

3.6. Desarrollo del diseño conceptual

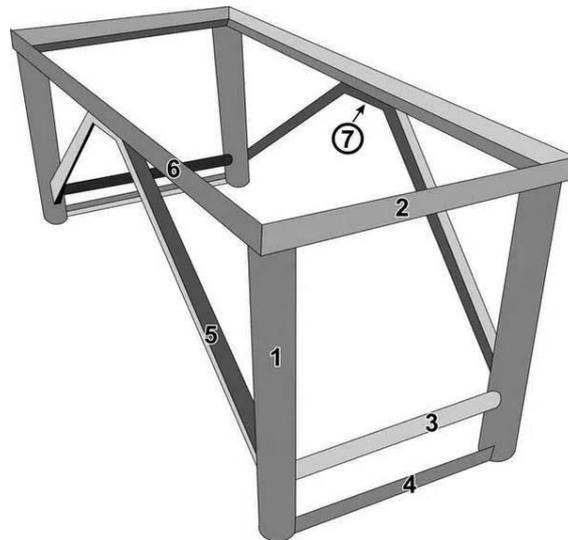


Figura 24: Diseño preliminar de la estructura principal de una mesa vibradora

FUENTE: <https://electric-in-home.com>

Consideramos que, resulta importante determinar las ventajas y desventajas de los materiales para la fabricación de la mesa vibradora a la luz de los criterios técnicos y económicos que hemos esbozado en el presente trabajo, siendo que, nuestra lista de verificación contempla: el cuerpo o estructura de la mesa, el tablero que transmite la vibración de los moldes con concreto, el sistema de rotación excéntrica, el motor, el temporizador, el guarda motor y el sistema eléctrico, como se podrá ver en el desglose siguiente:

El cuerpo o la estructura de la mesa, compuesta por:

- Tubos de acero cuadrado de 50 mm con espesor de 2 mm.
- Plancha de acero de 8 milímetros de espesor, en la parte inferior para soportar al

motor.

- Resortes helicoidales, para amortiguar el impacto del tablero.
- Pernos y tuercas de ½ pulgada de diámetro por 3 pulgadas de longitud.

El tablero de la mesa vibradora, compuesta por:

- Tubos de acero cuadrado de 50 mm.
- Plancha de acero de 4 milímetros de espesor, la cual tiene contacto con los moldes de concreto prefabricado.

El sistema de rotación excéntrica, compuesto por:

- Un motor siemens de 2 HP de potencia y 1720 rpm de velocidad.
- Poleas y rodamiento.
- Correa para la transmisión de potencia del motor de la polea motriz a la polea conducida, la cual esta embebida en un rodamiento.
- Contrapeso sobre eje conducido para dar la rotación excéntrica que se transmite como vibración excéntrica desde los resortes hasta el tablero.

Sistema eléctrico, compuesto por:

- Tomacorriente industrial.
- Cable vulcanizado trifásico INDECO de calibre 12 AWG.
- Temporizador, usado para controlar los tiempos de vibrado antes y después de la instalación de la armadura de refuerzo en la mezcla de concreto.
- Variador de velocidad a 1500 rpm.
- Guardamotor, usado para arrancar y parar el motor desde el ingreso del molde hasta la salida de la mesa.

El cuerpo de la estructura metálica, compuesto por un tablero de acero de superficie de 0.60 metros de ancho por 3 metros longitud, apoyado sobre 8 resortes, que vibrará por efecto de

rotación excéntrica, impulsada por un motor Siemens de alta velocidad y baja potencia (1720 rpm y 2 HP de potencia), que transmite su fuerza a través de una faja que, a su vez acciona una polea, la misma que tiene en uno de sus cuadrantes una pastilla que permite el efecto de rotación excéntrica mientras gira la polea, por espacios de tiempo de 30 segundos de llenado de moldes, 30 segundos de vibrado y colocación del acero de refuerzo, para finalmente alisar el mismo antes de ser volteado sobre un plástico que se ubicará en losas rígidas, y se pondrá a secar y curar durante 2 o 3 días, para luego ser apilados antes de su transporte local a la zona de instalación.

Esta estructura metálica, es la que conocemos, a través del presente proyecto de trabajo de suficiencia profesional, como “mesa vibradora”, la cual será diseñada y construida en obra, lo que nos permitirá para fabricar 1,230 toneladas de bloques de concreto adicionales y así culminar la labor en dieciséis meses con la instalación de 5,280 metros de longitud de cerco perimetral.

3.7. Características de diseño para la mesa vibradora: enfoque de rigidez y peso

Como ya lo hemos mencionado en la clarificación de la labor, es transcendental mantener la estabilidad de la mesa durante la función a realizar, la cual es, vibrar el concreto premezclado, durante el llenado parcial de los moldes, el colocado del acero de refuerzo y el llenado final hasta antes del frotachado, por ello la importancia en el enfoque de rigidez y peso durante la concepción del diseño de la mesa vibradora.

Este enfoque es importante, no debido a las cargas de diseño sino a la estabilidad de la mesa, debido a que ese movimiento oscilatorio, delimita que el diseño no sea para soporte de cargas sino para la estabilidad. En ese aspecto, el enfoque por carga de trabajo está asegurado en su totalidad, siendo que la mesa resiste las cargas en demasía pues el objetivo es su estabilidad.

En base a lo anterior, las exigencias quedan cumplidas dado que se ha encauzado más en que la estructura sea sumamente rígida y que tenga la masa suficiente para que las vibraciones no generen inestabilidad con el peso de trabajo, considerando que, de los materiales usados para su construcción, la masa de la mesa vibradora, en estructura supera los 189 kg.



Figura 25: Mesa vibradora

Nota: Fotografía en obra por BEM SOLUTIONS

En nuestro diseño, la pastilla excéntrica al eje de rotación que provoca el desequilibrio se fija al mismo eje ubicado debajo de la estructura del tablero. El motor eléctrico gira a una velocidad y revolución constantes gracias a la adición de un variador al sistema. Nuestro modelo construido presentado en la fotografía de la figura 25, cumple con las siguientes características:

- Motor: Marca Siemens; Potencia 2 HP; velocidad 1720 rpm; conexión 380 v trifásica.
- Dimensiones: 3,000 mm (largo) x 600 mm (ancho) x 800 mm (alto).
- Con vibración excéntrica simple con una pastilla de contrapeso.
- Tablero de plancha de acero estructural ASTM A36 de 4.4 mm de espesor.
- Capacidad de trabajo: 400 kg.
- Estructura: construida con tubos de acero cuadrado de 50 mm por 2.0 mm de espesor.
- Regulación de altura y nivel para el motor.
- Masa de la mesa: 189 kg.
- Amortiguación: 8 resortes de compresión.
- Correa: para unir las poleas al eje del motor.

Luego de las pruebas realizadas con los moldes de postes y placas llenos de mezcla de concreto, decidimos incrementar la carga colocando dos moldes para postes llenos de mezcla de concreto armado (masas de: 169 kg por molde de poste lleno de mezcla; y 62.18 kg de la plancha 4.4 mm sobre el tablero), con lo cual la estructura del tablero soportaba una masa aproximada de 400 kg en total, cumpliendo con el enfoque de rigidez y peso para la finalidad de trabajo.

Para el proceso de diseño, objetivo de la presente monografía, se utilizó el programa **Solidworks**. El diseño es un dispositivo vibrador tipo mesa que cumple con las dimensiones externas de nuestra mesa vibradora y lista de requerimientos. El diseño en Solidworks se muestra en la figura siguiente:

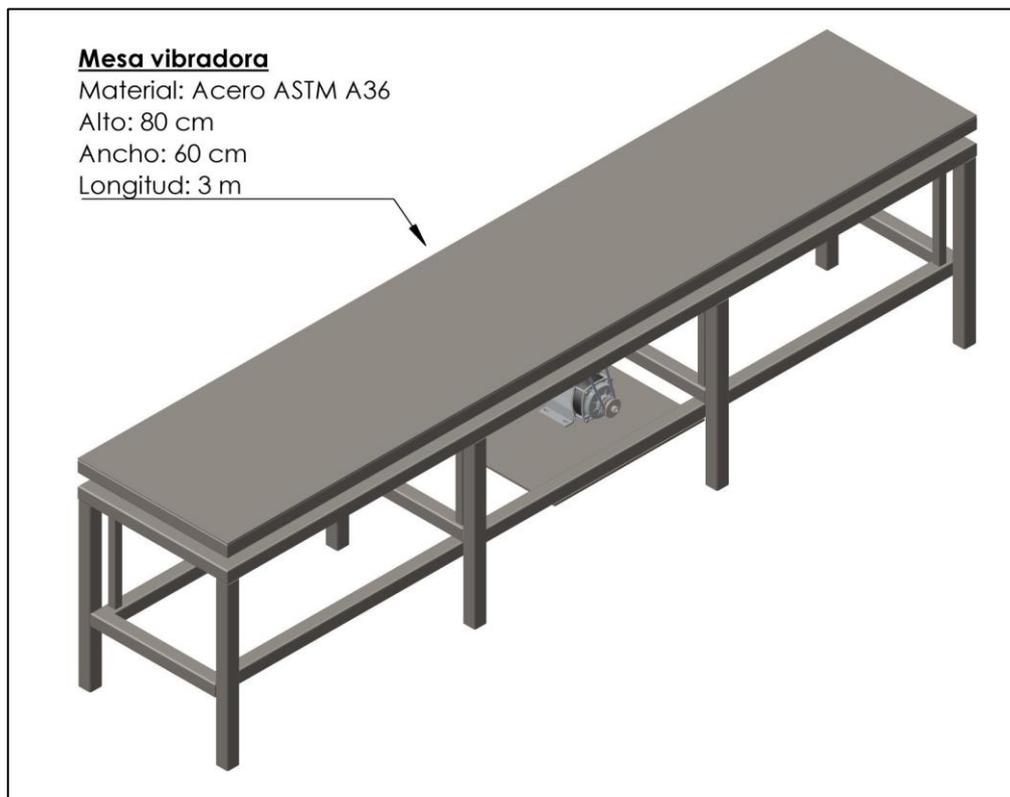


Figura 26: Diseño en Solidworks de la mesa vibradora

Nota: Modelamiento en Solidworks por BEM SOLUTIONS

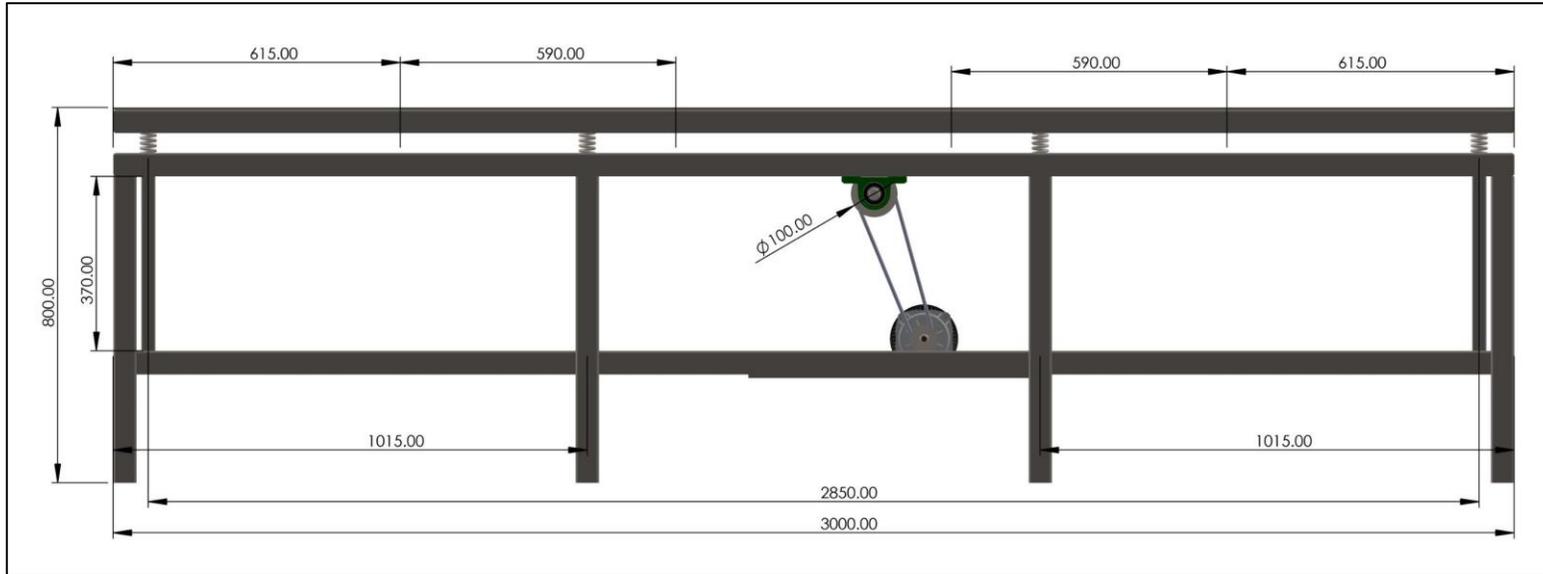


Figura 27: Vista frontal de la mesa vibradora en Solidworks

Nota: Modelamiento en Solidworks por BEM SOLUTIONS

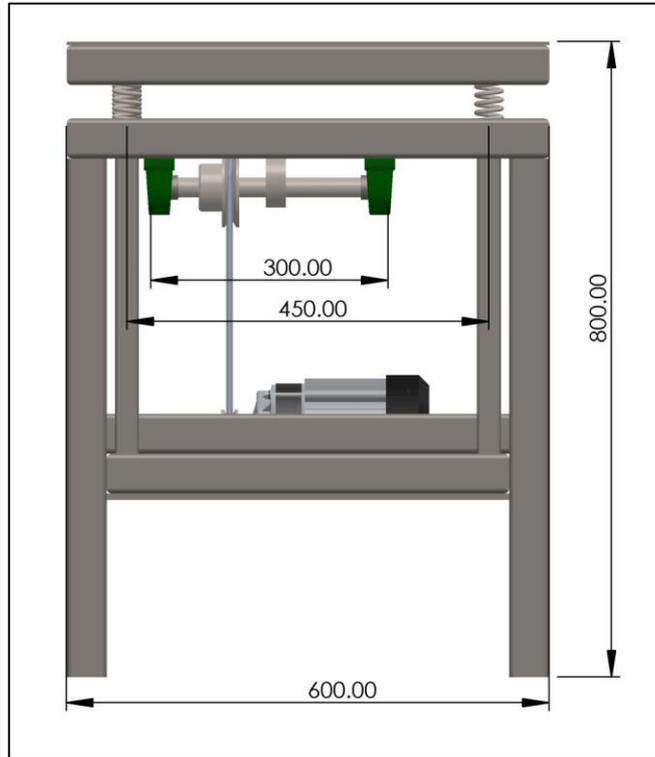


Figura 28: Vista lateral de la mesa vibradora en Solidworks

Nota: Modelamiento en Solidworks por BEM SOLUTIONS

Posteriormente, y como indicamos en el párrafo anterior, analizaremos ahora el comportamiento de la estructura con el peso de trabajo mencionado de 400 kgf.

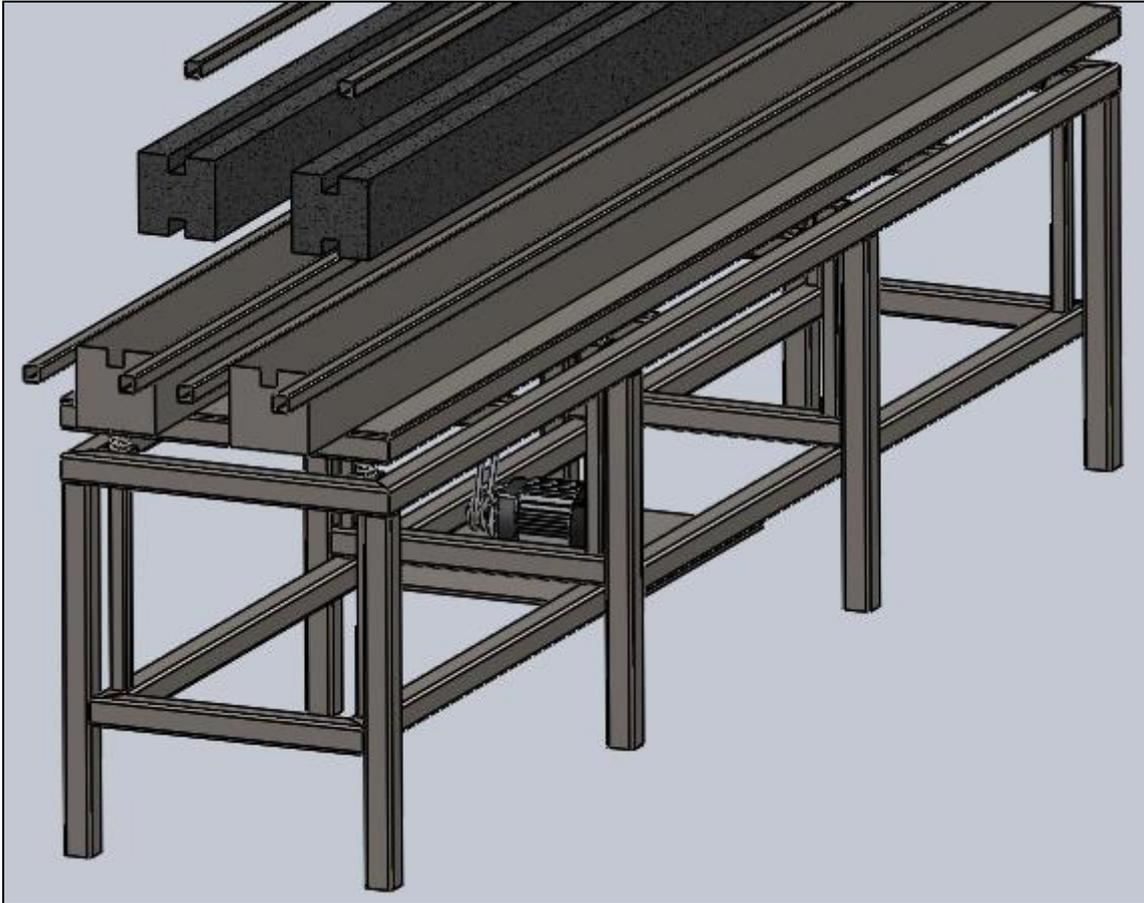


Figura 29: Mesa vibradora en Solidworks al doble de su capacidad de trabajo

Nota: Modelamiento en Solidworks por BEM SOLUTIONS

La finalidad del presente análisis es ubicar el elemento crítico a través de los diagramas de fuerza cortante y momento flector, obtenidos del programa Solidworks. En la figura 29, se observa el diseño de la mesa vibradora con el doble de su capacidad de trabajo.

Considerando que: la estructura principal de la mesa está soportando la plancha de metal de 3000 x 600 x 4.4 mm de 62.18 kg de masa, la estructura del tablero compuesto por perfiles cuadrados de 50 x 2 mm de acero ASTM A36, de 29.33 kg de masa, dos moldes para postes de concreto de 3200 mm de largo de 44.35 kg de masa, los cuales sobresalen de la estructura de la mesa, la mezcla de concreto y las varillas de acero de refuerzo de 124.65 kg de masa aproximada considerando que el peso del concreto premezclado es de 2300 kg/m³; mostraremos los diagramas de fuerza cortante y momento flector de cada uno de los elementos en el orden mencionado.

Iniciaremos nuestro análisis con la estructura principal de la mesa, para lo cual teniendo en cuenta que son ocho los resortes que separan la estructura del tablero a la estructura de la mesa, aplicaremos la fuerza de 0.44 kg/cm², conformados por el peso de 400 kgf entre los 900 cm de longitud que conforman los perfiles de la parte superior de la estructura de la mesa:

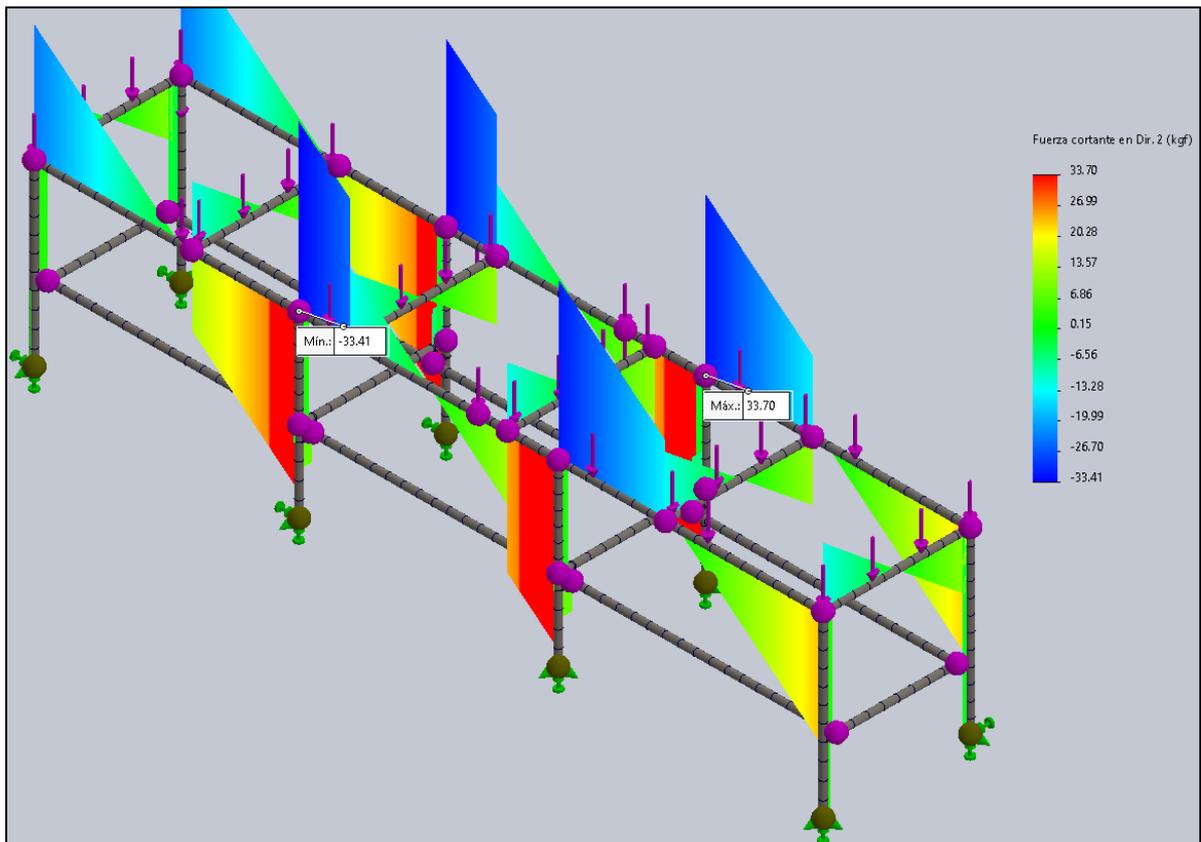


Figura 30: Diagrama de fuerza cortante en la estructura de la mesa

Nota: Análisis estático en Solidworks por BEM SOLUTIONS

En este diagrama podemos apreciar una fuerza cortante máxima de 33.70 kg análisis con la estructura principal de la mesa, presentada en los largueros superiores de la misma.

Del mismo modo, procederemos a revisar el valor del momento flector máximo obtenido de Solidworks, donde podremos apreciar el momento máximo de 596.69 kgf-cm (Figura 31).

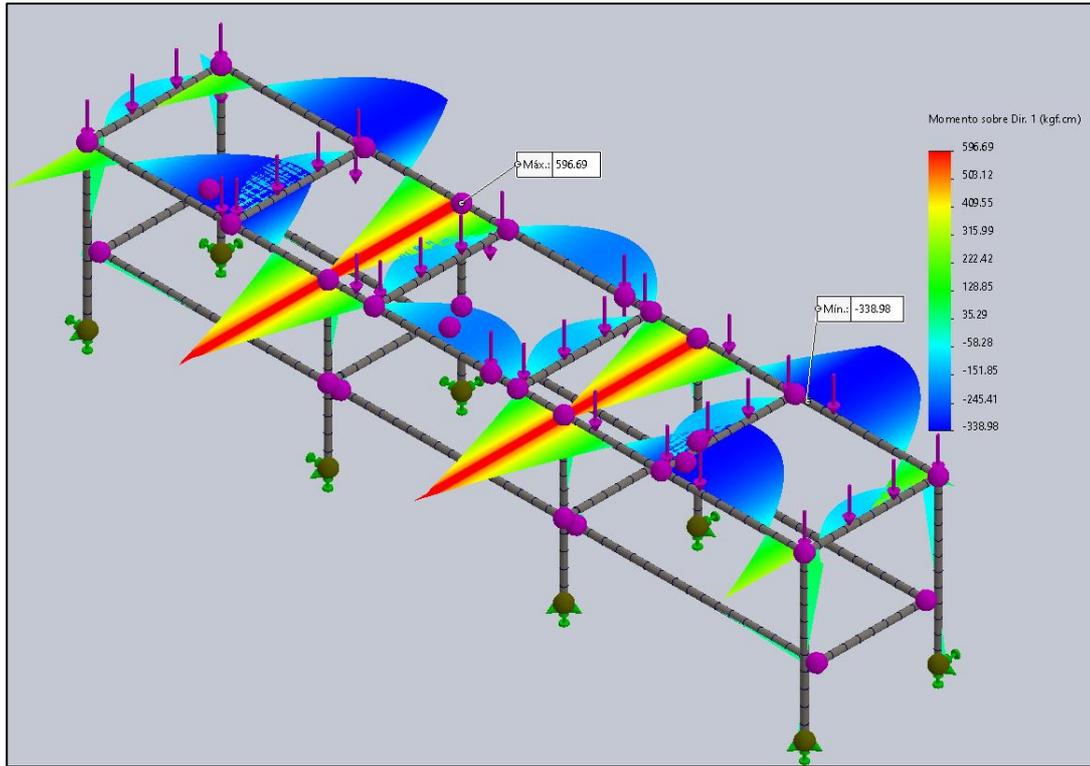


Figura 31: Diagrama de momento flector en la estructura de la mesa

Nota: Análisis estático en Solidworks por BEM SOLUTIONS

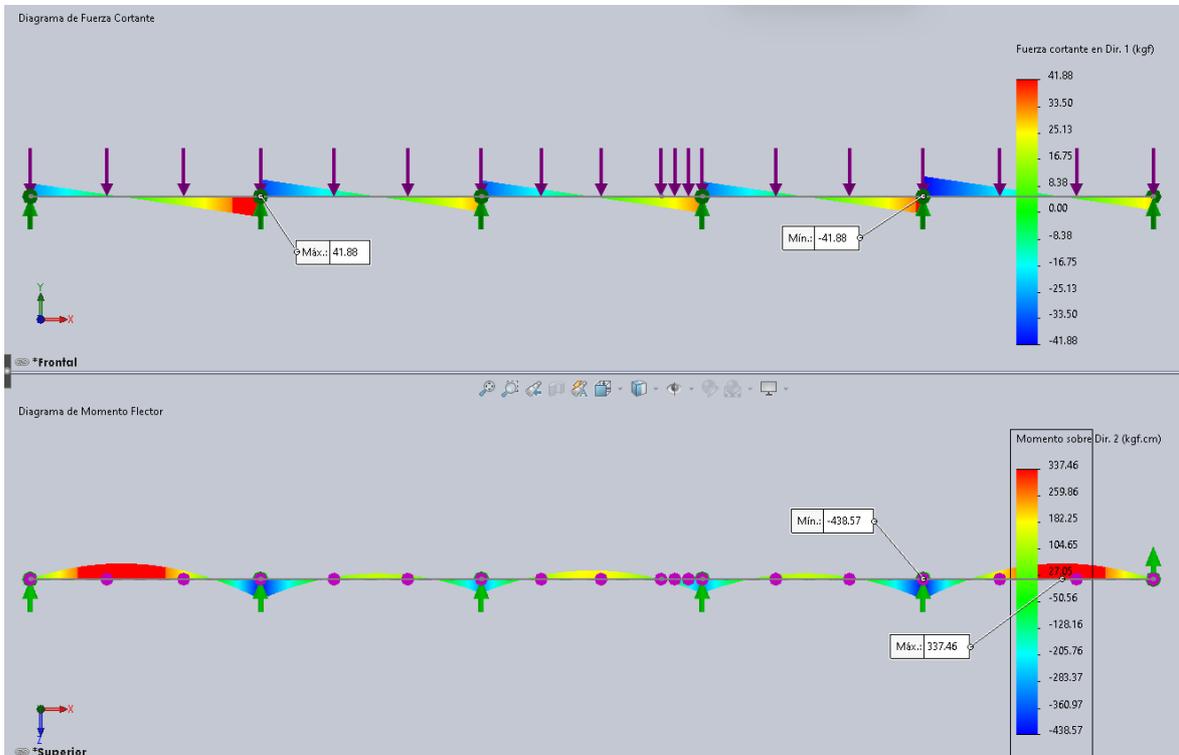


Figura 32: Diagrama de fuerza cortante y momento flector en la plancha de 4.4 mm

Nota: Análisis estático en Solidworks por BEM SOLUTIONS

En la Figura 32 podemos apreciar los valores máximos de 41.88 kgf y 438.57 kgf-cm correspondientes a fuerza cortante y momento flector, respectivamente, luego de realizar el análisis estático de la plancha de acero ASTM A36 de 4.4 mm de espesor, considerando la carga de 1.13 kgf/cm proporcionados por la masa de los dos moldes para postes con la respectiva mezcla de concreto armado en los 300 cm de longitud de la mesa vibradora; y como ambos valores máximos se encuentran en el mismo punto de apoyo (travesaño de tablero), realizaremos un análisis estático para esa sección de perfil cuadrado de acero ASTM A36 de 500 x 50 x 2 mm.

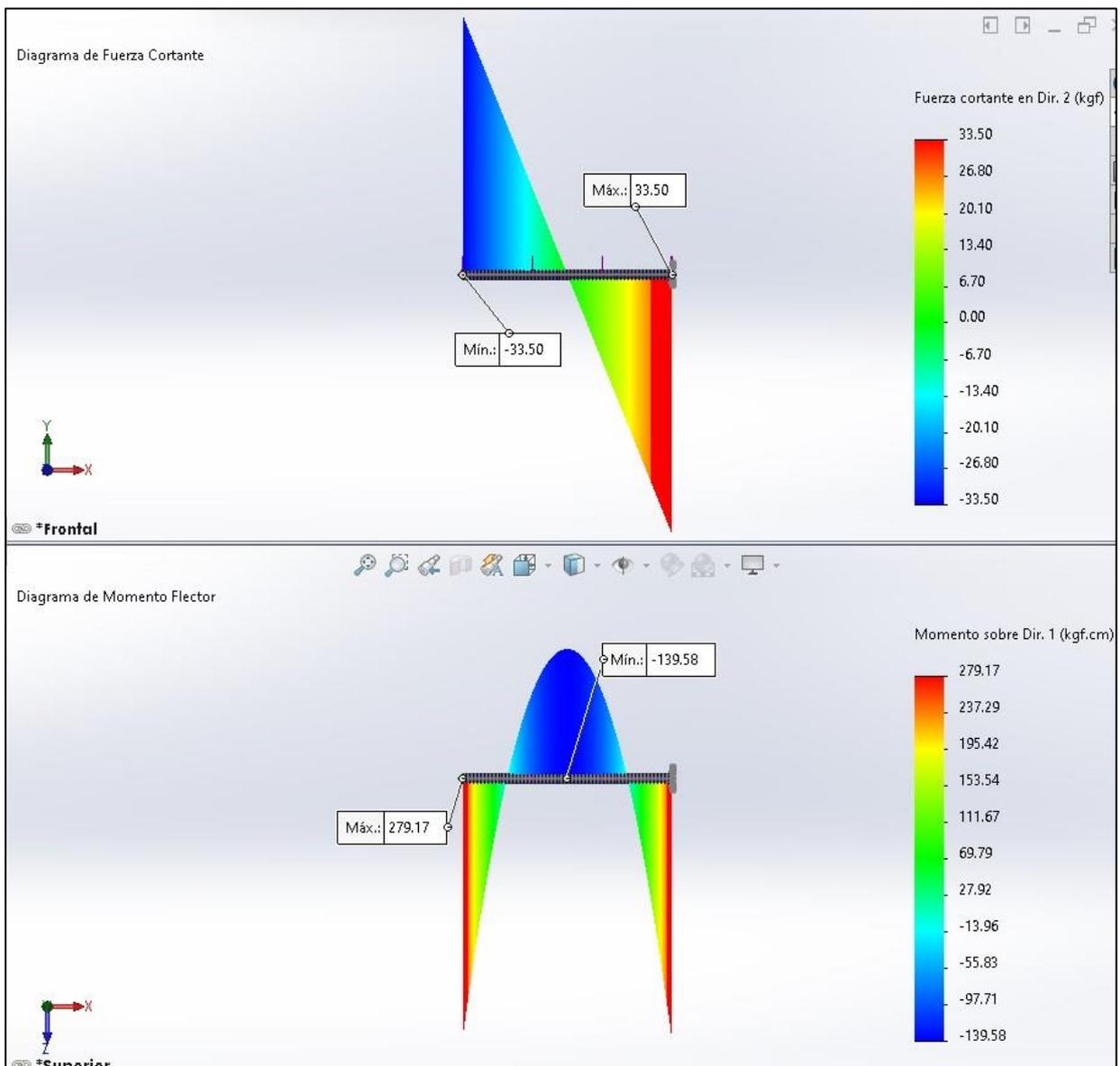


Figura 33: Diagrama de fuerza cortante y momento flector en travesaño de tablero

Nota: Análisis estático en Solidworks por BEM SOLUTIONS

Del análisis estático realizado, se puede apreciar una fuerza cortante máxima de 33.50 kgf, y un momento flector máximo de 297.17 kgf-cm.

De la misma manera, procederemos a realizar el análisis de rigidez para la estructura del tablero. Solidworks está listo para el análisis con el módulo de simulación del software. Se creó un modelo también con uniones rígidas para el análisis y el sistema para analizar es la condición donde dos moldes de postes están llenos de mezcla de concreto armado. Este sistema también fue analizado en el módulo de análisis estático.

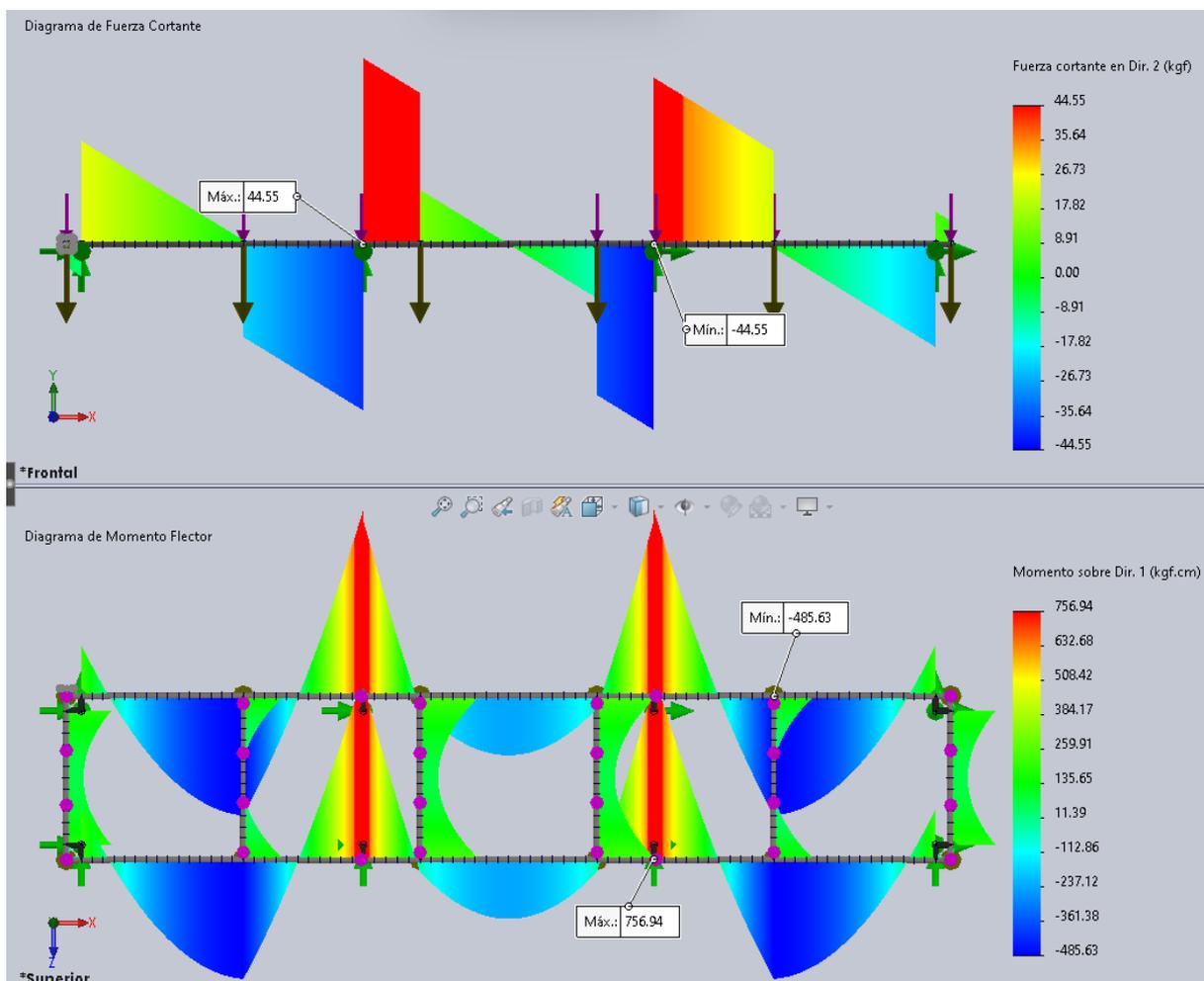


Figura 34: Diagrama de fuerza cortante y momento flector en la estructura del tablero

Nota: Análisis estático en Solidworks por BEM SOLUTIONS

A partir del análisis, donde se puede apreciar que ocurren los esfuerzos máximos, el valor de fuerza cortante más alto fue 44.55 kgf, y el valor del momento flector máximo fue de 756.95 kgf-cm con la carga mencionada. Por tanto, la estructura del tablero es el elemento

crítico.

En la Figura 35 se muestra la distribución completa de cargas, las cuales se reparten conforme a las longitudes de los largueros y los travesaños ($400 \text{ kg} / 900 \text{ cm} = 0.44 \text{ kg/cm}$); y adicionalmente, cargas puntales en cada uno de los extremos de los travesaños ($0.44 \text{ kg/cm} / 25 \text{ cm} = 11.11 \text{ kg}$).

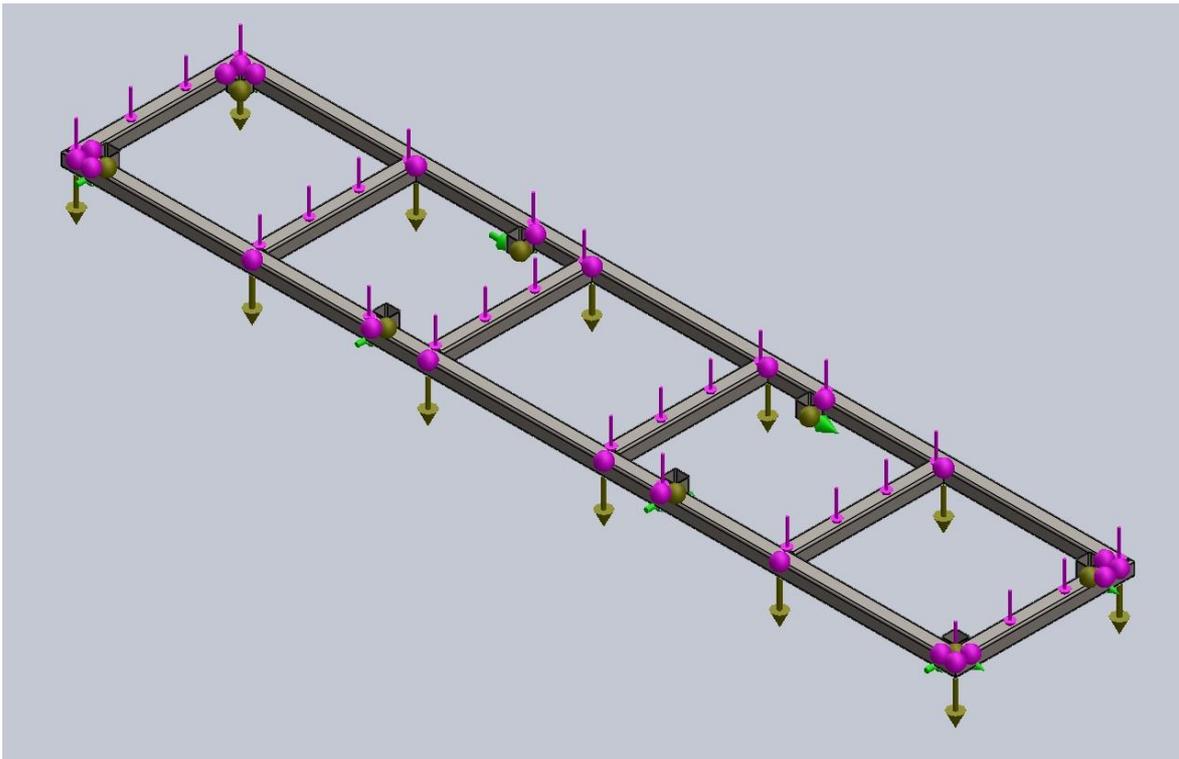


Figura 35: Sección transversal de máxima probabilidad de falla

Nota: Distribución de cargas en Solidworks por BEM SOLUTIONS

También, la Figura 35 representa la sección transversal de máxima probabilidad de falla, es decir, la sección transversal crítica donde la fuerza cortante y momento flector son máximos, y para esta sección transversal el factor de seguridad es de 18.55.

El factor de seguridad en mención se puede apreciar en la figura siguiente:

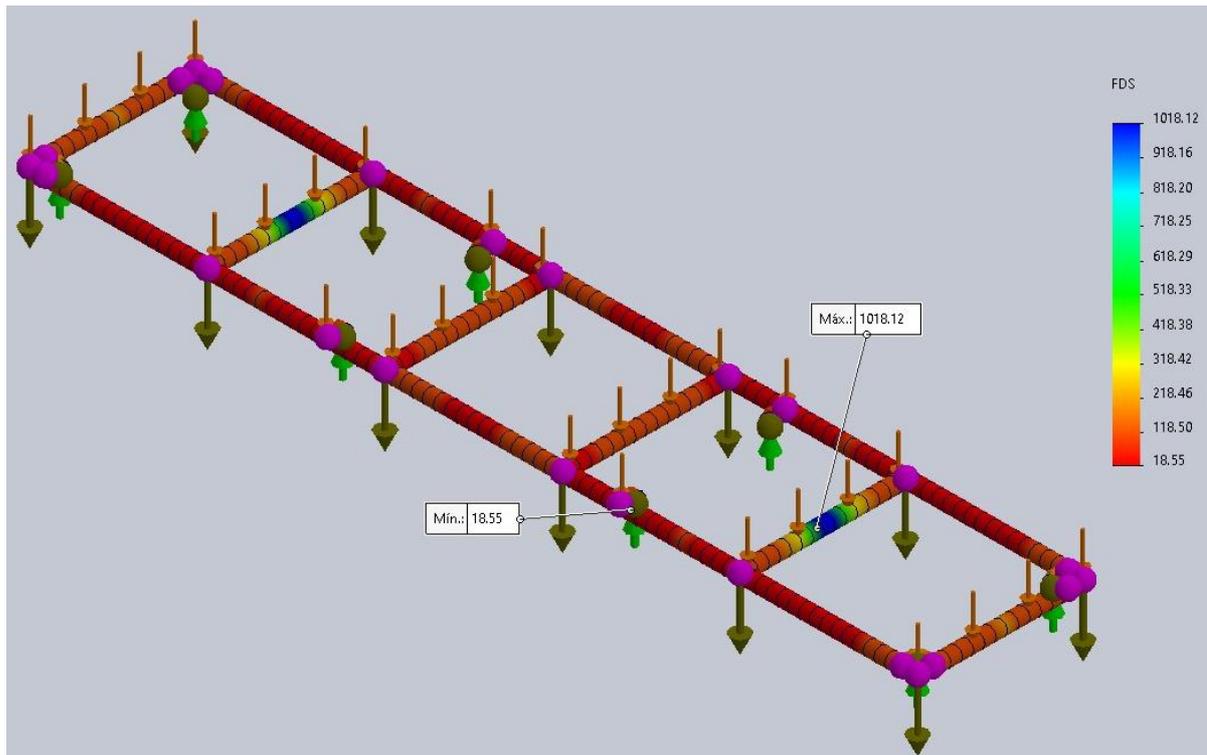


Figura 36: Factor de seguridad

Nota: Análisis estático en Solidworks por BEM SOLUTIONS

3.8. Características de diseño para los moldes

Para la construcción de los moldes de postes y placas, usados en la fabricación de concreto prefabricado, se utilizaron los siguientes materiales:

- Plancha de acero estructural ASTM A36 de 3 mm de espesor.
- Plancha de acero estructural ASTM A36 de 2 mm de espesor.
- Varilla lisa de $\frac{3}{4}$ ".
- Platinas de $\frac{3}{4}$ " x $\frac{3}{16}$ " x 6 m.
- Platinas de 2" x 1.8" x 6 m.
- Tubo de acero cuadrado de 30 mm por 2 mm de espesor.
- Base zincromato industrial.
- Pintura acrílica.

3.8.1. Propiedades geométricas y dimensionales

Moldes para placas

Los moldes para las placas de prefabricado tiene 2,000 mm de largo, 500 mm de ancho y 35mm de alto para darle el espesor necesario a la placa. Estos moldes contaban con dos asas en ambos extremos menores, para cargar el molde y voltearlo.



Figura 37: Molde para placas

Nota: Fotografía en obra por BEM SOLUTIONS

Moldes para postes

Los moldes para los postes de prefabricado tiene 3,200 mm de largo, y una sección en “H” de 140 x 140 mm. Estos moldes contaban con dos barras en ambos extremos menores, para cargarlo y voltearlo antes del secado y curado.



Figura 38: Molde para postes

Nota: Modelamiento en Solidworks por BEM SOLUTIONS

3.8.2. Consideraciones para la no adherencia de la mezcla al molde

Uno de los desmoldantes para encofrado, metálico, fenólico, o de madera de fácil acceso incluso en entorno rural, siempre ha sido el petróleo. El desmoldante es un producto utilizado para evitar que la mezcla de concreto se pegue a los moldes, prolongando el uso de este y permitiendo un buen acabado de la cara visual del concreto.

Básicamente usamos el petróleo en obra como desmoldante pues, ahorramos tiempo buscando otro tipo de producto y mano de obra especializada para acarrearlo. Además, no mancha la mezcla de concreto y su aplicación es sencilla y rápida.

3.9. Planos

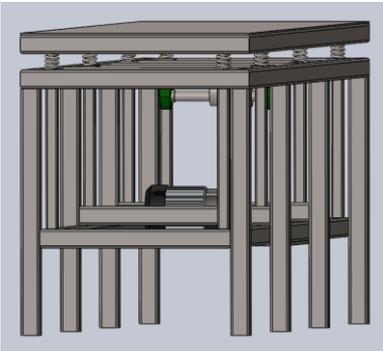
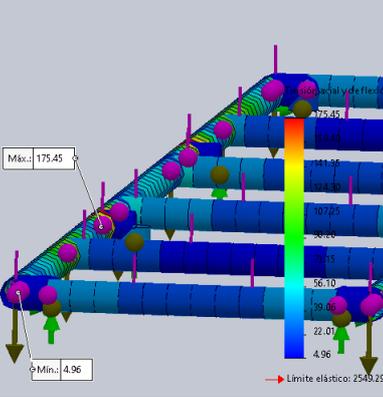
Las vistas de planos del diseño de la mesa vibradora, los cuales fueron elaborados en Solidworks para su posterior análisis de rigidez, se encuentran ubicados en la sección destinada a los anexos del presente trabajo de suficiencia profesional y el siguiente orden:

Tabla 2: Vistas en planos de la mesa vibradora y moldes

Ítem	Nº de plano	Descripción del plano	Formato	Tipo
1	IA-E1	Vista isométrica del ensamble general y explosionado	A4	Ensamble
2	IA-E2	Vista frontal y lateral del ensamble e isométrica de los moldes	A4	Ensamble

3.9.1. Especificaciones de la mesa vibradora

Tabla 3: Especificaciones de la mesa vibradora

		<p>Dimensiones generales</p> <p>Largo: 3000 mm</p> <p>Ancho: 600 mm</p> <p>Alto: 800 mm</p> <p>Masa: 189 kg</p>
<p>Diseño estructural</p>		<p>Dimensiones del tablero de trabajo</p> <p>Largo: 3000 mm</p> <p>Ancho: 600 mm</p> <p>Sección del perfil: 50 mm</p> <p>Masa: 29.33 kg</p> <p>Carga de trabajo: 400 kg (11.11 kg/cm)</p> <p>Tensión axial máx: 175.45 kg/cm²</p> <p>Diseño de trabajo</p> <p>Factor de seguridad: 18.55</p>
<p>Motor</p>		<p>Motor eléctrico trifásico</p> <p>Potencia máxima: 2 HP</p> <p>Velocidad nominal: 1720 rpm</p> <p>Tensión: 380 V</p> <p>Frecuencia de trabajo: 60 Hz</p>

3.10. Costos de fabricación

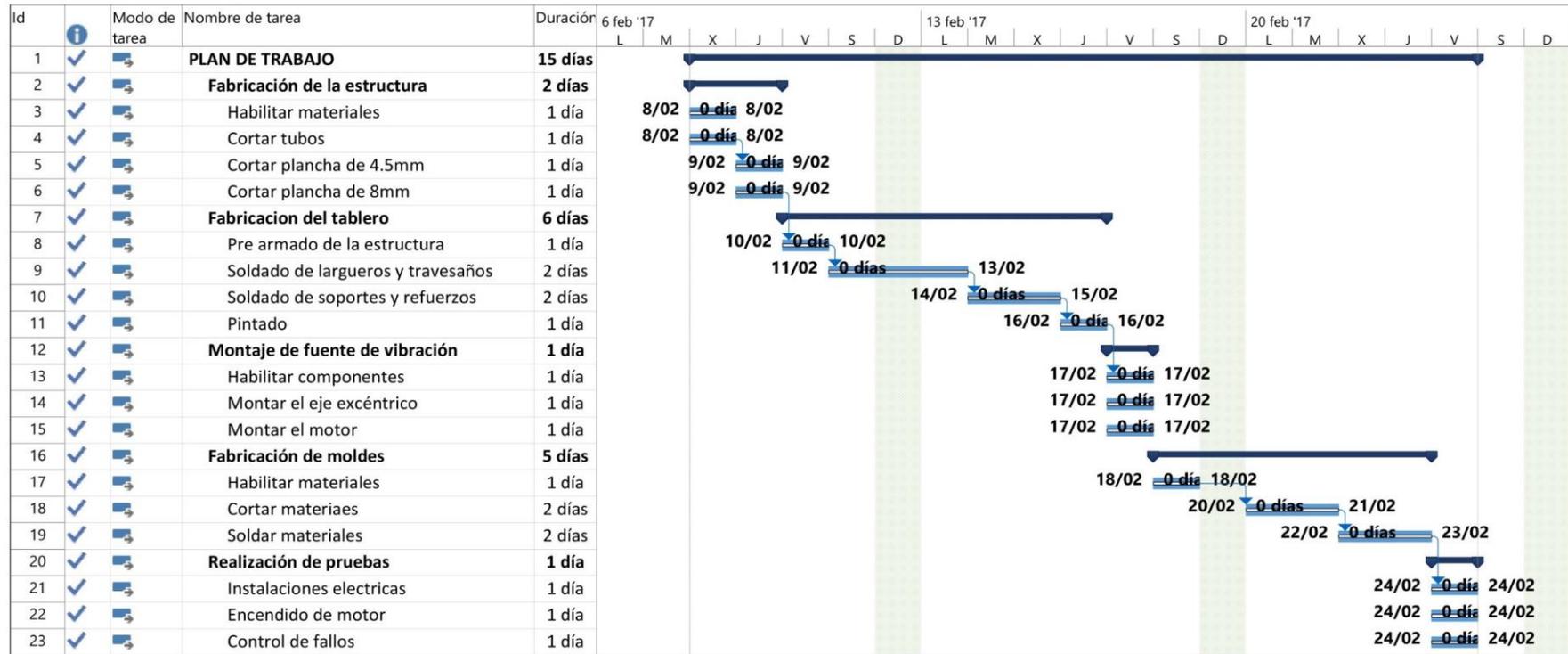
Este ítem está destinado al aspecto relacionado con la implementación y construcción en obra de la mesa vibradora, para lo cual en los subsiguientes puntos realizaremos una breve descripción de los recursos, así como de los costos necesarios para el fin mencionado.

3.10.1. Plan de trabajo para la construcción de la mesa vibradora

El plan de trabajo se distribuye en cinco etapas, fabricación de la estructura de la mesa, fabricación del tablero, montaje de la fuente de vibración, fabricación de los moldes para postes y placas; así como, la etapa de realización de las pruebas.

En la tabla siguiente se muestra la lista de actividades específicas de cada una de las etapas, así como los tiempos estimados, considerando la disponibilidad de equipos necesarios para cada actividad

Tabla 4: Plan de trabajo para la construcción de la mesa vibradora



Nota: Cronograma elaborado por BEM SOLUTIONS

3.10.2. Costos de fabricación de la mesa vibradora

Para calcular el costo de construcción de la mesa vibradora es necesario considerar los costos unitarios de cada uno de los materiales que la conforman, así como los recursos necesarios de la mano de obra y equipos durante las labores de corte, armado, soldado y acabo final. Es necesario recalcar que la inversión fue realizada por la empresa BEM SOLUTIONS, la misma que fue recuperada durante los trabajos de fabricación e

instalación del cerco prefabricado.

Tabla 5: Costo directo para la construcción de la mesa vibradora

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UN.	CANTIDAD	P. UNIT.	P. PARCIAL	
1.00	Mesa para vibrado					
1.00.1	PLANCHA ACERO NEGRO LAC 4.5 x 1220 x 2400 mm (3/16)	m2	18.00	S/.	2,886.56	
1.00.2	PLANCHA ACERO NEGRO LAC 8.0 x 1220 x 2400 mm (5/16")	m2	0.30	S/.	68.03	
1.00.3	TUBO ACERO NEGRO ELECTROS. CUADRADO 50 x 2.0 mm	m	32.00	S/.	1,425.33	
1.00.4	TUBO ACERO NEGRO ELECTROS. CUADRADO 30 x 2.0 mm	m	2.20	S/.	115.49	
1.00.5	ELECTRODO SUPERCITO 7018 1/8"	kg	2.00	S/.	39.62	
1.00.6	MOTOR ELECTRICO TRIFASICO SIEMENS 2HP 1720RPM	unid	1.00	S/.	640.00	
1.00.7	RESORTES DE COMPRESION D=31MM L=150MM	unid	8.00	S/.	250.00	
1.00.8	PINTURA C/ZINC CROMATO Y ESMALTE	m2	29.00	S/.	396.14	
				COSTO DIRECTO	S/.	5,821.17

Nota: Presupuesto elaborado por BEM SOLUTIONS

Hoy en día, el mercado cuenta con una cantidad significativa de fabricantes de mesas vibradoras, de donde podemos resaltar los diseños de HORMI PLAC, un emprendimiento argentino impulsado en el 2019, el cual tiene una presentación interesante gracias a los medios digitales.

Presentamos sus diseños: por ejemplo, de 125 kg (Figura 39), 100 kg (Figura 40) y un modelo exclusivo para baldosas y revestimientos (Figura 41).



Figura 39: Mesa vibradora de 125kg

FUENTE: HORMI PLAC



Figura 40: Mesa vibradora de 100kg

FUENTE: HORMI PLAC



Figura 41: Mesa vibradora de para baldosas y revestimientos

FUENTE: HORMI PLAC

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados

- Durante el diseño, construcción y puesta a prueba de la mesa vibradora, advertimos la existencia de accesorios que no funcionaban como lo esperábamos, por lo que, se tuvo que mandar a fabricar dos juegos adicionales de resortes de compresión, cada uno con niveles de dureza menores, puesto que los iniciales eran demasiado duros y los tiempos de vibrados eran muy extensos, siendo que, la fabricación de estos resortes de compresión se hacía en Lima, ya que no encontramos oferta en la localidad de Cañete.
- La estructura es estable, la mesa vibradora es capaz de mantener en pie, sin volcarse, resiste las cargas y permite realizar la labor de vibración con dos postes de concreto durante la jornada de trabajo.
- Como puede advertirse, el plan inicial era fabricar diariamente 80 placas de concreto de y 40 postes de concreto con sección "H", siendo que, luego de 22 jornadas de trabajo se pudo cumplir únicamente con el 56% de la fabricación de placas y el 54% de la fabricación de postes por día, lo cual nos llevó a estructurar una solución más eficaz que nos ayude a optimizar los recursos.
- Con el uso del software Solidworks, pudimos realizar el análisis de rigidez, identificar cual era la sección transversal de máxima probabilidad de falla, siendo aquella donde se ubican las cargas máximas, para así obtener el factor de seguridad de 18.55.

4.2. Discusiones

- Para reducir el *takt time* de fabricación de postes y placas, y poder llegar a la meta diaria, fue necesario implementar el sistema de control de tiempos de vibrado mediante un temporizador digital programable y un guarda motor, que active el inicio de la jornada de trabajo, así como otras mejoras, por lo que fue necesario invertir en investigación que nos permitiese adoptar una solución sostenible en el tiempo.
- En el mercado local de hace cinco años, pensar en buscar una mesa vibradora capaz de cumplir con la finalidad mostrada, era un gasto innecesario pues no había fabricantes patentados, solo técnicos y artesanos que podrían realizar la labor, sin mayor garantía que la de solo presentar el producto.
- Desde el 2019, en Argentina, surge un pequeño emprendimiento conocido hoy en día como HORMI PLAC, donde podemos encontrar una variedad de dispositivos de vibración tipo mesa para diferentes productos relacionados al sector industrial de la construcción.
- Como los resortes de compresión estaban soldados por ambos extremos de la longitud libre, tanto a la estructura de la mesa como al tablero, el cambio implicaba una jornada de fabricación perdida entre las diferentes labores de corte, limpieza y nuevamente soldadura del nuevo juego de resortes, siendo que, con el segundo nivel de dureza fue suficiente para reducir los tiempos de vibrado y optimizar la meta diaria de fabricación, aspecto que debemos resaltar como parte de la metodología constructiva para la generación de ideas y solución de problemas.

V. CONCLUSIONES

- La Teoría de la Resolución Inventiva de Problemas, traducción literal del idioma ruso del acrónimo TRIZ, del autor Genrikh Saulowitsch Altshuller, nos permite advertir que, si queremos adoptar soluciones innovadoras, podemos usar el conocimiento existente para generar ideas que revisten de ingenio y carácter inventivo, no conformándonos con las soluciones y/o salidas que puedan pre existir, sino ideando y esbozando algunas que revistan de novedad y resulten atractivas en los procesos de optimización de recursos.
- Resulta primordial el seguimiento de la metodología Lean Manufacturing, en lo referido al respeto a las personas que forman parte de un proyecto o de una organización, como pilares importantes para el éxito durante la ejecución de determinado proyecto, por lo que, se debe salvaguardar a cada miembro de un equipo de trabajo, generando confianza en todos los niveles de la organización y promoviendo un ambiente competitivo.
- A través del diagrama de Ishikawa, realizado en gabinete, pudimos advertir los factores externos que imposibilitaban que se llegue a la meta diaria propuesta, partiendo de la baja motivación del personal de construcción civil, el lento incremento de la curva de aprendizaje, el paradigma de su metódica de trabajo, la poca disponibilidad de agua en el fundo del cliente, hasta el hecho de que al cierre de la jornada, los moldes de las piezas de concreto como la mezcladora no se limpiaban para la jornada siguiente.
- La construcción de la mesa vibradora y las piezas prefabricadas “en el sitio” permiten que determinada unidad productiva optimice sus recursos, ahorrando en gastos de transporte, tiempos de instalación, entre otros, por lo que, consideramos relevante las empresas del rubro de la construcción tengan en cuenta que para su fabricación se

requiere de una distribución homogénea del concreto premezclado en moldes, así como también diseñados en acero; asimismo, respecto de la necesidad de construir las losas de concreto armado luego de cada proceso de colocación de armadura de refuerzo y posterior vibrado.

- Durante el proceso de fabricación de los moldes de los postes, resaltamos el aspecto de que el ángulo de los bordes haya sido recto, toda vez que imposibilitaba el descenso de la masa de concreto, generando que aportaremos medio centímetro por lado para así facilitar el descenso de la masa de concreto sobre la losa de secado. Asimismo, durante el proceso de vibrado de concreto nos percatamos que los resortes eran demasiado duros, acortando las direcciones de desplazamiento del tablero de la mesa vibradora y por ende reduciendo el vibrado del mismo, incrementando los tiempos de este, por tanto, fue necesario reducir la dureza de los resortes de compresión, lo que destacamos como aspectos a ser considerados por la industria de la construcción durante el proceso de diseño y construcción de una mesa vibradora.
- El software Solidworks, es una herramienta infaltable para todos los profesionales que desarrollan proyectos en CAD y requieren un modelado mecánico, puesto que sus modelos matemáticos integrados permiten realizar diferentes tipos de análisis, como son análisis estático, análisis térmico, estudios de frecuencia entre otros.

VI. RECOMENDACIONES

- Consideramos relevante que las empresas tomen en consideración el enfoque sistemático de diseño de ingeniería de Pahl y Beitz, para el diseño y construcción de dispositivos de vibración tipo mesa, en tanto que las unidades productivas económicas busquen optimizar la entrega de piezas de concreto prefabricado a sus diversos clientes, contando con una solución innovadora y que permite promover la competitividad en la industria local.
- Consideramos de oportuno alcance que la mesa vibradora sea ensamblada por partes desmontables, generando su fácil transporte, esto es, que inicialmente se defina que la estructura de la mesa vibradora debe unirse con soldadura para hacer todos sus componentes de una sola pieza, por su masa y las dimensiones permitiendo su ensamblaje y un sencillo almacenamiento.
- Consideramos relevante que la Facultad de Ingeniería Agrícola evalúe implementar en los laboratorios de cómputo y en la curricular de la carrera profesional, la práctica de la herramienta Solidworks, pues en conjunto con las herramientas de Autodesk para los cursos de dibujo técnico, coadyuvaría a una mayor comprensión del análisis de rigidez en el curso de análisis de máquinas y mecanismos.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABB. (2022). Process Automation. Recuperado de <https://new.abb.com/south-america/sobre-nosotros/negocios/process-automation>
- Altshuller, G.S. (1998). 40 Principles: TRIZ Keys to Technical Innovation, Technical Innovation Center, Worcester.
- Hernández, R., Fernández, C. & Baptista, P. (2014). Metodología de la investigación. México D.F.: McGraw Hill.
- Ilevbare, I., Probert, D., Phaal, R. (2013). A review of TRIZ, and its benefits and challenges in practice. *Technovation*. Volume 33. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2012.11.003>
- Mayda, M. and Borklu, H.R. (2014). Development of an innovative conceptual design process by using Pahl and Beitz's systematic design, TRIZ and QFD. *JSME*, Vol 8, No.3. DOI: <https://doi.org/10.1299/jamdsm.2014jamdsm0031>
- León-Rovira, N. and Aguayo, H. (1997). A New Model of the Conceptual Design Process Using QFD/FA/TRIZ. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey
- Pahl, G. and Beitz, W. (1996). Engineering design - a systematic Approach. 2Rev.ed. London. Springer-Verlag.
- Savransky, S.D. (1998). TRIZ, The Triz Experts, Fremont.
- Terninko, J. (1998). The QFD, TRIZ and Taguchi Connection: Customer-Driven Robust Innovation, TRIZ Journal. <http://www.triz-journal.com>
- Webinar. (junio 2020). Realidad de los Prefabricados en el Perú. Expositor: Ing. Fabian Agudelo. UNICOM.

VIII. ANEXOS

Mesa vibradora

Material: Acero ASTM A36
Alto: 80 cm
Ancho: 60 cm
Longitud: 3 m

Excéntrico vibrador simple

Material: Acero Aleado
Longitud de eje: 35 cm
Diámetro de rodamientos: 25 mm
Diámetro de pastilla de contrapeso: 70 cm
Garganta de polea: 21.6 mm

Estructura del tablero

Material: Acero ASTM A36
Perfil cuadrado: 50 x 2 mm
Ancho de estructura: 60 cm
Longitud: 3 m

Tablero

Material: Acero ASTM A36
Espesor: 4.4 mm
Ancho: 60 cm
Longitud: 3 m

Resortes de compresión

Material: Acero Aleado
Longitud del muelle: 142 mm
Diámetro del muelle: 30.1 mm
Diámetro de alambre: 6 mm
Pasos: 7mm / 11 mm

Estructura de la mesa
Material: Acero ASTM A36
Perfil cuadrado: 50 x 2 mm
Alto: 70 cm
Ancho: 60 cm
Longitud: 3 m

Motor Trifásico

Marca: Siemens
Potencia: 2 HP
Velocidad: 1720 rpm

MATERIAL	COMONENTE	
Acero ASTM A36	Mesa Vibradora	
N° DE PLANO	UNIDADES	PESO (Kg)
IA - E1	mm	189.00



MESA VIBRADORA

Material: Acero ASTM A36

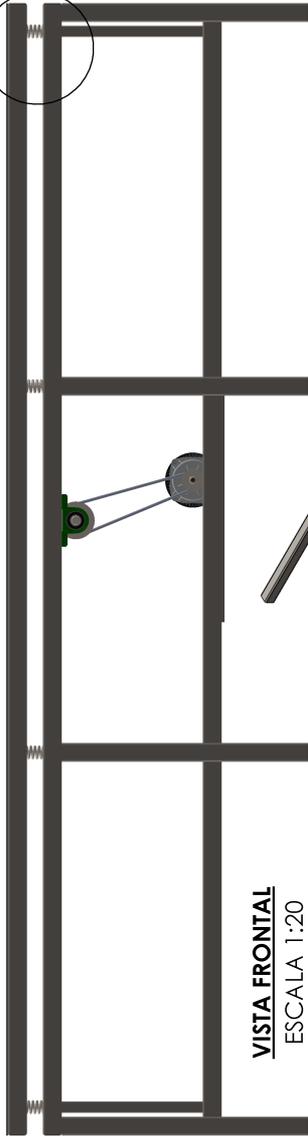
Alto: 80 cm

Ancho: 60 cm

Longitud: 3 m

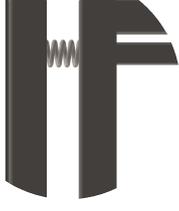
VISTA FRONTAL

ESCALA 1:20



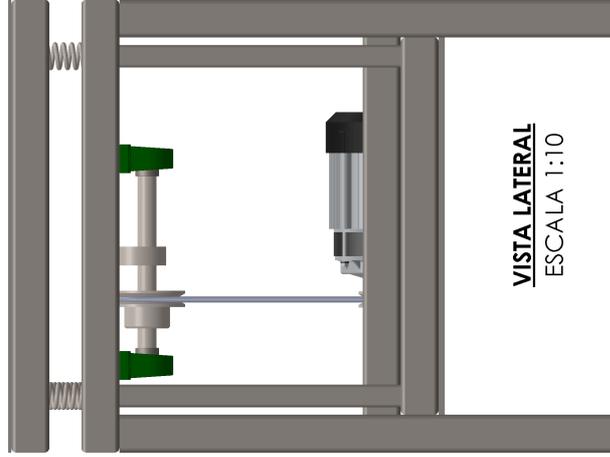
DETALLE D

ESCALA 1:10

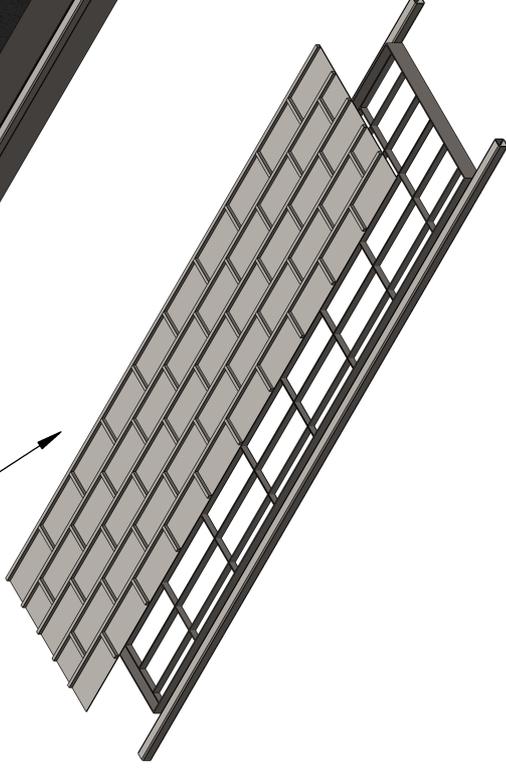


VISTA LATERAL

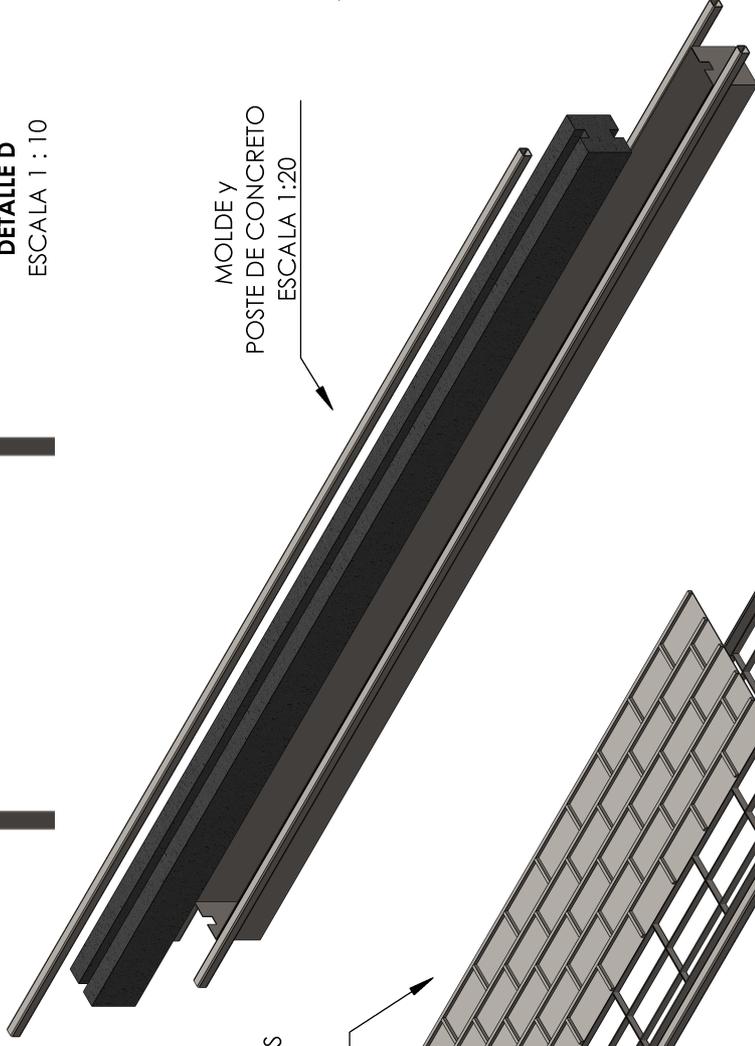
ESCALA 1:10



MOLDE PARA PLACAS
DE CONCRETO
ESCALA 1:20



MOLDE Y
POSTE DE CONCRETO
ESCALA 1:20



MATERIAL		COMPONENTE	
Acero ASTM A36	Mesa Vibradora	UNIDADES	PESO (Kg)
N° DE PLANO IA - E2		mm	189.00



Laminados en Caliente

BOBINAS Y PLANCHAS LAC

DENOMINACIÓN:

BLAC A36, PLAC A36.

DESCRIPCIÓN:

Bobinas y Planchas de acero laminadas en caliente con bordes de laminación.

USOS:

Se usa en la fabricación de tubos, perfiles plegados, asimismo luego de su corte en planchas, se emplea en la construcción de silos, carrocerías y construcción en general.

NORMAS TÉCNICAS:

DESIGNACIÓN	NORMAS TÉCNICAS
Estructural	ASTM A36 y Dimensiones según JIS G3193-2008

COMPOSICIÓN QUÍMICA (%):

CALIDAD ASTM	%C	%Mn MÁX.	%P MÁX.	%S MÁX.	Si MÁX.
A36	0.25 máx.	-	0.040	0.050	0.40

DIMENSIONES NOMINALES:

BOBINAS LAMINADAS EN CALIENTE (BLAC A36)
1.5 x 1200 mm
1.8 x 1200 mm
1.9 x 1200 mm
2.0 x 1200 mm
2.2 x 1200 mm
2.3 x 1200 mm
2.4 x 1200 mm
2.5 x 1200 mm
2.9 x 1200 mm
4.4 x 1200 mm
5.9 x 1200 mm

PLANCHAS LAMINADAS EN CALIENTE (PLAC A36):

DIMENSIONES (mm)	PESO TEÓRICO EN kg/plancha				TOLERANCIA EN EL ESPESOR (mm)	ESPESOR EQUIVALENTE Ó APROXIMADO
	1,200 x 2,400 (mm)	1,200 x 6,000 (mm)	1,500 x 6,000 (mm)	2,400 x 6,000 (mm)		
1.5*	33.91				±0.18	1/16"
1.8*	40.69				±0.19	9/128"
1.9*	42.96				±0.19	9/128"
2.0*	45.22	113.04			±0.20	5/64"
2.2*	49.74	124.34			±0.20	2/23"
2.3*	52	130			±0.20	1/11"
2.4*	54.26	135.65			±0.20	3/32"
2.5*	56.52	141.3			±0.22	3/32"
2.9*	65.56	163.91			±0.22	1/8"
3.0*			211.95		±0.22	1/8"
3.9*	88.17	220.43			±0.24	5/32"
4.0*			282.6		±0.45	5/32"
4.4*	99.48	248.69			±0.45	3/16"
4.5*			317.93		±0.45	3/16"
4.8*			339.12		±0.45	3/16"
5.0*				565.20	±0.50	3/16"
5.9*	133.39	333.47			±0.50	1/4"
6	135.65	339.12	423.9		0.8/0.3	1/4"
6.35	143.56	358.9			0.8/0.3	1/4"
6.4			452.16	723.46	0.8/0.3	1/4"
8	180.86	452.16	565.2	904.32	0.8/0.3	5/16"
9	203.47		635.85	1,017.36	0.8/0.3	3/8"
9.5			671.18	1,073.88	0.8/0.3	3/8"
12	271.3		847.8	1,356.48	0.8/0.3	1/2"
12.5			883.13	1,413.00	0.8/0.3	1/2"
16	361.73		1,130.40	1,808.64	0.8/0.3	5/8"
19			1,342.35	2,147.76	0.8/0.3	3/4"
20	452.16			2,260.80	0.9/0.3	3/4"
22			1,554.30	2,486.88	0.9/0.3	7/8"
25	565.2		1,766.25	2,826.00	1.0/0.3	1"
32	723.46		2,260.80	3,617.28	1.3/0.3	1 1/4"
38	859.1		2,684.70	4,295.52	1.5/0.3	1 1/2"
50	1,130.40		3,532.50	5,652.00	1.8/0.3	2"
63	1,424.30		4,450.95	7,121.52	2.4/0.3	2 1/2"
75	1,695.60		5,298.75	8,478.00	2.8/0.3	3"
100	2,260.80		7,065.00	11,304.00	3.5/0.3	4"
125			8,831.25	14,130.00	3.5/0.3	5"
150	3,391.20		10,597.50	16,956.00	3.5/0.3	6"

(*) Dimensiones bajo norma JIS G3193

QCQA01-F202/04/SEP 20 - QCQA01-F201/05/SEP 20

Previo acuerdo se comercializa en otras medidas.

Laminados en Caliente

BOBINAS Y PLANCHAS LAC

PROPIEDADES MECÁNICAS:

CALIDAD	NORMA	LÍMITE DE FLUENCIA MPa (kg/mm ²)	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN MPa (kg/mm ²)	ALARGAMIENTO EN 200 mm (%)	DOBLADO A 180°
Estructural	ASTM A36	250 mín. (25.50 mín.)	400 - 550 (40.80 - 56.10)	20 mín.	Sin fisura (*)
Estructural	ASTM A1011/A1011M SS36 Tipo 2	250 mín. (25.50 mín.)	400 - 550 (40.80 - 56.10)	16 mín.	Sin fisura (*)
Estructural	ASTM A1011/A1011M Grado 36 Tipo 2	250 mín. (25.50 mín.)	400 - 550 (40.80 - 56.10)	18 mín.	Sin fisura (*)

TOLERANCIAS DIMENSIONALES:

Según JIS G3193-80.

Según ASTM A6 para espesores mayores o iguales a 6mm.

QCQA01-F202/04/SEP 20 - QCQA01-F201/05/SEP 20



ISO 9001
ISO 14001
ISO 45001

CERTIFICATE N° 57219
CERTIFICATE N° 57220
CERTIFICATE N° 57221

PERÚ

LIMA: Av. Antonio Miró Quesada N.° 425, piso 17, Magdalena del Mar. Tel. (51-01) 517 1800.

PISCO: Panamericana Sur, Km. 241, Ica. Tel. (51-056) 58 0830.

AREQUIPA: Variante de Uchumayo Km 5.5, Cerro Colorado, Arequipa. Tel. (51-01) 517 1800.

BOLIVIA

LA PAZ: Calle E - Lote 14, manzano A-08, Urbanización Cervecería Boliviana Nacional - Bellavista Viacha. Tel. (591) 7555819/77641658.

SANTA CRUZ: Urb. Parque Industrial Latinoamericano, Unidad Industrial UI 06, Mz. 1, lote 4 - Warnes. Tel. (591) 7555819/77641656.

COCHABAMBA: Calle Tte. Monasterios S/N Zona la Maica - Cochabamba. Tel. (591) 7555819/69417963. E-mail: contactobolivia@caa.com.bo

COLOMBIA

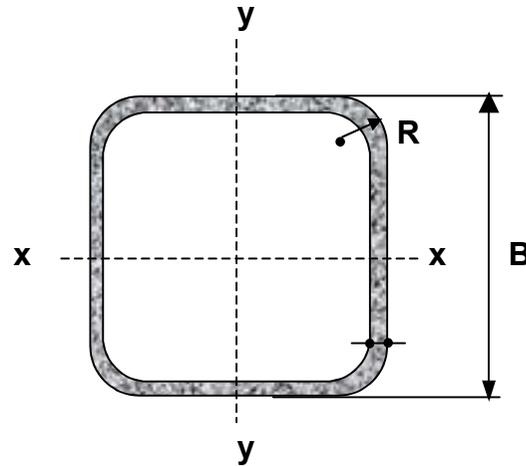
CALI: Cra. 25, N.° 13-117, Yumbo, Parcelación Industrial la Y, Valle del Cauca-Colombia. Tel. (57) 324 4214893.

E-mail: contactocolombia@acerosamerica.com

CHILE

ANTOFAGASTA: Ruta A-26 KM 2.4, El Salar. Tel.: (56) 939249279. E-mail: contacto@acerosamerica.com

Tubos de acero
Sección
Cuadrada
IRAM-IAS
U 500-218
U 500-2592



B = Ancho exterior
t = Espesor de pared
R = Radio de esquina exterior = **2,00 t**
p = Área exterior por metro lineal
A = Sección bruta
g = Peso por metro lineal
I = Momento de Inercia
S = Módulo elástico resistente
r = Radio de giro
Z = Módulo plástico
J = Módulo de Torsión
C = Constante torsional

B [mm]	t [mm]	p [m ² /m]	Ag [cm ²]	g [Kg/m]	I_x=I_y [cm ⁴]	S_x=S_y [cm ³]	r_x=r_y [cm]	Z_x=Z_y [cm ³]	J [cm ⁴]	C [cm ³]
15	0.70	0.058	0.388	0.304	0.130	0.173	0.579	0.206	0.203	0.285
	0.90	0.057	0.487	0.382	0.158	0.210	0.569	0.254	0.248	0.355
	1.25	0.056	0.647	0.508	0.197	0.263	0.552	0.327	0.315	0.465
20	0.90	0.077	0.667	0.523	0.399	0.399	0.773	0.473	0.622	0.654
	1.25	0.076	0.897	0.704	0.513	0.513	0.756	0.621	0.810	0.871
	1.60	0.075	1.112	0.873	0.607	0.607	0.739	0.752	0.968	1.068
25	0.90	0.097	0.847	0.665	0.809	0.647	0.977	0.759	1.253	1.043
	1.25	0.096	1.147	0.901	1.058	0.847	0.960	1.010	1.657	1.403
	1.60	0.095	1.432	1.124	1.274	1.019	0.943	1.237	2.013	1.736
	2.00	0.093	1.737	1.364	1.483	1.186	0.924	1.468	2.363	2.085
30	0.90	0.117	1.027	0.806	1.433	0.956	1.181	1.113	2.210	1.521
	1.25	0.116	1.397	1.097	1.895	1.263	1.165	1.492	2.949	2.059
	1.60	0.115	1.752	1.375	2.307	1.538	1.148	1.842	3.620	2.565
	2.00	0.113	2.137	1.678	2.720	1.813	1.128	2.208	4.304	3.105

B	t	p	Ag	g	Ix=Iy	Sx=Sy	r_x=r_y	Zx=Zy	J	C
[mm]	[mm]	[m ² /m]	[cm ²]	[Kg/m]	[cm ⁴]	[cm ³]	[cm]	[cm ³]	[cm ⁴]	[cm ³]
40	1.25	0.156	1.897	1.489	4.694	2.347	1.573	2.737	7.244	3.746
	1.60	0.155	2.392	1.877	5.791	2.895	1.556	3.412	8.999	4.703
	2.00	0.153	2.937	2.306	6.935	3.468	1.537	4.136	10.857	5.745
	2.50	0.151	3.589	2.817	8.209	4.104	1.512	4.971	12.958	6.971
50	1.60	0.195	3.032	2.380	11.698	4.679	1.964	5.462	18.064	7.480
	2.00	0.193	3.737	2.934	14.137	5.655	1.945	6.664	21.970	9.185
	2.50	0.191	4.589	3.602	16.931	6.773	1.921	8.078	26.507	11.221
	3.20	0.189	5.727	4.495	20.387	8.155	1.887	9.895	32.211	13.891
60	1.60	0.23	3.67	2.88	20.67	6.89	2.37	7.99	31.78	10.90
	2.00	0.23	4.54	3.56	25.13	8.38	2.35	9.79	38.84	13.43
	2.50	0.23	5.59	4.39	30.32	10.11	2.33	11.93	47.18	16.47
	3.20	0.23	7.01	5.50	36.91	12.30	2.30	14.74	57.92	20.52
	4.00	0.23	8.55	6.71	43.52	14.51	2.26	17.66	68.87	24.84
80	2.00	0.31	6.14	4.82	61.67	15.42	3.17	17.85	94.67	24.31
	2.50	0.31	7.59	5.96	75.10	18.78	3.15	21.90	115.90	29.97
	3.20	0.31	9.57	7.51	92.65	23.16	3.11	27.30	143.98	37.62
	4.00	0.31	11.75	9.22	110.96	27.74	3.07	33.09	173.72	45.96
	4.76	0.30	13.74	10.79	126.70	31.67	3.04	38.22	199.62	53.48
90	2.50	0.35	8.59	6.74	108.50	24.11	3.55	28.01	166.95	38.22
	3.20	0.35	10.85	8.51	134.42	29.87	3.52	35.02	208.17	48.09
	4.00	0.35	13.35	10.48	161.80	35.96	3.48	42.60	252.30	58.92
	4.76	0.34	15.65	12.28	185.67	41.26	3.44	49.39	291.27	68.75
	6.35	0.34	20.21	15.86	229.17	50.93	3.37	62.30	363.45	87.88
100	3.20	0.39	12.13	9.52	187.17	37.43	3.93	43.70	289.03	59.84
	4.00	0.39	14.95	11.73	226.20	45.24	3.89	53.31	351.52	73.48
	4.76	0.38	17.55	13.78	260.58	52.12	3.85	61.98	407.25	85.94

B	t	p	Ag	g	Ix=Iy	Sx=Sy	r_x=r_y	Zx=Zy	J	C
[mm]	[mm]	[m ² /m]	[cm ²]	[Kg/m]	[cm ⁴]	[cm ³]	[cm]	[cm ³]	[cm ⁴]	[cm ³]
100	6.35	0.38	22.75	17.86	324.36	64.87	3.78	78.67	512.33	110.39
110	3.20	0.43	13.41	10.52	252.17	45.85	4.34	53.34	388.47	72.87
	4.00	0.43	16.55	12.99	305.74	55.59	4.30	65.23	473.79	89.64
	4.76	0.42	19.45	15.27	353.32	64.24	4.26	76.00	550.44	105.02
	6.35	0.42	25.29	19.85	442.81	80.51	4.18	96.94	696.88	135.45
120	4.00	0.47	18.15	14.25	402.03	67.00	4.71	78.34	621.49	107.40
	5.00	0.46	22.36	17.55	485.14	80.86	4.66	95.48	754.89	131.77
	6.00	0.46	26.43	20.75	561.74	93.62	4.61	111.67	879.44	155.12
	8.00	0.45	34.19	26.84	696.31	116.05	4.51	141.28	1101.89	198.73
	10.00	0.45	41.42	32.52	807.47	134.58	4.42	167.31	1288.84	238.14
	12.00	0.44	48.13	37.78	896.91	149.49	4.32	189.89	1440.40	273.26
140	4.00	0.55	21.35	16.76	651.26	93.04	5.52	108.17	1002.82	147.72
	5.00	0.54	26.36	20.69	790.05	112.86	5.48	132.33	1223.68	181.77
	6.00	0.54	31.23	24.52	919.78	131.40	5.43	155.38	1432.50	214.64
	8.00	0.53	40.59	31.86	1153.05	164.72	5.33	198.19	1813.95	276.81
	10.00	0.53	49.42	38.80	1353.13	193.30	5.23	236.73	2147.06	334.14
	12.00	0.52	57.73	45.32	1522.01	217.43	5.13	271.13	2431.84	386.54
150	4.00	0.59	22.95	18.01	807.39	107.65	5.93	124.88	1241.25	170.28
	5.00	0.58	28.36	22.26	981.52	130.87	5.88	153.01	1517.32	209.77
	6.00	0.58	33.63	26.40	1145.12	152.68	5.84	179.94	1779.59	248.00
	8.00	0.57	43.79	34.38	1441.91	192.26	5.74	230.24	2262.62	320.65
	10.00	0.57	53.42	41.94	1699.97	226.66	5.64	275.94	2690.17	388.14
	12.00	0.56	62.53	49.09	1921.46	256.20	5.54	317.16	3062.22	450.38
180	5.00	0.70	34.36	26.97	1735.93	192.88	7.11	224.04	2671.24	305.77
	6.00	0.70	40.83	32.05	2035.27	226.14	7.06	264.40	3146.31	362.48
	8.00	0.69	53.39	41.91	2588.88	287.65	6.96	340.81	4036.80	471.37

B	t	p	Ag	g	Ix=Iy	Sx=Sy	r_x=r_y	Zx=Zy	J	C
[mm]	[mm]	[m ² /m]	[cm ²]	[Kg/m]	[cm ⁴]	[cm ³]	[cm]	[cm ³]	[cm ⁴]	[cm ³]
180	10.00	0.69	65.42	51.36	3084.59	342.73	6.87	411.57	4847.53	574.14
	12.00	0.68	76.93	60.39	3525.06	391.67	6.77	476.82	5578.34	670.70
200	5.00	0.78	38.36	30.11	2408.88	240.89	7.92	278.90	3698.02	379.77
	6.00	0.78	45.63	35.82	2831.13	283.11	7.88	329.71	4364.65	450.80
	8.00	0.77	59.79	46.94	3619.16	361.92	7.78	426.52	5624.39	587.85
	10.00	0.77	73.42	57.64	4334.41	433.44	7.68	516.99	6785.78	718.14
	12.00	0.76	86.53	67.93	4979.83	497.98	7.59	601.27	7848.57	841.58
250	6.00	0.98	57.63	45.24	5669.3	453.5	9.92	524.5	8695.7	713.6
	8.00	0.97	75.79	59.50	7311.3	584.9	9.82	682.8	11290.2	935.0
	10.00	0.97	93.42	73.34	8835.8	706.9	9.73	833.0	13731.4	1148.1
	12.00	0.96	110.53	86.77	10246.7	819.7	9.63	975.4	16019.0	1352.8
300	6.00	1.18	69.63	54.66	9959.5	664.0	11.96	764.3	15222.8	1036.4
	8.00	1.17	91.79	72.06	12918.3	861.2	11.86	999.1	19859.9	1362.2
	10.00	1.17	113.42	89.04	15704.3	1047.0	11.77	1224.1	24277.1	1678.1
	12.00	1.16	134.53	105.61	18322.0	1221.5	11.67	1439.5	28473.5	1984.0
350	6.00	1.38	81.63	64.08	16001.9	914.4	14.00	1049.0	24395.8	1419.2
	8.00	1.37	107.79	84.62	20840.2	1190.9	13.90	1375.3	31933.7	1869.4
	10.00	1.37	133.42	104.74	25439.7	1453.7	13.81	1690.1	39172.7	2308.1
	12.00	1.36	158.53	124.45	29805.8	1703.2	13.71	1993.6	46112.0	2735.2
400	8.00	1.57	123.79	97.18	31476.9	1573.8	15.95	1811.6	48111.5	2456.6
	10.00	1.57	153.42	120.44	38542.1	1927.1	15.85	2231.2	59168.4	3038.1
	12.00	1.56	182.53	143.29	45298.1	2264.9	15.75	2637.7	69834.5	3606.4
	14.00	1.55	211.11	165.72	51750.9	2587.5	15.66	3031.3	80108.7	4161.3



Supercito®

Acero al Carbono, Bajo Hidrógeno - AWS E7018

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

- Electrodo revestido tipo básico.
- Extraordinarias características de soldabilidad y propiedades mecánicas
- Arco muy suave, con bajo nivel de salpicaduras y fácil remoción de escoria
- Contiene un buen nivel de hierro en polvo que incrementa la tasa de depósito.

POSICIONES DE SOLDADURA

P, H, V, OH

APLICACIONES TÍPICAS

- Aceros de mediano a alto contenido de carbono, alta resistencia y baja aleación.
- Aceros con alto contenido de azufre y fácil fresado.
- Soldaduras de tuberías y recipientes de alta presión, piezas de maquinaria pesada, mantenimiento dentro de las industrias petrolera, petroquímica y minera.

CERTIFICACIONES

AWS	E7018
ABS	3Y
LR	3m, 3ym

DIÁMETROS/EMPAQUE

Diámetro		Longitud		Bolsa de Plástico 5 kg Caja Máster 20 kg
mm.	pulg.	mm.	pulg.	
2.50	3/32	350	14	506625
3.25	1/8	350	14	506626
4.00	5/32	350	14	506627

PROPIEDADES MECÁNICAS *Tal como se requiere por AWS A5.1 / A5.1M: 2012*

	Resistencia a la Cedencia MPa (ksi)	Resistencia a la Tensión MPa (ksi)	Elongación %	Charpy V-Notch J (pies · lbf) @-30°C (-20°F)
Requerimientos AWS E7018	400 (58)	490 (70)	22 mín.	27 (20) mín.
Resultados Típicos- Tal como se soldó	497 (72)	589 (85)	27	112 (83)

COMPOSICIÓN QUÍMICA *Tal como se requiere por AWS A5.1 / A5.1M: 2012*

	% C	% Mn	% Si	% P	% S
Requerimientos AWS E7018	0.15 máx.	1.60 máx.	0.75 máx.	0.035 máx.	0.035 máx.
Resultados Típicos- Tal como se soldó	0.09	1.09	0.32	0.021	0.011
	% Ni	% Cr	% Mo	% V	
Requerimientos AWS E7018	0.30 máx.	0.20 máx.	0.30 máx.	0.08 máx.	
Resultados Típicos- Tal como se soldó	0.02	0.03	0.00	0.00	

PARÁMETROS TÍPICOS DE OPERACIÓN

Polaridad	Corriente (Amps)		
	2.50 mm. (3/32 pulg.)	3.25 mm. (1/8 pulg.)	4.00 mm. (5/32 pulg.)
AC	60 - 90	90 - 140	120 - 190
DC+	60 - 90	90 - 140	120 - 190

YAR 205-2F

Rodamiento de inserción con fijación con prisioneros y aro interior prolongado

Los rodamientos de inserción se basan en rodamientos rígidos de bolas sellados. Esta versión es adecuada para aplicaciones con sentidos de giro constantes y alternados. Tiene un aro interior prolongado en ambos lados, y está fija en el eje con dos tornillos de fijación en el aro interior, lo que la hace fácil de montar.

- Diseñados para una rotación constante y alternada
- Rápidos y fáciles de montar en el eje
- Se adaptan a la desalineación inicial estática
- Larga vida útil
- Reducen los niveles de ruido y vibración



Overview

Dimensiones

Ancho del aro exterior	15 mm
Ancho del aro interior	34.1 mm
Ancho total	34.1 mm
Diámetro exterior	52 mm
Diámetro interno	25 mm

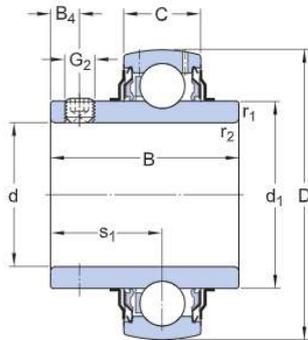
Propiedades

Aro de asiento de caucho	Sin
Característica de relubricación	Con
Elemento de retención, aro interior	Prisioneros
Elementos rodantes	Bolas
Extensión del aro interior	On both sides
Jaula	No metálico
Lubricante	Grasa
Material, rodamiento	Acero para rodamientos
Recubrimiento	Sin
Sellado	Sello y aro deflector en ambos lados
Tipo de agujero	Cilíndrico
Tipo de sellado	Contacto
Tipo respecto del aro exterior	Esféricas

Rendimiento

Capacidad de carga dinámica básica	14 kN
Capacidad de carga estática básica	7.8 kN
Velocidad límite	7 000 r/min

Especificación técnica



Dimensiones

d	25 mm	Diámetro del agujero
D	52 mm	Diámetro exterior
B	34.1 mm	Ancho del aro interior
C	15 mm	Ancho del aro exterior
d ₁	≈ 33.74 mm	Diámetro exterior del aro interior
B ₄	5 mm	Distancia de la cara al centro de la rosca
r _{1,2}	min. 0.6 mm	Dimensión del chaflán del aro interior
s ₁	19.8 mm	Distancia entre la cara lateral del dispositivo de fijación y el centro del rodamiento

Datos del cálculo

Capacidad de carga dinámica básica	C	14 kN
Capacidad de carga estática básica	C ₀	7.8 kN
Carga límite de fatiga	P _u	0.335 kN
Velocidad límite1)		7 000 r/min
Factor de cálculo	f ₀	14

Masa

Masa	0.19 kg
------	---------

Información de montaje

Tornillo de fijación	G ₂	M6x0.75
----------------------	----------------	---------

Datasheet for three-phase Squirrel-Cage-Motors

Hoja de datos de motores de jaula de ardilla trifásicos

Ordering data: 1LE0141-0EB46-4AA4-Z D80+

Datos de pedido:



Electrical Data / Datos Eléctricos

Rated motor voltage <i>Tensión nominal</i>	220 V	380 V	440 V
	DD	YY	D
Frequency <i>Frecuencia</i>	60Hz		
Rated power <i>Potencia Nominal</i>	2 HP		
Rated motor speed <i>Velocidad Nominal</i>	1720 rpm		
Rated motor torque <i>Torque Nominal</i>	8.3 Nm		
Nominal current <i>Corriente Nominal</i>	5.8 A	3.35 A	2.9 A
Starting / rated motor current (Ia/In) <i>Corriente de arranque</i>	6		
Starting / rated motor torque (Ta/Tn) <i>Torque de arranque</i>	2.6		
Efficiency class	IE2		
Efficiency: <i>Eficiencia</i>	4/4	84	
Power factor <i>Factor de potencia</i>	0.81		
Service factor <i>Factor de servicio</i>	1.15		
Motor protection : <i>Protección del motor</i>			

General data / Datos generales

Frame size <i>Tamaño constructivo</i>	90L
Type of construction <i>Tipo de construcción</i>	IM B3
Weight in kg, without optional accessories, <i>Peso motor, sin opciones</i>	25 Kg
Frame material <i>Material carcasa</i>	Hierro / Cast Iron
Degree of protection <i>Grado de protección</i>	IP 55
Method of cooling, TEFC <i>Método de refrigeración</i>	IC 411
Insulation <i>Aislamiento</i>	Clase F (155°C)
Duty type <i>Tipo de servicio</i>	S1
Direction of rotation <i>Sentido de giro</i>	Bidireccional
Terminal box position : <i>Posición caja de bornes</i>	

Mechanical Data / Datos mecánicos

Type of bearing <i>Tipo de rodamientos</i>	Bolas	
Bearing DE NDE <i>Rodamiento AS/BS</i>	6205 2RZ C3	6205 2RZ C3
Lubricants <i>Lubricante</i>		

Environmental conditions / Condiciones ambientales

Ambient temperature <i>Temperatura ambiente</i>	-20.0 °C - +40 °C
Altitude above sea level <i>Altitud sobre el nivel del mar</i>	1000 m
Standards and specifications <i>Normas internacionales</i>	IEC 60034

Explosion protection / Protección contra explosión

Type of protection <i>Modo de protección Ex</i>	Without (Standard)
--	--------------------

Hotline Técnica
 Línea Gratuita Nacional: 01 8000 518 884 Opción 1
 En Bogotá: 571.294 2323 Opción 1
 support.aan.automation@siemens.com
 www.siemens.com/aan/hotlinetecnica

Special design / Versiones especiales