

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA MÉCANICA

DISEÑO DE UNA PLACA BASE PARA UNA BOMBA CENTRÍFUGA TIPO DVS, J-14x25

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

KLEBER JAVIER BARBA BARBA

xavy_mh90@hotmail.com

DIEGO DAVID SÁNCHEZ CEVALLOS

dieguineo_16@hotmail.com

DIRECTOR: ING. CARLOS OSWALDO BALDEÓN VALENCIA

carlos.baldeon@epn.edu.ec

CODIRECTOR: ING. BOLÍVAR MAURICIO CELY VELEZ

mauricio.cely@epn.edu.ec

QUITO, AGOSTO 2015

DECLARACIÓN

Nosotros, Kleber Javier Barba Barba y Diego David Sánchez Cevallos, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Kleber Javier Barba Barba

Diego David Sánchez Cevallos

CERTIFICACIÓN

Certificamos que bajo nuestra dirección, el presente proyecto de titulación fue desarrollado en su totalidad por los señores: KLEBER JAVIER BARBA BARBA y DIEGO DAVID SÁNCHEZ CEVALLOS.

ING. CARLOS OSWALDO BALDEÓN VALENCIA
DIRECTOR DEL PROYECTO

ING. BOLÍVAR MAURICIO CELY VÉLEZ
CO-DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, por el regalo de la vida y brindarme la fuerza, perseverancia para alcanzar mis objetivos.

A mis padres Pedro y Loly, por el amor, apoyo y comprensión para conmigo y mis hermanos. Por los valores inculcados para ser de mí una mejor persona.

A mis hermanos Cristian, Carito, Anthony, por tomarme como ejemplo en sus vidas.

A mis abuelitos Laura y José, por el amor y sus bendiciones que nunca me faltan.

A todas mis tías en especial a Laury, Soñi, Elenita, que ha sido mis segundas madres, por sus enseñanzas, consejos y apoyo en los momentos que más he necesitado.

A la persona que apareció en mi vida, en esta última etapa de mi carrera profesional, mi novia Vale C, por el amor, la paciencia y sus palabras de apoyo en todo momento. La amo Negrita.

A la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Escuela Politécnica Nacional por los conocimientos adquiridos en sus aulas.

A nuestro directo de tesis Ing. Carlos Baldeón, codirector Ing. Mauricio Cely, y al Ing. José Jaramillo quienes nos guiaron para la realización de nuestro proyecto final.

A mis amigos y compañeros de aulas con quienes compartí momentos y anécdotas inolvidables en el transcurso de mi vida universitaria.

Xavy

AGRADECIMIENTO

La culminación de esta etapa de mi vida está dedicada, primeramente a mi madre Leonor Cevallos, quien día a día fue madre y padre para mis hermanos y para mi persona, de quien sin duda aprendí que pase lo que pase jamás hay que desmayar y que a pesar de la distancia la siento tan cerca de mí. Por otro lado, quiero agradecer a la familia Pico Redrobán que supieron darme un hogar durante prácticamente toda mi vida estudiantil y que sin duda fueron una familia para mí junto con mis sobrinos a quienes los adoro.

Además, quiero agradecer de una manera especial a mi novia Jessica Ramón, que compartió y vivió junto a mí toda esta etapa de mi vida, quien fue un apoyo para mí desde el principio de este camino arduo, ya que siempre tuvo la fe puesta en mi persona, a quién considero mi amiga y quien sabe que es parte fundamental de mi vida.

También agradezco a mi familia de Ambato, quienes siempre estuvieron pendientes de mí, en especial a mis hermanos Ángel y Raffa, a mis dos padres Ángel Jácome mi abuelito y Mario Jácome mi tío, gracias por todo a todos, en verdad fueron y serán un aliciente en mi vida.

Finalmente, deseo agradecer al Ing. Carlos Baldeón, quién con su amistad y dirección permitió la realización de este proyecto, y una mención especial para el Ing. José Jaramillo quien de una manera totalmente desinteresada colaboró con información primordial para poder culminar este proyecto.

Diego David Sánchez Cevallos

DEDICATORIA

Con todo cariño y amor dedico este trabajo investigativo final a toda mi familia.

A mi madre Loly de quien todos los días recibo su bendición. Por todos los momentos que me supiste comprender y brindarme tu apoyo siempre. Por tu paciencia, bondad e infinito amor, y por todas las cualidades que hacen de ti la mejor madre del mundo, este trabajo es para y por ti madrecita TE AMO.

A mi padre Pedro, por su amor y sacrificio para mantener unida a nuestra familia, por tus enseñanzas y consejos para ser de nosotros mejores hijos y personas.

A mi tía Laury por el amor, los valores, consejos que han sabido formarme y guiarme por el buen camino y nunca dejarme desmayar en los momentos difíciles.

A toda mi familia, gracias por su apoyo siempre.

Xavy

DEDICATORIA

A mi madrecita Leonor con todo mi ser, ya que nunca dudó en trabajar día a día para podernos sacar adelante, en verdad tu eres mi ejemplo a seguir madre querida, además a mis hermanos Raffa y Ángel quienes supieron hacerme ver mediante sus experiencias qué camino seguir y me apoyaron en las buenas y las malas, a mi hermana Mariana y su esposo Juan por ser un apoyo y brindarme un hogar donde vivir.

A mi novia Jessica, quien nunca dudó que llegase a cumplir esta meta, y que espero que juntos cumplamos muchas metas más en la vida que nos queda por delante.

A mi tío Mario y mi abuelito Ángel, quienes hicieron las veces de padre cuando más los necesité.

Diego David Sánchez Cevallos

Índice de Contenido

CAPÍTULO I.....	21
1. FUNDAMENTO TEÓRICO.....	21
1.1 EQUIPO DE BOMBEO Y PLACA BASE.....	21
1.1.1 BOMBA.....	21
1.1.2 DEFINICIÓN DE BOMBA CENTRÍFUGA.....	22
1.1.3 CLASIFICACIÓN DE LAS BOMBAS CENTRÍFUGAS.....	23
1.1.4 BOMBA DVS.....	24
1.1.5 MOTOR.....	27
1.1.6 ACOPLES.....	28
1.1.7 PLACA BASE PARA BOMBAS CENTRIFUGAS.....	30
1.1.8 TIPOS DE PLACAS BASE.....	34
1.1.9 PLACAS BASE UTILIZADAS EN EL AREA PETROLERA.....	42
1.2 DISEÑO DE ESTRUCTURAS METÁLICAS.....	44
1.2.1 ETAPAS DEL DISEÑO ESTRUCTURAL.....	44
1.2.2 ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL.....	46
1.2.3 MÉTODOS DE DISEÑO PARA ESTRUCTURAS METÁLICAS.....	46
1.2.4 DISEÑO ASISTIDO POR COMPUTADORA.....	50
1.2.5 AUTODESK INVENTOR PROFESIONAL.....	53
1.2.6 CRITERIOS PARA EL ANÁLISIS DE ESTRUCTURAS.....	53
1.3 ACERO ESTRUCTURAL.....	56
1.3.1 Ventajas del Acero Estructural.....	57
1.3.2 Desventajas del Acero Estructural.....	58
1.3.3 Propiedades del Acero Estructural.....	58
1.3.4 PERFILES DE ACERO.....	59
1.3.5 BARRAS PLANAS (FLT) Y PLACAS (PL).....	60
1.4 SOLDADURA.....	61
1.4.1 TIPO DE JUNTAS.....	61
1.4.2 PREPARACION DEL BORDE.....	62
1.4.3 POSICIONES DE SOLDADURA.....	62
1.5 VIBRACIONES.....	63
CAPITULO 2.....	65

2.	DESARROLLO DEL DISEÑO DE LA PLACA BASE	65
2.1	NORMAS PARA EL DISEÑO DE LA PLACA BASE	65
2.2	CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES PARA EL DISEÑO DE LA PLACA BASE.	66
2.3	ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE LA PLACA BASE	68
2.4	CONCEPTUALIZACION ESTRUCTURAL DE LA PLACA BASE	69
2.4.1	DIMENSIONES DEL EQUIPO DE BOMBEO	70
2.5	ESTUDIO DE ALTERNATIVAS DE DISEÑO.....	71
2.5.1	CONFIGURACIÓN DEL MARCO DE VIGAS PARA LA PLACA BASE	72
2.5.2	ALTERNATIVAS PARA EL DISEÑO DE LA PLACA BASE.....	73
2.5.3	ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS ALTERNATIVAS PARA EL DISEÑO DE LA PLACA BASE.....	86
2.6	TIPOS DE ELEMENTOS DE IZAJE PARA LA PLACA BASE.....	87
2.6.1	ALTERNATIVAS PARA EL IZAJE DE LA PLACA BASE.....	90
2.6.2	ANALISIS COMPARATIVO DE LAS VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS ALTERNATIVAS PARA SISTEMA DE IZAJE	95
	CAPITULO 3.....	97
3.	ELEMENTOS PRINCIPALES PARA LA INSTALACIÓN DE LA PLACA BASE ..	97
3.1	BASE DE SOPORTE PARA LA PLACA BASE Y EL EQUIPO DE BOMBEO ..	97
3.2	BASE DE FUNDACIÓN	98
3.2.1	FUNCIONES DE LA FUNDACIÓN	98
3.3	ELEMENTOS DE SUJECIÓN	100
3.3.1	Pernos de Anclaje	100
3.4	ELEMENTOS DE NIVELACIÓN.....	103
3.4.1	Tornillos de nivelación y cuña.....	103
3.5	MARCO (FORMALETA) PARA LA LECHADA	107
3.6	LECHADA.....	108
	CAPITULO 4.....	115
4.	DISEÑO ESTRUCTURAL DE LA PLACA BASE.....	115
4.1	CARGAS ACTUANTES SOBRE LA PLACA BASE.....	115
4.1.1	CARGA MUERTA.....	115
4.1.2	CARGA VIVA.....	118
4.1.3	CARGAS DE OPERACIÓN SOBRE LAS BRIDAS DE LA BOMBA	118

4.2	ANÁLISIS ESTRUCTURAL.....	120
4.2.1	ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LA PLACA CON CARGAS DE OPERACIÓN.	120
4.2.2	TABULACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES.....	133
4.2.3	ANÁLISIS DE RESULTADOS	133
4.3	DISEÑO DE LOS PERNOS DE ANCLAJE	136
4.3.1	ANALISIS DE RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN DE LOS PERNOS 138	
4.4	DISEÑO DE LAS OREJAS DE IZAJE	140
	CAPÍTULO 5.....	145
5.	INGENIERÍA DE DETALLE.....	145
5.1	SOLDADURA DE LA PLACA BASE	145
5.2	ANCLAJES DE SUSPENSIÓN (OREJAS DE IZAJE)	151
5.3	PERNOS DE ANCLAJE Y TORNILLOS DE NIVELACIÓN	153
5.4	TORNILLOS DE ALINEACIÓN DE LA BOMBA Y EL MOTOR.....	156
5.5	SOPORTES PARA LA BOMBA Y EL MOTOR.....	158
5.6	BORDE DE GOTEÓ (ÁNGULO DE DRENAJE)	160
5.7	ORIFICIOS DE VENTILACIÓN Y ORIFICIOS PARA EL GROUND	160
	CAPITULO 6.....	163
6.	ANÁLISIS DE COSTOS.....	163
6.1	INTRODUCCIÓN.....	163
6.2	ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS	163
6.3	CLASIFICACIÓN DE LOS COSTOS	163
6.3.1	Costos de materiales directos.	163
6.3.2	Costos de mano de obra directa de fabricación	164
6.3.3	Costos indirectos de fabricación.....	166
6.4	RUBROS INVOLUCRADOS EN LA FABRICACION DE LA PLACA BASE ...	166
6.4	PRESUPUESTO.....	170
6.5	CRONOGRAMA VALORADO	172
	CAPITULO 7.....	173
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	173
7.1	CONCLUSIONES.....	173

7.2 RECOMENDACIONES.....	175
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	177
ANEXOS.....	180
ANEXO 1. GUÍA DE CONSTRUCCIÓN DE LA PLATAFORMA DE FUNDACIÓN .	181
ANEXO 2. GUIA PARA LA INSTALACION DE LA PLACA BASE.....	195
ANEXO 3. GUIA DE VERTIDO DE LA LECHADA.....	204
ANEXO 4. GUÍA DE IZAJE PARA LA PLACA BASE Y EL EQUIPO DE BOMBEO	214
ANEXO 5. CÁLCULO DE TENSIONES EN LAS CUERDAS DE IZAJE.....	223
ANEXO 6. DIMESIONES ESTADAR DE PLACAS BASE.....	228
ANEXO 7. TAMAÑO DE LAS BOQUILLQS DE SUCCIÓN Y DESCARGA DE LA BOMBA DVS J - 14X25.....	229
ANEXO 8. FUERZAS Y MOMENTOS EN LAS BOQUILLAS DE SUCCIÓN Y DESCARGA SEGÚN LA NORMA API 610.....	230
ANEXO 9. WPS.....	231
ANEXO 10. CATÁLOGOS.....	232
ANEXO 11. PLANOS	233

ÍNDICE DE FIGURAS

Figuras Capitulo 1

Figura 1. 1 Bomba Centrífuga	24
Figura 1. 2 Bomba DVS	25
Figura 1. 3 Partes Principales de una Bomba DVS	26
Figura 1. 4 Motor Eléctrico HXR ABB.....	28
Figura 1. 5 Acoplamiento Tomas.....	29
Figura 1. 6 Partes principales de una Placa Base	32
Figura 1. 7 Blocs de montaje y orejas de izaje	32
Figura 1. 8 Orificios de ventilación y lechada (grout) en una placa base	33
Figura 1. 9 Placa base de hierro fundido.....	35
Figura 1. 10 Placa base de hierro fundido con equipo de bombeo montado	35
Figura 1. 11 Placa base con cimientos poliméricos	36
Figura 1. 12 Placa base con cimientos poliméricos con equipo de bombeo	36
Figura 1. 13 Placa base de asiento	37
Figura 1. 14 Placa base de asiento con equipo de bombeo montado	37
Figura 1. 15 Placa base de acero doblada	38
Figura 1. 16 Placa base de acero doblada con equipo de bombeo montado	38
Figura 1. 17 Placa base de acero laminado reforzada	39
Figura 1. 18 Placa base laminada reforzada con equipo de bombeo montado	39
Figura 1. 19 Placa base con resorte.....	40
Figura 1. 20 Placa base con resorte con equipo de bombeo montado	41
Figura 1. 21 Placa base con marco de vigas estructurales	42
Figura 1. 22 Placa base con marco de vigas estructurales con equipo de bombeo...42	
Figura 1. 23 Bomba de proceso para servicio pesado, multi etapa.	43
Figura 1. 24 Bomba de Proceso para servicio en Oleoductos.....	43
Figura 1. 25 Esquema de Discretización	49
Figura 1. 26 Simulación de una estructura	50
Figura 1. 27 Placa base diseñada en CAD.....	51
Figura 1. 28 Icono del software Inventor	53
Figura 1. 29 Superficies de rendimiento en coordenadas principales de los esfuerzos de Von Mises	55
Figura 1. 30 Tipos de Perfiles en el Mercado	60
Figura 1. 31 Chapas de Acero Estructural.....	60
Figura 1. 32 Tipo de juntas.....	61
Figura 1. 33 Tipo de bordes	62
Figura 1. 34 Posiciones de Soldadura.....	62
Figura 1. 35 Vacíos bajo el área de la placa base	64

Figuras Capitulo 2

Figura 2. 1 Dimensiones del acoplamiento del equipo de bombeo (vista superior) ...	70
--	----

Figura 2. 2 Dimensiones del acoplamiento del equipo de bombeo (vista lateral)	71
Figura 2. 3 Estructuración de la Placa Base	72
Figura 2. 4 Marco Estructural de la Alternativa 1	74
Figura 2. 5 Disposición de vigas de la alternativa 1	75
Figura 2. 6 Alternativa 1 vista isométrica (líneas ocultas)	75
Figura 2. 7 Alternativa 1 vista isométrica	76
Figura 2. 8 Alternativa 1 Equipo de bombeo montado (vista frontal)	76
Figura 2. 9 Alternativa 1 Equipo de bombeo montado (vista isométrica)	77
Figura 2. 10 Marco Estructural de la Alternativa 2	79
Figura 2. 11 Disposición de vigas de la alternativa 2	79
Figura 2. 12 Alternativa 2 vista isométrica (líneas ocultas)	80
Figura 2. 13 Alternativa 2 vista isométrica	80
Figura 2. 14 Alternativa 2 Equipo de bombeo montado (vista frontal)	81
Figura 2. 15 Alternativa 2 Equipo de bombeo montado (vista isométrica)	81
Figura 2. 16 Marco Estructural de la Alternativa 3	83
Figura 2. 17 Disposición de vigas de la alternativa 3	83
Figura 2. 18. Alternativa 3 vista isométrica (líneas ocultas)	84
Figura 2. 19 Alternativa 3 vista isométrica	84
Figura 2. 20 Alternativa 3 Equipo de bombeo montado (vista frontal)	85
Figura 2. 21 Alternativa 3 Equipo de bombeo montado (vista isométrica)	85
Figura 2. 22 Placa base con tubos con de izaje	88
Figura 2. 23 Placa base con cuatro orejas de izaje a los costados de las vigas principales	88
Figura 2. 24 Placa base con cuatro orejas de izaje incrustadas en las vigas principales	89
Figura 2. 25 Izaje total de la estructura y equipo de bombeo (vista isométrica)	91
Figura 2. 26 Izaje total de la Estructura y Equipo de bombeo (vista frontal)	92
Figura 2. 27 Izaje con barras de aducción (vista isométrica)	93
Figura 2. 28 Izaje con barras de aducción (vista frontal)	93
Figura 2. 29 Izaje sin equipo de bombeo (vista isométrica)	94
Figura 2. 30 Izaje sin equipo de bombeo (vista frontal)	95

Figuras Capítulo 3

Figura 3.1 Pernos de Anclaje	101
Figura 3. 2 Disposición de los pernos de anclaje	103
Figura 3. 3 Tornillos de nivelación y cuñas en una viga	104
Figura 3. 4 Perno de anclaje y tornillo de nivelación	105
Figura 3. 5 Almohadilla de Nivelación	106
Figura 3. 6 Dimensiones típicas de la almohadilla de nivelación	106
Figura 3. 7 Formaleta de madera	108
Figura 3. 8 Vertido de Lechada por el Método Tradicional	110
Figura 3. 9 Vertido de Lechada por el Método Actual	111
Figura 3. 10 Placa base Flowserve	111

Figura 3. 11 Sistema de un sólo vertido de lechada	113
Figura 3. 12 Sistema de dos vertidos de lechada	114

Figuras Capítulo 4

Figura 4. 1 Sistema de coordenadas en las bridas de la bomba	119
Figura 4. 2 Tensión de Von Mises en la Placa Base 160 - 140	120
Figura 4. 3 Desplazamiento en X en la Placa Base 160 - 140.....	121
Figura 4. 4 Desplazamiento en Y en la Placa Base 160 – 140	121
Figura 4. 5 Desplazamiento en Z en la Placa Base 160 – 140	122
Figura 4. 6 Desplazamiento Total en la Placa Base 160 – 140	122
Figura 4. 7 Tensión de Von Mises en la Placa Base 200 – 180.....	123
Figura 4. 8 Desplazamiento en X en la Placa Base 200 – 180	123
Figura 4. 9 Desplazamiento en Y en la Placa Base 200 - 180.....	124
Figura 4. 10 Desplazamiento en Z en la Placa Base 200 – 180	124
Figura 4. 11 Desplazamiento Total en la Placa Base 200 – 180	125
Figura 4. 12 Tensión de Von Mises en la Placa base 240 – 220	125
Figura 4. 13 Desplazamiento en X en la Placa Base 240 – 220	126
Figura 4. 14 Desplazamiento en Y en la Placa Base 240 – 200	126
Figura 4. 15 Desplazamiento en Z en la Placa Base 240 - 200	127
Figura 4. 16 Desplazamiento Total en la Placa Base 240 – 220	127
Figura 4. 17 Tensión de Von Mises en la Placa Base 280 – 260.....	128
Figura 4. 18 Desplazamiento X en la Placa Base 280 – 260	128
Figura 4. 19 Desplazamiento en Z en la Placa Base 280 – 260	129
Figura 4. 20 Desplazamiento en Z en la Placa Base 280 - 260	129
Figura 4. 21 Desplazamiento Total en la placa 280 - 260.....	130
Figura 4. 22 Tensión de Von Mises en la Placa Base 300 – 280.....	130
Figura 4. 23 Desplazamiento en X en la Placa Base 300 - 280.....	131
Figura 4. 24 Desplazamiento en Y en la Placa Base 300 – 280	131
Figura 4. 25 Desplazamiento en Z en la Placa Base 300 – 280	132
Figura 4. 26 Desplazamiento Total en la Placa Base 300 -280	132
Figura 4. 27 Desplazamiento vs Tamaño de Vigas	135
Figura 4. 28 Esfuerzo máximo en el perno de diámetro 3/4 pulgada.....	137
Figura 4. 29 Esfuerzo máximo en el perno de diámetro 1 pulgada.....	137
Figura 4. 30 Esfuerzo máximo en el perno de diámetro 1 1/8 pulgada.....	138
Figura 4. 31 Esfuerzo máximo en el perno.....	139
Figura 4. 32 Notación de orejas de izaje	141

Figuras Capítulo 5

Figura 5. 1 Soldadura en todas las conexiones entre las vigas del esqueleto estructural	147
Figura 5. 2 Detalle de Soldadura entre dos vigas transversal.....	148
Figura 5. 3 Chapas metálicas de los extremos de la placa base	148
Figura 5. 4 Detalle de la soldadura entre la chapa metálica y la viga UPN 300	149

Figura 5. 5 Chapa metálica soldada con las vigas UPN 300	149
Figura 5. 6 Detalle de la unión de la chapa metálica con las vigas UPN 300.	150
Figura 5. 7 Pedestales unidos mediante soldadura a la chapa metálica	150
Figura 5. 8 Ubicación de las orejas de izaje en la placa base	151
Figura 5. 9 Orejas de Izaje	152
Figura 5. 10 Ubicación de las orejas de izaje respecto a las vigas longitudinales UPN 300.....	152
Figura 5. 11 Detalle de la unión mediante soldadura entre la oreja de izaje y la viga UNP 300	153
Figura 5. 12 Pernos de anclaje, dispuestos longitudinalmente a cada lado de la placa base	154
Figura 5. 13 Pernos de anclaje embebido.	154
Figura 5. 14 Tornillos de nivelación paralelos a los pernos de anclaje	155
Figura 5. 15 Vista frontal y lateral del arreglo de placas unidas a las vigas principales donde se ubica los tornillos de nivelación	155
Figura 5. 16 Tornillos de posicionamiento para el equipo de bombeo	156
Figura 5. 17 Vista frontal y lateral de los tornillos de posicionamiento para la bomba	157
Figura 5. 18 Vista frontal y lateral de los tornillos de posicionamiento para el motor	157
Figura 5. 19 Pedestal de la Bomba	159
Figura 5. 20 Pedestal del Motor	159
Figura 5. 21 Pedestales de la Bomba y el Motor; Ángulos de Drenaje	159
Figura 5. 22 Inclinación del sistema de recolección de drenaje	160
Figura 5. 23 Orificios de Ventilación y agujeros de ventilación en la placa base	161
Figura 5. 24 Centro de gravedad de la placa base	162
Figuras Anexos	
Figura 1. Dimensiones de la fundación	183
Figura 2. Método de líneas imaginarias para verificar el dimensionamiento de la fundación	183
Figura 3 Espacio seguro en los alrededores de la fundación	185
Figura 4. Medidas aproximadas para los pernos de anclaje.....	187
Figura 5 Instalación de las varillas de refuerzo y ubicación de los pernos de anclaje	188
Figura 6. Perno y camisa de anclaje.	190
Figura 7. Base fundación con sus respectivas varillas de refuerzo y los pernos de anclaje embebidos	191
Figura 8 Preparación de la superficie de la fundación.	192
Figura 9. Chaflán de 50 x 45° realizado en la lechada.	194
Figura 10. Limpieza de la placa base para remover cualquier óxido o escarcha	196
Figura 11. Tornillo de Nivelación	198
Figura 12. Placa base descansando a una altura por encima de la fundación	199

Figura 13. Detalle de la Nivelación de la Placa base.....	200
Figura 14. Uso de discos de metal circulares para apoyar los tornillos de nivelación	200
Figura 15. Verificación de los niveles de la placa de base utilizando un nivel maestro	201
Figura 16. Formaleta de madera con agujeros de ventilación	202
Figura 17. Colocación de la Formaleta.....	203
Figura 18. Formaleta asentada desde la fundación.....	204
Figura 19. Vertido de la lechada por medio del agujero de lechada ubicada en la placa base	208
Figura 20. Finalización de curado de la lechada	210
Figura 21. Retiro de los tornillos de nivelación	210
Figura 22. No se permite el uso del cáncamo de la bomba para levantar toda la unidad.....	217
Figura 23. Levantamiento de carcasa superior de la bomba con fines de inspección y mantenimiento	218
Figura 24. Forma de izaje para trasportación de la bomba	218
Figura 25. Bomba centrífuga transportada en un pedestal.....	219
Figura 26. Cáncamos provistos en el motor utilizados para levantar.....	220
Figura 27. Izaje de la bomba con una base de madera ubicada en la parte inferior.	220
Figura 28. Motor izado cubierto en una caja de madera.....	221
Figura 29. Levantamiento de la placa base desde las orejas de izaje sin equipo de bombeo montado.	222
Figura 30. Placa base con longitud aproximada de 205 pulg.	222
Figura 31. Cuerdas ancladas a cada punto de las orejas de izaje.....	223
Figura 32. Distancia entre cada punto de las orejas de izaje con respecto al centro de gravedad de la placa base	224
Figura 33. Distancia entre las orejas de izaje con respecto al punto de elevación superior.....	224
Figura 34. Nomenclatura de las diferentes distancias que existen en las orejas de izaje	225

ÍNDICE DE TABLAS

Tablas Capítulo 1

Tabla 1. 1 Clasificación de Bombas Centrifugas	23
Tabla 1. 2 Nomenclatura de la bomba centrifuga	27
Tabla 1. 3 Características del acoplamiento	29
Tabla 1. 4 Tipo de Cargas.....	45
Tabla 1. 5 Ventajas del Acero Estructural	57
Tabla 1. 6 Desventajas del Acero Estructura	58
Tabla 1. 7 Propiedades del Acero Estructural	58

Tablas Capítulo 2

Tabla 2. 1 Ventajas de las alternativas en el diseño de la placa base	86
Tabla 2. 2 Desventajas de las alternativas en el diseño de la placa base	86
Tabla 2. 3 Ventajas para sistema de izaje.....	95
Tabla 2. 4 Desventajas para sistema de izaje	96

Tablas Capítulo 4

Tabla 4. 1 Placa de la Bomba DVS J 14x25.....	116
Tabla 4. 2 Datos de Placa de la bomba DVS J - 14x25.....	116
Tabla 4.3 Placa de datos para máquinas en línea directa fabricadas según NEMA	117
Tabla 4.4 Nomenclatura de la placa del Motor	117
Tabla 4.5 Cargas en las Bridas según la Norma API 610.....	119
Tabla 4. 6 Resultados de las Simulaciones	133
Tabla 4. 7 Propiedades del perno	136
Tabla 4. 8 Esfuerzos en los pernos	138

Tablas Capítulo 5

Tabla 5. 1 Requerimientos de soldaduras	145
Tabla 5. 2 Disposiciones de la AWS D1.1 para metales de aporte compatibles con el metal base	146
Tabla 5. 3 Coordenadas del Centro de Gravedad	162

Tablas Capítulo 6

Tabla 6. 1 Salarios según la Cámara de Comercio de Quito	165
Tabla 6. 2 Descripción de costos de equipos y herramientas.....	166
Tabla 6. 3 Rubro 1. Suministros de Acero Estructural	167
Tabla 6. 4 Rubro 2. Fabricación de la Placa Base.....	168
Tabla 6. 5. Rubro 3. Pruebas de Funcionalidad y Calidad.....	169
Tabla 6. 6 Presupuesto	171
Tabla 6. 7 Cronograma Valorado	172

RESUMEN

El presente proyecto de titulación, presenta el diseño estructural de una placa base para una bomba centrífuga tipo DVS, J 14 x 25, la misma que deberá cumplir diferentes funciones, entre las cuales destacan el ser capaz de soportar a su equipo de bombeo, ofrecer una adecuada nivelación entre los ejes de la bomba y su conductor y poseer suficiente rigidez que le permita ser transportada sin sufrir ninguna deformación permanente. Dicho proyecto se encuentra desarrollado en siete capítulos, con los cuales ha sido posible el desarrollo del diseño de este proyecto.

A continuación se detalla de manera breve los contenidos de cada capítulo:

Capítulo I, Fundamento teórico.- Se describe las generalidades del equipo de bombeo, el cual está constituido por la bomba, el motor, el acople y la placa base. Además se presentan aspectos sobre el diseño de estructuras metálicas, generalidades sobre la soldadura y las vibraciones presentes en el equipo de bombeo.

Capítulo 2, Desarrollo del diseño de la placa base.- Se representa el dimensionamiento del equipo de bombeo, mediante el cual se podrá dimensionar la placa base y la configuración que esta tendrá, para a después realizar un análisis de las alternativas para el diseño. Finalmente se describen los tipos de elementos de izaje existentes para placas base, para luego efectuar un análisis de las alternativas para el izaje de la placa base.

Capítulo 3, Elementos principales para la instalación de la placa base.- Se detallan todos los elementos que intervienen en la correcta instalación de la placa base y las funciones que cada uno de ellos realiza.

Capítulo 4, Diseño estructural de la placa base.- Se presenta el análisis de la placa base mediante elementos finitos para diferentes tamaños de vigas UPN, para lo cual se utilizará el programa Autodesk Inventor 2014, para posteriormente comparar los resultados del desplazamiento del eje de la bomba con los requerimientos de la Norma API 610 y hacer un análisis de los mismos. Finalmente, también se muestra el diseño de las orejas de izaje que forman parte de la placa base.

Capítulo 5, Ingeniería de detalle.- Se describen los elementos utilizados para el diseño de la placa base, como por ejemplo la soldadura presente en toda la estructura de la placa base, tornillos de nivelación, pedestales de la bomba y motor, chapas metálicas utilizadas, entre otros.

Capítulo 6, Costos.- Se representa los rubros que se toman en cuenta para la obtención del precio aproximado del diseño y construcción de la placa base.

Capítulo 7, Conclusiones y Recomendaciones.- Se establecen las conclusiones y recomendaciones que han surgido durante el proyecto de titulación

Al final se encuentran anexos, los cuales son necesarios para complementar a los capítulos anteriormente mencionados, en especial se presenta algunas guías para el correcto transporte del equipo de bombeo y su placa base, además de guías para la correcta instalación de la placa base y los cálculos correspondientes a las tensiones en las cuerdas de izaje que estarán sujetas a las orejas de izaje ubicadas en la placa base. Por otra parte se muestran los catálogos de algunos de los elementos normalizados a que intervienen en el diseño de la placa base y finalmente se muestra unas tablas, una de ellas con las fuerzas y momentos que se deben aplicar a cada bomba centrífuga para el diseño de la placa base según la API 610 y la otra tabla presenta las dimensiones estándar para placas base según la API 610.

PRESENTACIÓN

En todas las petroleras y refinerías del Ecuador desde su puesta en marcha utilizaron bombas centrífugas, debido a que el transporte de petróleo se lo hace a través de miles de kilómetros tanto en oleoductos y gaseoductos.

En estas industrias los equipos de bombeo se anclaban directamente al suelo, generando problemas de funcionamiento, ya que durante todo el año son sometidos a grandes cambios de temperatura, vibraciones producidas por las fuerzas y momentos disminuyendo así la vida útil de sus elementos.

Por tal motivo en la actualidad existen normas que exigen el uso de placas base, cuyo objetivo es proporcionar un posicionamiento y funcionamiento correcto del equipo de bombeo, evitando el desgaste de sus componentes y así alargar la vida útil del mismo. Debido a estas necesidades el objetivo principal del presente proyecto está enfocado al diseño de una placa base para una bombas centrífugas tipo DVS J14x25 de alta presión, que cumpla con los parámetros de diseño presentes en las normas concernientes al diseño de la placa base.

Se justifica este proyecto debido a que las bombas centrífugas horizontales de alta presión son muy utilizadas en la industria petrolera para el bombeo del crudo a través del oleoducto a los tanques de almacenamiento; estas bombas y su conductor poseen una gran masa y sus ejes necesitan estar correctamente alineados para un funcionamiento óptimo. En el Ecuador no existe la producción de estas placas base, por lo que las empresas petroleras se ven en la necesidad de importarlas del exterior, haciendo que el costo de las plataformas incremente su valor, debido a esto surge la necesidad de desarrollar estas estructuras dentro del país de manera que se pueda cubrir la demanda existente a un costo más bajo en comparación con el valor que genera su obtención desde el exterior.

CAPÍTULO I

1. FUNDAMENTO TEÓRICO

El presente capítulo tiene por objetivo detallar la base teórica necesaria para el desarrollo del diseño de una placa base, que sea capaz de soportar a su equipo de bombeo. Además se pretende introducir al lector hacia los fundamentos teórico-descriptivo tanto de la placa base y su equipo de bombeo como del diseño estructural del mismo.

1.1 EQUIPO DE BOMEBO Y PLACA BASE

1.1.1 BOMBA.

Una bomba es una máquina que encargada de transferir energía a la corriente de un fluido impulsándolo desde un estado de baja presión estática a otro de mayor presión; están constituidas por un elemento rotatorio denominado impulsor, el cual se encuentra dentro de una carcasa llamada voluta.

Inicialmente la energía es transmitida como energía mecánica a través de un eje, para posteriormente, convertirse en energía hidráulica. El fluido entra axialmente a través del ojo del impulsor, pasando por los canales de éste y suministrándole energía cinética mediante los álabes que se encuentran en el impulsor para posteriormente descargar el fluido en la voluta, el cual, se expande gradualmente, disminuyendo la energía cinética adquirida para convertirse en presión estática.¹

Las bombas que se usan en la industria petrolera se dividen en ocho grupos que son: perforación, producción, refinería, fracturación, pozos submarinos, portátiles, de dosificación y de transporte.

El transporte de líquidos en la industria petrolera se hace a través de miles de kilómetros en el mundo entero, tanto en oleoductos, petroleoductos, propiamente

¹ http://www.academia.edu/7756533/INFORME_FLUJO_DE_FLUIDOS

dichos y gasoductos, para lo cual se utilizan a gran escala bombas centrífugas para el transporte de fluidos en este campo.

1.1.2 DEFINICIÓN DE BOMBA CENTRÍFUGA.

Una bomba centrífuga es una turbomáquina de tipo radial con flujo de adentro hacia fuera, cuyo propósito, es producir una ganancia en carga estática en un fluido por la variación de energías mecánicas.

Una bomba centrífuga está constituida por dos partes principales, un elemento giratorio llamado impulsor o rodete, el mismo que está conformado por un grupo de álabes donde se da la transferencia de energía y un elemento estacionario llamado cubierta o carcasa la cual forma un todo con la voluta o difusor, ésta tiene la forma de un ducto cónico puede transformarse en presión en una parte estacionaria de la bomba, conocida como difusor.

El rotor debe ser cebado antes de empezar a funcionar, es decir, debe estar rodeado de líquido cuando se arranca la bomba. Esto puede lograrse colocando una válvula de retención en el conducto de succión que mantiene el líquido en la bomba cuando el rotor no gira. Si esta válvula pierde, puede ser necesario cebar la bomba introduciendo líquido desde una fuente externa, como el depósito de salida. Por lo general, las bombas centrífugas tienen una válvula en el conducto de salida para controlar el flujo y la presión.²

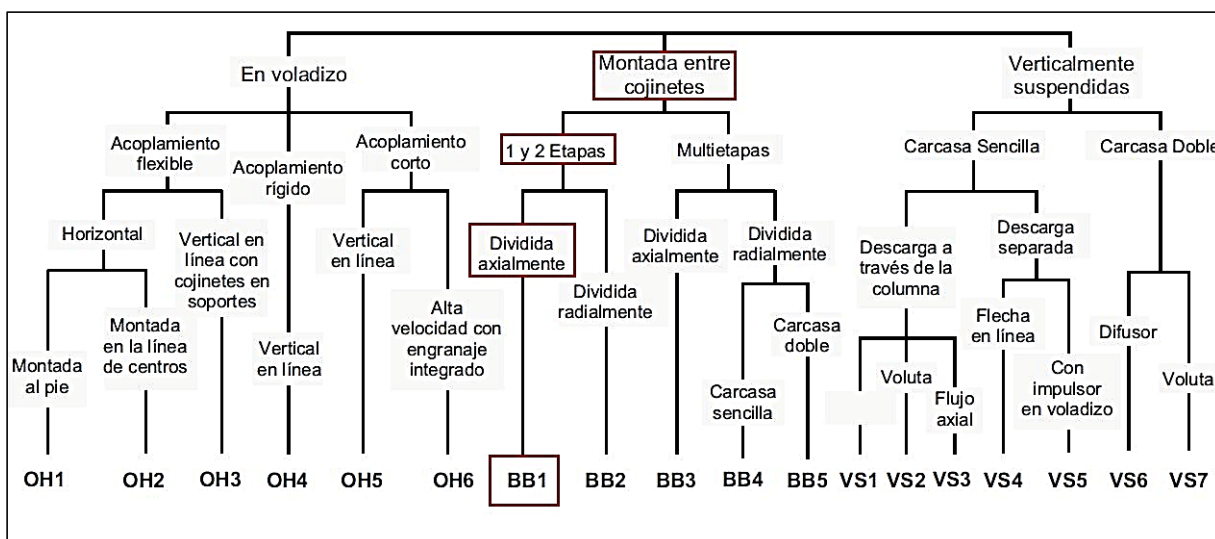
Tienen un rotor de paletas giratorio sumergido en el líquido, el mismo que ingresa en la bomba cerca del eje del rotor, y las paletas lo arrastran hacia sus extremos a alta presión. El rotor también proporciona al líquido una velocidad relativamente alta que puede transformarse en presión en una parte estacionaria de la bomba, conocida como difusor.

² Arias, L. (2008). "Aplicaciones de los sellos mecánicos en bombas de la industria petrolera Ecuatoriana". Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Mecánica, Ecuador. Recuperado de (<http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/987/1/CD-1289.pdf>).

1.1.3 CLASIFICACIÓN DE LAS BOMBAS CENTRÍFUGAS.

A continuación se muestra en la Tabla 1.1 la clasificación de las bombas centrífugas según la Norma PEMEX.

Tabla 1. 1 Clasificación de Bombas Centrífugas



Fuente: Norma Pemex; NRF-050-PEMEX-2007; Bombas Centrífugas

El diseño de la placa base se enfoca en un solo tipo de bomba señalada en la tabla 1.1, correspondiente al tipo DVS que es una bomba montada entre cojinetes de una etapa, dividida axialmente del tipo BB1.

1.1.3.1 Bomba Centrífuga Dividida axialmente BB1

Es habitual que este tipo de bombas tengan dos tuberías de aspiración, uno a cada lado de la bomba y, un único cuerpo de impulsión; igualmente es común el hecho de encontrar tanto la aspiración como la impulsión en la misma mitad, generalmente la inferior. De esta manera se facilitan las intervenciones en el interior de la bomba ya que para abrirla y acceder a su interior no es necesario tocar las conexiones de las tuberías de entrada y salida. Otra característica común es que el eje atraviesa el impulsor y está apoyado sobre rodamientos; así, al retirar la mitad superior de la carcasa quedan completamente accesibles las partes móviles de la bomba, las camisas, eje, aros de desgaste, empaquetaduras, etc., de esta manera abrir e

inspeccionar este tipo de bombas se convierte así en una tarea verdaderamente simple.³

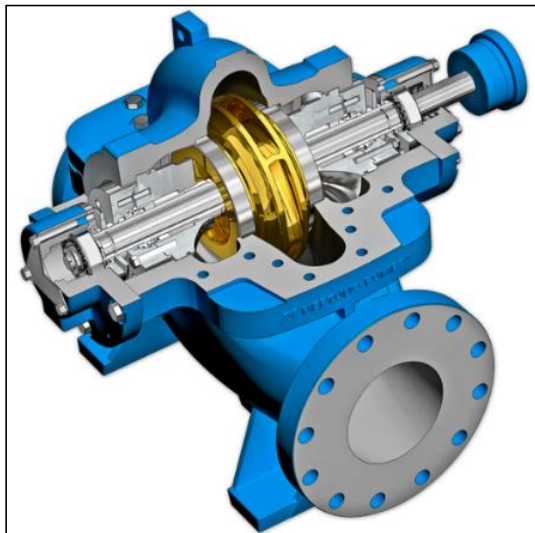


Figura 1. 1 Bomba Centrífuga

Fuente: [http://www.neptunopumps.com/images/axial-split-sase-double-suction-pumps-\(esquema\).png](http://www.neptunopumps.com/images/axial-split-sase-double-suction-pumps-(esquema).png)

1.1.4 BOMBA DVS.

Las bombas DVS son de etapa simple horizontal, doble aspiración, doble voluta, horizontalmente dividido, y son bombas centrífugas de doble rodamientos.⁴

El diseño de doble voluta permite dar equilibrio radial al elemento rotatorio bajo toda condición de operaciones, están diseñados para grandes volúmenes, carga mediana, y alta eficiencia. En la Figura 1.2 se observa este tipo de bomba.

³ <https://areamecanica.wordpress.com/2013/04/21/ingenieria-mecanica-bombas-centrifugas-de-camara-partida/>

⁴ Pumps. 1994. Instructions Manual For The Installation, Operation Maintenance Of United Centrifugal.

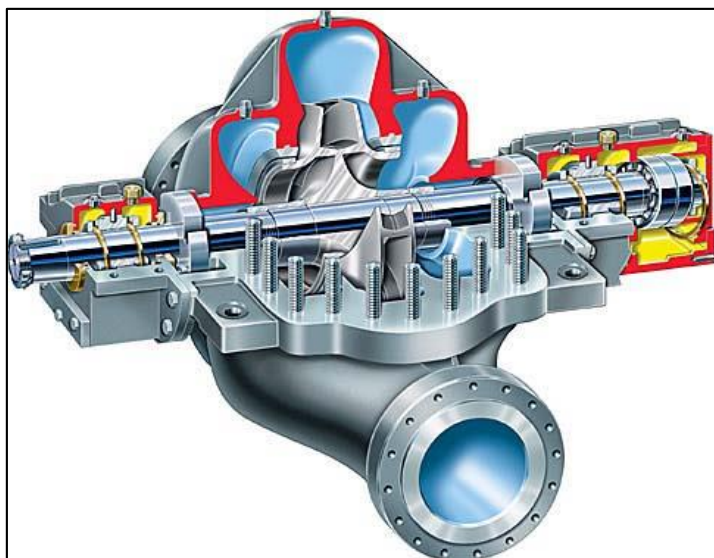


Figura 1. 2 Bomba DVS

Fuente: [http://www.flowserve.com/es_es/Products/Pumps/Between-Bearings/Single-Case-Axially-Split/DVSH--ISO-13709-API-610-\(BB1\)-Between-Bearings,-Single-Case,-Axially-Split,-Single-Stage-Pump,en_US](http://www.flowserve.com/es_es/Products/Pumps/Between-Bearings/Single-Case-Axially-Split/DVSH--ISO-13709-API-610-(BB1)-Between-Bearings,-Single-Case,-Axially-Split,-Single-Stage-Pump,en_US)

1.1.4.1 Partes principales de una bomba DVS⁵

Carcasa: Consiste en dos mitades normalmente denominadas mitad superior e inferior (cámara partida). Las carcasas son de diseño resistente (robusto) para soportar el alto trabajo y presiones hidrostáticas. Las bridas de succión y descarga forman un solo cuerpo con la mitad inferior de la carcasa, esto permite el desmontaje de la bomba sin molestar a las conexiones de las tuberías

Los asientos de montaje de la bomba se localizan en la mitad inferior de la carcasa y tan próximo a la línea central horizontal de modo que la alineación se mantenga cuando opera a elevadas temperaturas.

Eje: Está hecho de aleación de acero con tratamiento térmico. La extensión del eje estándar es cónico. La ventaja del eje cónico es la facilidad de extracción del acoplamiento cuando se da mantenimiento a un sello mecánico.

⁵ Pumps.1994. Instructions Manual For The Installation, Operation Maintenance Of United Centrifugal.

Rodete: La doble aspiración del rodete está diseñado con un área grande para asegurar los requerimientos bajos de NPSH y reducir la posibilidad de cavitación.

Anillos de desgaste del rodete: Se montan en el rodete con un leve ajuste por contracción (ajuste empotrado en caliente) y se aseguran mediante pasadores

Prensaestopas: Está fundida integralmente con la caja, es extra profunda y para bombas embaladas (packed pumps) están provistas de anillo de cierre hidráulico.

Eje del manguito (camisa): Las camisas del eje se enroscan contra la rotación y bloqueadas contra rotación opuesta por un tornillo de ajuste situado en el extremo exterior del manguito y roscado en el eje.

Rodamientos: La presión de prueba hidrostática normal de rodamientos de los conductos de refrigeración es de 150 psi.

Acoplamiento: acoplamiento flexible tipo de acero se utiliza para conectar la bomba al conductor (motor) de forma directa. Un acople tipo espaciador está equipado con ambos prensaestopas de sello mecánico y embalado para ayudar en el mantenimiento o la adaptación.

En la Figura 1.3 se muestran las partes principales de una bomba DVS.

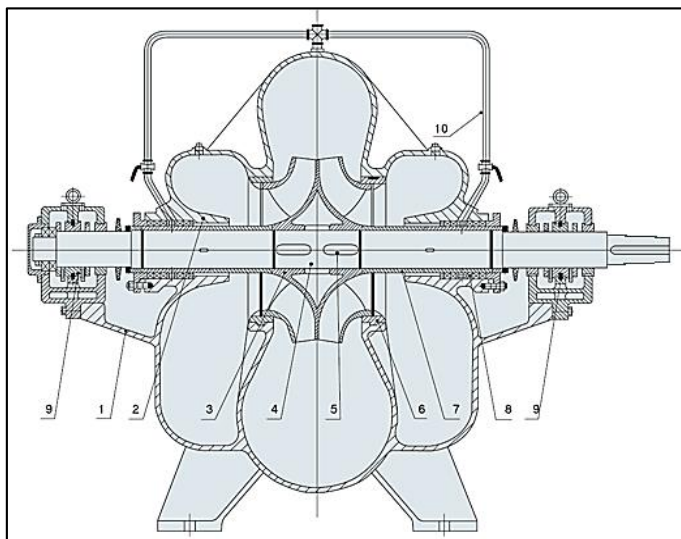


Figura 1. 3 Partes Principales de una Bomba DVS

Fuente: http://www.alvestmont.sk/pdf_pumpy/slow/SLOW_large_ENG.pdf

Tabla 1. 2 Nomenclatura de la bomba centrífuga

Nomenclatura de las partes principales de las bombas Centrífugas.			
No.	Nombre de la pieza	No.	Nombre de la pieza
1	Carcasa (mitad inferior)	6	Anillo de cierre hidráulico
2	Carcasa (mitad superior)	7	Manguito del árbol
3	Impulsor(rodete)	8	Empaquetadura
4	Eje	9	Parte del cojinete de rodamiento
5	Chaveta (cuña)	10	Tubo de sellado

Fuente: Propia

1.1.5 MOTOR

El motor eléctrico es una máquina que transforma energía eléctrica recibida de la red en energía mecánica rotacional en el eje. De esta forma se puede accionar cualquier tipo de carga mecánica, siempre y cuando se tenga disponibilidad de una red eléctrica. Se sabe que dentro del universo del motor eléctrico, el motor de inducción es el más común y prácticamente todas las aplicaciones industriales pueden realizarse con este motor, generalmente el tipo Jaula de ardilla o con rotor en cortocircuito. Por otro lado, una bomba centrífuga necesita estar acoplada a un motor para poder convertir la potencia de entrada que genera dicho motor en energía cinética en el fluido por medio de un mecanismo giratorio llamado impulsor.⁶

La bomba DVS J14x25 utiliza un MOTOR ELECTRICO HXR, el cual se describen sus características a continuación:

1.1.5.1 MOTOR ELÉCTRICO HXR ABB

Los Motores de Alta Tensión Refrigerados por Aletas de tipo HXR, están diseñados para una combinación perfecta con las aplicaciones demandadas. Los TEFC (Totally Enclosed Fan Cooled) HXR son la opción acertada para aplicaciones que requieran un alto rendimiento que no pueda ser alcanzado con productos estándar. Las pérdidas son mínimas por el uso efectivo del material y la optimización del diseño del ventilador. Los motores tipo HXR se usan en aplicaciones que incluyan bombas, ventiladores,

⁶ <http://www.definicionabc.com/motor/motor-electrico.php#ixzz3XKjbHtk9>

sopladoras, compresores, cintas transportadoras, pulverizadores, incluso propulsores de buques y generadores de CA. Estos motores son una excelente elección para bombas en centrales eléctricas e industrias de proceso como es el caso presentado en este proyecto.⁷ En la Figura 1.4 se observa el motor eléctrico utilizado para la bomba.



Figura 1. 4 Motor Eléctrico HXR ABB

Fuente: <http://www.abb.cl/cawp/seitp202/40e771680b6359e1c1257da9005097bd.aspx>

1.1.6 ACOPLES

Para transferir la energía rotativa suministrada por el motor a la bomba, se utilizan dispositivos de transmisión de energía llamados acoplamientos. Existen dos tipos de acoplamientos para bombas centrífugas: los acoplamientos flexibles y los acoplamientos rígidos. La función de los acoplamientos es impedir cualquier tipo de movimiento relativo entre las flechas del conjunto en movimiento, ya sea axial o radial, que pudiera dificultar su buen funcionamiento.⁸

⁷<http://www.abb.com/product/seitp322/4a2471e8d0074c57c1257c8b00374241.aspx?productLanguage=es&country=EC>

⁸ Greg Towsley; acoplamientos; Informe técnico; GRUNDFOS; 2010, Pag 1.

1.1.6.1 ACOPLAMIENTOS THOMAS SERIE 71-8.

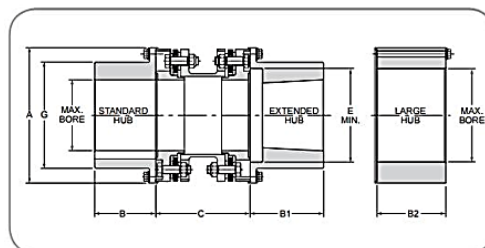
Los acoplamientos Thomas serie 71-8 están diseñados para proporcionar una conexión mecánica entre los ejes giratorios de equipos mecánicos, mediante elementos de disco flexibles para adaptar la desalineación inherente mientras se transmite la potencia y la torsión entre los ejes conectados.⁹ En la Tabla 1.3 se muestran las características de este acoplamiento.



Figura 1. 5 Acoplamiento Tomas

Fuente: <http://www.bakker-co.com/wp-content/uploads/2012/08/SR71-8-Thomas.pdf>

Tabla 1. 3 Características del acoplamiento



Coupling SIZE	Stocked „C“ Dimensions			B & B1 Hub Max. Bore	B2 Hub Max.	A (mm)	B (mm)	B1 (mm)	B2 (mm)	Min. C (mm)	Max. E (mm)	G (mm)
	140	180	250									
225	*	*	*	80	106	151.64	63.50	79.25	77.72	120.65	106.43	115.82
262	*	*	*	95	128	174.75	77.72	93.73	90.42	139.70	119.13	131.83
312	*	*	*	112	145	203.20	90.42	109.47	104.65	152.40	146.05	160.27
350	*	*	*	130	166	227.08	98.55	120.65	114.30	171.45	165.10	179.32
375	*	*	*	144	185	252.48	112.78	134.87	131.06	184.15	181.10	201.68
425	*	*	*	158	203	273.05	123.95	149.35	139.70	190.50	188.98	214.38
450	*	*	*	170	214	293.62	128.52	157.23	152.40	222.25	212.85	235.71
500	196	248		196	248	333.25	150.88	179.32	171.45	260.35	231.90	266.70
550				215		373.13	166.62	198.37	0.00	292.10	254.00	292.10
600				242		416.05	182.63	214.38	0.00	317.50	298.45	335.79

Fuente: <http://www.bakker-co.com/wp-content/uploads/2012/08/SR71-8-Thomas.pdf>

⁹ REXNORD INDUSTRIES; Acoplamientos de disco Thomas® • Instalación y mantenimiento Serie 71-8 • Tamaños 225-750; 2010. Pag 1.

1.1.7 PLACA BASE PARA BOMBAS CENTRIFUGAS ¹⁰

La placa base es una estructura diseñada con la finalidad de soportar instalaciones de distintas máquinas acopladas entre sí, que cumplen una función determinada en un proceso industrial. Estos soportes o bases tienen distintos tamaños, diseños y configuraciones dependiendo del tipo y características de las maquinas instalas en ella.

Dichas placas base, están diseñados para ser montadas ya sea en fundaciones de concreto o estructuras de acero, según lo especifique el proveedor de la misma. La mayoría de placas base son diseñadas para ser lechadas en una fundación de concreto, con el fin de proporcionar nivelación a los equipos instalados en ella y además atenuar junto con la lechada y su fundación las vibraciones existentes debido a los equipos que esta placa base soporte.

Para el presente proyecto, la placa base a diseñar soportará a una bomba centrífuga DVS J-14x25 y a su conductor (motor eléctrico HRX ABB).

1.1.7.1 FUNCIÓN DE LA PLACA BASE.

La función de la placa base será la de proporcionar una estructura bajo el conjunto bomba- motor, la cual sea capaz de soportar al conjunto antes mencionado, manteniendo la alineación entre los dos equipos mientras se aplican las cargas generadas por las tuberías tanto la de succión como la de descarga

La placa base deberá ser apta para soportar el manejo, transporte y montaje, sin sufrir distorsiones permanentes, además deberá permitir el montaje inicial y la alineación del equipo, asimismo habrá de permitir la correcta alineación del equipo de bombeo al cual soporte. Por otra parte deberá ser capaz de transmitir uniformemente los esfuerzos producidos durante el funcionamiento del equipo de bombeo, por tal razones la placa base debe ser lo suficientemente rígida. Además, la placa base será capaz de recoger

¹⁰ http://cbs.grundfos.com/export/sites/dk.grundfos.cbs/GMX_Mexico/whitepaper/Download_Files/IT-02_Base_de_Montaje.pdf

las fugas o derrames de la bomba durante el funcionamiento o mantenimiento del mismo, dichos derrames deberán ser canalizados a un sistema de drenaje adecuado.

En síntesis la placa base deberá tener las siguientes funciones:

- Permitir la alineación final de los equipos montados en ella y remover o reinstalar las máquinas,
- Transmitir las fuerzas generadas por el equipo de bombeo a la fundación.
- Soportar la manipulación durante el transporte al sitio de instalación,
- Permitir ser instalada apropiadamente con una mínima dificultad,
- Recoger los derrames producidos por los fluidos de la bomba.

Su diseño deberá estar sujeto a normas, para garantizar que la operación de las máquinas que en ella estén instaladas sea la adecuada y que éstas trabajen correctamente, así como también se facilite el mantenimiento de las mismas. La placa base instalada en una fundación de concreto confía la mayor parte de su rigidez en éste material, sin embargo, la estructura debe ser lo suficientemente rígida para permitir su manipulación, traslado e instalación sin deformaciones excesivas ni permanentes.

Las placas base de las bombas horizontales deberán estar apoyadas sobre una superficie completamente lisa, en algunos casos será necesario utilizar suplementos mecánicos adicionales como galgas para conseguir un posicionamiento adecuado.

1.1.7.2 PARTES PRINCIPALES DE UNA PLACA BASE.

La placa base consta de partes principales que debe poseer la mayoría de placas de montaje como se observa en la Figura 1.6, dependiendo de la bomba y de la aplicación que esta vaya a tener, por lo que a continuación se menciona algunas de dichas partes:

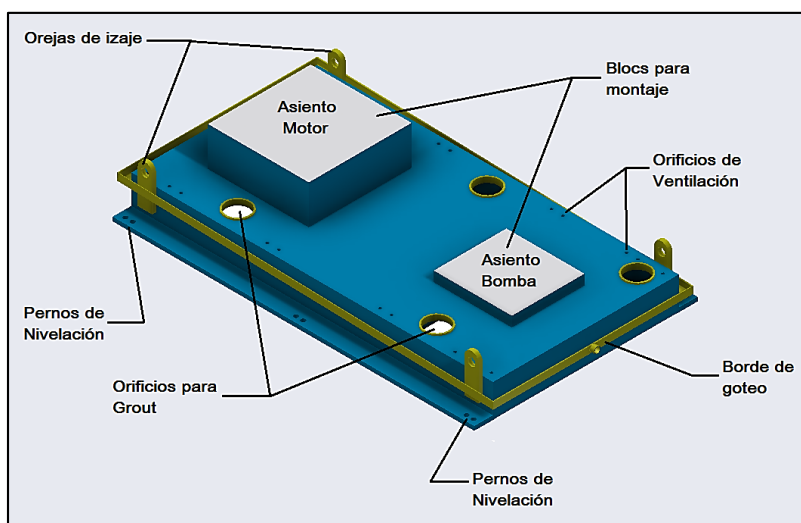


Figura 1. 6 Partes principales de una Placa Base

Fuente: Propia

Blocs de Montaje: Los blocs o también llamados pedestales, proporcionan una superficie sobre la que se montan diversos componentes mecánicos, para placas base de bombas centrífugas dichos pedestales son utilizados para ubicar al conjunto motor-bomba y de esta manera ayudar a proporcionar una alineación entre sus ejes.

Orejas de Izaje: Las orejas de izaje son utilizadas para poder transportar la placa base con el motor y la bomba montados sobre ella hacia el lugar donde será utilizado el conjunto o también para transportar la placa base sin ningún componente montado sobre ella.

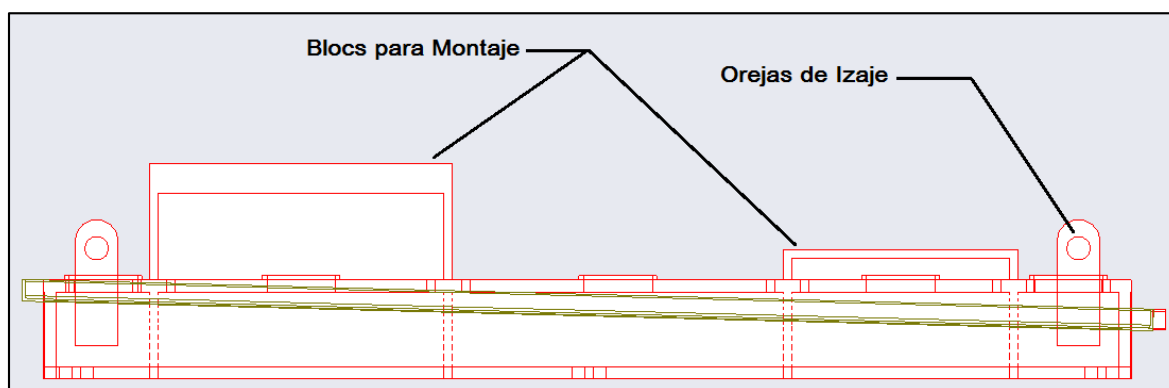


Figura 1. 7 Blocs de montaje y orejas de izaje

Fuente: propia

Orificios para Lechada (Grout): Estos orificios son utilizados en placas base en donde se verterá lechada de cemento o epoxi en el interior de esta, para que provea de una mayor rigidez al conjunto de bombeo (placa base- motor y bomba).

Orificios de Ventilación: Aquellas placas base que posean orificios para lechada (grout), también debe poseer orificios de venteo, por los cuales podrá salir el aire que se encuentre en el interior de la placa base una vez que se vierta la lechada.

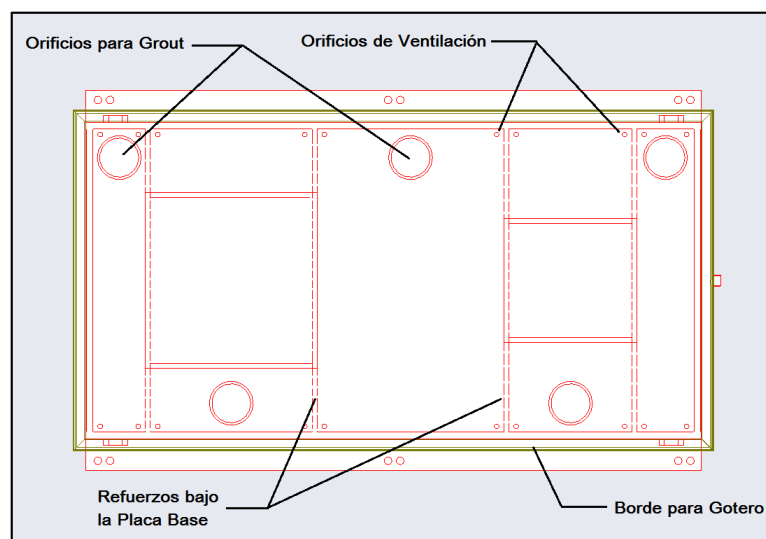


Figura 1. 8 Orificios de ventilación y lechada (grout) en una placa base

Fuente: Propia

Borde de Goteo: Las placa base por lo general, incorporan una bandeja inclinada a lo largo de la misma con una conexión de drenaje, dicha bandeja sirve para poder recolectar los fluidos que genere el conjunto.

Refuerzos bajo la Placa Base: Se suelen utilizar refuerzos bajo la placa base, estos refuerzos, son ubicados especialmente debajo de los blocs de montaje (pedestales) tanto del motor como de la bomba, usualmente son vigas estructurales tales como vigas en I, vigas en C y chapas metálicas.

Pernos de Nivelación: Para poder nivelar la placa base a cierta distancia de la fundación o al suelo se necesita de pernos para poder lograr dicho objetivo, ya que es esencial que la placa base este bien asentada y así evitar des alineamientos en el

conjunto durante el vertido de la lechada, que a la larga lleguen a afectar el funcionamiento del motor y la bomba.

1.1.8 TIPOS DE PLACAS BASE.

Así como existen una gran variedad de bombas centrifugas también existe un sin número de placas base, las cuales poseen diferentes diseños, configuraciones y estilos.

El tipo de placa base de montaje varía dentro de cada industria, compañía, aplicación y diseño de bomba, es evidente pensar que cada una de estas configuraciones tiene sus ventajas y desventajas. Los siguientes tipos de base ayudarán a entender mejor las diversas variaciones disponibles de placa bases existentes.

1.1.8.1 Placas base de hierro fundido.

Una de las mejores alternativas para asentar una bomba centrífuga y el motor es la base de hierro fundido, ya que posee propiedades tales como: buena rigidez, libre de distorsiones, y proporciona un efecto amortiguador para las vibraciones y ruidos. Asegura la mínima desviación de la bomba y mantiene el alineamiento del acople motor-bomba más tiempo que cualquier otra base. Es importante que la base posea una masa suficiente para apoyar la bomba y el motor.

Las bases de hierro fundido se usan comúnmente para pequeñas unidades de bombeo, incluyendo las bombas ANSI de proceso, por su bajo costo, ya que para conjuntos motor – bomba de tamaño considerable, las bases de hierro fundido son demasiado costosas.

Para bombas pequeñas, la base de hierro fundido tiene un remate curvo con un block moldeado para el motor. Los blocs de montaje (pedestales) para la bomba y el motor se maquinan planos, tiene orificios para la lechada y para ventilación, tal como se observa en la Figura 1.9, además estas bases de hierro pequeñas no tienen elemento para coleccionar el drenaje.

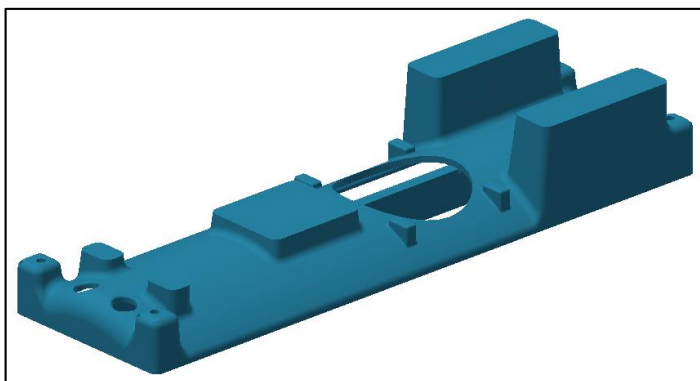


Figura 1. 9 Placa base de hierro fundido

Fuente: Propia

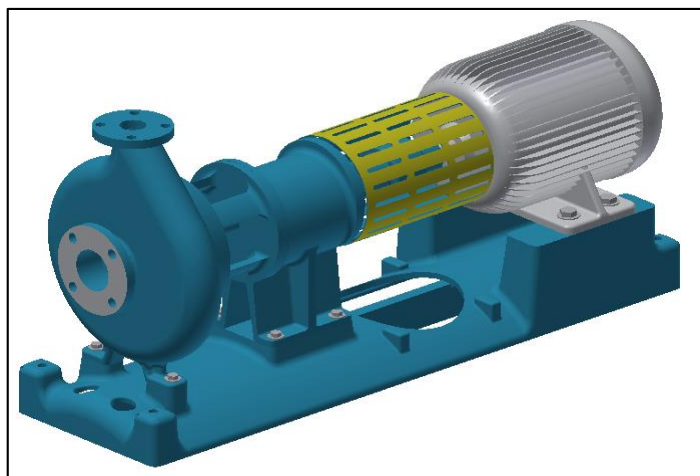


Figura 1. 10 Placa base de hierro fundido con equipo de bombeo montado

Fuente: Propia

1.1.8.2 Placa base de hormigón polímero

El sistema de base hormigón polímero, combina la placa base tradicional con unos cimientos de hormigón para conjuntos bomba – motor, así también se insertan placas de soporte de acero inoxidable para reforzarla.

Las bases de montaje fabricadas con poliéster reforzado con fibra de vidrio generalmente se suministran con bombas ANSI en servicios que requieren resistencia

a corrosión severa que tengan que ver especialmente con procesos químicos. Este tipo de placas se observan en las Figura 1.11 y Figura 1.12.

Está construida en una sola pieza, tiene superficies de montaje planas, bloques de montaje (pedestales) para el motor que facilita su instalación.¹¹



Figura 1. 11 Placa base con cimientos poliméricos

Fuente: http://www.ppe-corp.com/baseplates/basetek_brochure.pdf

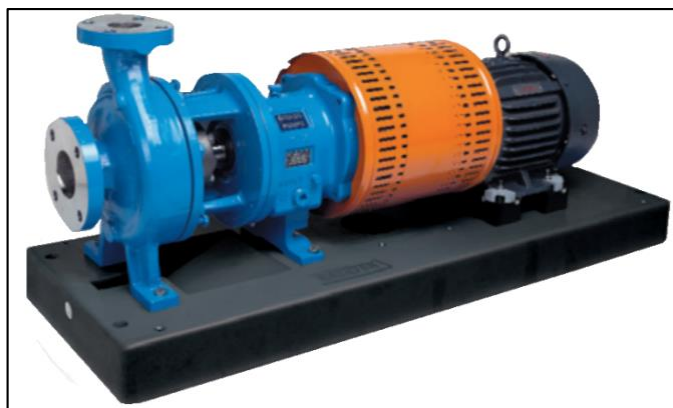


Figura 1. 12 Placa base con cimientos poliméricos con equipo de bombeo

Fuente: http://www.ppe-corp.com/baseplates/basetek_brochure.pdf

1.1.8.3 Placa base en acero fabricado

1.1.8.3.1 Placa base de asiento

Las placas de asiento son la forma más simple y básica de bancadas para bombas. Consiste en una placa de acero montada bajo la base de apoyo del equipo rotativo. En

¹¹ <http://www.flowserve.com/files/Files/Literature/ProductLiterature/Pumps/ps-10-30-s.pdf> página 23

el caso de una unidad acoplada, se monta una chapa de acero bajo cada una de las bases de la bomba y el motor de ser el caso que hará las funciones de pedestal tanto para la bomba como para el motor. La placa de asiento se usa para bombas pequeñas y medianas, aunque este tipo de bases no garantizan una rigidez necesaria para el conjunto motor-bomba y de esta manera minimizar esfuerzos y vibraciones generadas por el equipo de bombeo.

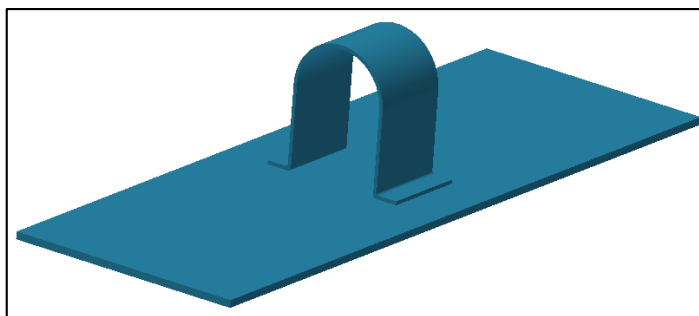


Figura 1. 13 Placa base de asiento

Fuente: propia

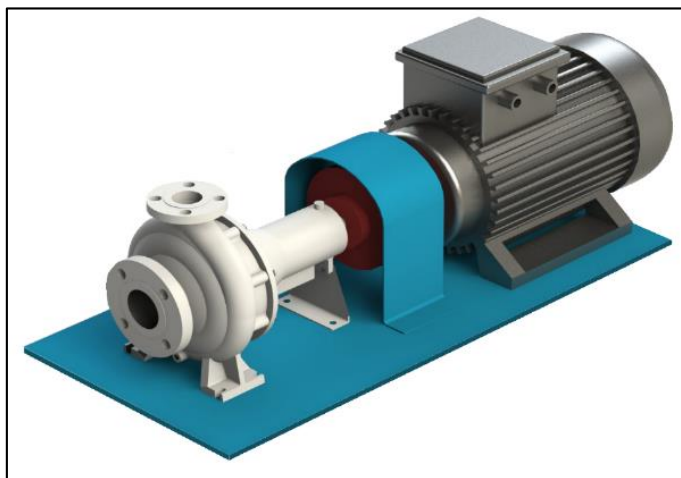


Figura 1. 14 Placa base de asiento con equipo de bombeo montado

Fuente: Propia

1.1.8.3.2 Placa base doblada de acero

Las bases de montaje fabricadas en acero se construyen usando diferentes materiales. Pueden llegar a ser más rígidas que las bases de hierro.

El acero laminado o doblado que ha sido formado en una dobladora grande, es el menos costoso. Los blocs de montaje para el motor se incorporan mediante tornillos, a la base de montaje. Como se muestra en la Figura 1.15, el bloc de montaje del motor se fabrica del tamaño necesario según el motor.

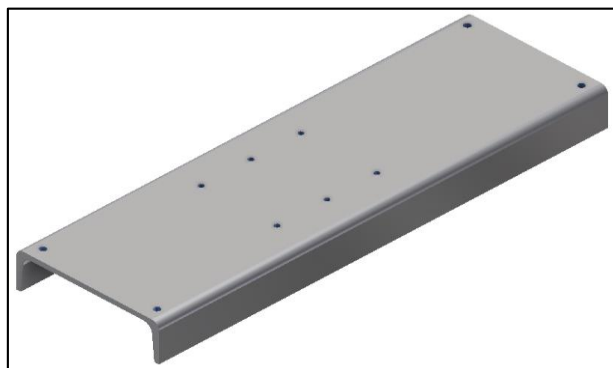


Figura 1. 15 Placa base de acero doblada

Fuente. Propia

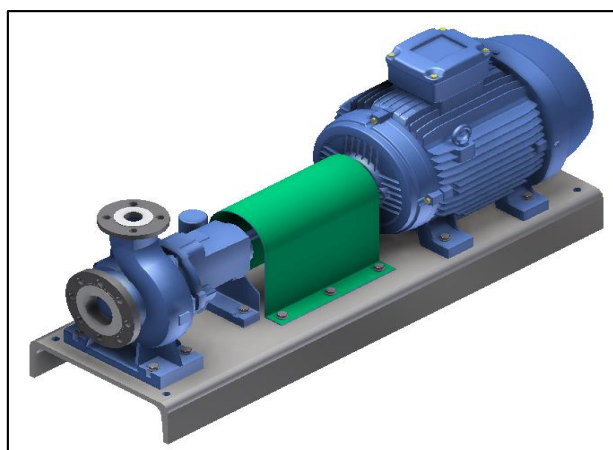


Figura 1. 16 Placa base de acero doblada con equipo de bombeo montado

Fuente. Propia

1.1.8.3.3 *Placa base reforzada*

Esta placa base al igual que la anterior está fabricada con chapas de acero estructural, pero además, posee orificios para la lechada y canaletas de recolección de fluidos. Las láminas utilizadas son de espesores considerables, lo que genera un peso excesivo respecto a la placa base rolada, pero esta característica es necesaria ya que

le proporciona suficiente rigidez. Este tipo de placa se puede observar en la Figura 1.17.

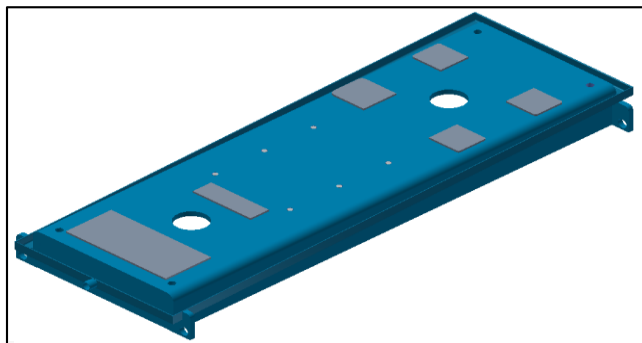


Figura 1. 17 Placa base de acero laminado reforzada

Fuente. Propia

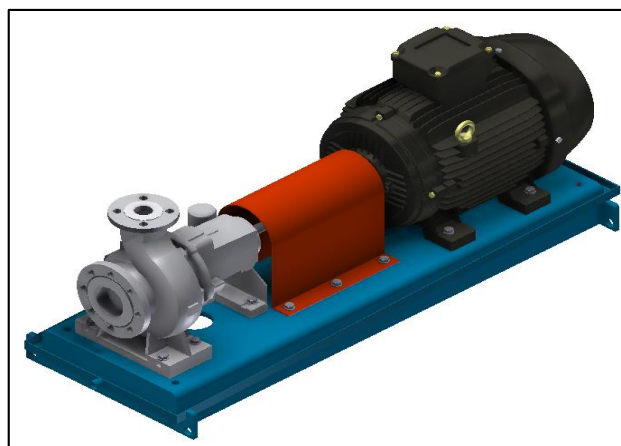


Figura 1. 18 Placa base laminada reforzada con equipo de bombeo montado

Fuente: propia

1.1.8.3.4 Placa base montada sobre pilotes con resorte

En aplicaciones donde está presente la dilatación térmica de las tuberías de succión y descarga, las bridas de la bomba pueden experimentar cargas excesivas. Generalmente, se usan juntas o anillos de expansión, pero en los sistemas de tubería grandes esta opción puede resultar muy costosa, por lo que el uso de bases con resortes puede ser una alternativa, ya que permite movimientos en los planos

horizontal y vertical debidos a las altas temperaturas o altas presiones. Aunque el uso de bases con resorte puede compensar estos movimientos, no deben usarse para remediar un mal diseño del sistema de tubería. El máximo movimiento permisible ya sea en el plano horizontal o en el vertical, no debe exceder de una pulgada. Para compensar el movimiento vertical, un doble juego de resortes helicoidales o en espiral se ubican en las cuatro esquinas de la base y en puntos adicionales conforme sea necesario. Uno de los resortes en espiral limita el movimiento hacia abajo, el otro resorte limita el movimiento hacia arriba. El tamaño del resorte se selecciona basándose en las cargas aceptables en la brida de la bomba y para acomodar las expansiones térmicas. La compensación en el plano horizontal se realiza con un juego de placas de soporte, montadas sobre la base que usa una sustancia tipo grafito con bajo coeficiente de fricción. Éstas permiten a la unidad moverse horizontalmente sobre los bloques de acero inoxidable en el cemento o el piso.



Figura 1. 19 Placa base con resorte

Fuente. <http://www.flowserve.com/files/Files/Literature/ProductLiterature/Pumps/ps-10-30-s.pdf>



Figura 1. 20 Placa base con resorte con equipo de bombeo montado

Fuente: <http://www.flowserve.com/files/Files/Literature/ProductLiterature/Pumps/ps-10-30-s.pdf>

1.1.8.3.5 *Placa base reforzada con marco de vigas estructurales*

Las placas base con marco de vigas estructurales son las soluciones más adecuadas para equipos de bombeo extremadamente pesados, ya que las vigas aumentan la rigidez de la estructura y puedan soportar de mejor manera las cargas generadas que otros tipos de placas base.

Los pedestales de la bomba y el motor son construidos con vigas o con chapas metálicas unidas al marco principal de la estructura mediante soldadura.

La placa base de la Figura 1.21, se observa un marco de perfiles en C en el contorno de la estructura metálica, los cuales están unidos mediante cordones de soldadura continuos. Esta configuración de placa base presenta una mayor facilidad para diseñar el borde para goteo con drenaje, los orificios para la lechada, orificios para nivelación y anclaje.

La base fabricada en acero ilustrada en la Figura 1.22 brinda una vista de un motor eléctrico y la bomba montados en sus respectivos pedestales, en donde se utiliza una combinación entre chapas y vigas estructurales que permiten el alineamiento entre ejes de los equipos.

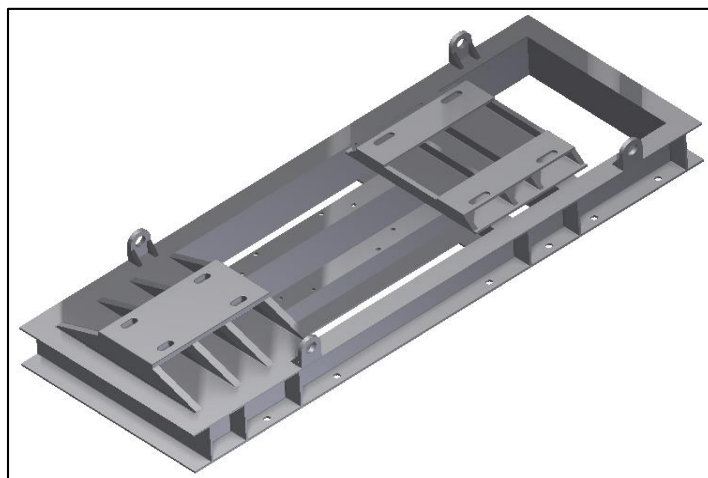


Figura 1. 21 Placa base con marco de vigas estructurales

Fuente: propia

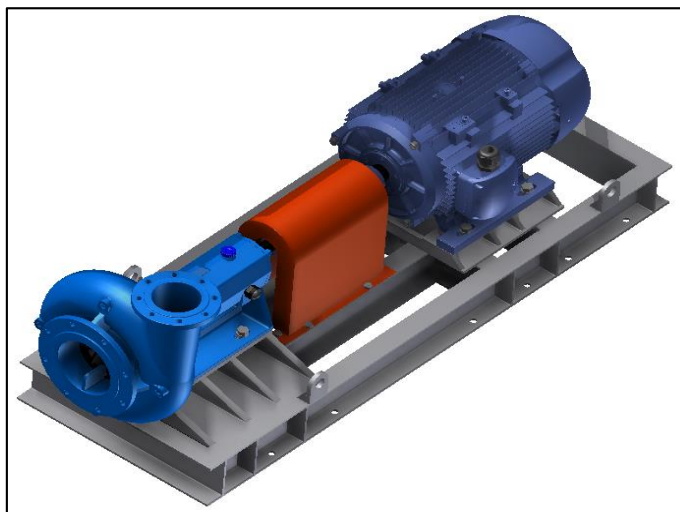


Figura 1. 22 Placa base con marco de vigas estructurales con equipo de bombeo

Fuente: propia

1.1.9 PLACAS BASE UTILIZADAS EN EL AREA PETROLERA.

Las placas base con marco de vigas estructurales, son muy utilizadas en refinería petroquímica, procesamiento de gas, aguas residuales, hidrocarburos / oleoductos de crudo, entre otros, debido a su versatilidad en cuanto a su diseño estructural se refiere, es decir a su fácil adaptación a los equipos de bombeo, además poseen una gran

rigidez estructural y pueden soportar de mejor manera las cargas generadas por el equipo de bombeo.



Figura 1. 23 Bomba de proceso para servicio pesado, multi etapa.

Fuente: [//www.bestpumpworks.com/wp-content/uploads/BUILD-300-dpi-view-2-DSC_2862.jpg](http://www.bestpumpworks.com/wp-content/uploads/BUILD-300-dpi-view-2-DSC_2862.jpg)

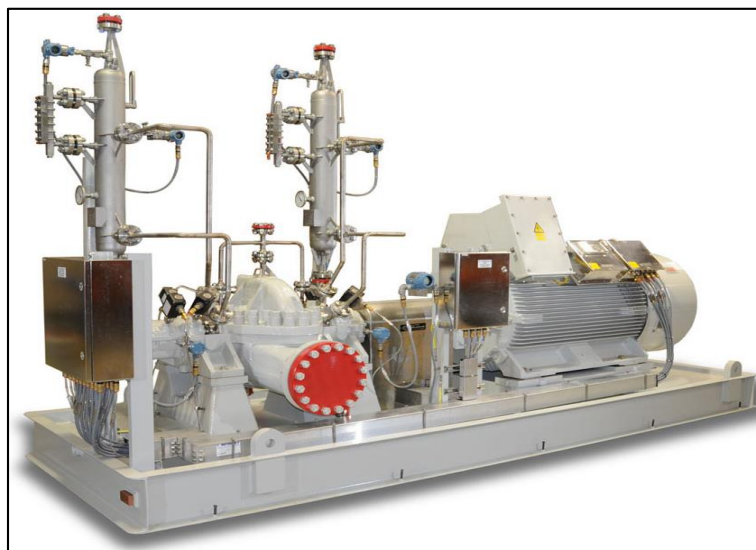


Figura 1. 24 Bomba de Proceso para servicio en Oleoductos

Fuente: <http://www.bestpumpworks.com/wp-content/uploads/Packaged-Pump-System.jpg>

En las Figuras 1.23 y Figura 1.24, se presentan dos sistemas de bombeo, los cuales están conformados por la placa base y su respectivo equipo de bombeo, en la Figura 1.23 se presenta un sistema de bombeo utilizado para servicio pesado, mientras que en la Figura 1.24 se trata de un sistema de bombeo para servicio en oleoductos.

1.2 DISEÑO DE ESTRUCTURAS METÁLICAS

Las estructuras metálicas poseen una gran capacidad resistente gracias al empleo del acero; esto le confiere la posibilidad de lograr soluciones de gran envergadura, como cubrir grandes luces, y soportar cargas importantes.¹²

El sistema estructural y sus componentes deben ser diseñados para resistir las solicitaciones permanentes eventuales que pueden afectar a una estructura, entre las que se incluyen peso propio, sobre cargas de uso, sismos, ráfagas de viento, cargas de viento y ceniza, todas ellas definidas y reguladas en normas de diseño.¹³

En la actualidad el incremento de la utilización de estructuras metálicas en el área de la construcción, ha sido notable debido a diversas ventajas que presentan las mismas frente a otros métodos de construcción con una variedad de factores que se detallan a continuación.

1.2.1 ETAPAS DEL DISEÑO ESTRUCTURAL.

El diseño es un proceso creativo mediante el cual se definen las características de un sistema estructural de manera que cumpla en forma óptima con sus objetivos del diseño, permitiendo resistir con seguridad todas las cargas permanentes y transitorias, sin exceder los esfuerzos permisibles para el material de construcción especificado. El proyecto de un diseño estructural comprende algunas etapas, las cuales son:

1.2.1.1 Estructuración.

Es la etapa más importante del diseño estructural, en la cual se elabora un esquema preliminar, donde se definen principalmente el sistema estructural a utilizar, las dimensiones aproximadas, la selección de los materiales que van a constituir la estructura, así como el arreglo de los elementos estructurales más comunes. El

¹² http://www.construmatica.com/construpedia/Estructuras_Met%C3%A1licas

¹³ Andrade, J.; Sánchez, H. (2007). "Diseño de una plataforma cama - alta acoplable a cabezales de transporte pesado para el traslado de contenedores". Escuela Politécnica Nacional. Facultad de Ingeniería Mecánica. Ecuador.

objetivo es adoptar la solución óptima dentro de un conjunto de posibles opciones de estructuración.

1.2.1.2 Estimación de cargas.

En esta segunda etapa del proyecto, se identifican las cargas que van actuar sobre el sistema estructural durante su vida útil. Entre estas acciones se encuentra, por ejemplo, las acciones permanentes como la carga muerta, acciones variables como la carga viva, y acciones accidentales como del viento, impacto y sísmicas.

1.2.1.3 Análisis de cargas.

Una de las tareas más importantes de un proyecto estructural es determinar de manera precisa el valor de las cargas que soportará la estructura durante su vida útil, así como la posición y las combinaciones más desfavorables que se podrían tener de acuerdo a guías y reglamentos establecidos. La vida útil de una estructura es de aproximadamente 50 años. Las cargas más importantes se especifican en la Tabla 1.5

1.2.1.3.1 Tipos de Carga

Sobre las estructuras pueden actuar una variedad prácticamente infinita de fuerzas o cargas, en la Tabla 1.4 se muestra una clasificación:¹⁴

Tabla 1. 4 Tipo de Cargas

Tipos de Cargas
Carga Muerta
Carga Viva
Cargas Accidentales
Cargas de Seguridad
Cargas según el tipo de Aplicación

Fuente: propia

¹⁴ Celis, G (2009). Mecánica Estructural. Recuperado de: <http://books.google.com.ec/books?id=s1JUG8P72oQC&pg=PA27&dq=tipo+de+cargas+estructurales&hl=es&sa=X&ei=r7AZVPmeHJLGgwTz5YGoBQ&ved=0CDIQ6AEwBA#v=onepage&q=tipo%20de%20cargas%20estructurales&f=false>

1.2.2 ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL

Procedimiento que lleva a la determinación de la respuesta del sistema estructural ante las cargas externas que pueden incidir sobre dicho sistema. La respuesta de una estructura o de un elemento es su comportamiento bajo una carga determinada, está en función de sus propias características y puede expresarse en función de deformaciones, esfuerzos, reacciones, entre otros. En esta etapa se define la estructura y se revisa si se cumple con los requisitos de seguridad adoptados.

1.2.3 MÉTODOS DE DISEÑO PARA ESTRUCTURAS METÁLICAS.

Las especificaciones dictan el criterio mínimo aceptable para el diseño, esto incluye recomendaciones de cargas y deformaciones límites, así como requisitos especiales que controlan la disposición adecuada de miembros y conexiones.

Las especificaciones generales más ampliamente aceptadas para edificaciones de acero son las del Instituto Americano de la Construcción en Acero. Las especificaciones AISC son planteadas para utilizarse principalmente en miembros conformados en caliente, o secciones armadas con placas soldadas de sección constante o variable.

El Instituto Americano de Hierro y el Acero adoptó las Especificaciones AISI para el Diseño de Lámina de Acero Delgada, formados en frío. Al utilizar esta especificación, la resistencia de cada uno de los elementos se expresa a través de las fuerzas y momentos admisibles, los cuales no deben superar los esfuerzos y momentos admisibles especificados en la respectiva norma.

Aunque las diferentes especificaciones pueden discrepar en ciertas condiciones, todas ellas se basan en los requisitos generales para una estructura satisfactoria;

El material adecuado, y de calidad adecuada.

En el diseño se debe considerar las cargas y condiciones de servicio adecuadas a cada caso.

El diseño y los cálculos deben hacerse de manera que la estructura y sus detalles posean la rigidez y resistencia adecuada.

1.2.3.1 Método por tensiones admisibles

Este método de diseño consiste en calcular por medio de un análisis elástico, las acciones internas que producen las sollicitaciones de servicio (nominales o de trabajo) en los diversos miembros estructurales, y en comparar los esfuerzos ocasionados por esas acciones, determinados también por métodos elásticos, con los permisibles o de trabajo, que se obtienen dividiendo ciertos esfuerzos característicos (de fluencia, de falla por inestabilidad, etc.) entre un coeficiente de seguridad.¹⁵

Un diseño satisface los requisitos de esta especificación, cuando la resistencia de cálculo admisible de cada uno de los componentes estructurales es mayor o igual que la resistencia requerida, determinada en base a las cargas nominales ecuación 1.1, para todas las combinaciones de cargas aplicables.

$$R \leq R_n / F.S \quad \text{(Ecuación 1.1)}$$

Donde:

R = Resistencia requerida

R_n = Resistencia nominal

$F.S$ = Factores de seguridad especificados

$R_n / F.S$ = Resistencia de cálculo admisible

1.2.3.2 Métodos por combinación de carga

En ausencia de un código o especificación aplicable, las estructuras y sus componentes se deben diseñar de manera que las resistencias de cálculo admisibles sean mayores o iguales que los efectos de las cargas nominales para cada una de las siguientes combinaciones de cargas:

¹⁵ http://www.ahmsa.com/Acero/Complem/Manual_Construccion_2013/Capitulo_2b.pdf

$$D$$

$$D + (W \text{ o } E)$$

$$D + L + (W \text{ o } E)$$

Donde:

D = Carga permanente

W = Carga de viento.

E = Carga sísmica.

L = Carga viva.

Cuando las combinaciones de cargas especificadas en el código o especificación aplicable incluyen cargas de viento o cargas sísmicas, estará permitido multiplicar las fuerzas resultantes por un factor de aproximadamente 0.75.

1.2.3.3 Diseño por factores de carga y resistencias.

Un diseño es satisfactorio por este método cuando la resistencia de cálculo de cada uno de los componentes estructurales es mayor o igual a la resistencia requerida determinada en base a las cargas nominales, multiplicadas por los factores de carga correspondiente, ecuación 1.2, para todas las combinaciones de cargas aplicables

$$R \leq \phi \times R_n \quad (\text{Ecuación 1.2})$$

Donde:

R = Resistencia requerida

R_n = Resistencia nominal

ϕ = Factores de resistencia

$\phi \times R_n$ = Resistencia de cálculo

1.2.3.4 Método de diseño por Elementos Finitos.¹⁶

El método de elementos finitos también conocido como análisis de elementos finitos, es una técnica computacional utilizada para obtener soluciones aproximadas en problemas de ingeniería. Estos problemas contienen una o más variables dependientes que deben satisfacer cualquier ecuación diferencial dentro de un dominio conocido o campo. Las variables en este dominio se las denomina variables de campo y son las variables dependientes que son gobernadas por la ecuación diferencial. Las condiciones que son gobernadas por la ecuación diferencial. Las condiciones de borde son valores específicos de las variables de campo en el borde del dominio. Dependiendo del tipo de problema, se pueden tener variables de desplazamiento físico, temperatura, transferencia de calor, velocidad de fluidos entre otras.

El MEF es una herramienta poderosa tanto para académicos como para técnicos que trabajan en diferentes campos de la industria. Un uso correcto del MEF facilita la visualización del flujo de esfuerzos en las estructuras, que es dato fundamental para el diseño, permite ver la pieza deformada que en ocasiones restringe el diseño. El método de elementos finitos, considera una estructura como un encaje de partículas de tamaño finito llamadas elementos finitos. El proceso de conversión de la estructura en elementos finitos se denomina discretización o modelaje.

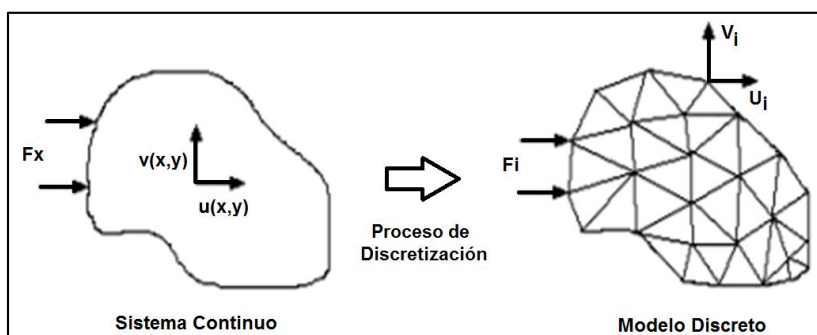


Figura 1. 25 Esquema de Discretización

Fuente: HUTTON, David; Fundamentals of Finite Element Analysis; McGraw-Hill; 1st; edition 2004.

¹⁶ HUTTON, David; Fundamentals of Finite Element Analysis; McGraw-Hill; 1st; edition 2004.

El comportamiento de las partículas y de toda la estructura, se obtiene de resolver un sistema de ecuaciones algebraicas, el cual puede ser resuelto rápidamente en un computador, gracias al uso de un Software adecuado.

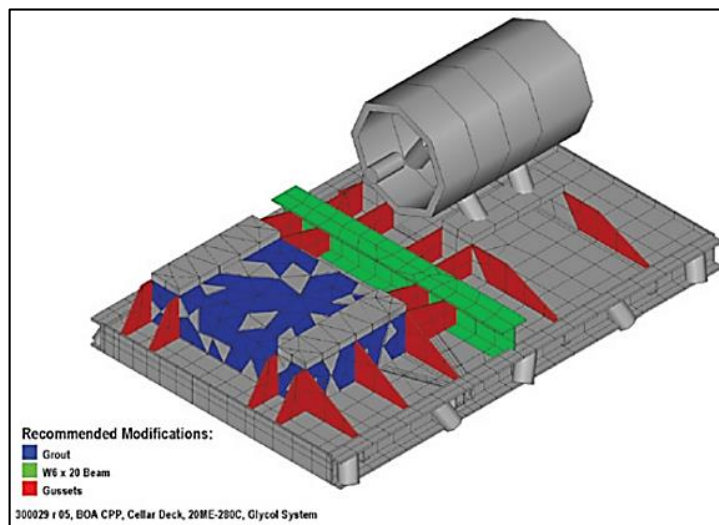


Figura 1. 26 Simulación de una estructura

http://www.betamachinery.com/assets/pdfs/Technical_Articles/CT2-2012_Recip-Pump-Design-Flaws.pdf, PAG 3

1.2.4 DISEÑO ASISTIDO POR COMPUTADORA.

El diseño mecánico utilizando software computacional es una realidad hoy en día, la mayoría de las empresas y universidades poseen programas especializados de diseño asistido por computadora.

Mejor conocido por sus siglas en Ingles C.A.D (Computer Aided Design) estos programas se utilizan para representar las piezas o componentes mecánicos ya sea en planos (2D) o en sólidos (3D), permitiendo ver y evaluar las características geométricas del diseño y su posible desempeño sin la necesidad de hacer un prototipo físico.

El CAD es una poderosa herramienta en el diseño eficiente y preciso, ahorra muchísimo tiempo a los diseñadores y posibilita ver áreas del diseño que podría entrar en conflicto, discrepancias geométricas o simplemente ver el modelo del diseño completamente ensamblado para tener una idea de cómo lucirá una vez construido.

En la Figura 1.27 se observa un modelo de placa base con su sistema de bombeo diseñado con la ayuda de CAD.

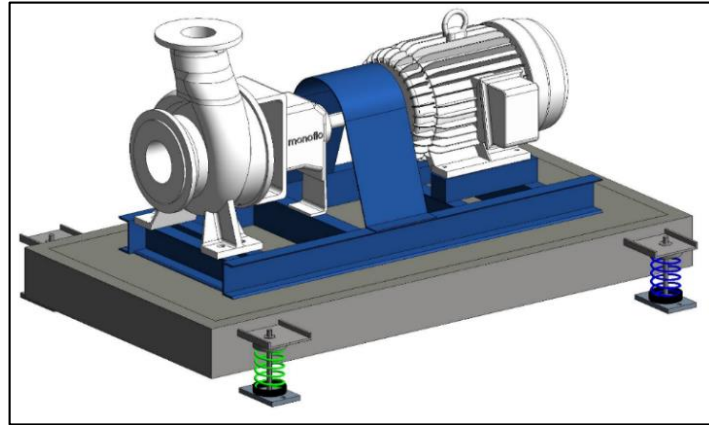


Figura 1. 27 Placa base diseñada en CAD

Fuente: <https://grabcad.com/library/monoflo-ism-125x100-315-pump-1>

1.2.4.1 Procedimiento general del análisis por elementos finitos.

Existe un procedimiento general para el análisis por elementos finitos, utilizando un Software. Este consta de las siguientes etapas:

- Pre proceso o definición del modelo
- Solución
- Post proceso

1.2.4.1.1 Pre proceso o definición del modelo

Es una etapa crítica ya que la solución que se obtendrá será incorrecta si el problema no está definido correctamente, esta etapa involucra:

- Definir el dominio geométrico del problema
- Definir los tipos de elementos que se van a utilizar
- Definir las propiedades de los materiales de los elementos
- Definir las propiedades geométricas de los elementos, tales como longitud, área, entre otras.

- Definir las conectividades y realizar la malla del modelo
- Definir las restricciones del modelo, las cuales serían las condiciones de borde.
- Definir las cargas

1.2.4.1.2 Solución

Durante la etapa de solución, el software que analiza los elementos finitos del modelo, ensambla las ecuaciones algebraicas que gobiernan el problema. Las organiza en forma de una matriz y luego computa los valores desconocidos de las variables de campo primario. Estos valores computados son luego como fuerzas de reacción, esfuerzos en los elementos o transferencia de calor.

Es muy común que en modelo por elementos finitos este representado por decenas, cientos o miles de ecuaciones. Por lo cual, se utilizan técnicas especiales para reducir el almacenamiento de datos y el tiempo de cómputo

1.2.4.1.3 Post Proceso

En esta etapa se analizan y evalúan los resultados obtenidos. El software post procesador contiene rutinas sofisticadas para clasificar, imprimir y plotear resultados selectos de una solución. Operaciones que se pueden logran en esta etapa son:

- Clasificar y ordenar esfuerzos de los elementos de acuerdo a su magnitud.
- Verificar el equilibrio
- Calcular factores de seguridad
- Plotear o trazar la forma de la estructura deformada.
- Observar el comportamiento del modelo en imágenes animadas y dinámicas.
- Producir trazos en los que la temperatura se indica a través de códigos de colores.
- Los resultados de esta etapa son importantes porque con ellos se determina, utilizando el juzgamiento ingenieril, si es que estos resultados son físicamente razonables.

1.2.5 AUTODESK INVENTOR PROFESIONAL.

Autodesk marca la vanguardia en cuanto a Programas CAD para plataforma Windows y con Inventor ha desarrollado un software de Alto Desempeño que sin duda permitirá al usuario mejorar la efectividad y calidad en los procesos de Dibujo, Diseño y Manufactura; reduciendo al mínimo posible errores y acortando el ciclo de Diseño.

Autodesk Inventor es un software CAD especializado para el sector de Manufactura y Diseño Industrial, desarrollado por Autodesk desde 1999, el cual ha tenido como principal objetivo, convertirse en el mejor software de diseño mecánico e industrial en 3D para plataforma Windows. Entre sus principales características se encuentra: diseño de sólidos paramétricos de gran complejidad, manejo de ensambles de más de 1000 componentes, creación de presentaciones y despieces, generación automática de planos de fabricación, manejo de tecnología adaptable, módulo de soldadura 3D, módulo de doblado de lámina, módulo para animación mecánica y foto-realismo, entre muchas características que lo convierten en una herramienta de gran poder¹⁷



Figura 1. 28 Icono del software Inventor

Fuente: <http://autodesk.software.informer.com/>

1.2.6 CRITERIOS PARA EL ANÁLISIS DE ESTRUCTURAS.

En un sentido amplio se considera que un elemento mecánico o estructural ha fallado cuando se vuelve incapaz de desempeñar con seguridad la función para la cual fue diseñado.

17

<http://www.academica.mx/sites/default/files/adjuntos/35347/Manual%20de%20Autodesk%20Inventor%202013.pdf>

Las diferentes fallas que presentan los materiales pueden agruparse en cuatro categorías: fractura, deformación, corrosión y desgaste. En este trabajo serán consideradas únicamente la falla por fractura y la falla por deformación plástica o falla por fluencia. Dentro de ellas se considerarán exclusivamente las fallas producidas por cargas estáticas, excluyendo la falla por fatiga, que es producida por cargas cíclicas, y las fallas que dependen del tiempo de aplicación de las cargas, denominadas fallas por termo-fluencia.

Se dice que un material ha fallado por fluencia cuando la deformación plástica en algún punto es superior a un cierto valor límite, normalmente convenido en 0.002. Este tipo de falla se asocia generalmente con esfuerzos tangenciales y ocurre como consecuencia del deslizamiento de planos de átomos sin que se modifique la continuidad en la estructura del material. Las distancias interatómicas no varían en el proceso de deformación plástica, el cual es irreversible.

Entre 1856 y 1937 se desarrollaron y pusieron a prueba varias teorías de falla, entre las cuales cabe mencionar las teorías de Maxwell, Mohr, Coulomb, Saint Venant, Ranking, Tresca y Von Mises, entre otras. De todas ellas las últimas tres son las únicas que se utilizan hoy en día en el diseño de componentes mecánicos y estructurales debido, esencialmente, al soporte experimental que las respalda.

1.2.6.1 Teoría de Von Mises.

La teoría de Von Mises se utiliza para predecir fallas por fluencia en materiales con comportamiento dúctil y arroja resultados que guardan una correlación mucho más estrecha con los valores obtenidos experimentalmente. Aparte de esto, la teoría de Von Mises ha sido objeto de múltiples estudios, pudiéndose formularse mediante cinco métodos diferentes. Utilizando la metodología desarrollada por Nadai, la teoría establece que un material sometido a un estado general de esfuerzos fallará por fluencia cuando el esfuerzo cortante octaedral alcance un determinado valor, el cual corresponde al esfuerzo cortante octaedral que se genera en el ensayo de tracción cuando se llega al límite de fluencia. Un plano octaedral es aquel que forma ángulos

iguales con los tres ejes principales. Aplicando entonces la fórmula de Cauchy, el esfuerzo de corte en un plano octaedral puede expresarse como:

$$\tau_{oct} = \frac{1}{3} \sqrt{(S_y - 0)^2 + (S_y - 0)^2 + (0 - 0)^2} = \frac{\sqrt{2}}{3} S_y$$

Entonces para que el material no falle por fluencia se debe cumplir que

$$\tau_{oct} < \frac{\sqrt{2}}{3} S_y$$

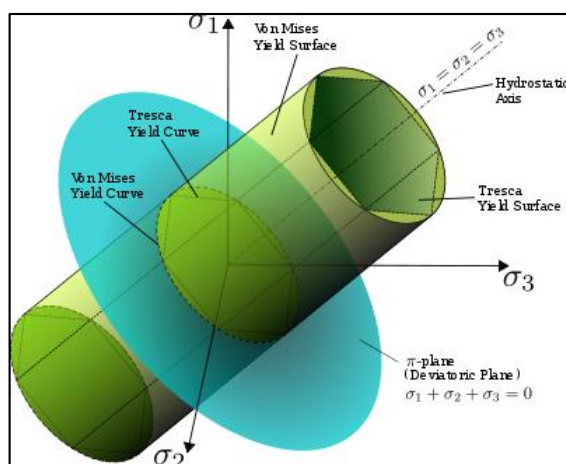


Figura 1. 29 Superficies de rendimiento en coordenadas principales de los esfuerzos de Von Mises

Fuente: http://pt.wikipedia.org/wiki/Tensor_tens%C3%A3o_de_Cauchy

1.2.6.2 Factor de Seguridad.

En el cálculo de elementos mecánicos y estructurales se utiliza generalmente un nivel de esfuerzos inferior denominado esfuerzo admisible (S_{adm}). Las razones de utilizar este esfuerzo son:

En la determinación de la magnitud de las cargas que actúan sobre un componente mecánico o estructural existe generalmente una gran incertidumbre.

Aun cuando en determinadas circunstancias se tuviese la capacidad de estimar las cargas con suficiente precisión, los elementos mecánicos y estructurales pueden

eventualmente ser sometidos a sobrecargas imprevistas debido a efectos accidentales o al desconocimiento del usuario.

El cálculo exacto de los esfuerzos a los que está sometido un sólido es factible en contados casos.

Los valores que se tienen para las propiedades mecánicas del material con el cual será diseñado y construido un determinado componente no siempre reflejan la realidad.

Por estas y otras razones se define un esfuerzo admisible S_{adm}

$$S_{adm} = S_{falla}/fs$$

Donde S_{falla} es el límite de fluencia S_y y fs , se denomina factor de seguridad, el valor de este factor dependerá de la normativa vigente y de la aplicación particular del diseño. Estos factores de seguridad pueden variar desde 1.5 hasta 3 en caso de aplicaciones industriales en los que pueda haber inesperadas y accidentales.

1.3 ACERO ESTRUCTURAL

Acero estructural se conoce como el resultado de la aleación de hierro, carbono y pequeñas cantidades de otros elementos como silicio, fósforo, azufre y oxígeno, que le tributan características específicas. Las características que lo han llevado al acero a este éxito como material de uso en la construcción son las relativamente altas capacidades de transmitir calor, corriente, su bajo peso, y las capacidades ante la aplicación de esfuerzos de tensión, compresión y cortante. Además de esto el acero acumula dentro de sus ventajas que la mayoría de propiedades se mantienen constantes con los años siempre y cuando se le brinde los cuidados adecuados. El acero estructural puede laminarse económicamente en una variedad de formas y tamaños sin un cambio apreciable de sus propiedades físicas. Normalmente los miembros más ventajosos son aquellos que tienen grandes módulos de sección en proporción con sus áreas de sus secciones transversales. Las formas I o W, T, y canal, tan comúnmente usadas pertenecen a esta clase.

Como todos los materiales el acero tiene muchas ventajas pero presenta también inconvenientes en su utilización. En la Tablas 1.5 y Tabla la 1.6 se presentan las principales ventajas y desventajas del acero como material estructural.

1.3.1 Ventajas del Acero Estructural

A continuación se muestra en la tabla 1.5 las ventajas que tiene el acero estructural como material para la construcción.

Tabla 1. 5 Ventajas del Acero Estructural

VENTAJAS DEL ACERO	
Alta Resistencia	La alta resistencia del acero por unidad de peso implica que el peso propio de la estructural es mucho menor que otros materiales
Uniformidad	Las propiedades del acero no cambian apreciablemente con tiempo como es el caso de las estructuras de concreto reforzado
Durabilidad	Si el mantenimiento de las estructuras de acero es el adecuado su vida útil se prolongará.
Ductilidad	Es la propiedad que tiene un material para soportar grandes deformaciones sin fallar bajo altos esfuerzos evitando así fallas prematuras
Tenacidad	Es la propiedad de un material para absorber energía en grandes cantidades se denomina tenacidad. Los aceros estructurales son tenaces, es decir poseen resistencia y ductilidad.
Facilidad Constructiva	Gran facilidad para unir diversos miembros por medio de varios tipos de conectores como por ejemplo soldadura, uniones empernadas y remaches, con una gran rapidez de montaje

Fuente: propia

1.3.2 Desventajas del Acero Estructural

En la Tabla 1.6 se describen las desventajas del hacer estructural.

Tabla 1. 6 Desventajas del Acero Estructura

DESVENTAJAS DEL ACERO	
Costos de Mantenimiento	La mayor parte de los aceros son susceptibles a la corrosión al estar expuestos al agua y al aire, por consiguiente, deben pintarse periódicamente.
Costos de protección contra fuego	Aunque algunos miembros estructurales son incombustibles sus resistencias se reducen considerablemente si están expuestos a altas temperaturas
Susceptibilidad al pandeo	Entre más largos y esbeltos sean los miembros estructurales a compresión mayor es el peligro de pandeo.

Fuente: propia

1.3.3 Propiedades del Acero Estructural

El acero más comúnmente utilizado en la estructura de las plataformas, es el Acero Estructural A36, cuyas propiedades se muestran en la tabla 1.7:

Tabla 1. 7 Propiedades del Acero Estructural

PROPIEDADES DEL ACERO ESTRUCTURAL		
Densidad	7860	Kg/m ³
Punto de fusión	1538	°C
Coeficiente de expansión térmica	11.7	(10e-6/°C)
Ductilidad (% elongación en 50mm)	23	%
% de elongación mínimo	20 (8")	%
Módulo de elasticidad	200	GPa
Resistencia a punto cedente	248	MPa
Módulo de Rigidez	77	GPa

Límite de fluencia (tensión)	250	MPa
Límite de fluencia (cortante)	145	MPa
Resistencia última (tensión)	400	MPa

Fuente: propia

1.3.4 PERFILES DE ACERO

La industria de la construcción ha estandarizado ciertos elementos de acero con formas y propiedades conocidas para facilitar a calculistas, productores y constructores hablar un lenguaje común.

El acero estructural gracias a sus propiedades puede laminarse de manera fácil y económica en una gran variedad de formas y tamaños, sin alterar sus propiedades físicas.

1.3.4.1 Perfiles laminados en caliente

El proceso de laminado consiste en calentar previamente los lingotes de acero fundido a una temperatura que permita la deformación del lingote por un proceso de estiramiento y desbaste que se produce en una cadena de cilindros a presión llamado tren de laminación. Estos cilindros van conformando el perfil deseado hasta conseguir las medidas adecuadas. Las dimensiones del acero que se consigue no tienen tolerancias muy ajustadas y por eso muchas veces a los productos laminados hay que someterlos a fases de mecanizado para ajustar su tolerancia.¹⁸

El tipo de perfil de las vigas de acero, y las cualidades que estas tengan, son determinantes a la elección para su aplicación y uso en la ingeniería. Entre sus propiedades están su forma o perfil, su peso, particularidades y composición química del material con que fueron hechas, y su longitud.

¹⁸ <http://www.bdigital.unal.edu.co/5923/1/9589322891.pdf>

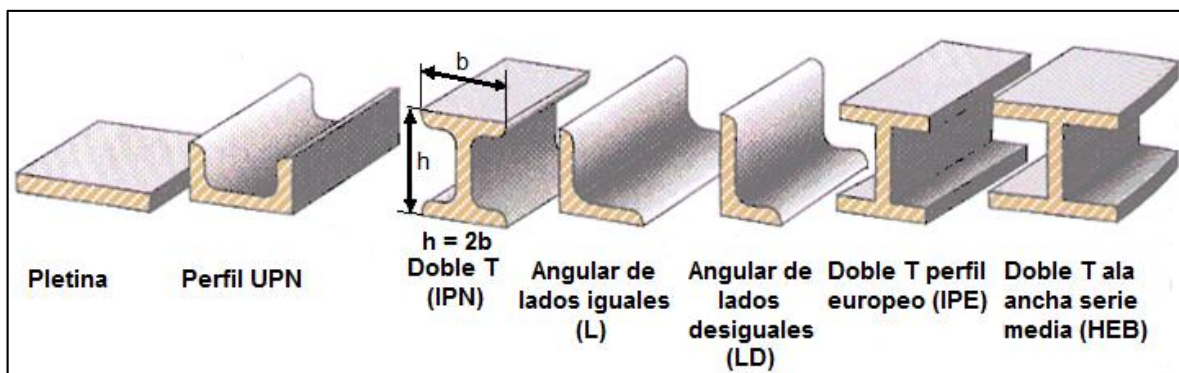


Figura 1. 30 Tipos de Perfiles en el Mercado

Fuente: <http://eqfacero.blogspot.com/2012/02/tipos-de-perfiles-estructurales-de.html>

1.3.5 BARRAS PLANAS (FLT) Y PLACAS (PL)

Estos elementos estructurales son de sección transversal rectangular, que se fabrican en muchos anchos y espesores. Una forma plana se ha clasificado como barra si su ancho es menor o igual a 8 pulg y como placa si su ancho es mayor que 8 pulg.

Las placas de acero se pueden soldar, cortar, tratarse térmicamente y estar sujetas a otros procesos. Estas propiedades hacen que sea un artículo de fabricación muy utilizado en muchas industrias. Las placas metálicas pueden estar destinadas a usos y condiciones de exposición muy diferentes. Por lo que se realizan una variedad de acabados que permitan que las placas metálicas trabajen en condiciones extremas.



Figura 1. 31 Chapas de Acero Estructural

Fuente: <http://importadoracampero.com.bo/system/media/slideshow/full/PLANCHAS-DE-ACERO.jpg>

1.4 SOLDADURA

Es un proceso industrial que permite obtener uniones permanentes en materiales estableciendo entre las partes un enlace producto de la aplicación de presión y/o calor y con o sin el uso de material de aporte.¹⁹ Es un proceso de unión por una coalescencia localizada de metales o no metales producida por el calentamiento de los materiales hasta la temperatura de soldadura, con o sin la aplicación de presión solamente, y con el uso o no de material de aporte.²⁰

El presente diseño de la placa base, consiste en vigas, y chapas unidas mediante soldadura de manera continua como lo establece la *NORMA API 610*.

1.4.1 TIPO DE JUNTAS

Son las disposiciones en las cuales las placas van a ser soldadas. En la siguiente ilustración se muestran los tipos de junta para las soldaduras:

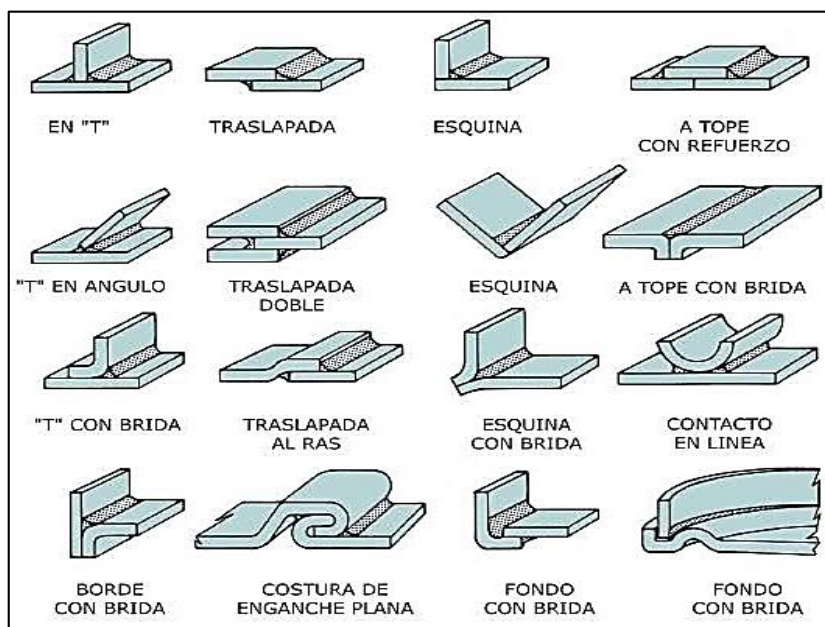


Figura 1. 32 Tipo de juntas

Fuente: <http://i53.tinypic.com/2cdu8nk.jpg>

¹⁹ Espinoza; INTRODUCCION GENERAL A SOLDADURA DE PRODUCCION Y MANTENIMIENTO; 2013.

²⁰ AWS A3.0 TERMS AND DEFINITIONS

1.4.2 PREPARACION DEL BORDE

Las superficies de los elementos que forman parte de una junta soldada se le da una forma tal que la unión de los elementos sea la más segura posible

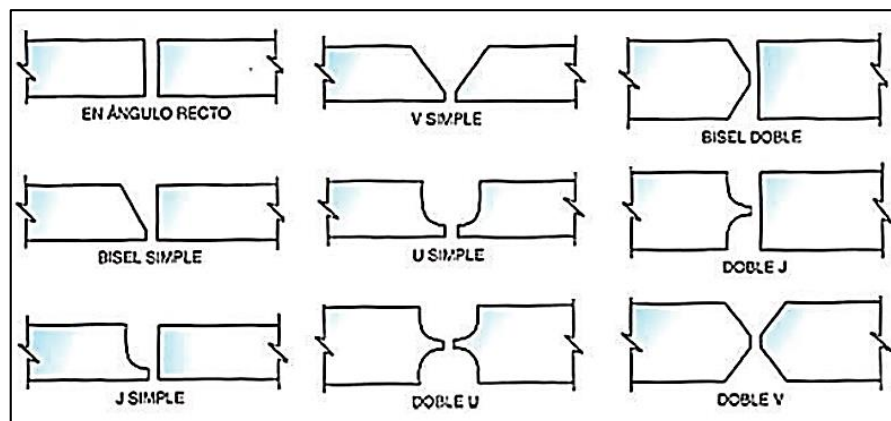


Figura 1. 33 Tipo de bordes

Fuente: Jeffus, 2009

1.4.3 POSICIONES DE SOLDADURA

Se definen como las diferentes ubicaciones del soldador respecto a la junta soldada.

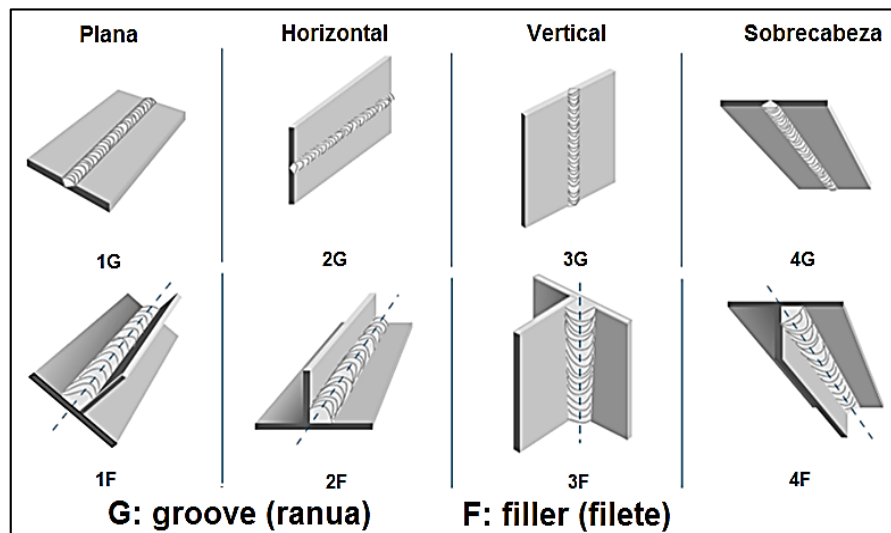


Figura 1. 34 Posiciones de Soldadura

Fuente: <http://diagramadeca.blogspot.com/2014/10/juntas-de-soldadura.html>

1.5 VIBRACIONES

La prevención de posibles daños en maquinarias es necesaria para una operación confiable y segura de una instalación. El riesgo de fallas y el tiempo en que una maquinaria queda fuera de servicio pueden disminuirse sólo si los problemas potenciales tales como las vibraciones son anticipados y evitados.

Las vibraciones en una máquina no son buenas ya que pueden causar desgaste, rotura de aislantes, fisuras por fatiga, ruido, pérdida de efectividad de sellos, etc. Aunque las vibraciones son la mejor indicación de la condición mecánica de una máquina y pueden ser una herramienta de predicción muy sensible de la evolución de un defecto. Las fallas catastróficas en una maquinaria muchas veces son precedidas, a veces con meses de anticipación, por un cambio en las condiciones de vibración de la misma.

La vida útil de una máquina está directamente relacionada con las vibraciones que esta produce de dos formas: por un lado un bajo nivel de vibraciones es una indicación de que la máquina funcionará correctamente durante un largo período de tiempo, mientras que un aumento en el nivel de vibraciones es un aviso de que la máquina tendrá algún tipo de falla futura²¹.

La transmisión ideal de las vibraciones generadas por el equipo de bombeo sería aquella que se transmite a través de la placa de base para la fundación y abajo a través del subsuelo. "La Madre Tierra" puede proporcionar amortiguación (atenuación de la amplitud de la vibración) muy eficaz, pero de no darse dicha transmisión, se dará lugar a la resonancia de la maquinaria en la placa base, como se muestra en la Figura 1.35. La instalación apropiada del equipo de bombeo resultará en un aumento de manera significativa el tiempo medio entre fallos "Mean Time Between Failures" (MTBF), una vida más larga para el sello y rodamientos mecánicos, y una reducción de costes del ciclo de vida.

²¹ <http://www.aaende.org.ar/sitio/material/CORENDE2000Raul.pdf>

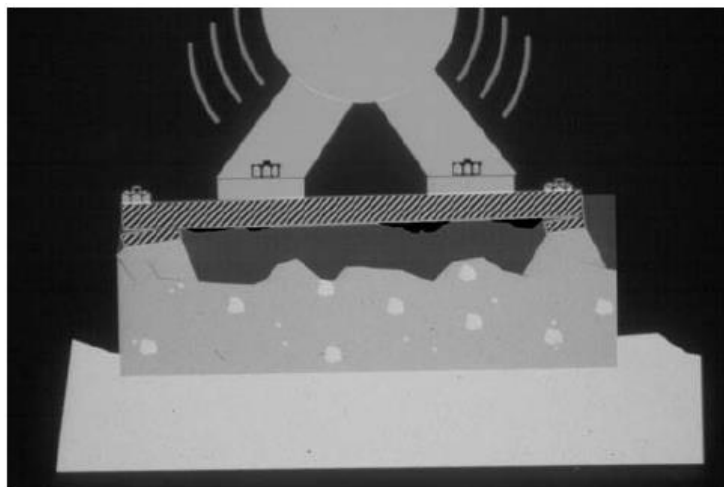


Figura 1. 35 Vacíos bajo el área de la placa base

Fuente: Pump User's Handbook Life Extension, Third Edition; Heinz P. Bloch & Allan R. Budris; 2010; Pág. 46

Por lo tanto, el éxito a largo plazo de una instalación adecuada y una actividad de vibración reducida, está determinada por lo bien que se unió en un solo sistema monolítico entre el equipo de bombeo, la placa base, la lechada y la fundación.

El diseño de la placa base en el presente trabajo, considera todos los parámetros que rigen en las normas utilizadas tales como la API 610 y la NRF-050-PEMEX-2008; por lo tanto la placa base está diseñada para ser una estructura sumamente rígida, tal como lo estipula la norma API 610, además al tener 12 puntos de anclaje a la fundación de concreto, la estructura no deja posibilidades de largas flechas de vigas que pudiesen entrar en resonancias peligrosas. Además, las vibraciones presentes en el el sistema de bombeo, se deben en mayor parte a las excitaciones generadas por el motor eléctrico y en menor medida debido a la bomba centrífuga, serán atenuadas por la fundación, siempre y cuando el proceso de instalación de la placa base, la lechada y la fundación se haya dado de la mejor manera, de tal forma que estos tres elementos antes mencionados, simulen ser un sistema monolítico.

CAPITULO 2

2. DESARROLLO DEL DISEÑO DE LA PLACA BASE

El propósito del presente capítulo, es el de proporcionar toda la información necesaria para el diseño de la placa base tomando en cuenta estándares, códigos locales para diseñar la estructura, además se representa un dimensionamiento aproximado de la placa base y la configuración de la misma, que servirá de referencias para realizar un análisis de las alternativas para el diseño. Por último se mencionan los principales tipos de elementos de izaje existentes para el levantamiento de placas base, para posteriormente efectuar un análisis de las alternativas para el izaje de la placa base.

2.1 NORMAS PARA EL DISEÑO DE LA PLACA BASE.

Las normas utilizadas en este proyecto en especial la API 610 y la API 686, son de gran utilidad, debido a su vigencia y presencia alrededor del mundo en todas las industrias que se dedican al área petroquímica, gas, petrolera y otras afines, ya que todas estas industrias se manejan bajo un mismo estándar internacional de diseño, selección de materiales, fabricación, pruebas, inspecciones e instalación de bombas, en esta última se toma en cuenta el diseño de las placas base, el vertido de la lechada y la fundación como partes fundamentales para una correcta instalación de las bombas.

Al aplicar estas normas, se generan beneficios debido a que se eliminan los diseños incorrectos, ya que se evita el sobredimensionamiento o adquisición de elementos y equipos innecesarios. Por lo tanto la aplicación de las normas ayuda entre otras cosas, al uso racional de recursos y por ende se disminuye los costos de diseño y producción

Estas normas pueden ser utilizarlas por ingenieros, como guía en los diseños de placa base para asegurar una compatibilidad con las bombas y de esta manera reducir los excesivos costos asociados a las reparaciones de las bombas y pérdidas de producción debidas a las fallas inesperadas en el funcionamiento por una incorrecta instalación del sistema de bombeo.

En el desarrollo de este diseño, se utilizará principalmente las normas ANSI/API STANDARD 610 (onceava edición Septiembre 2010; Bombas centrífugas para petróleo, carga pesada en la industria de químicos y gas). También se hará uso de las Normas PEMEX (NRF-050-PEMEX-2001, edición 29 de abril del 2002); y la API recommended practice 686 (segunda edición Diciembre 2009; Práctica recomendada para instalación de maquinaria y diseño de instalación), y en menor grado se consideraran otras como: API recommended practice 2A-WSD (RP 2A-WSD) (vigésima primera edición; Diciembre 2002; Practica recomendada para la planificación, diseño y construcción de plataformas marinas fijas – Diseño de esfuerzos de trabajo), y la ASME BTH-1-2008, (Diseño de dispositivos de elevación) y AWS D1.1.

El diseño de la placa base, además de tomar en consideración a las normas mencionadas con anterioridad, también toma como referencia a recomendaciones e informaciones recopiladas de varias publicaciones y catálogos.

2.2 CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES PARA EL DISEÑO DE LA PLACA BASE.

Si el tamaño del equipo de bombeo lo permite, la placa base debe tener dimensiones estandarizadas como las dadas en el *ANEXO 6*, dichas placas base deben ser referenciadas como “placas base estandarizadas”, desde la número 0.5 hasta la 12 dependiendo del tamaño del conjunto acoplado; caso contrario, la placa base será diseñada para cubrir el perímetro del equipo de bombeo, ya que de esta manera dicho equipo al ser delicado y sensible, puede ser protegido por la estructura llamada placa base, es decir, sólo en circunstancias excepcionales el equipo de bombeo se extenderá más allá del contorno de la placa base.

Uno de los principales aspectos en cuanto al diseño de placas base, es la rigidez que ésta debe poseer para permitir a los ejes soportar las fuerzas y momentos aplicados a la bomba y así evitar que dichos ejes no se desplacen demasiado. En algunas aplicaciones, la placa base debe ser reforzada estructuralmente por debajo y rellena con lechada de concreto para aumentar su rigidez.

Una placa base rígida es la columna vertebral de la alineación en las máquinas rotativas, existen casos en los cuales la maquinaria acoplada entre sí, se levantan de forma indeseada cuando se encuentran operando, creando daños considerables en los equipos, esto debido a que las placas base donde se encuentran apoyados los equipos de bombeo son poco rígidas. La combinación de placas pocas rígidas, ejes mal alineados, genera excesivas vibraciones, fallas en los sellos, derrames de fluidos y daños tempranos en los rodamientos.

El diseño de la placa base, debe garantizar una suficientemente rigidez para evitar los problemas antes mencionados, pero a la vez lo suficientemente flexible para que pueda permitir la alineación de los ejes del equipo de bombeo sin comprometer la integridad estructural del sistema, ni su correcto funcionamiento, es decir debe existir un compromiso entre las dos variables.

Para bombas de grandes dimensiones, donde existe goteo de fluidos considerable, se debe integrar a la placa base un sistema de drenaje para la recolección de fluidos, donde todos los elementos como las tuberías y bridas que caen dentro del perímetro de drenaje y generen goteo de fluidos puedan ser recogidos. Estos sistemas de recolección pueden ser ángulos alrededor de toda la placa base o una plancha metálica inclinada a lo largo de toda la superficie de la placa base. Ambos métodos de recolección de fluidos deben tener una inclinación hacia el extremo de la bomba, la cual se especifica en los numerales 8.2.3.1 y 8.2.3.2 de la norma *PEMEX*, además deberán tener un ducto de drenaje en su extremo inferior para poder evacuar todos los fluidos.

Para el transporte de la placa base, ésta debe tener orejas de izaje en al menos cuatro puntos colocadas simétricamente respecto al centro de gravedad de la misma, las cuales permiten facilitar el transporte del conjunto al lugar de instalación. La colocación de las orejas de izaje no debe permitir la distorsión permanente u otro daño a la placa base o a los equipos en caso de estar alguno apoyado sobre la placa base durante el izaje.

Se debe suministrar un mínimo de cuatro tornillos posicionadores para el alineamiento de la bomba y su conductor, para de esta manera facilitar los ajustes horizontales de dichos equipos que estarán montados sobre sus respectivos pedestales. Los soportes de estos tornillos deben localizarse sobre la base de tal manera que no interfieran con el montaje y desmontaje de los equipos.

Además se debe proporcionar de cuatro a seis orificios tanto para los tornillos de nivelación como para los pernos de anclaje, para nivelar a cierta altura la placa base de la fundación y para fijar la placa base a la cimentación, respectivamente.

Todas las uniones, incluyendo la placa de cubierta para los elementos estructurales, deben ser con soldadura continua para evitar la corrosión por grieta, es decir la soldadura por puntos no es aceptable.

La importancia de una adecuada instalación de la placa base es reducir los costos de mantenimiento y alargar la vida útil del conjunto.

Finalmente, es importante mencionar que las placas base no deben ser diseñados bajo los mismos criterios de edificaciones, ya que las deflexiones sufridas por la placa base, son considerablemente más pequeñas, además cabe recalcar que todas las soldaduras deben ser continuas, los elementos secundarios con los elementos longitudinales principales deben estar soldados en todos los lados del travesaño, por otro lado los miembros longitudinales principales deben ser una sola pieza continua sin ningún tipo de junta.²²

2.3 ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE LA PLACA BASE

Las placas base, son fabricadas o ensambladas en su mayoría en acero estructural dadas las características de este material y la facilidad de conseguirlo en el mercado. Los elementos estructurales comunes como las vigas de perfiles estándar de acero,

²² Nesbitt B; Handbook of Pumps and Pumping: Pumping Manual International; Editorial Elsevier; Primera edición; 2005

las chapas o placas laminadas, las guayas, pernos, arandelas y electrodos para soldadura, son confiables y ampliamente distribuidos en el mercado local.

Los elementos estructurales antes mencionados están geoméricamente bien definidos; los cálculos de resistencia y comportamiento mecánico se facilitan ya que han sido utilizados durante muchos años y sus especificaciones mecánicas pueden conseguirse en catálogos del fabricante. Al utilizar como esqueleto de la estructura vigas de perfiles estructurales y láminas de acero, abaratan los costos de la placa base, puesto que estos son fabricados en masa lo cual disminuye los costos iniciales de la estructura en comparación con la utilización de piezas fabricadas por fundición o piezas maquinadas para el armazón.

Después de observar planos de placas base existentes en varias aplicaciones industriales, además de ver catálogos de fabricantes de bombas y consultar “papers” acerca de la materia, se determinó, que los elementos más utilizados para la fabricación de placas base para este tipo de bombas son vigas, ángulos y planchas gruesas en su mayoría, por tanto el diseño se basará en el uso de este tipo de elementos estructurales.

2.4 CONCEPTUALIZACION ESTRUCTURAL DE LA PLACA BASE

Información recolectada en el capítulo anterior, en secciones anteriores del capítulo presente y el conocimiento adquirido sobre el diseño de placas base, se utilizará para afrontar el problema de desarrollar un diseño de placa base que cumpla con las especificaciones de las normas y con los requerimientos del sistema de bombeo.

Ahora, se debe definir e identificar los parámetros de las máquinas y de los elementos fundamentales que constituirán la placa base de forma que se puede iniciar el diseño, estos parámetros son las fuerzas y momentos aplicados a las máquinas, los materiales de la estructura, dimensiones normalizadas, rangos de operación seguros, tipos de elementos estructurales y acoples, ya que con esta información se procederá a cumplir con la metodología establecida.

Los elementos estructurales de la placa base para ser usados en el diseño son perfiles UPN de acero A36 y las chapas metálicas del mismo material laminadas en caliente, ya que estos elementos son fáciles de adquirir en el mercado.

La práctica en la industria en general recomienda el uso de marcos estructurales que funcionen como esqueleto de la placa base, en donde dicha, placa requerirá tener dimensiones considerables para soportar el equipo de bombeo.

2.4.1 DIMENSIONES DEL EQUIPO DE BOMBEO

La placa base deberá extenderse un mínimo de 13 mm (1/2 pulgadas) más allá del contorno del extremo de un lado de la bomba, incluyendo los extremos de las bridas de succión y descarga, y al final del conductor en el otro extremo.²³ En las figuras 2.1 y 2.2 se muestran esquemas de las dimensiones más representativas del equipo de bombeo. (dimensiones en mm)

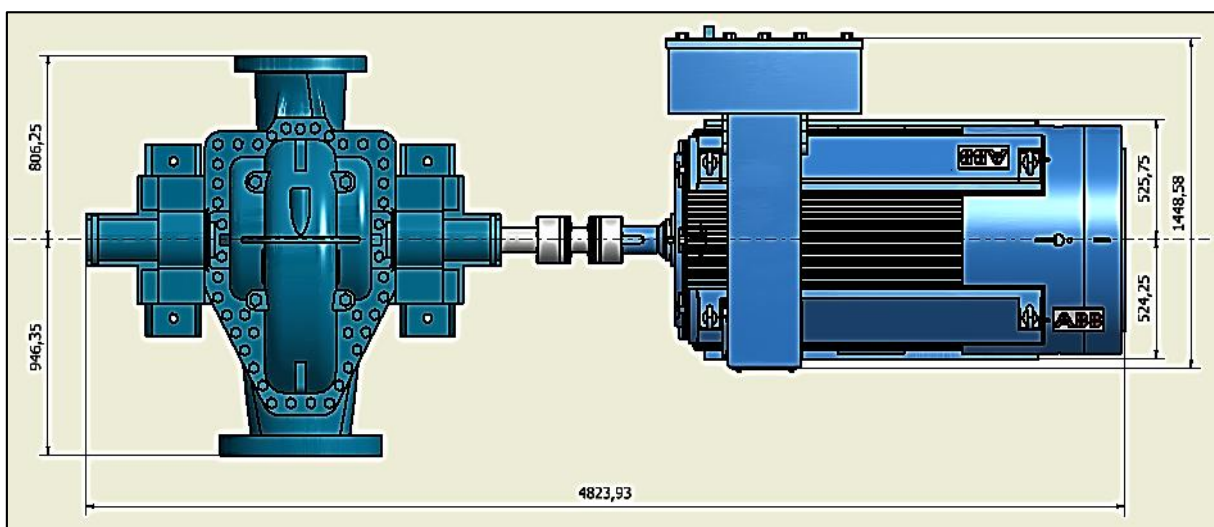


Figura 2. 1 Dimensiones del acoplamiento del equipo de bombeo (vista superior)

Fuente: propia

²³ ftp://ip184-184-174-233.br.br.cox.net/My_Passport/SMHaik/Documents/MBA%20Computer/JOB/Specifications/EGGS/General%20Specifications/11%20Rotating%20Equipment/11GSSP002.pdf

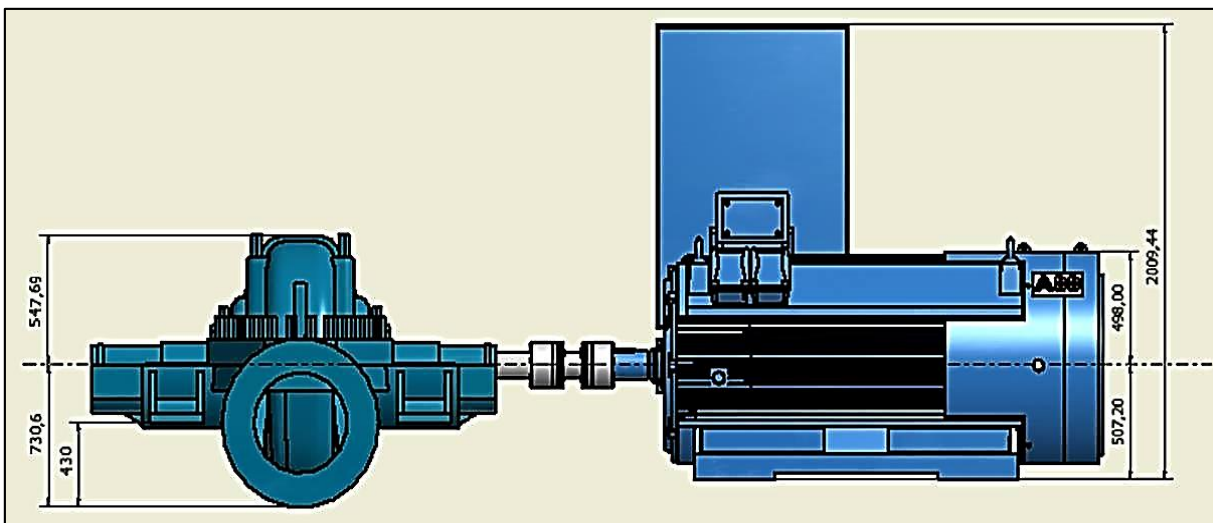


Figura 2. 2 Dimensiones del acoplamiento del equipo de bombeo (vista lateral)

Fuente: propia

Con estas medidas, se podrá definir la configuración del marco de vigas “esqueleto” de la placa base, en un paso posterior.

2.5 ESTUDIO DE ALTERNATIVAS DE DISEÑO

El diseño y manufacturación de una placa base, varía dentro de cada industria, compañía, aplicación y diseño de la bomba que va soportar, por lo tanto existe una gran variedad de diseños de estas placas base como se describieron en capítulos anteriores, contruidos con diferentes procesos y materiales.

Las bases de montaje fabricadas en acero se manufacturan usando diferentes materiales, y éstas pueden llegar a ser más rígidas que las bases de hierro. Sin embargo, generalmente son más costosas por los materiales requeridos y por la mano de obra adicional que se requiere para la soldadura.²⁴

Cuando los requisitos de trabajo son tales que la tensión o el peso extremo están involucrado, generalmente se utilizan bases estructurales pesadas. Estas bases no

²⁴ Towsley, G. (2010). *Informe Técnicos. Base de Montaje*. En: Grundfos. Junio 2010.

son tan atractivas como las bases fabricadas, pero sobresalen debido a su extrema robustez. Estas normalmente se utilizan cuando se requieren unidades de motores y bombas con grandes dimensiones; además son costosas de construir y, por tanto, el cliente debe saber que cuando se especifica una base de acero estructural, va a costar mucho más que la de hierro fundido o la base de acero fabricado.

2.5.1 CONFIGURACIÓN DEL MARCO DE VIGAS PARA LA PLACA BASE

La configuración de la plataforma es un factor muy importante en el diseño, debido a que de esta dependen las cargas que soportarán cada uno de los miembros estructurales y la disposición de los mismos incrementará o reducirá el peso de la estructura, además dependiendo de la configuración que se asigne al esqueleto, este limitará las dimensiones que la placa base pueda llegar a tener. Para el proyecto se tomó en consideración una configuración en la cual las vigas secundarias estén ubicadas en la parte inferior de los pedestales tanto de la bomba como del motor de tal manera que las cargas generadas en el equipo de bombeo sean transmitidas a dichos elementos estructurales y éstos a su vez a la fundación de concreto. Para el dimensionamiento del esqueleto se tomó en cuenta las dimensiones del equipo de bombeo que estará montado sobre la placa base. Tomando en cuenta éstas consideraciones la configuración del esqueleto estructural para la placa base será la que se presenta en la Figura 2.3

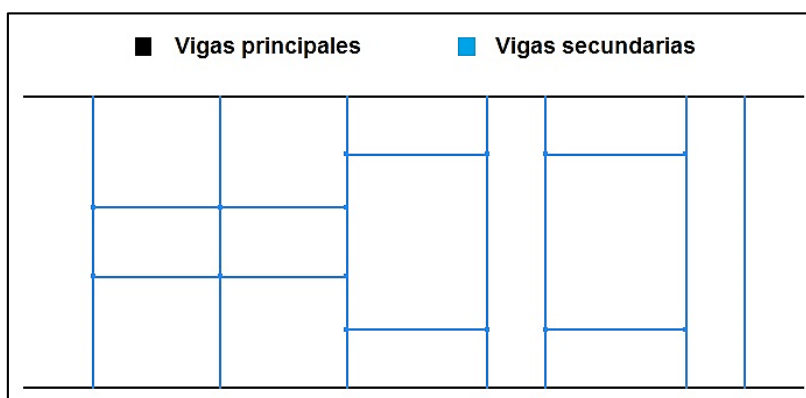


Figura 2. 3 Estructuración de la Placa Base

Fuente: Propia

El esqueleto de la placa base, consta un marco de 17 vigas UPN, 2 vigas principales (longitudinales), 15 vigas secundarias (transversales), tal como se muestra en la configuración de la Figura 2.3, las cuales estarán soldadas entre sí alrededor de todos sus contornos.

A partir de la configuración de la estructura a ser utilizada para el diseño de la placa base, se muestran tres alternativas de diseño para la placa tomando en cuenta para cada alternativa la configuración elegida:

2.5.2 ALTERNATIVAS PARA EL DISEÑO DE LA PLACA BASE

Las estructuras metálicas deben cumplir con algunos requisitos previos, con los cuales se asegura el desempeño y la durabilidad de la misma.

- **Funcionalidad.**- Toda estructura debe servir para aquello para lo que ha sido concebida.
- **Economía.**- la estructura debe construirse aprovechando los recursos materiales disponibles
- **Seguridad.**- Toda estructura metálica debe soportar las cargas a las que se va a someter durante la vida útil.
- **Condiciones de trabajo.**- los elementos, deben costar con las facilidades adecuadas para el transporte e instalación.

2.5.2.1 Alternativa 1

En cuanto a la disposición de las vigas principales del esqueleto de la placa base, para esta alternativa se encuentran dispuestas con el alma hacia fuera, además en la chapa principal se ubican 4 pedestales (soportes) individuales para la bomba, construidas por chapas metálicas soldadas entre sí, este conjunto soldado descansa sobre la chapa principal de la placa base y éste a su vez está apoyado en 4 vigas secundarias como se observa en la Figura 2.5, por otro lado, el soporte del motor consta de 4 vigas UPN de 260, 2 vigas para cada pedestal del motor, éstas vigas están unidas a una chapa superior soldadas entre sí, éste conjunto al igual que el de la bomba descansa

directamente sobre la chapa principal unidos de igual manera por soldadura, coincidiendo sus extremos con un arreglo de 7 vigas transversales del esqueleto, ubicados bajo la placa para soportar y transmitir las cargas.

El sistema de drenaje está diseñado de tal forma que consta de un desnivel en la chapa metálica ubicado en el centro de la plataforma terminando en un tubo de drenaje.

Ventajas

- Mayor rigidez en el soporte del motor
- Optimización en área de drenaje
- Facilidad de ubicación de los puntos para fijar y nivelar la placa base

Desventajas

- Reducción del área de las vigas secundarias debido a la inclinación para el drenaje
- Mayor número de juntas en los pedestales de la bomba
- Difícil acceso a los agujeros de lechada
- Disminución del área de asentamiento de los pedestales de la bomba.

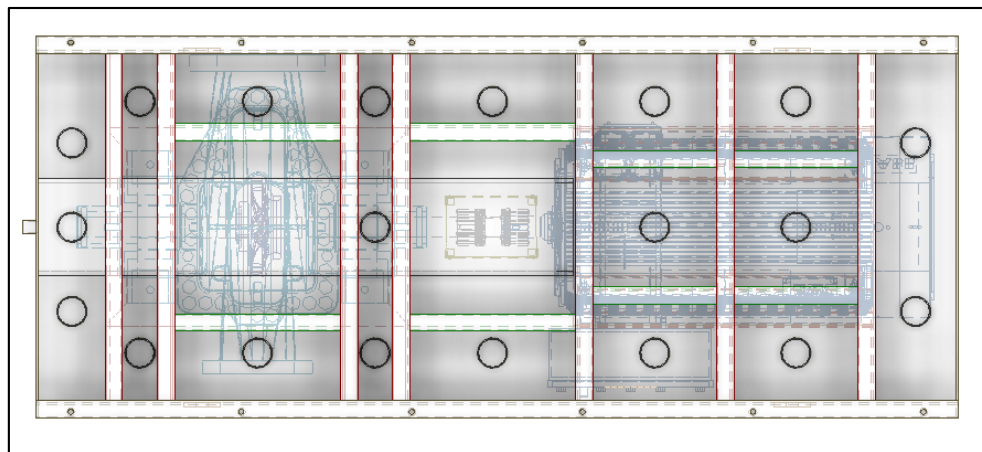


Figura 2. 4 Marco Estructural de la Alternativa 1

Fuente: propia

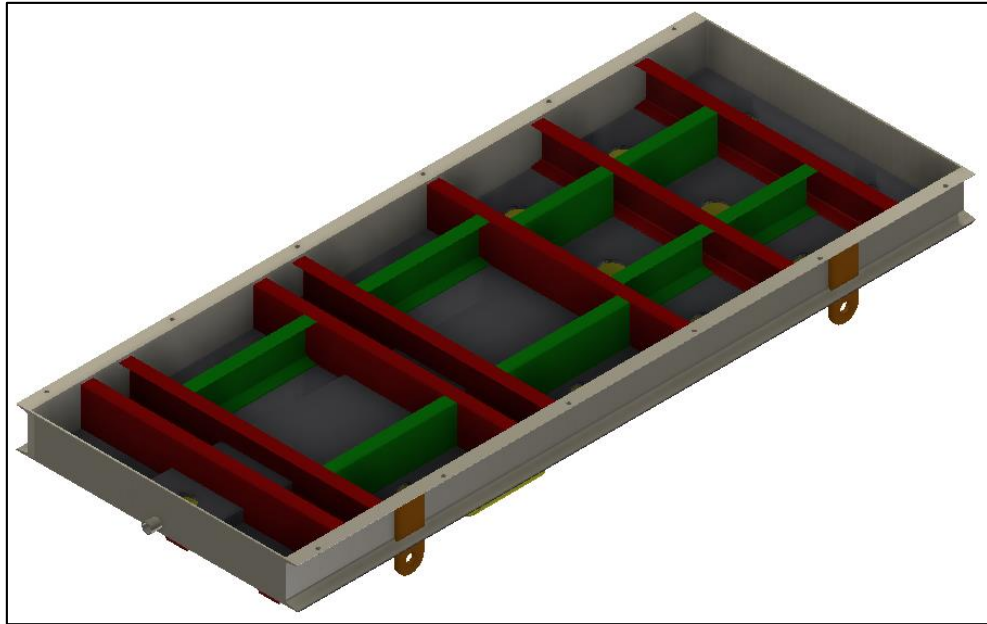


Figura 2. 5 Disposición de vigas de la alternativa 1

Fuente: propia

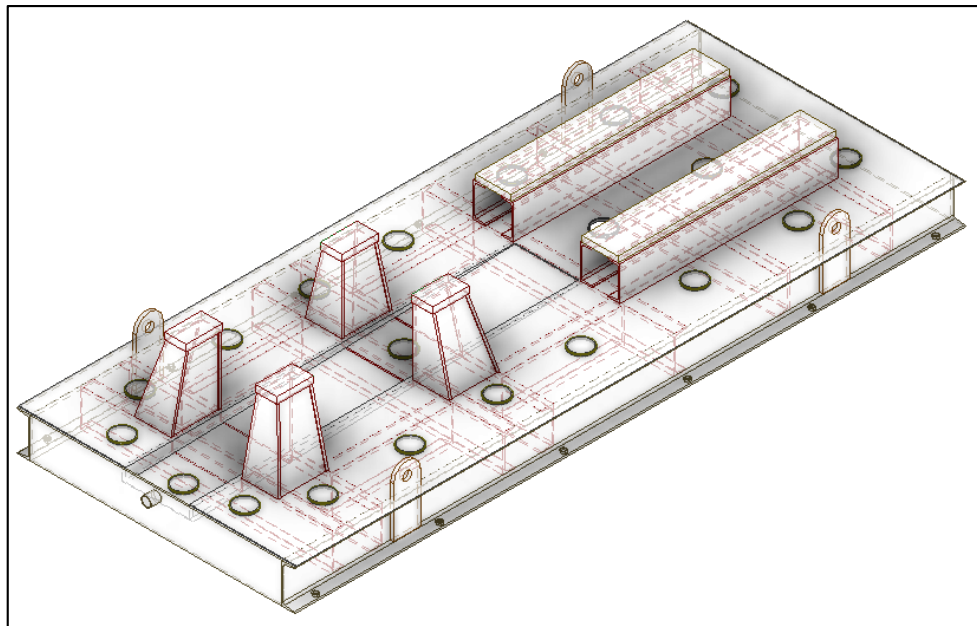


Figura 2. 6 Alternativa 1 vista isométrica (líneas ocultas)

Fuente: Propia

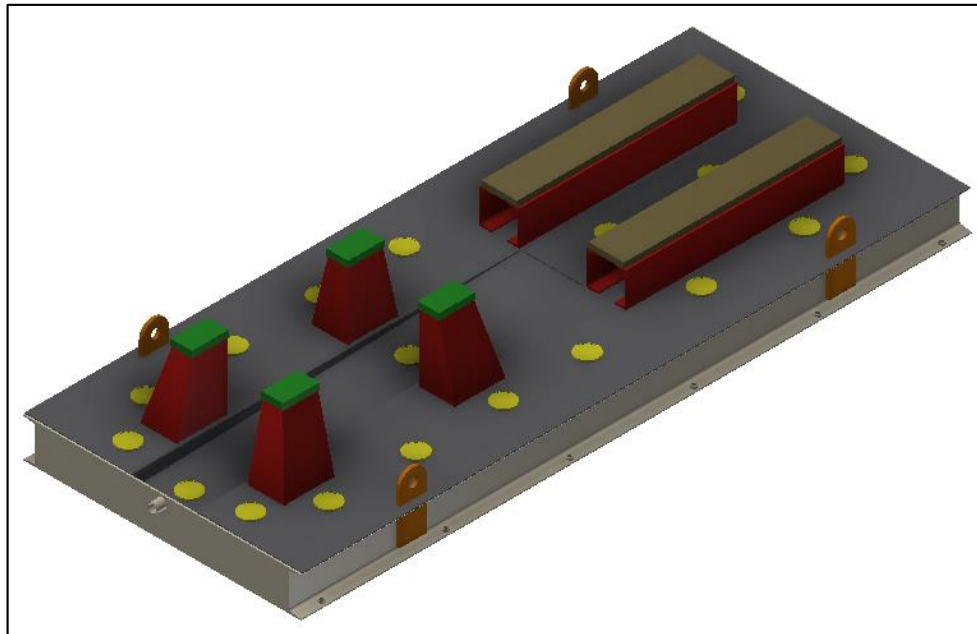


Figura 2. 7 Alternativa 1 vista isométrica

Fuente: propia

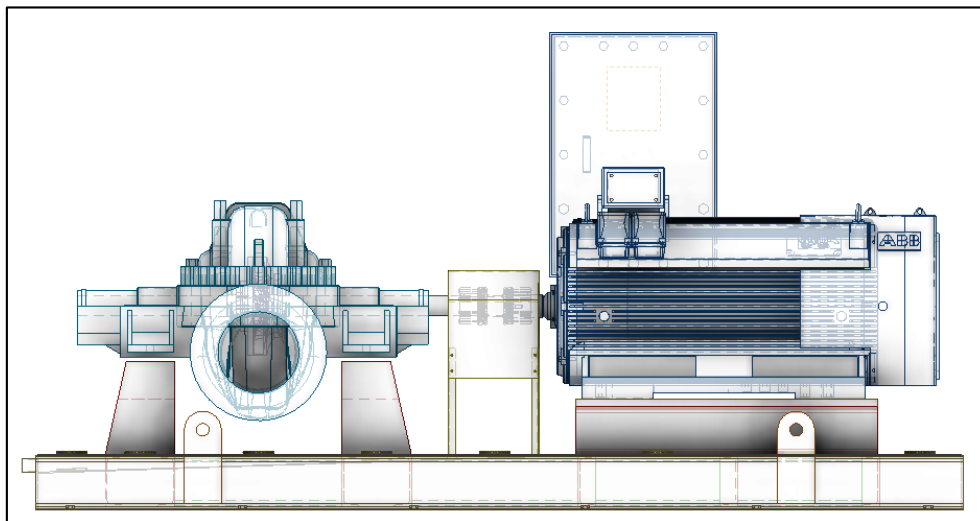


Figura 2. 8 Alternativa 1 Equipo de bombeo montado (vista frontal)

Fuente: propia

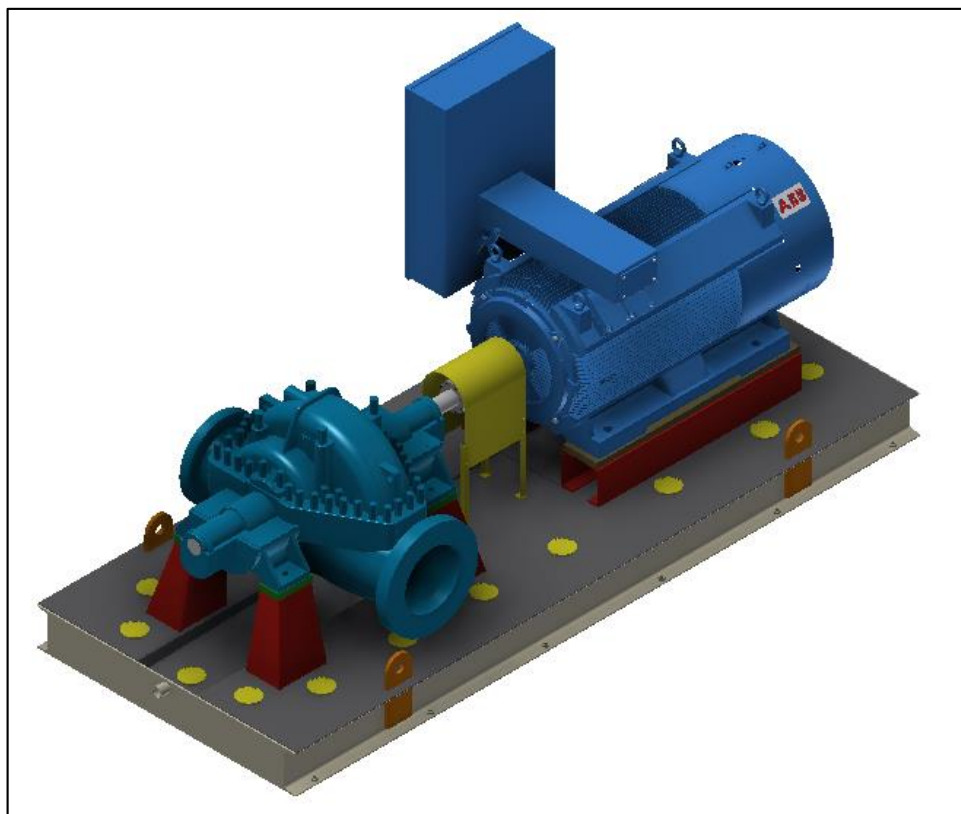


Figura 2. 9 Alternativa 1 Equipo de bombeo montado (vista isométrica)

Fuente: propia

2.5.2.2 Alternativa 2

Para la segunda alternativa la disposición de las vigas principales del esqueleto de la placa base, se encuentran dispuestas con el alma hacia adentro.

En la chapa principal se ubican tanto los pedestales para la bomba como para el motor, los soportes para el asentamiento de la bomba consiste en dos bases construidas de chapas metálicas soldadas entre sí, tal que éste conjunto este apoyado y soldado a la placa metálica principal y ésta a su vez se apoya en el esqueleto de la placa. Los soportes del motor están constituidos al igual que los soportes de la bomba por chapas soldadas entre sí y poseen una configuración prismática trapezoidal que se asienta en la chapa principal y se ubican encima de un arreglo de vigas secundarias que actúan de soportes.

El sistema de drenaje de esta alternativa, consta de un marco de ángulos soldados al contorno de la placa base con una inclinación para facilitar la recolección de los fluidos, terminando en el tubo de drenaje.

Ventajas

- Consta sistema de drenaje alrededor de toda la placa base
- Menor número de vigas q la alternativa 1
- La geometría de los pedestales tanto de la bomba como del motor hace que se distribuyan las cargas generadas por el equipo de bombeo de mejor manera que la alternativa 1
- Al estar el drenaje en el contorno de la placa base, no es necesario reducir el área de las vigas secundarias

Desventajas

- Se necesita aumentar superficies para los puntos de nivelación
- Mayor mano de obra al momento de armar el esqueleto de la placa base, ya que se requiere destajes extras en las vigas secundarias para el acoplamiento con las vigas principales.
- Para el anclaje de la placa base es necesario perforar todo el patín de las vigas principales
- Dificultad en el montaje entre los agujeros de anclaje que se encuentran en la placa base con los pernos de anclaje ubicados en la cimentación.
- Difícil acceso a los agujeros de lechada.

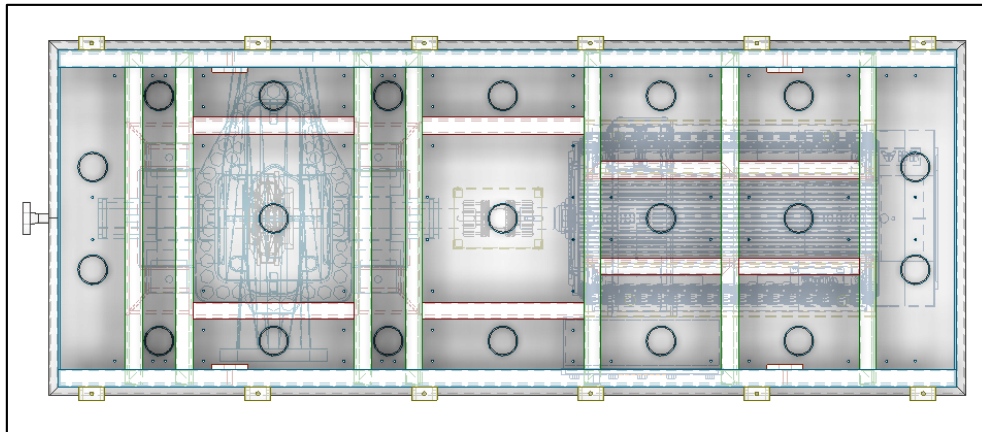


Figura 2. 10 Marco Estructural de la Alternativa 2

Fuente: propia

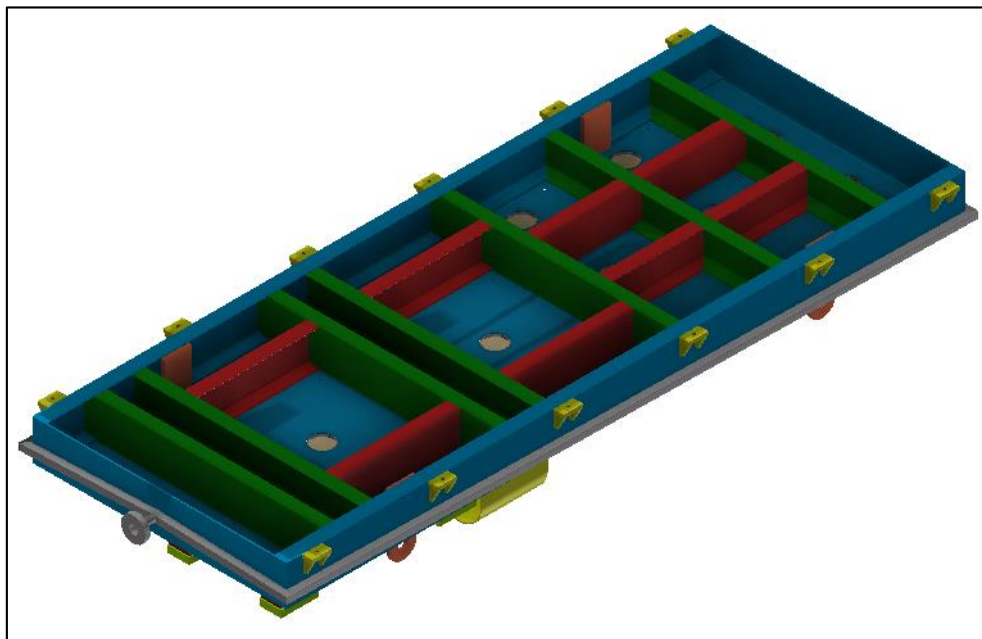


Figura 2. 11 Disposición de vigas de la alternativa 2

Fuente: propia

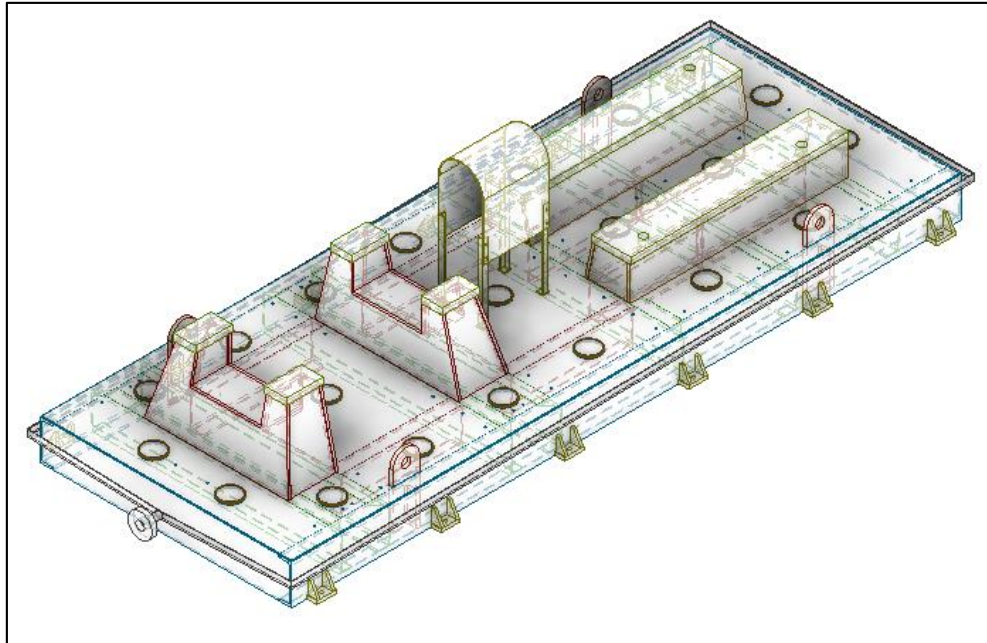


Figura 2. 12 Alternativa 2 vista isométrica (líneas ocultas)

Fuente: Propia

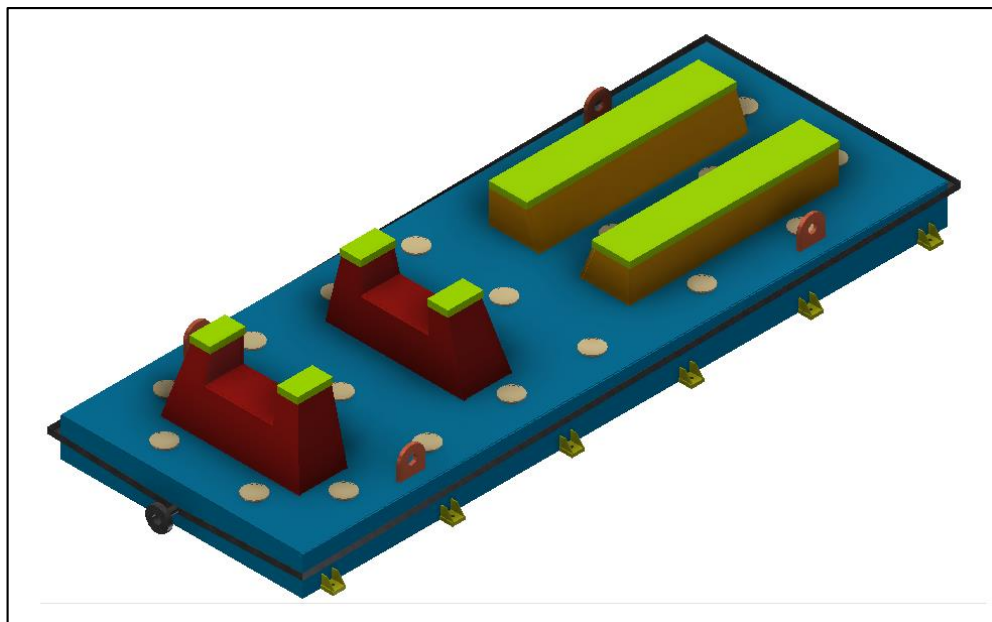


Figura 2. 13 Alternativa 2 vista isométrica

Fuente: propia

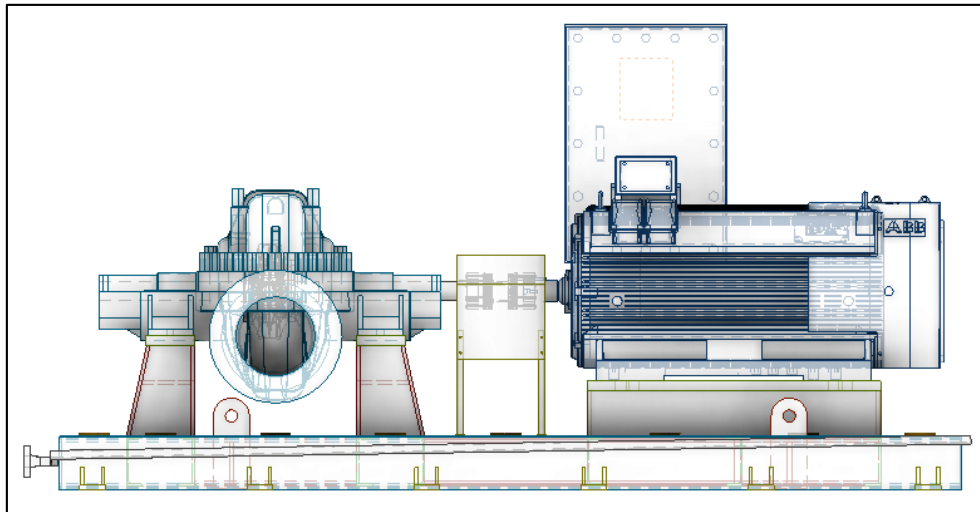


Figura 2. 14 Alternativa 2 Equipo de bombeo montado (vista frontal)

Fuente: propia

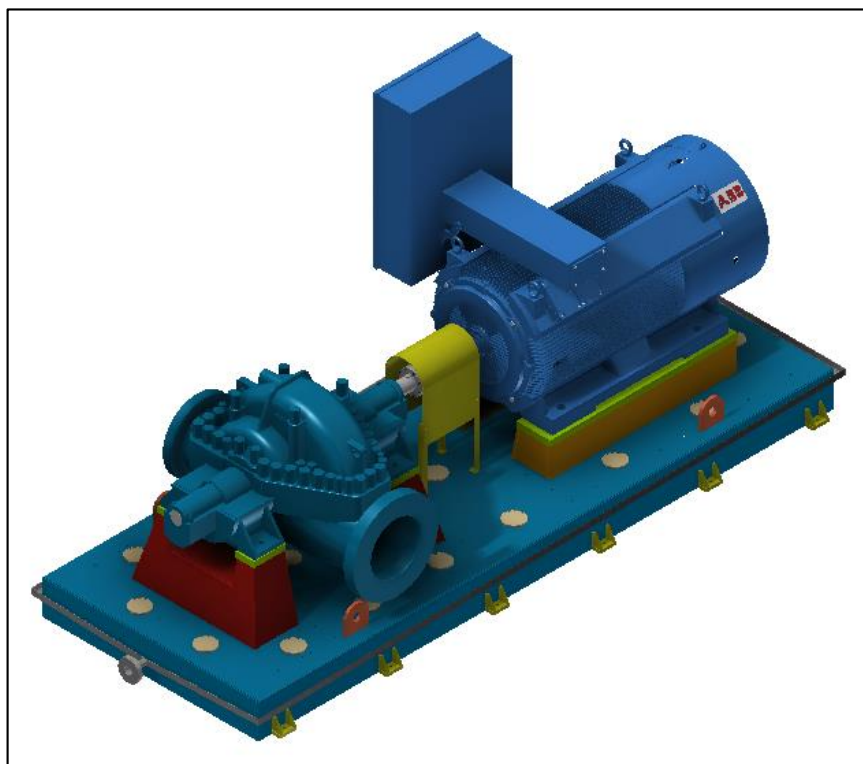


Figura 2. 15 Alternativa 2 Equipo de bombeo montado (vista isométrica)

Fuente: propia

2.5.2.3 Alternativa 3

Para esta última alternativa, la disposición de las vigas principales del esqueleto de la placa base, se encuentran con el alma hacia afuera al igual que la alternativa uno.

La chapa principal de la placa base tiene una pendiente a lo largo de toda la estructura, esta inclinación tiene la función de facilitar la recolección de los fluidos mediante el descenso de los mismo hasta un punto de drenaje que se encuentra en el extremo inferior de la pendiente, además, ésta chapa principal servirá de soporte tanto para los pedestales de la bomba como del motor, los soportes para la bomba son dos bases construidas de chapas metálicas soldadas entre sí, teniendo como diferencia con la alternativa dos que sus pedestales poseen un área abierta en la parte inferior de cada una, por otro lado los soportes del motor son un marco de chapas metálica soldadas entre sí y que tienen en su parte superior dos chapas montadas y soldadas a este marco, cuya disposición facilitará el apoyo de los pies del motor.

Ventajas

- Menor número de vigas que la alternativa 1
- Facilidad de ubicación de las orejas de izaje en comparación con la alternativa dos
- Recolección de fluidos en toda el área donde está montado el equipo de bombeo

Desventajas

- Reducción del área de todas las vigas secundarias (transversales) debido a la inclinación de la chapa metálica para el drenaje
- Difícil acceso a los agujeros de lechada
- Disminución del área de asentamiento de los pedestales de la bomba.

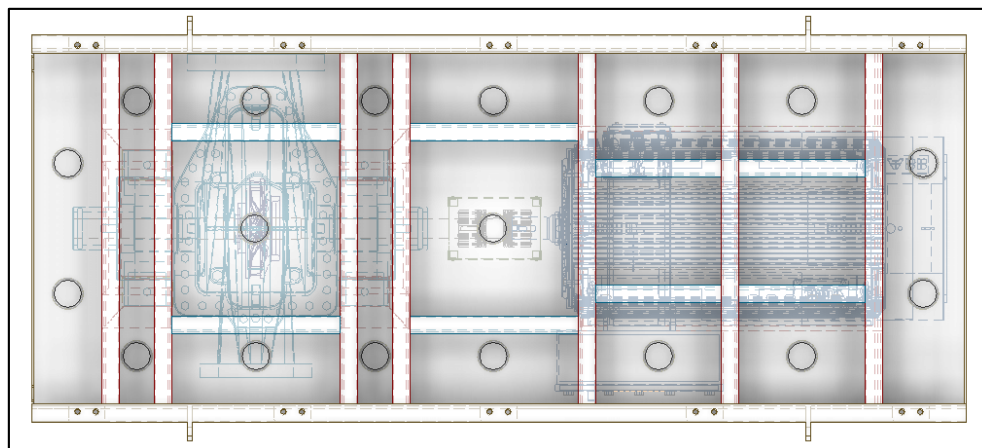


Figura 2. 16 Marco Estructural de la Alternativa 3

Fuente: propia

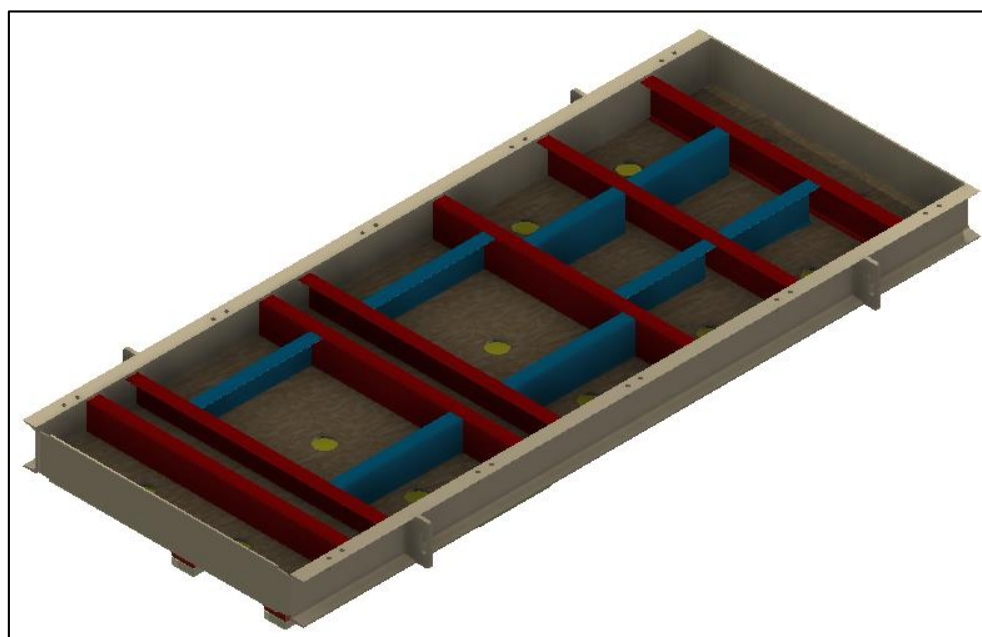


Figura 2. 17 Disposición de vigas de la alternativa 3

Fuente: propia

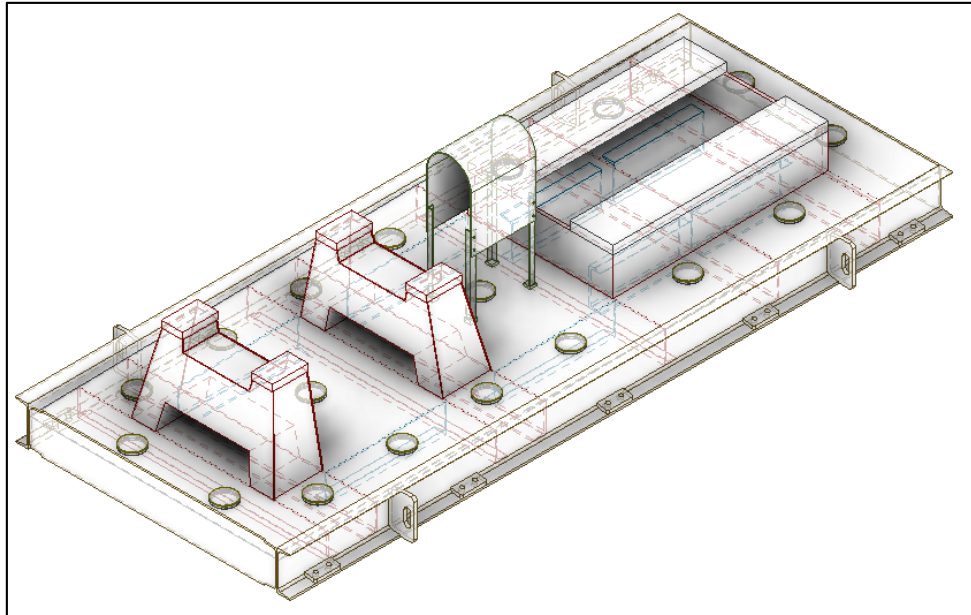


Figura 2. 18. Alternativa 3 vista isométrica (líneas ocultas)

Fuente: Propia

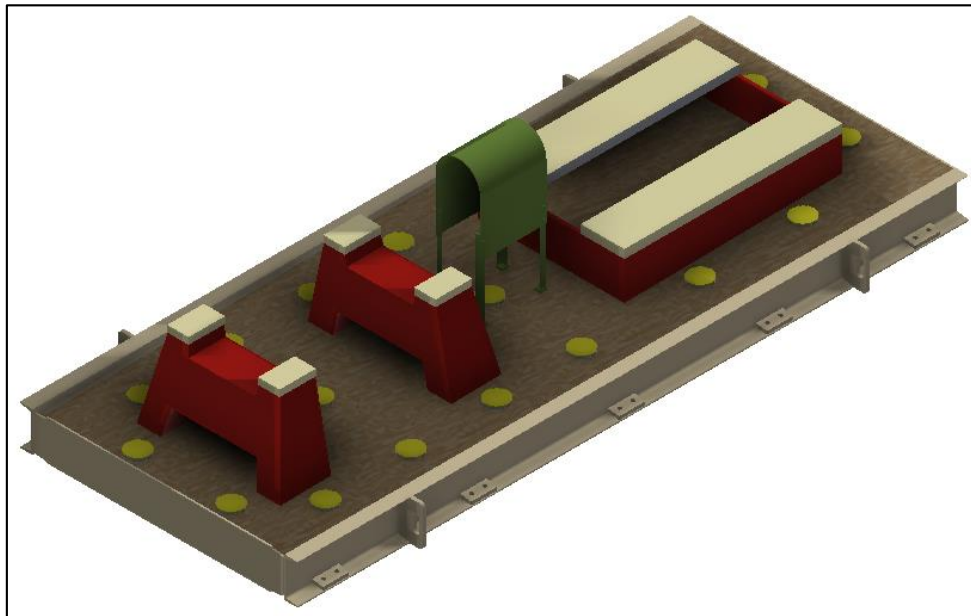


Figura 2. 19 Alternativa 3 vista isométrica

Fuente: propia

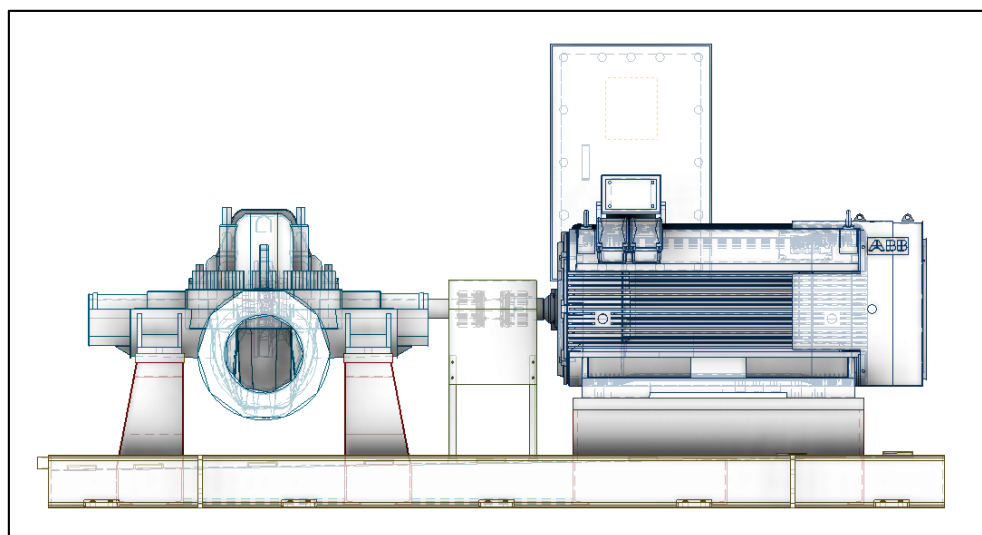


Figura 2. 20 Alternativa 3 Equipo de bombeo montado (vista frontal)

Fuente: propia

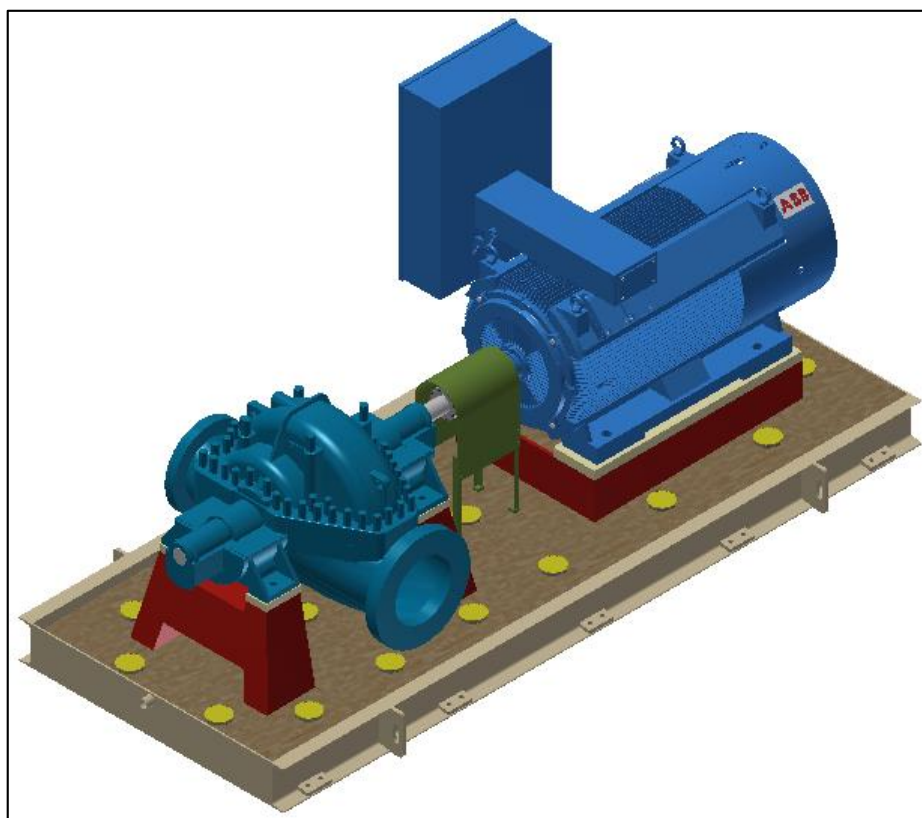


Figura 2. 21 Alternativa 3 Equipo de bombeo montado (vista isométrica)

Fuente: propia

2.5.3 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS ALTERNATIVAS PARA EL DISEÑO DE LA PLACA BASE.

En la Tabla 2.1 se describen las ventajas de las tres alternativas de diseño para la placa base.

Tabla 2. 1 Ventajas de las alternativas en el diseño de la placa base

VENTAJAS		
ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3
Mayor rigidez en el soporte del motor	Sistema de drenaje alrededor de toda la placa base	Construcción rígida
Optimización en área de drenaje	Menor número de vigas que la alternativa 1	Consta sistema de drenaje para los fluidos de lubricación
Facilidad de ubicación de los puntos para fijar y nivelar la placa base	Geometría de los pedestales hacen que se distribuyan las cargas del equipo de bombeo de manera más uniforme q la alternativa 1	No posee chapas metálicas adicionales para anclaje de la base
	No es necesario reducir el área de las vigas ya que el drenaje se encuentra alrededor de la placa base.	Menor número de vigas que la alternativa 1 y menor peso que la alternativa 2
	Menor peso que la alternativa 2	Menor número de juntas
	Menor número de juntas	No se realiza destajes a las vigas secundarias

Fuente: propia

En la Tabla 2.2 se describen las desventajas de las tres alternativas para el diseño de la placa base.

Tabla 2. 2 Desventajas de las alternativas en el diseño de la placa base

DESVENTAJAS		
ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3
Reducción del área de las vigas secundarias debido a la inclinación para el drenaje	Se utiliza superficies adicionales para los puntos de nivelación	Mayor número de juntas

Mayor número de juntas en los pedestales de la bomba	Mayor número de destajes en el armado del marco de vigas.	No posee ductos de drenaje en los soportes de la bomba
Difícil acceso a los agujeros de lechada	Perforación del patín de las vigas principales para anclar la estructura.	Chapas metálicas adicionales para anclaje de la base
Disminución del área de asentamiento de los pedestales de la bomba		Menor número de orejas de izaje que la alternativa 2

Fuente: propia

Analizando las ventajas y desventajas de las tres alternativas presentadas para el diseño de la placa base, se toma en consideración que la alternativa 2, ya que la primordial característica es la de mantener la mayor rigidez en el esqueleto de la estructura, ya en que en esta alternativa no se realizan cortes de sección en las vigas secundarias como en las otras alternativas que se necesitan hacer cambios de sección para la inclusión del drenaje. Estos cambios de sección alteran la rigidez en la estructura.

2.6 TIPOS DE ELEMENTOS DE IZAJE PARA LA PLACA BASE

La placa base además de ser diseñada y construida para cumplir con otras funciones ya antes mencionadas, deberá ser capaz de levantar el equipo completo, si así lo requiere el cliente, y colocarlo en la respectiva fundación mediante el uso de grúas con sus elementos de izaje. Todo el mecanismo elevador, incluyendo las eslingas, los grilletes y los espaciadores, serán suministrados.

Para poder mover y transportar la placa base al sitio de operación ya sea con el conjunto motor bomba montado sobre ella o la placa base sin ningún equipo montado sobre ésta, la placa base deberá poseer algún elemento de izaje estructural que permita cumplir con este objetivo. Para poder izar la placa base con o sin el conjunto motor – bomba montado, se utilizan tanto orejas como tubos laterales de izaje, dependiendo del diseño, dimensiones, el tipo de conjunto motor bomba que se desee montar en la placa base y finalmente los requerimientos del usuario.

Existen dos tipos de elementos de izaje predominantes que sirven para poder levantar y trasladar la placa base, éstos elementos son las orejas y los tubos laterales de izaje como se muestran en la figura 2.22 y figura 2.23, respectivamente.



Figura 2. 22 Placa base con tubos con de izaje

Fuente: [http://i.ebayimg.com/00/s/NDgwWDY0MA==/z/OckAAOSwU9xUOB34/\\$_57.JPG](http://i.ebayimg.com/00/s/NDgwWDY0MA==/z/OckAAOSwU9xUOB34/$_57.JPG)



Figura 2. 23 Placa base con cuatro orejas de izaje a los costados de las vigas principales

Fuente: <http://image.made-in-china.com/2f0j00meitcoybMKgk/API-610-10th-Axially-Split-Bb3-Pump-Wide-Range-of-Services-in-Oil-and-Gas-Production.jpg>



Figura 2. 24 Placa base con cuatro orejas de izaje incrustadas en las vigas principales

Fuente:<http://ifsolutions.com/blog/wp-content/uploads/2015/01/Quick-Ship-Pump-Package.jpg>

En la mayoría de diseños el elemento más utilizado de los anteriormente mencionados son las orejas de izaje, dichas orejas se pueden ubicar en cualquier posición longitudinal de la placa base teniendo en cuenta que su posición será siempre simétrica respecto al centro de gravedad de la placa base o del conjunto (bomba, motor, acople y placa base) de ser el caso y además teniendo en cuenta que no deben estar tan próximas al centro geométrico del conjunto y usualmente se utilizan cuatro puntos de izaje.

Para usar placas base con tubos laterales se debe insertar una barra más larga que los tubos laterales de manera que puedan incorporarse los ojos de las eslingas, éste método de izaje posee algunas limitantes importantes, ya que al izar con estos elementos la placa debe ser lo suficientemente robusta, debido a que al levantar desde los extremos laterales de dicha placa, esta puede tender a deformarse. Además, al estar los elementos de izaje en el extremo de la placa, el C.G del conjunto final debe coincidir con el centro geométrico del mismo con respecto al plano horizontal, debido a que los tubos laterales de izaje están simétricos respecto al centro geométrico de la placa base mas no al C.G del conjunto, por lo tanto, de no darse la condición anterior

al momento del levantamiento, puede llegar a tambalear todo el conjunto y así causar graves daños estructurales del mismo y peor aún causar accidentes al personal encargado del izaje.

Las orejas de izaje presentan diferentes configuraciones en cuanto a su geometría y en cuanto a su disposición en las principales vigas longitudinales de la placa base. Las orejas de izaje deben ir soldadas con las vigas antes mencionadas ya sea que dichas orejas estén soldadas a un costado de las vigas como se muestra en la Figura 2a ó pueden estar incrustadas en las vigas como se muestra en la Figura 2b, ésto dependerá del diseño de la placa base y la configuración que posea el esqueleto estructural de dicha placa.

Por lo tanto, de lo anteriormente expuesto, para incorporar al diseño de la placa base se decide usar las orejas de izaje, ya que presentan beneficios y cumplen con los requerimientos de la placa base a diseñar. Además las orejas de izaje poseen mejores prestaciones respecto al elemento de tubos laterales de izaje para poder trasladar la placa base. Los cálculos y la geometría de dichas orejas de izaje se presentan en capítulos posteriores.

2.6.1 ALTERNATIVAS PARA EL IZAJE DE LA PLACA BASE

Una vez que se ha seleccionado el tipo de estructura a ser utilizada para montar el conjunto (motor-acople-bomba), ahora se procede al exponer las alternativas de izaje para poder levantar y transportar a lugar de operación, ya sea la placa base sola o el conjunto (motor-acople-bomba) montado sobre esta.

Esta etapa en donde se elige la alternativa de izaje para la placa base o para el conjunto (motor-acople-bomba y la placa base) es de vital importancia para poder realizar los cálculos pertinentes de las orejas de izaje ya que de la alternativa que se escoja, las orejas estarán soportando diferentes fuerzas debido al peso que presente o bien la placa sola o el conjunto (motor-acople-bomba) montado sobre esta. A continuación se muestran las principales alternativas para el izaje:

2.6.1.1 Alternativa 1

Esta alternativa de izaje, consta de cuatro puntos de levantamiento en donde el gancho a donde llegarán los cables que parten de las orejas de izaje, el gancho estará ubicado verticalmente sobre el CG, a una altura tal que los ángulos de los cables con el plano horizontal sea cuando menos de 60° y el ángulo entre los cables será menor a 90° , además que tanto el motor, la bomba y el acople están montados sobre la placa base. En las Figuras 2.25 y 2.26 se muestra este método de izaje en la placa.

Ventajas

Menor uso de elementos y dispositivos de izaje

Simplicidad y rápido montaje del sistema de izamiento.

Los cables de izaje llegan directamente a un punto de convergencia

Desventajas

Cables de izaje pueden interferir con los equipos montados

Menor estabilidad al momento del izaje para estructuras grandes

Aumenta la altura del punto de convergencia, por lo tanto se requiere de mayor longitud de cable de izaje

Posibilidad de deformación del conjunto total

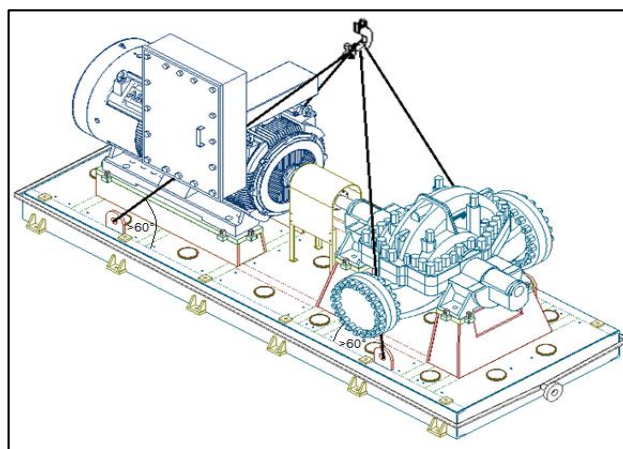


Figura 2. 25 Izaje total de la estructura y equipo de bombeo (vista isométrica)

Fuente: propia

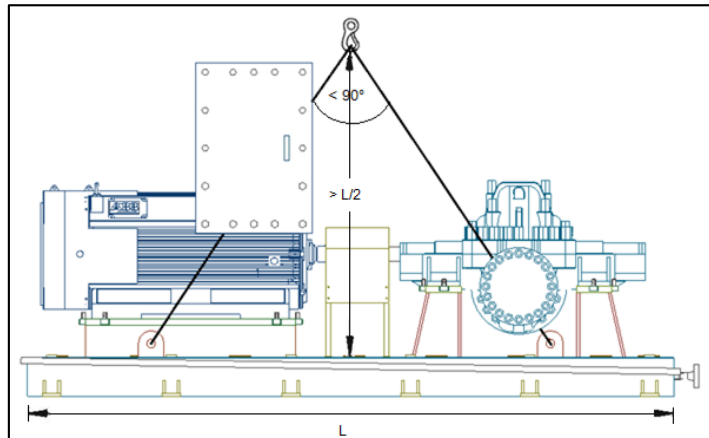


Figura 2. 26 Izaje total de la Estructura y Equipo de bombeo (vista frontal)

Fuente: propia

2.6.1.2 Alternativa 2

Esta alternativa, al igual que la anterior consta de cuatro puntos de izaje en donde se utiliza un arreglo de dos barras de abducción a la cuales llegarán los cables que parten de las orejas de izaje, y las barras a su vez están conectados a un gancho que estará ubicado verticalmente sobre el CG, a una altura tal que los ángulos de los cables con el plano horizontal sea cuando menos de 60° , y finalmente como en la anterior alternativa tanto el motor, la bomba y el acople están montados sobre la placa base. En las Figuras 2.27 y 2.28 se muestra este método de izaje en la placa.

Ventajas

Mayor estabilidad al momento del izaje para estructuras grandes

Cables de izaje no interfieren con los equipos montados

El ángulo limitante entre cables de izaje ($< 90^\circ$) ya no interfiere en el arreglo del sistema de izaje ya que los cables de izaje no se intersecan debido a las barras de abducción.

Desventajas

Mayor uso de elementos y dispositivos de izaje

Complejidad de montaje del sistema de izamiento.

Los cables de izaje no llegan directamente al punto de convergencia

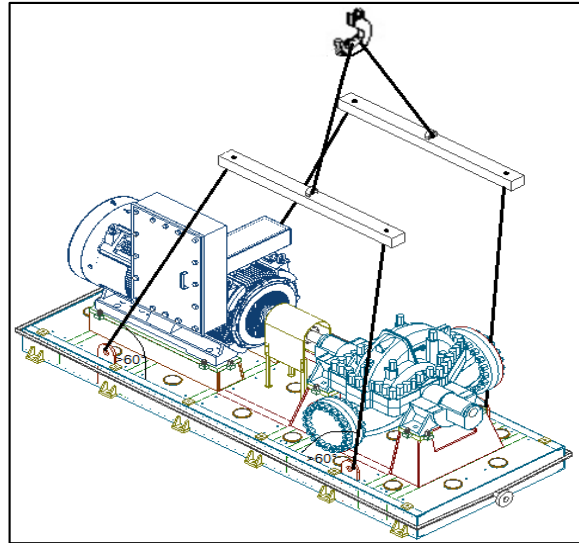


Figura 2. 27 Izaje con barras de aducción (vista isométrica)

Fuente: propia

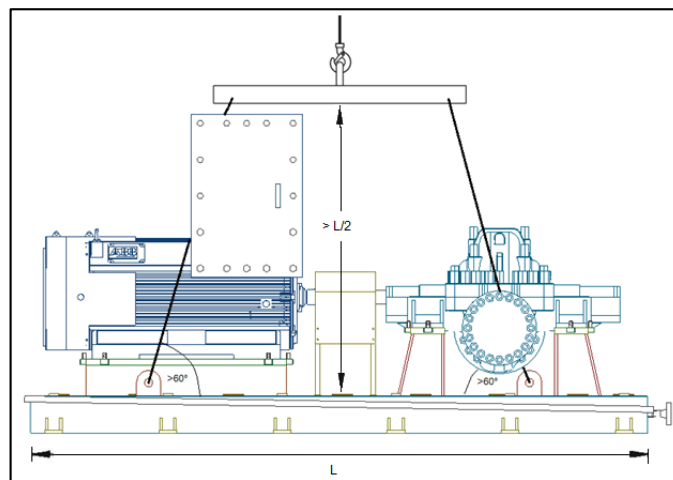


Figura 2. 28 Izaje con barras de aducción (vista frontal)

Fuente: propia

2.6.1.3 Alternativa 3

La tercera alternativa, al igual que las anteriores consta de cuatro puntos de izaje en donde la principal novedad es que en placa base no se encuentra ningún equipo

montado, es decir, no está la bomba, el motor y por ende el acople; además los cables que parten de las orejas de izaje están conectados a un gancho que estará ubicado verticalmente sobre el CG, a una altura tal que los ángulos de los cables con el plano horizontal sea cuando menos de 60°

Ventajas

Mayor estabilidad al momento del izaje ya que no posee maquinaria montada sobre la placa base

Simplicidad y rápido montaje del sistema de izamiento.

Los cables de izaje llegan directamente a un punto de convergencia

Posibilidad casi nula de deformación de la placa base debido a que no posee maquinaria montada sobre la placa base

Desventajas

Este sistema no integra al conjunto (motor-bomba y acople) para el izaje por lo que los componentes que conforman el conjunto total deberán ser transportados por separado, por lo que toma mayor tiempo el transportar todo el conjunto.

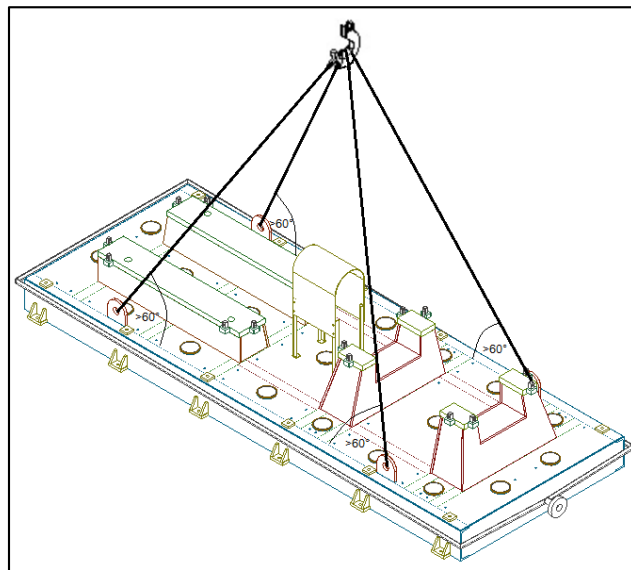


Figura 2. 29 Izaje sin equipo de bombeo (vista isométrica)

Fuente: propia

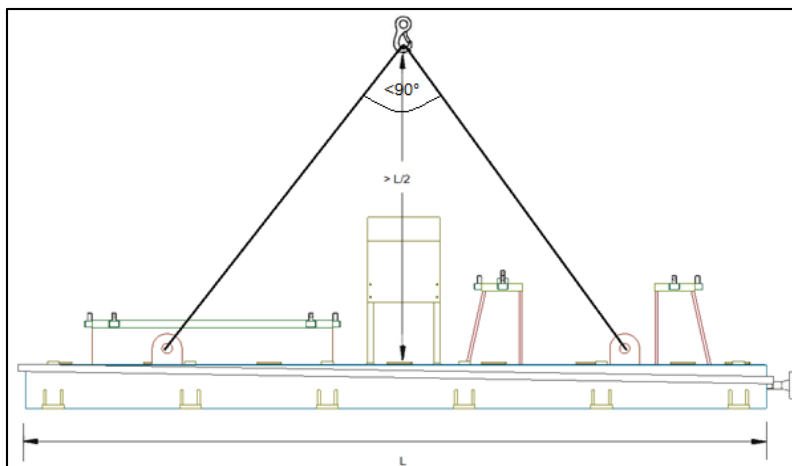


Figura 2. 30 Izaje sin equipo de bombeo (vista frontal)

Fuente: propia

2.6.2 ANALISIS COMPARATIVO DE LAS VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS ALTERNATIVAS PARA SISTEMA DE IZAJE

En la tabla 2.3 se describen las ventajas de los métodos de izaje para la placa.

Tabla 2. 3 Ventajas para sistema de izaje

VENTAJAS		
ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3
Menor uso de elementos y dispositivos de izaje.	Mayor estabilidad al momento del izaje para estructuras grandes.	Mayor estabilidad al momento del izaje.
Simplicidad y rapidez de montaje del sistema de izamiento.	Cables de izaje no interfieren con los equipos montados	Simplicidad y rapidez de montaje del sistema de izamiento.
Los cables de izaje llegan directamente a un punto de convergencia.	El ángulo limitante entre cables de izaje.	Los cables de izaje llegan directamente a un punto de convergencia

	No es necesario reducir el área de las vigas ya que el drenaje se encuentra alrededor de la placa base.	Menor deformación en la placa base ya que no posee maquinaria montada.
--	---	--

Fuente: propia

En la tabla 2.4 se describen las desventajas de los métodos de izaje para la placa.

Tabla 2. 4 Desventajas para sistema de izaje

DESVENTAJAS		
ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3
Cables de izaje pueden interferir con los equipos montados	Mayor uso de elementos y dispositivos de izaje	El transporte de los equipos se lo hace por separado.
Menor estabilidad al momento del izaje para estructuras grandes	Complejidad de montaje del sistema de izamiento	
Al aumenta la altura del punto de convergencia, se necesita mayor longitud de cable.	Los cables de izaje no llegan directamente al punto de convergencia	
Posibilidad de deformación del conjunto total.		

Fuente: propia

La mejor opción para el transporte e izamiento de la placa base, es la alternativa 3, ya que no va existir una deformación considerable y permanente de la misma, debido a que no se traslada la placa base con el equipo montado en ella, y por ende esto genera una mayor facilidad para izar y trasladar la placa base.

CAPITULO 3

3. ELEMENTOS PRINCIPALES PARA LA INSTALACIÓN DE LA PLACA BASE

Una vez que se ha detallado todos los aspectos teóricos y haber definido el diseño de la placa base se procede a detallar los elementos principales para una correcta instalación de la misma.

3.1 BASE DE SOPORTE PARA LA PLACA BASE Y EL EQUIPO DE BOMBEO

El equipo de bombeo (la bomba, el motor y el acople) y la placa base deben estar apoyados sobre una base (estructura) ya sea metálica o de hormigón armado. La selección de la base adecuada para montar todo el equipo y la placa base dependerá de la altura a la cual necesita estar apoyada, además del peso y las dimensiones que posea el equipo de bombeo y la placa.

Las estructuras metálicas son primordialmente usadas en instalaciones de bombas sobre plataformas petrolíferas en los pisos superiores de edificios de estructura de acero o barcos.

Las bases mayormente utilizadas son de hormigón armado o también llamada fundación o cimentación para estructuras que servirán de soporte para placas base de bombas centrífugas, debido a las características que presentan y de su costo, además según la *Norma API 686 Capítulo 4. Fundaciones*, se recomienda que a menos que se especifique lo contrario todas las máquinas deben ser apoyadas por una base de hormigón reforzado y la maquinaria que requiera una instalación elevada puede estar soportada sobre acero estructural que posea rigidez y una resistencia adecuada.

Tomando en cuenta las recomendaciones de la *Norma API 696*, y el diseño de la placa base de este proyecto, se confía el uso de la base de cimentación y por tal motivo se hará énfasis sólo al estudio de dicha base.

3.2 BASE DE FUNDACIÓN

La fundación no es más que una estructura de hormigón reforzada cuyas funciones principales son: las de soportar el conjunto (motor-bomba-acople y placa base), transmitir al suelo las cargas que generen los equipos que este soportando y finalmente debe ser lo suficientemente pesado como para reducir las vibraciones y lo suficientemente rígida para evitar cualquier torsión o desalineación.

Se debe tener un especial cuidado en la preparación de la fundación y después de terminar con su instalación se tiene que asegurar que la base de hormigón se ha curado y ha solidificado totalmente antes de montar el equipo de bombeo, por tal motivo estas bases deben ser vertidas mucho antes de la instalación del conjunto total.

3.2.1 FUNCIONES DE LA FUNDACIÓN

La fundación debe cumplir algunas funciones importantes para que el equipo de bombeo montada sobre ésta pueda trabajar con normalidad y no sufrir un deterioro por vibraciones o deformaciones, por tal motivo existen algunos requisitos indispensables que tiene que cumplir una base de fundación algunas de estas se especifican a continuación:

La fundación debe tener la capacidad de absorber cualquier tipo de vibración y formar un soporte rígido y permanente para la unidad de la bomba.

Los materiales de fundación serán seleccionados para evitar el deterioro prematuro debido al ataque químico o exposición al petróleo.

El diseño de la fundación tiene que ser capaz de resistir todas las cargas aplicadas dinámicas y estáticas especificadas por el fabricante de maquinaria, las cargas de movimiento (dilatación) térmica, cargas muertas y vivas sobrecargas aplicables o

según lo especificado en los códigos de construcción locales, las fuerzas del viento o sísmicas, y cualquier carga que puede estar asociada con la instalación o el mantenimiento del equipo.

La fundación debe ser diseñada para evitar las condiciones de vibración resonante procedentes de las fuerzas normales de excitación a la velocidad de funcionamiento o múltiplos de la velocidad de funcionamiento, es decir la fundación estará libre de posibles frecuencias resonantes dentro de un mínimo de 20% de la gama de velocidades de funcionamiento del equipo.

NOTA

El aumento de la masa tiende a reducir la frecuencia natural de la fundación y el aumento de la rigidez tiende a aumentar la frecuencia natural de la fundación.

El peso de la fundación debe ser entre dos y tres veces el peso del equipo de bombeo.

La fundación deberá poseer el ancho suficiente para dar cabida a la lechada entre el borde de la placa base y el borde de la fundación.

Se debe proporcionar un cimiento sólido de concreto para prevenir deformaciones y distorsión cuando se ajustan los pernos de anclaje.

La fundación deberá proporcionar un factor de seguridad mínimo de 1,5 contra vuelco y deslizamiento debido por todas las fuerzas y pares aplicados.²⁵

NOTA

Un factor de seguridad considerable puede ser requerido dependiendo del tipo de suelo. El uso de resistencia del suelo alrededor del perímetro de la fundación como ayuda para lograr la estabilidad debe utilizarse con precaución.

²⁵ API Recommended practice 686; *Recommended Practice for Machinery Installation and Installation Design*; Second Edition; December 2009.

Los pernos de fundación que se utilizan comúnmente son los de tipo manguito y en J, ambos diseños permiten el movimiento para el ajuste final del perno.

Las fundaciones recientemente vertidas se deben curar durante varios días antes de que la unidad sea ajustada en su lugar.

Todo el concreto debe tener una resistencia mínima a la compresión de 28 MPa (4000 lb/in²) a los 28 días, a menos que se especifique lo contrario por parte del usuario.²⁶

Como se observa, la fundación es una parte importante a tomar en cuenta al momento de ubicar una placa base o cualquier estructura, ya que esta cimentación tiene varias funciones ya antes mencionadas que ayudan a un correcto funcionamiento del equipo de bombeo y por ende una larga vida útil de los equipos montados.

En el anexo 1, *GUÍA DE CONSTRUCCIÓN DE LA PLATAFORMA DE FUNDACIÓN*, el cuál esta adjuntado al final del proyecto, se mencionan detalles adicionales acerca de la fundación tales como un dimensionamiento aproximado que puede tener una cimentación entre otras.

Para procedimientos más detallados acerca de la fundación, estos están descritos en varias publicaciones incluyendo la *Norma API 686* y el libro *The Grouting Handbook* por Harrison D, Chapter 1: *Foundation*.

3.3 ELEMENTOS DE SUJECCIÓN

3.3.1 Pernos de Anclaje

Los pernos de anclaje según la *NORMA ACI 318S – 05 Apéndice D*, son dispositivos de acero ya sean estos preinstalados antes de colocar la fundación, o pos instalados en un elemento de concreto ya endurecido y son usados para transmitir las fuerzas ejercidas a la estructura hacia la fundación.

²⁶ RuhrPumpen; manual de instalación, operación y mantenimiento; bamba de proceso API 610, servicio Pesado de un paso, en cabtillever.

Existen varios tipos de pernos de anclaje, pero los más utilizados son los pernos tipo camisa y los pernos en J, a continuación se muestra las Figuras 3.1, en donde se observa la disposición de los pernos de anclaje ubicados en la placa base y la fundación, para los dos tipos.

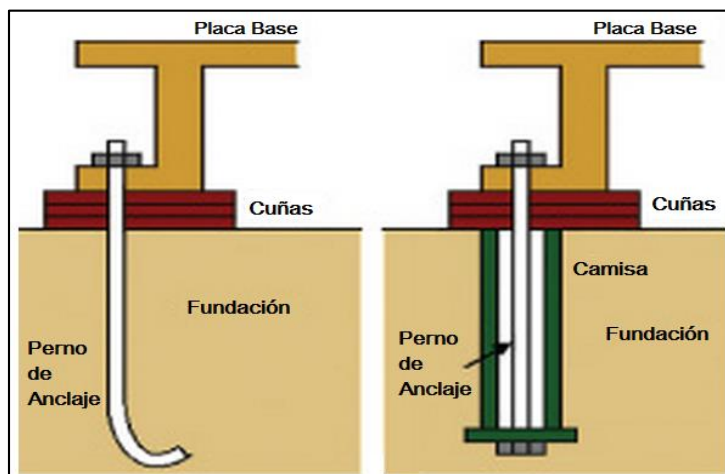


Figura 3.1 Pernos de Anclaje

Fuente: <http://www.maintenancetechnology.com/2009/06/correct-installation-the-first-step-to-reliable-pump-operation/>

3.3.1.1 Funciones de los Pernos y Camisas de Anclaje

Una de las funciones que deben poseer los pernos de anclaje según la *NORMA API 686*, se cita a continuación:

Los pernos de anclaje por sí solos o en combinación con los accesorios de la placa base del equipo deberán ser capaces de transmitir la carga aplicada por la maquinaria y por las cargas de diseño, es decir los efectos más desfavorables hacia la fundación.

Nota: La transferencia de fuerzas por medio de la adhesión de lechada de la placa de base a la fundación no deberán ser considerados en el diseño. La intención de no incluir en el diseño la contribución de la resistencia de la unión de lechada para transferir fuerzas desde la placa de montaje a la fundación aunque dicha adhesión

pudiese existir, es el tener un medio seguro de unión mediante pernos de anclaje sin tener que depender de la lechada.

Los pernos de anclaje deberán sujetar adecuadamente la base de montaje a la fundación para evitar movimientos de la placa de montaje especialmente durante la lechada.

Las camisas de los pernos de anclaje deberán proteger de la lechada a los pernos ya que de darse el contacto entre estos, los pernos podrían fracturarse.

Las camisas de los pernos de anclaje no estarán destinados a proporcionar suficiente movimiento para permitir una desalineación brusca para lograr una fijación con los orificios de la placa de montaje. El movimiento lateral para fines de alineación no debe exceder de 6,5 mm (1/4 in.).²⁷

3.2.1.2 Requerimientos principales para los Pernos de Anclaje

A continuación se presentan algunos requerimientos que deben poseer los pernos de anclaje para que cumpla sus funciones de una manera óptima, según la *NORMA API 686*.

Los pernos de anclaje deben instalarse usando mangas, salvo que el usuario manifieste lo contrario.

De no ser que se especifique lo contrario por parte del usuario de equipos, el material de los pernos de anclaje será ASTM F1554 Grado 36 (para pernos de anclaje para fines generales) o Grado 105 (para pernos de anclaje de alta resistencia para fines especiales) y serán por inmersión en caliente galvanizado de acuerdo con *ASTM A153*.²⁸

²⁷ API Recommended practice 686; *Recommended Practice for Machinery Installation and Installation Design*; Second Edition; December 2009.

²⁸ API Recommended practice 686; *Recommended Practice for Machinery Installation and Installation Design*; Second Edition; December 2009.

NOTA: El material de perno de anclaje seleccionado para su uso debe ser claramente marcado en los planos estructurales. Esta información no solo se requiere para la fabricación, también será útil en modificaciones a la fundación en el futuro.

Para este proyecto siguiendo la normativa y los requerimientos de la API 686, se recomienda utilizar los pernos de anclaje tipo camisa y de un material ASTM F1554 para usos generales. En la siguiente Figura 3.2 se ilustra una disposición típica de los pernos de anclaje con camisa según la *NORMA API 686*.

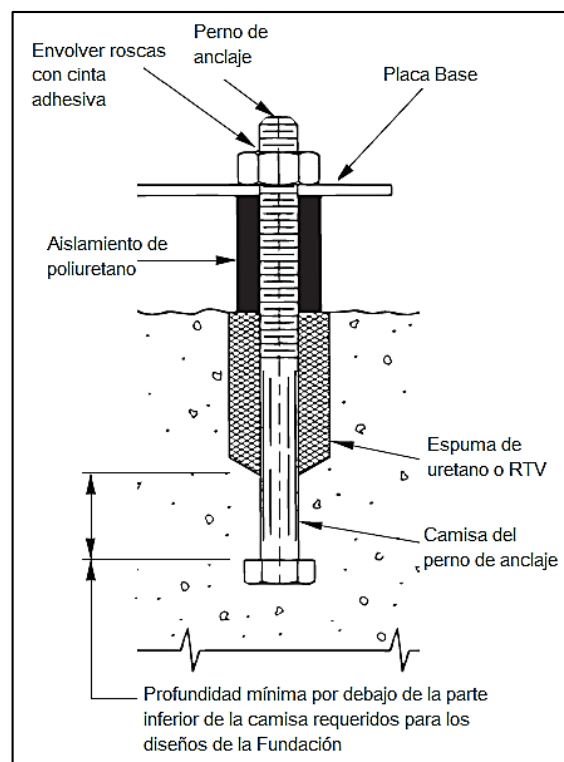


Figura 3. 2 Disposición de los pernos de anclaje

Fuente: propia

3.4 ELEMENTOS DE NIVELACIÓN

3.4.1 Tornillos de nivelación y cuña

Al fijar la placa base en la base, puede utilizar varios métodos comunes para apoyarla, mientras que la lechada se esté vertiendo y durante el proceso de curado. Estos

métodos suelen dar lugar a placas base instalada inadecuadamente y lo que provocará agrietamiento en la lechada, por lo que apoyar y nivelar adecuadamente las placas base puede hacer la diferencia entre una exitosa instalación y un costoso fracaso. Para compensar las fundaciones que no están a nivel, las placas base para bombas centrífugas están provisto de tornillos de nivelación y de cuñas.

Los tornillos de nivelación y las cuñas generalmente están localizados a los costados de los miembros longitudinales estructurales y adyacentes a los pernos de anclaje como se muestra en la Figura 3.3 aunque cabe recalcar que el uso de cuñas pueden representar un inconveniente, ya que si después del vertido de la lechada las calzas o cuñas son dejados en su lugar pueden causar “zonas duras” que podrían afectar a la lechada en cuanto a su capacidad para suministrar una base uniforme de soporte, además podría permitir la penetración de humedad y posteriormente dar como resultado corrosión y brote del grout por lo que el uso de estos no es recomendado.

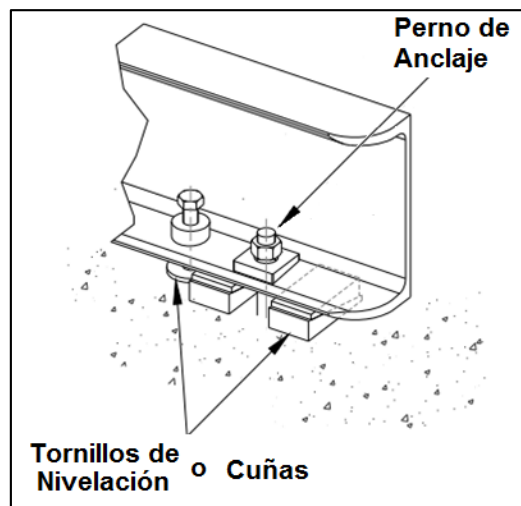


Figura 3. 3 Tornillos de nivelación y cuñas en una viga

Fuente: propia

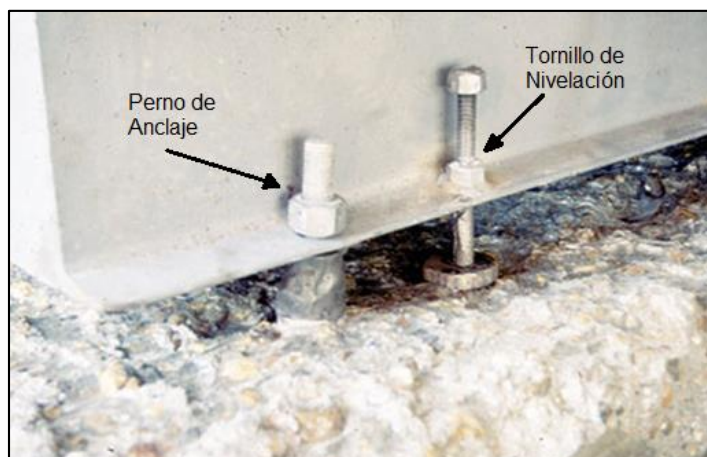


Figura 3. 4 Perno de anclaje y tornillo de nivelación

Fuente: <http://www.enggcyclopedia.com/wp-content/uploads/2011/12/Anchor-bolt-and-levelling-screw.png>

El uso de tornillos niveladores para nivelar de la placa base es mucho más rápido que el método común en donde se utiliza placas de acero cuadrados y cuñas. Los tornillos de nivelación también eliminan el problema de la extracción de las cuñas después de la colocación de la lechada. La ubicación de los pernos de nivelación son generalmente ubicados cerca de los pernos de anclaje tal como se ilustra en la Figura 3.4. La placa base debe ser totalmente apoyada por la lechada ya sea esta de cemento o epoxi y esta placa no deberá ser soportado por los tornillos o las cuñas de nivelación. Los tornillos de nivelación deberán ser lubricados antes de su instalación para permitir su posterior eliminación. Una vez que la lechada haya curado, los tornillos niveladores se retirarán y los agujeros se llenarán de epoxi u otro tipo de sellador. Además la *NORMA API 686*, menciona que las placas de montaje deberán estar provistas de tornillos de nivelación verticales ya que el uso de calzas o cuñas no se recomienda.

Al utilizar tornillos de nivelación, se recomienda el uso de una placa redonda, a menudo llamada almohadilla de nivelación, la cual se puede utilizar bajo el perno de nivelación, tal como se observa en la Figura 3.5. Esta almohadilla se puede construir a partir de la placa de acero de 1/2 pulgada de espesor o barras de refuerzo de diámetro 2 pulg. Cualquiera que sea el material utilizado, este deberá tener un mínimo de 1/2 pulg de

espesor y un diámetro mínimo de 2 pulg o tres veces el diámetro del perno de nivelación tal como se observa en la Figura 3.6

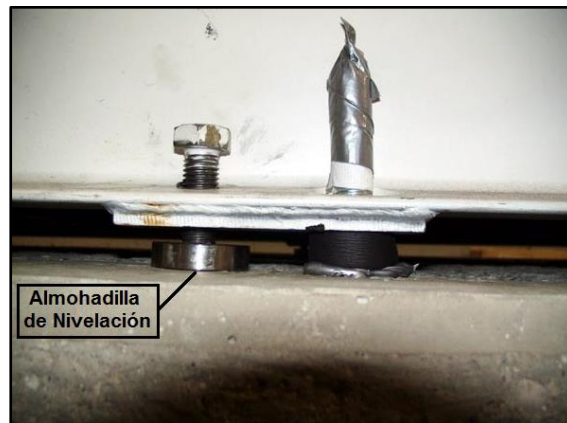


Figura 3. 5 Almohadilla de Nivelación

Fuente: <http://www.pump-zone.com/sites/default/files/15BFWPump15-2004.jpg>

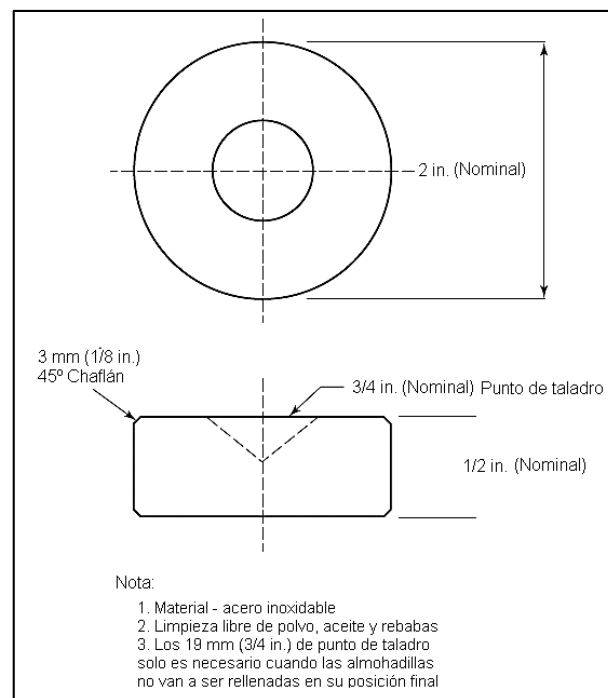


Figura 3. 6 Dimensiones típicas de la almohadilla de nivelación

Fuente: Norma API 686. Anexo H. Almohadillas de nivelación para placas de montaje

3.4.1.1 Funciones de los Elementos de Nivelación

Además de utilizarse los pernos de anclaje y las cuñas para poder nivelar la placa base tienen otra función importante, la cual es ayudar a que la parte inferior de la placa pueda ubicarse a una altura específica con respecto a la superficie superior de la cimentación para que la lechada fluya sin dificultad alguna, este objetivo también se logra mediante el uso de cuñas.

La práctica en la industria indica que la placa base deberá descansar a (20 – 35 mm) por encima de la fundación para permitir un vertido de la lechada adecuado y además para de esta manera poder llegar a la resistencia a la compresión deseada ya que vertidos más delgados no generan suficiente calor en la reacción exotérmica para curar completamente la lechada.²⁹

Tomando en cuenta las indicaciones anteriores y lo sugerido por la *Norma API 686*, para poder nivelar y ubicar la placa base a una altura específica se recomienda hacerlo mediante el uso de los tornillos de nivelación.

De lo visto anteriormente se observa que los elementos de fijación y nivelación tienen su función específica, ya que los tornillos de nivelación o las cuñas (no recomendadas) se utilizan para elevar la placa de base a la posición de nivel mientras que el perno de anclaje mantiene ligeramente firme la placa base.

3.5 MARCO (FORMALETA) PARA LA LECHADA

Las formaletas para la lechada son como marcos de madera que rodean a cierta distancia a la fundación para contener la lechada como se observa en la Figura 3.7 por lo que su diseño debe ser resistente. El material del marco debe tener un mínimo de 3/4 pulg de espesor de madera contrachapada con 2 x 4 refuerzos. En caso de dudas

²⁹ <http://turbolab.tamu.edu/proc/pumpproc/P5/P5117-125.pdf>, pag 2

es conviene hacerlo más robusto. Todas las superficies que entran en contacto con la lechada deben recibir tres capas de cera en pasta para evitar unión a la madera.³⁰

La norma API 686 la denomina como un dispositivo utilizado como embudo de lechada en una placa base y a su vez como hoyo de relleno de lechada a fin de proporcionar un cabezal estático para facilitar el llenado de todas cavidades de la placa base con lechada.

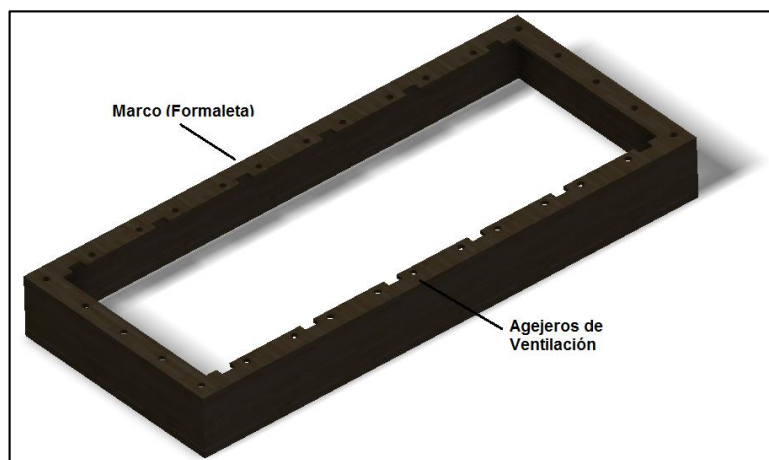


Figura 3. 7 Formaleta de madera

Fuente: propia

3.6 LECHADA

El término "lechada" se refiere a un material endurecible como un mortero ya sea hormigón (concreto) o epoxi que se coloca debajo y alrededor de la placa base para asegurar el contacto íntimo con la fundación.

Las principales funciones de lechada son:

Proporcionar una superficie de soporte de carga uniformemente distribuida

Proporcionar una amortiguación eficaz de vibraciones generadas por el equipo de bombeo.

³⁰ <http://turbolab.tamu.edu/proc/pumpproc/P5/P5117-125.pdf>, pág. 121

Otra definición por parte de la Norma API 686 indica que la lechada es una resina epoxi o material de cemento utilizado para llenar el vacío entre una placa base o placa de metal y la fundación cubierta por dicha placa base. Este material de relleno proporciona un soporte uniforme y un enlace que permite una transferencia de carga entre el equipo y su fundación. Así, el equipo, la base, y eventualmente la tierra se convierte efectivamente en un solo sistema. EL sistema es la palabra clave ya que una fundación o placa base mal diseñada y técnicas de instalación inadecuados puede dar lugar a graves problemas de los equipos rotativos. Estos problemas incluyen una alta vibración, roces en el conjunto giratorio, mala vida del sello y fallas mecánicas. Por lo tanto, la instalación de la maquinaria debe ser considerada como un sistema, no como un conglomerado de piezas diseñadas de forma independiente dentro de sus propias directrices.³¹

Existen dos clases de lechada (grout) utilizados, el primero consiste en el relleno de concreto en las cavidades de la placa base, esto permite rigidizar aún más la estructura y distribuir de mejor manera las vibraciones a la fundación de concreto a la cual va a estar fijada la placa base con el conjunto motor – bomba; el segundo tipo de grout consiste en el relleno de un material epóxico, el cual es usado también como relleno entre la placa base y su fundación, y además se lo utiliza como relleno en los pernos de anclaje y en los orificios dejados por los tornillos de nivelación. Hoy en día existen dos maneras de realizar el lechado de la placa base:

Método Tradicional

Este método consiste en verter la lechada una vez que ya se ha ubicado la placa base sobre la fundación con las debidas preparaciones tanto de la placa base como de la fundación, cabe recalcar que a la placa base no se le habrá realizado ningún pre-lechado es decir no se le habrá realizado ningún tipo de llenado ya sea con material de cemento o epóxico. Este método utilizado se observa en la siguiente Figura 3.8

³¹ API Recommended practice 686; *Recommended Practice for Machinery Installation and Installation Design*; Second Edition; December 2009.

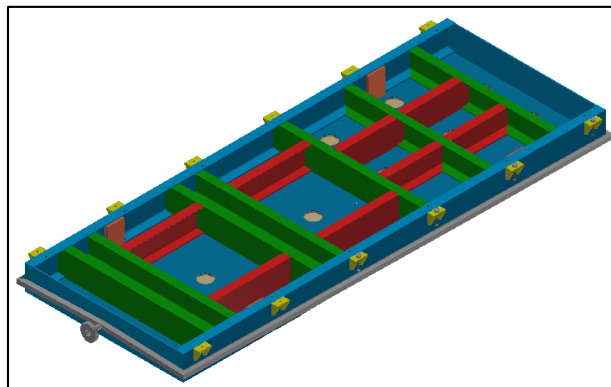


Figura 3. 8 Vertido de Lechada por el Método Tradicional

Fuente: propia

Método Actual

Este nuevo método llamado pre-lechado (pre-grout) consiste en que a más de las preparaciones antes del vertido de la lechada en la placa base, esta será llenada totalmente de lechada estando ubicado boca abajo tapando todos sus orificios, llenando de esta manera sus cavidades interiores, esto se lo realiza comúnmente en fábrica, ese método ayuda a que al momento de que ha curado completamente la lechada y se transporte la placa base a su destino no ocurra ninguna distorsión en la estructura de la placa, además que se evita casi en su totalidad los vacíos que se pueden generar en el vertido de la lechada y se garantiza una unión completa entre la placa base y la fundación, este método se aplica generalmente en placas bases destinadas usualmente a pequeñas bombas centrífugas por lo que el método de pre-lechado es orientado a placas base pequeñas. Este método utilizado se observa en la siguiente Figura 3.9

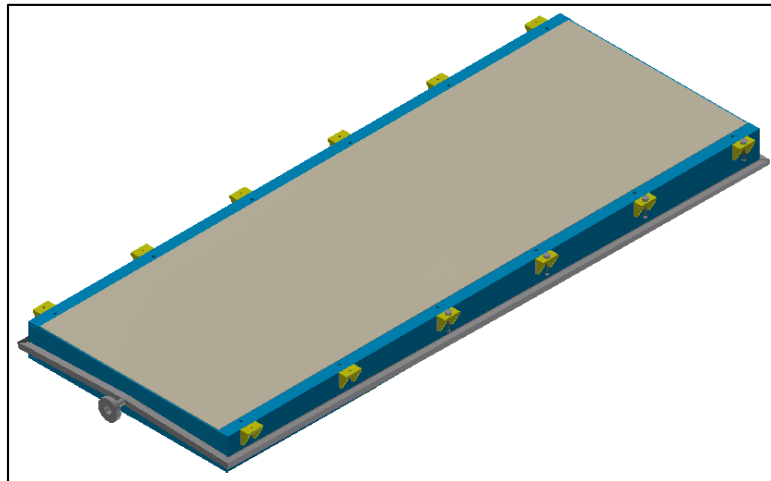


Figura 3. 9 Vertido de Lechada por el Método Actual

Fuente: propia

A continuación se muestra una placa base real utilizada actualmente por la empresa Flowserve.



Figura 3. 10 Placa base Flowserve

Fuente: <http://www.flowserve.com/files/Files/Literature/ProductLiterature/Pumps/fpd-1327-ea4.pdf>

Ambos métodos son utilizados en la actualidad, el uso de cada uno dependerá de las dimensiones que posea la placa base, ya que el método de pre-lechada es usada generalmente en placas base cuyas dimensiones son pequeñas y puede haber una distorsión se estas al momento de ser transportadas, en cambio para placas base

grandes su usa el método tradicional ya que de pre-enlechar estas placas su peso junto con la lechada ya curada serían demasiadas pesadas, y además estas placas base suelen ser rígidas sin necesidad de enlecharlas y muy pocas veces al momento de transportarlas se generan distorsiones en dichas placas.

Por lo tanto, tomando en cuenta lo anteriormente dicho y las dimensiones que deberá poseer la placa base el método recomendado para enlechar es la manera tradicional.

Si se desea algo más extenso acerca de los métodos para el vertido de la lechada, existe una guía al final de este proyecto, en el cual se detalla los procedimientos para el vertido de la lechada según la norma *API 686*.

Utilizando el método convencional para la enlechar la placa base a su fundación, se pueden manejar dos métodos para verter dicha lechada, el uno es llamado “un solo vertido” que se muestra en la Figura 3.11 y el otro método se lo denomina “dos vertidos”, que se observa en la Figura 3.12.

El método de un sólo vertido de lechada requiere una técnica de construcción de la formaleta más elaborada, pero reduce los costos laborales. La formaleta de lechada de madera requiere una cubierta superior que forma un sello que no permite el paso de los líquidos y está apoyado en el reborde inferior de la placa base. El marco deberá ser ventilado a lo largo de la cubierta de cierre superior, y ser lo suficientemente resistente como para soportar la carga hidráulica producida por la lechada. Todo el material de lechada se vierte a través de los agujeros de lechada en la parte superior de la placa de base. Esta técnica requiere unas buenas características de flujo del material de lechada para un vertido exitoso y es normalmente utilizado para aplicaciones donde se utilizará lechadas epóxicas.

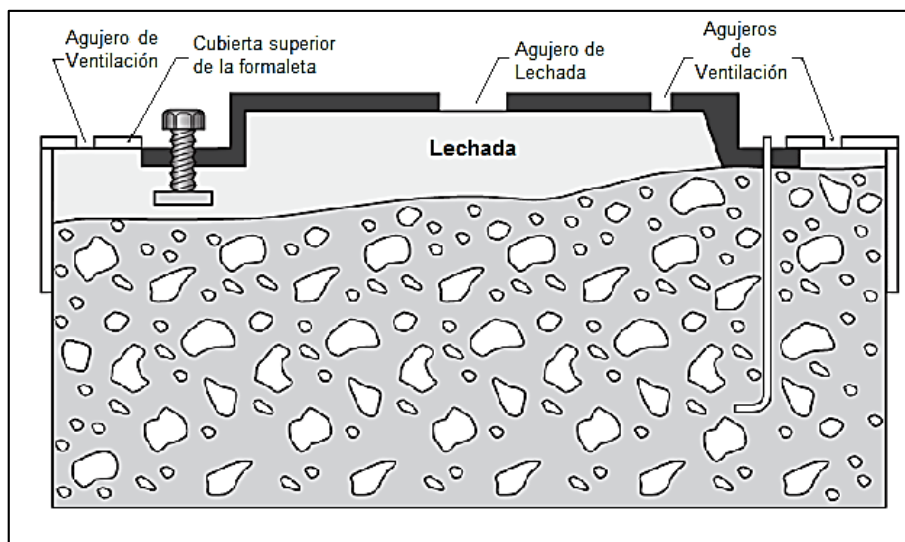


Figura 3. 11 Sistema de un sólo vertido de lechada

Fuente: http://www.waterworld.com/content/dam/etc/medialib/platform-7/waterworld/articles/print-articles/volume-26/issue-11/29176.res/_jcr_content/renditions/original

El segundo método el cual es denominado “dos vertidos” es el método más aplicado, y se puede utilizar ya sea en cemento o mortero epoxi. Las formaletas de lechada de madera para el método dos vertidos son más fáciles de construir porque de la parte superior es abierta. El vacío entre la fundación y el reborde inferior de la placa base está llena de lechada en el primer vertido, permitiéndole curar. El segundo vertido de lechada se realiza para llenar la cavidad de la placa de base, mediante el uso de los agujeros de lechada proporcionados en la parte superior de la placa de base y el aire escapará por los agujeros de ventilación.

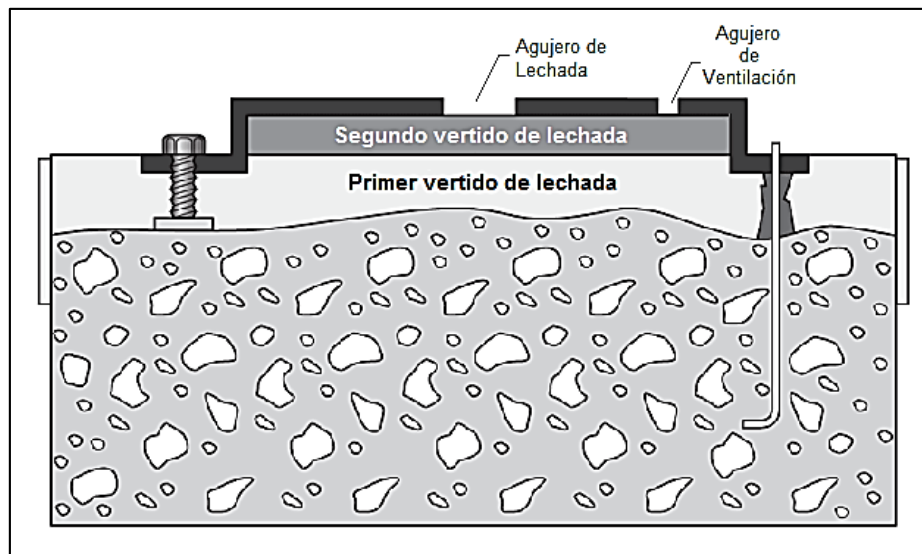


Figura 3. 12 Sistema de dos vertidos de lechada

Fuente: http://www.waterworld.com/content/dam/etc/medialib/platform-7/waterworld/articles/print-articles/volume-26/issue-11/74761.res/_jcr_content/renditions/original

CAPITULO 4

4. DISEÑO ESTRUCTURAL DE LA PLACA BASE

En este capítulo, se realizará el análisis estructural de la placa base con las cargas, fuerzas y momentos a los cuales se encuentra sometida la estructura.

En este punto del presente trabajo se tiene ya definida la forma del esqueleto de la estructura, soportes de la bomba y el motor, drenaje, anclajes, orejas de izaje. Por lo que se analizará el comportamiento estático de los componentes de la placa base, a fin de escoger los elementos estructurales que cumplan con los requerimientos establecidos en las normas

4.1 CARGAS ACTUANTES SOBRE LA PLACA BASE

Las cargas actuantes que van a estar presentes en el diseño estructural de la plataforma son las siguientes:

4.1.1 CARGA MUERTA

La carga muerta estará constituida por el peso propio de la estructura y todos los elementos que se hallan unidos y soportados por la bancada incluyendo el conjunto motor bomba.

En el peso propio se puede cuantificar de acuerdo con la longitud de los perfiles que conforman la estructura. En vista de que no se conoce en esta etapa el tipo de perfiles y chapas metálicas que se utilizarán en la estructura, este parámetro será variable hasta encontrar las vigas y láminas que cumplan con los requerimientos de las normas revisadas.

Las cargas muertas conocidas son los pesos de la bomba DVS J 14x25, y del motor Eléctrico HXR cuyos datos de placas se muestran a continuación.

4.1.1.1 Datos de placa de la bomba

En la Tabla 4.1 se observan los datos de placa de la bomba DVS J 14x25, y su respectiva denominación se encuentra en la tabla 4.2

Tabla 4. 1 Placa de la Bomba DVS J 14x25

The diagram shows a pump nameplate with the following information:

- Logos:** FLOWSERVE Pump Division and UNITED CENTRIFUGAL PUMPS.
- Size:** J - 14 x 25 DVS I STAGE (Callout 1)
- Flow (Q):** 12000 gpm (Callout 3)
- Speed:** 2060 rpm (Callout 5)
- Weight:** 8700 lb (Callout 6)
- Head (H):** 800 m. (Callout 4)
- Serial No:** 4251243 (Callout 2)
- Suction pipe size:** 16" x 600 # (Callout 7)
- Discharge pipe size:** 14" x 600 # (Callout 8)
- Date:** 1973 / 12 / 12 (Callout 9)
- Location:** SAN JOSE - CALIFORNIA

Fuente: propia

Tabla 4. 2 Datos de Placa de la bomba DVS J - 14x25

NOMENCLARUTA DE LOS DATOS DE PLACA DE LA BOMBA	
1	Designación de tipo/ tamaño
2	Nº de serie
3	Caudal [gpm]
4	Altura [m]
5	Velocidad de rotación [rpm]
6	Peso de la bomba [lb]
7	Año de fabricación

Fuente: propia

4.1.1.2 Datos de placa del motor

Los datos de placa de los motores eléctricos acoplados a las bombas son indispensables para evaluar su operación energética. En las tablas 4.3 y 4.4 se muestran los datos de placa del motor y su respectiva denominación.

Tabla 4.3 Placa de datos para máquinas en línea directa fabricadas según NEMA

1	ABB	10	ABB Oy	9
2	Type	HXR 500LG4	No	4639504
3	Year	2014	Phases	3~
11	Connection	Y	Insul.cl.	F
12	Output	1500	HP	Phases 3
13	Voltage	4160	V	INS F
14	Frequency	60,3	HZ	ENCL TEFC
15	Speed	1801,6	RPM	AMB 40 °C
16	Current	181	A	STD NEMA MG1
17	SF	1.0	TEMP RISE	80°C RES
18	Power factor	0.89		
19	SF 1.15 TEMP RISE 105°C RES			
20	Class 1, Div. 2, Group A,B,C,D T3, 1135447			
21				

Fuente:

[http://www09.abb.com/global/scot/scot234.nsf/veritydisplay/311c5441b8c3de0fc1257cca0028957e/\\$file/Manual_for_Induction_Motors_and_Generators_3BFP000055R0106_rev_G_ES_Iowres.pdf](http://www09.abb.com/global/scot/scot234.nsf/veritydisplay/311c5441b8c3de0fc1257cca0028957e/$file/Manual_for_Induction_Motors_and_Generators_3BFP000055R0106_rev_G_ES_Iowres.pdf)

Tabla 4.4 Nomenclatura de la placa del Motor

NOMENCLARUTA DE LOS DATOS DE PLACA DEL MOTOR			
1	Designación de tipo	12	Voltaje del estator (V)
2	Año de Fabricación	13	Frecuencia (Hz)
3	Tipo de Conexión	14	Velocidad de giro (rpm)
4	Clase de asilamiento	15	corriente del estator (A)
5	Peso de la Maquina (kg)o(lb)	16	Numero de Fases
6	Grado de protección (Clase IP)	17	Servicio
7	Tipo de Refrigeración (código IC)	18	Factor de servicio (NEMA)
8	Información adicional	19	Factor de potencia (cosf)

9	Fabricante	20	Temperatura ambiente (oC) (NEMA)
10	No de serie	21	Estándar
11	Potencia en Eje (KW) o (HP)		

Fuente: propia

4.1.1.3 CARGA TOTAL SOPORTADA POR LA PLACA BASE

La carga total que soportara la placa base son los pesos del motor y la bomba, a continuación se calcula este peso con los datos de placa

$$CM = P_{bomba} + P_{motor}$$

$$CM = 8700 \text{ lb} + 13558 \text{ lb}$$

$$CM = 22258 \text{ lb}$$

$$CM = 10096 \text{ kg}$$

4.1.2 CARGA VIVA

Durante el análisis de la estructura no se considera que actúe carga viva alguna, por lo que únicamente se toma en cuenta la carga muerta. Es necesario aclarar que las cargas ambientales también se consideran despreciables ya que la placa base no tiene una área significativa en la cual pueda actuar cargas de viento.

4.1.3 CARGAS DE OPERACIÓN SOBRE LAS BRIDAS DE LA BOMBA

Considerando el diámetro de las bocas de succión y de descarga de la bomba DVS J 14x25, se procede a determinar las fuerzas y momentos normalizados que se aplicaran en las bridas de acuerdo a la norma API 610, en el ANEXO 7 se observa la tabla de valores de fuerzas establecidas.

$$\text{Diámetro de la boca de succión} = 16 \text{ in} = 406.4 \text{ mm}$$

$$\text{Diámetro de la boca de descarga} = 14 \text{ in} = 355,6 \text{ mm}$$

Utilizando la Tabla, del anexo 8 se toman las fuerzas y momentos para cada boquilla.

A continuación se muestra en la Tabla 4.5 las cargas y momentos a los cuales está sometida cada una de las bridas de la bomba.

Tabla 4.5 Cargas en las Bridas según la Norma API 610

CARGAS EN LAS BOQUILLAS DE LA BOMBA			
Boca de succión		Boca de descarga	
FUERZAS [N]			
F_x	8450	F_x	7120
F_y	10230	F_y	8900
F_z	6670	F_z	5780
MOMENTOS [N * m]			
M_x	6370000	M_x	7320000
M_y	3120000	M_y	3660000
F_z	4750000	F_z	5420000

Fuente: propia

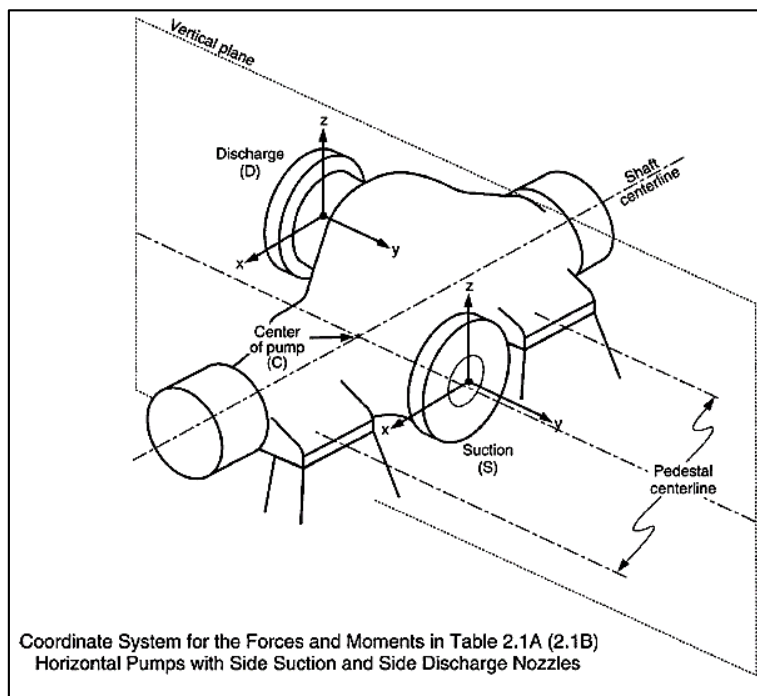


Figura 4. 1 Sistema de coordenadas en las bridas de la bomba

Fuente: Norma API 610

4.2 ANÁLISIS ESTRUCTURAL

4.2.1 ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LA PLACA CON CARGAS DE OPERACIÓN.

Para realizar el análisis mediante elementos finitos de la placa base mediante CAD, se aplicaron las respectivas restricciones en cada uno de los elementos de la estructura, así como las fuerzas y momentos previamente determinados, en las boquillas de succión y descarga de la bomba, la bomba está diseñada para fines de la simulación como un elemento súper rígido, el cual transmite las fuerzas y momentos a los elementos de la placa base para analizar el comportamiento de estos. A continuación se muestran las respectivas simulaciones.

4.2.1.1 Simulación de la Placa Base con perfiles UPN 160 – 140

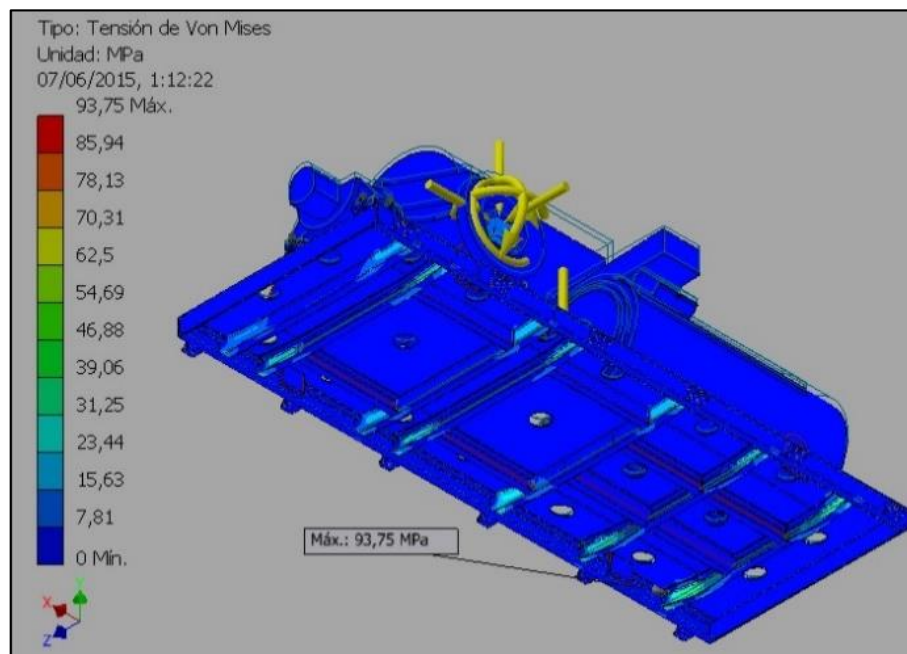


Figura 4. 2 Tensión de Von Mises en la Placa Base 160 - 140

Fuente: Propia

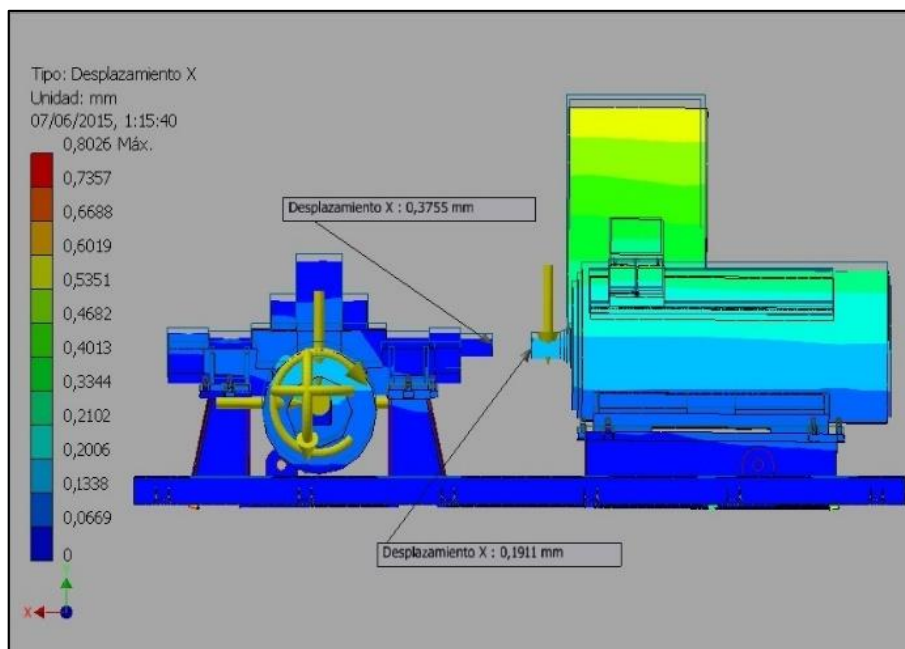


Figura 4. 3 Desplazamiento en X en la Placa Base 160 - 140

Fuente: Propia

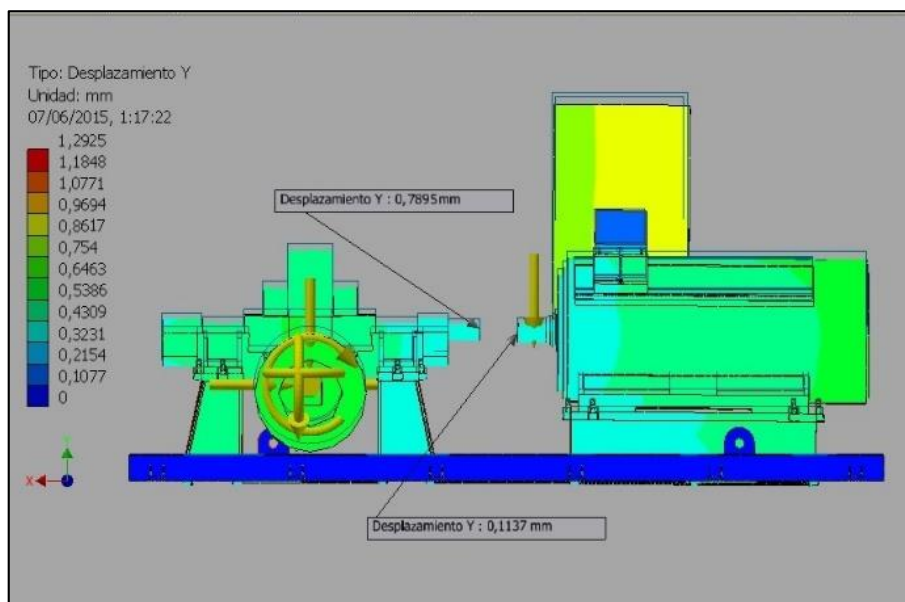


Figura 4. 4 Desplazamiento en Y en la Placa Base 160 – 140

Fuente: Propia

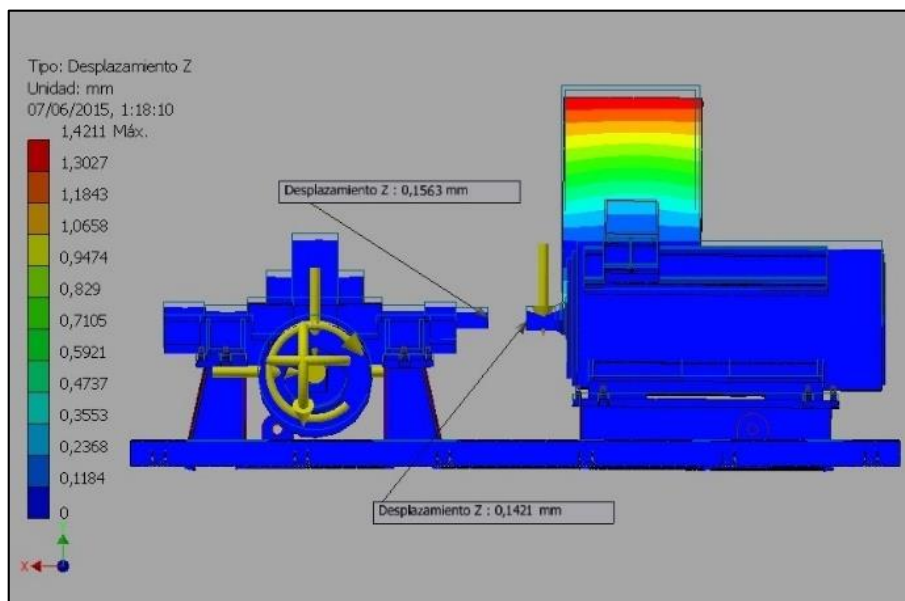


Figura 4. 5 Desplazamiento en Z en la Placa Base 160 – 140

Fuente: Propia

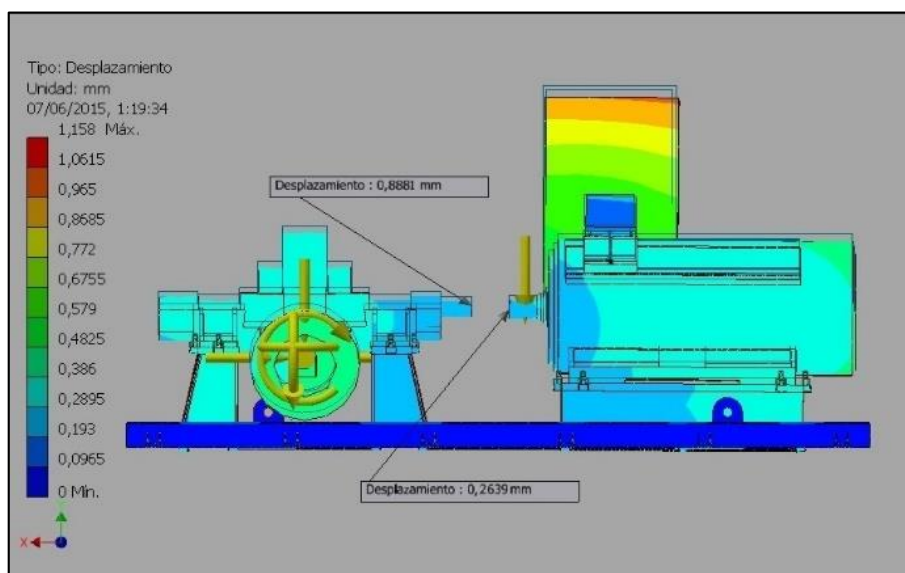


Figura 4. 6 Desplazamiento Total en la Placa Base 160 – 140

Fuente: Propia

4.3.1.2 Simulación de la Placa Base con perfiles UPN 200 – 180

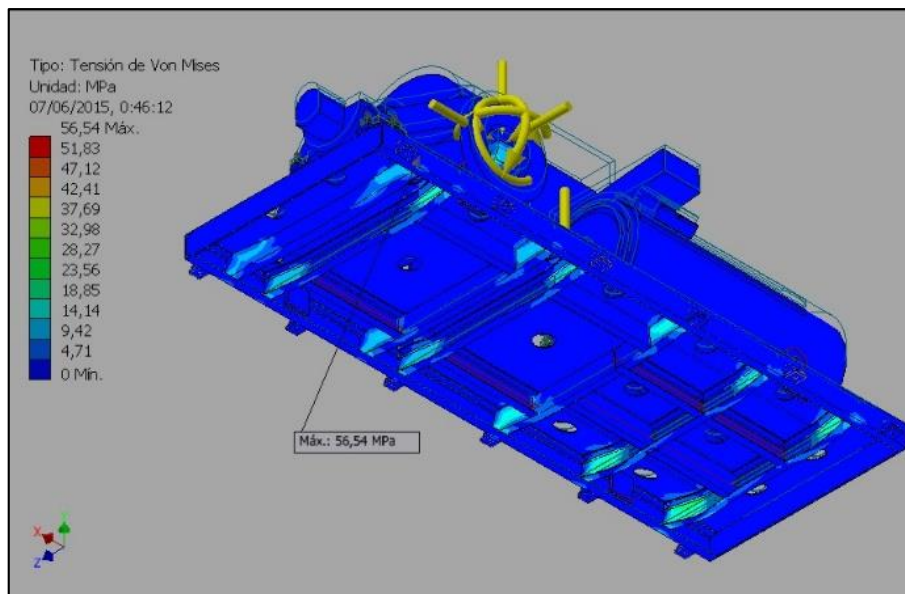


Figura 4. 7 Tensión de Von Mises en la Placa Base 200 – 180

Fuente: Propia

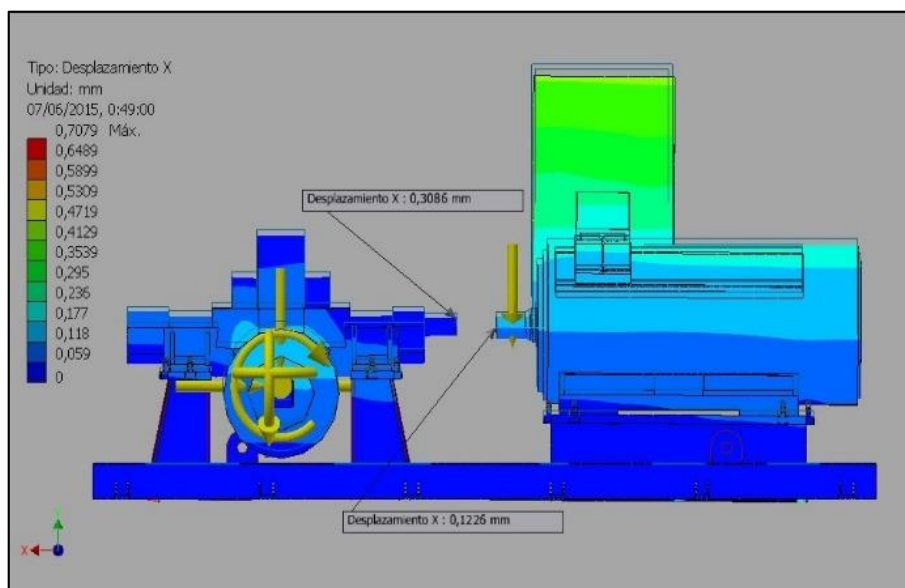


Figura 4. 8 Desplazamiento en X en la Placa Base 200 – 180

Fuente: Propia

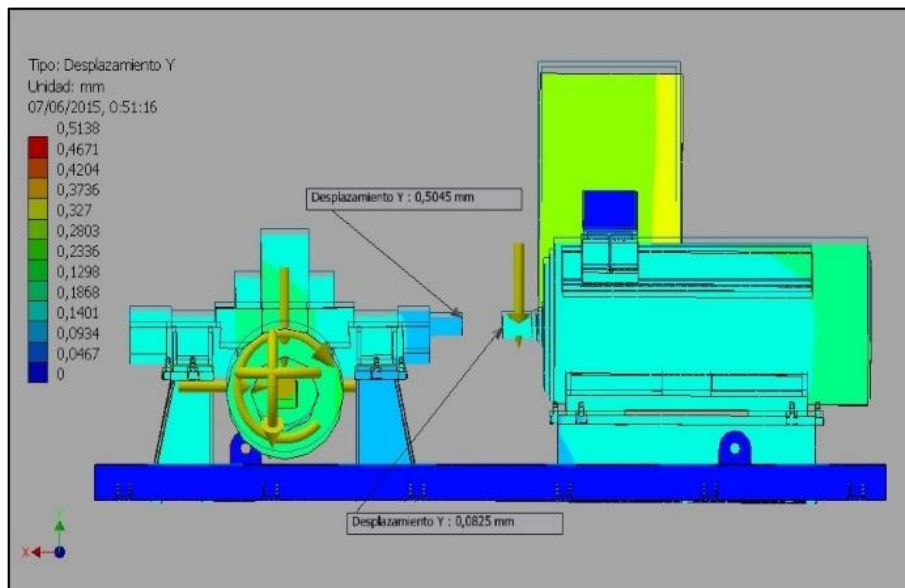


Figura 4. 9 Desplazamiento en Y en la Placa Base 200 - 180

Fuente: Propia

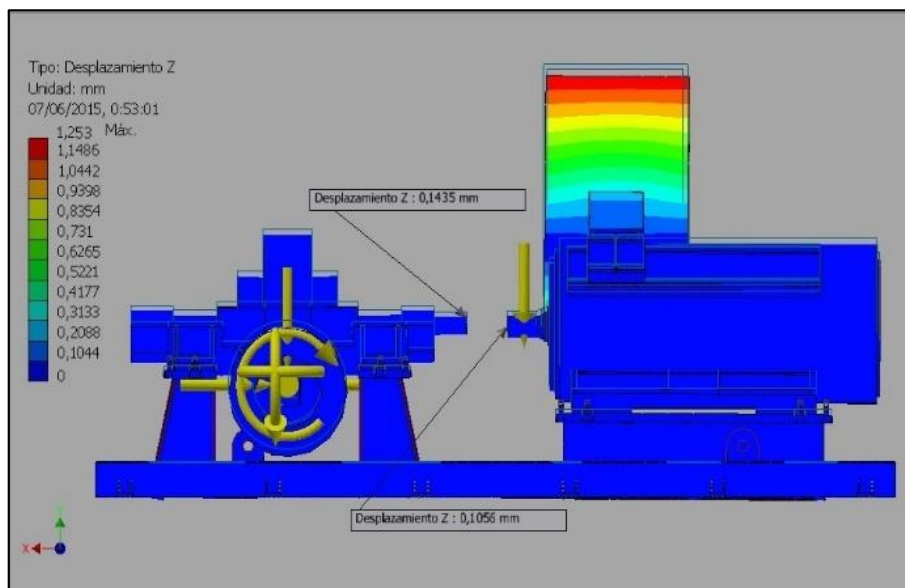


Figura 4. 10 Desplazamiento en Z en la Placa Base 200 - 180

Fuente: Propia

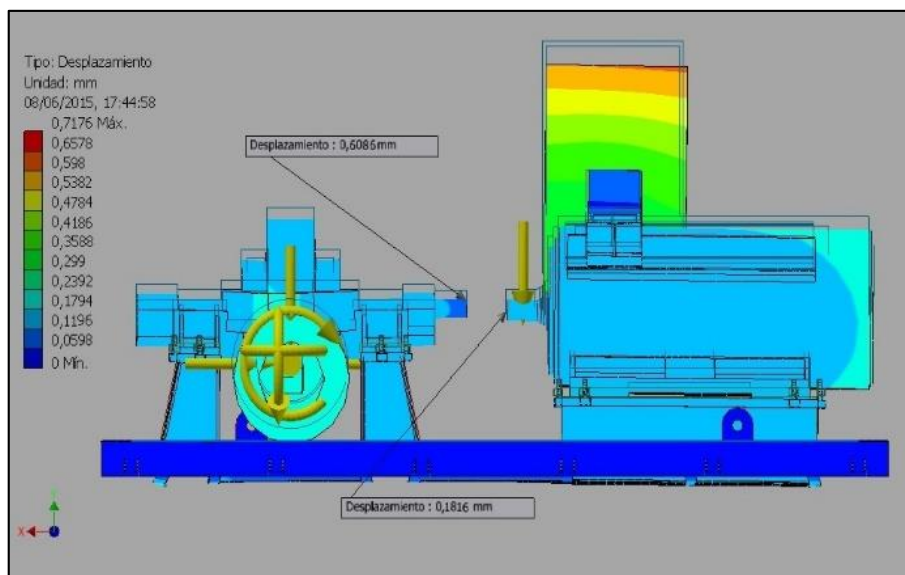


Figura 4. 11 Desplazamiento Total en la Placa Base 200 – 180

Fuente: Propia

4.2.1.3 Simulación de la Placa Base con perfiles UPN 240 – 220

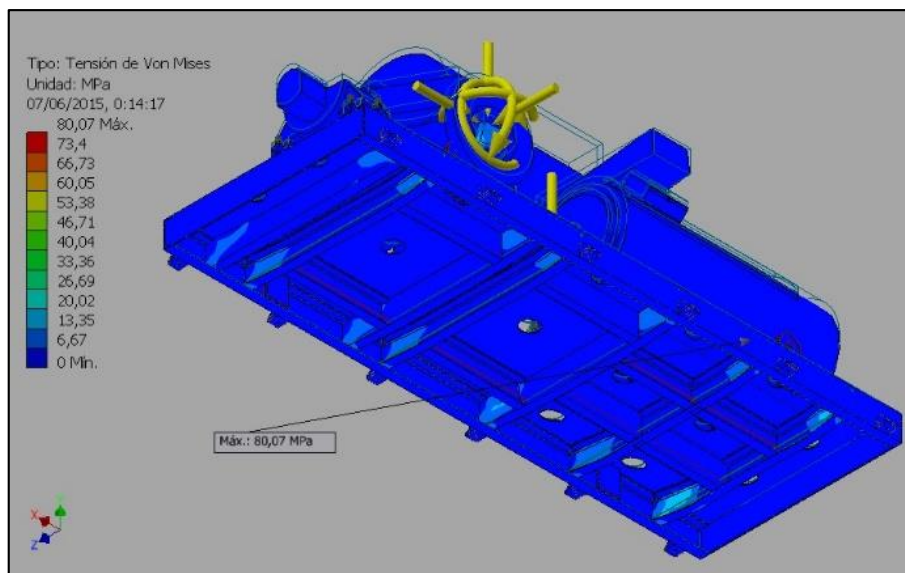


Figura 4. 12 Tensión de Von Mises en la Placa base 240 – 220

Fuente: Propia

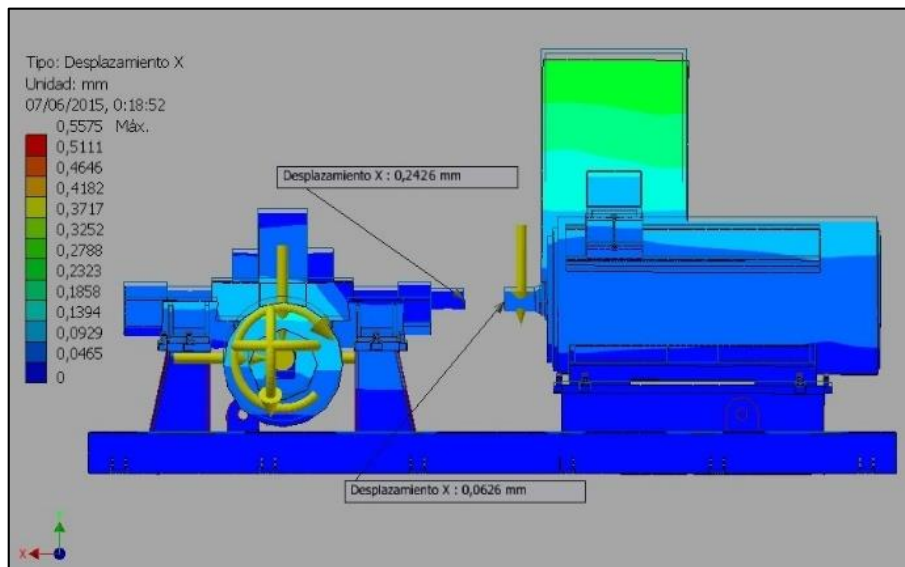


Figura 4. 13 Desplazamiento en X en la Placa Base 240 – 220

Fuente: Propia

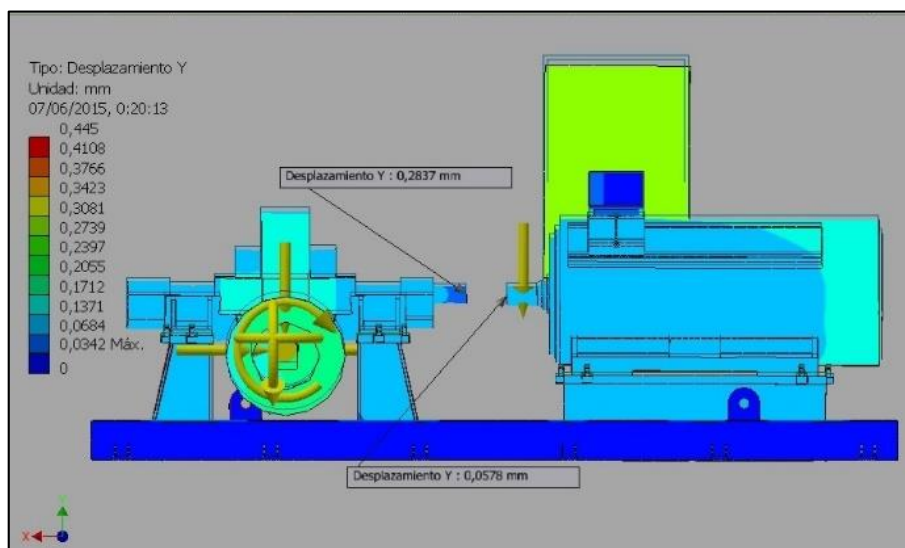


Figura 4. 14 Desplazamiento en Y en la Placa Base 240 – 200

Fuente: Propia

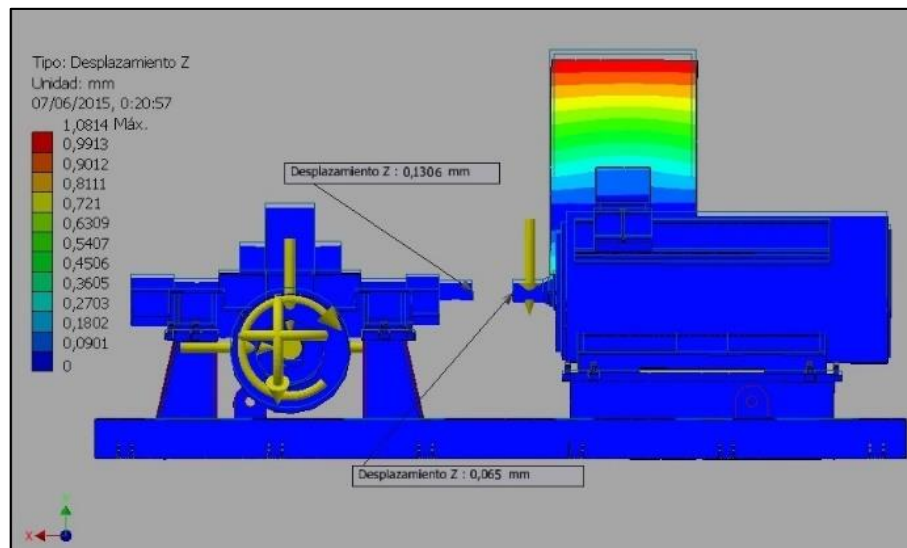


Figura 4. 15 Desplazamiento en Z en la Placa Base 240 - 200

Fuente: Propia

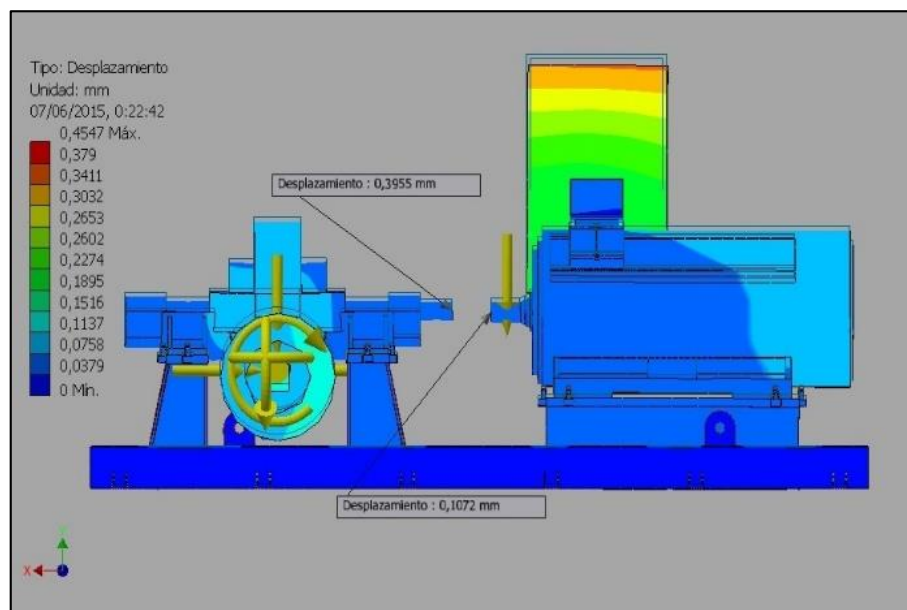


Figura 4. 16 Desplazamiento Total en la Placa Base 240 – 220

Fuente: Propia

4.2.1.4 Simulación de la Placa Base con perfiles UPN PLACA 280 – 260

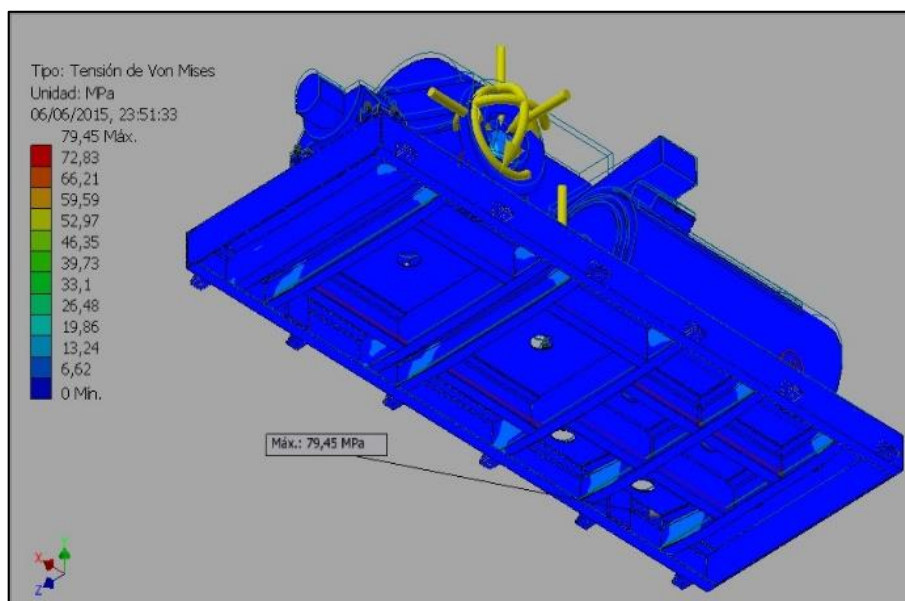


Figura 4. 17 Tensión de Von Mises en la Placa Base 280 – 260

Fuente: Propia

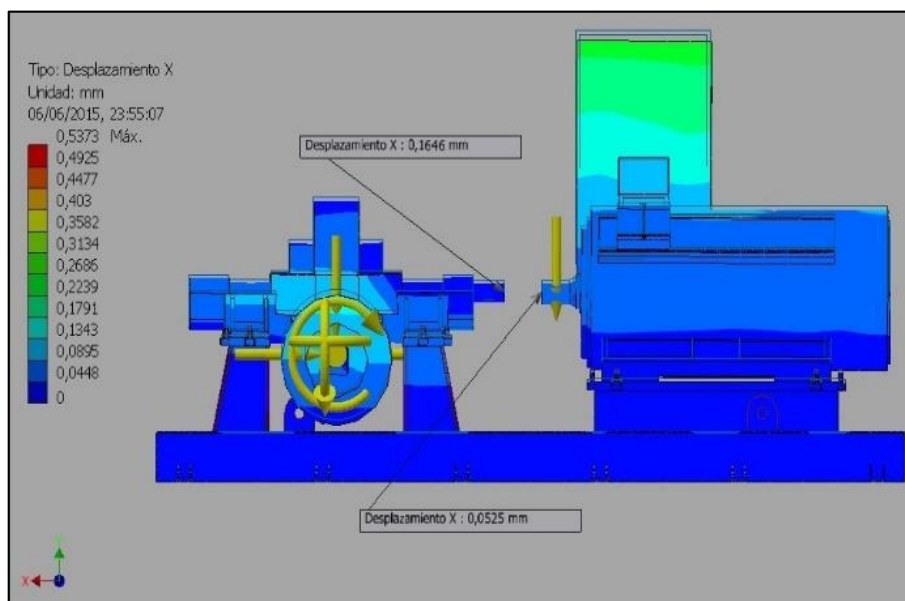


Figura 4. 18 Desplazamiento X en la Placa Base 280 – 260

Fuente: Propia

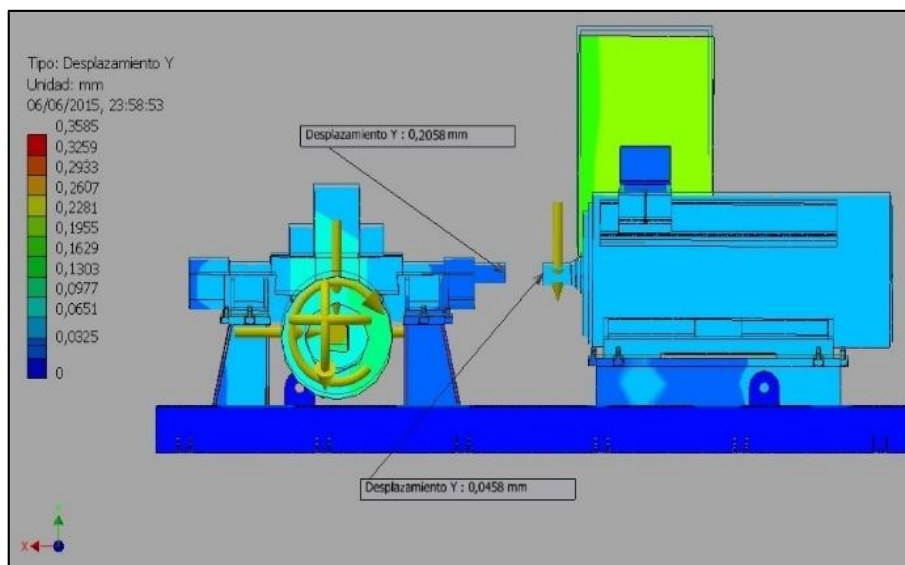


Figura 4. 19 Desplazamiento en Z en la Placa Base 280 – 260

Fuente: Propia

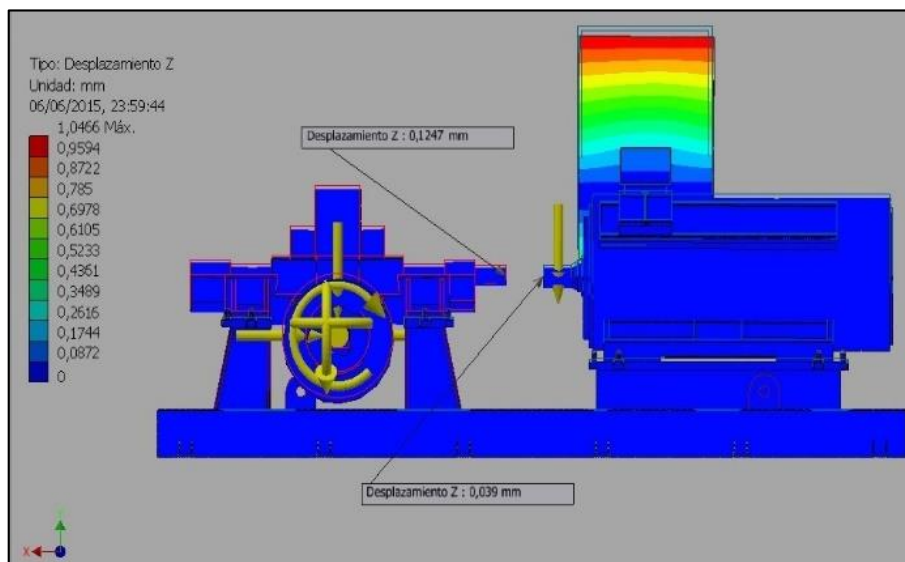


Figura 4. 20 Desplazamiento en Z en la Placa Base 280 - 260

Fuente: Propia

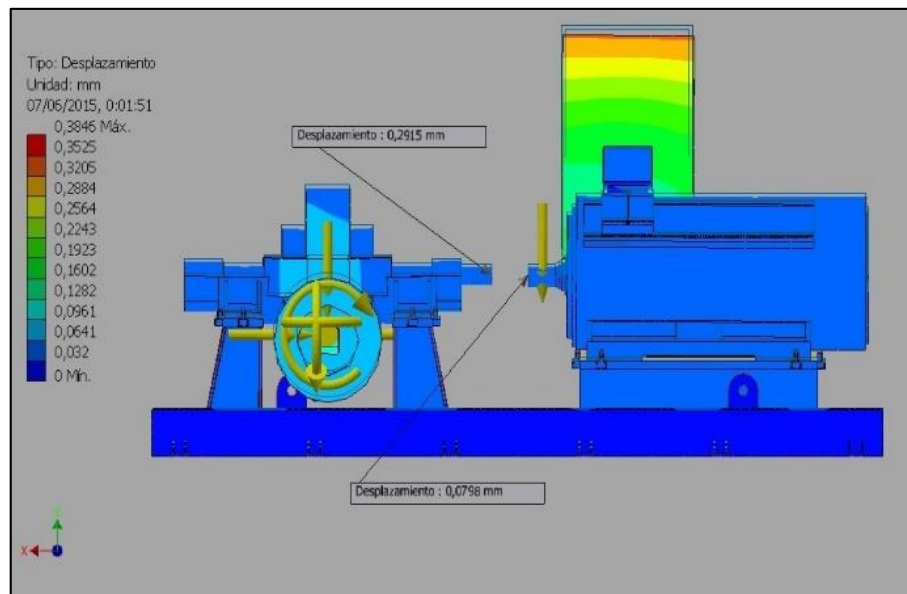


Figura 4. 21 Desplazamiento Total en la placa 280 - 260

Fuente: Propia

4.2.1.5 Simulación de la Placa Base con perfiles UPN 300 – 280

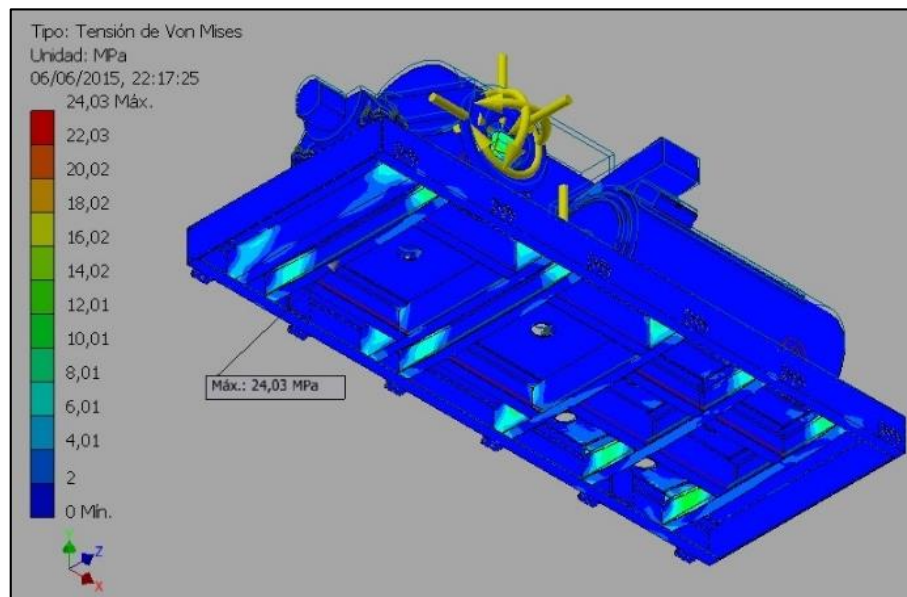


Figura 4. 22 Tensión de Von Mises en la Placa Base 300 – 280

Fuente: Propia

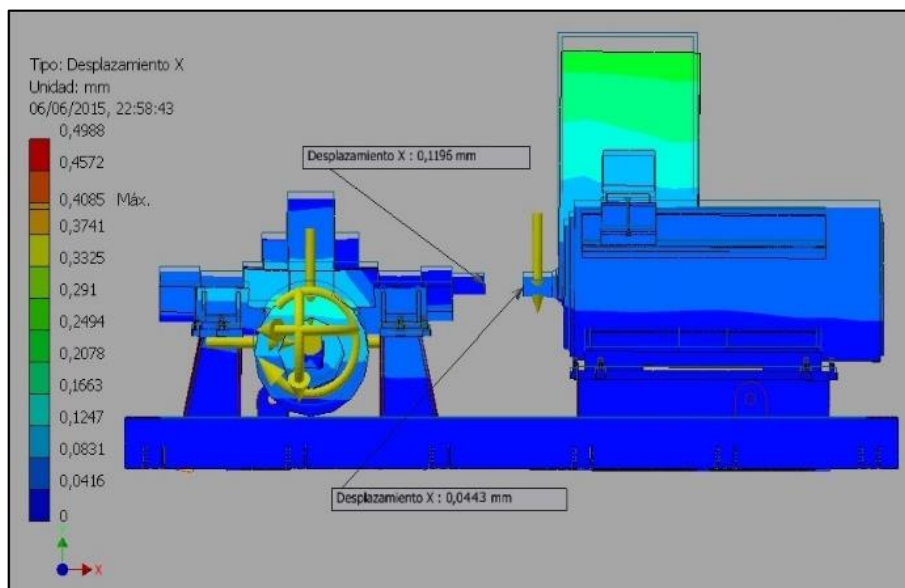


Figura 4. 23 Desplazamiento en X en la Placa Base 300 - 280

Fuente: Propia

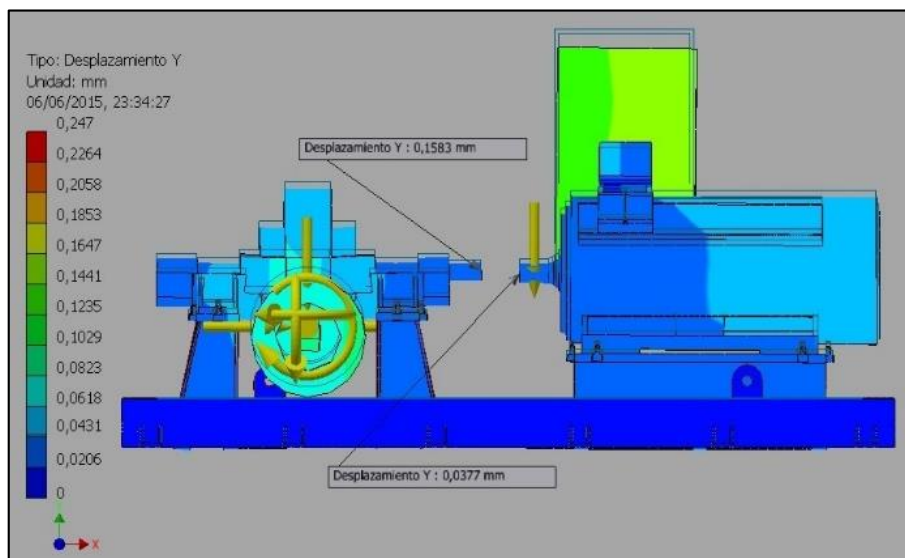


Figura 4. 24 Desplazamiento en Y en la Placa Base 300 – 280

Fuente: Propia

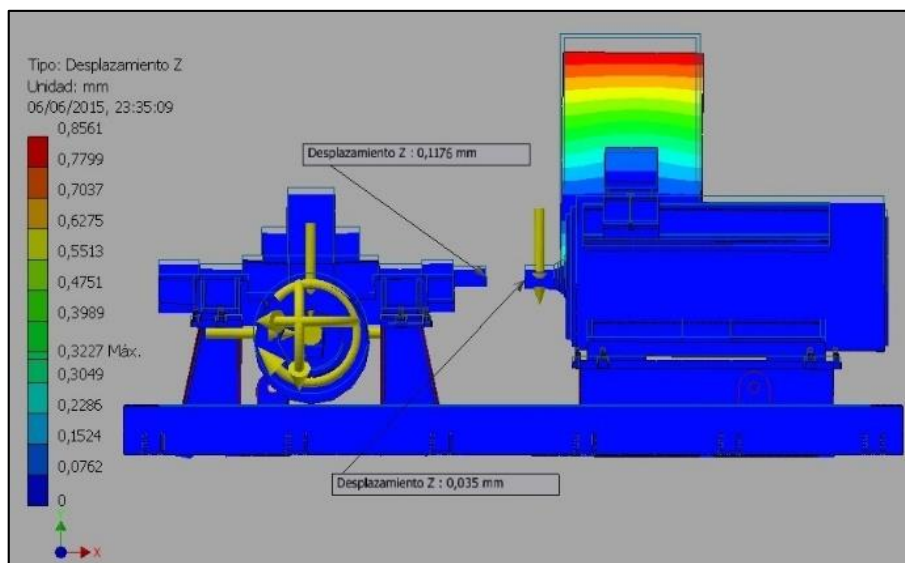


Figura 4. 25 Desplazamiento en Z en la Placa Base 300 – 280

Fuente: Propia

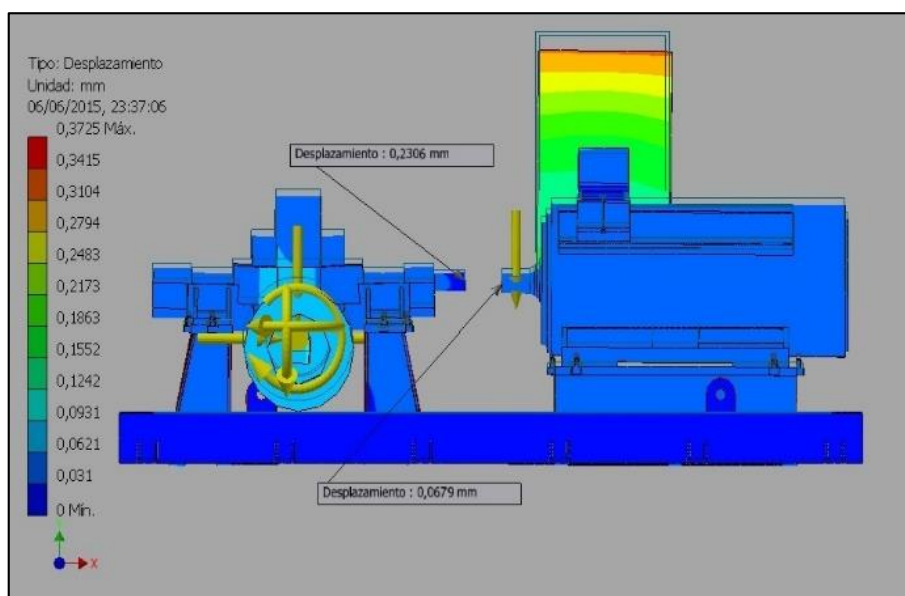


Figura 4. 26 Desplazamiento Total en la Placa Base 300 -280

Fuente: Propia

4.2.2 TABULACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES

En la Tabla 4.6 se muestran los resultados obtenidos de las simulaciones en cada tamaño de placa base.

Tabla 4. 6 Resultados de las Simulaciones

RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES					
Marco Vigas	160	200	240	280	300
Tensión de Von Mises (MPa)	93,75	56,54	80,07	79,45	24,47
DESPLAZAMIENTO EN EL EJE DE LA BOMBA					
Desplazamiento x (mm)	0,3755	0,3086	0,2426	0,1646	0,1196
Desplazamiento y (mm)	0,7895	0,5045	0,2837	0,2058	0,1583
Desplazamiento z (mm)	0,1563	0,1435	0,1306	0,1247	0,1176
Desplazamiento	0,8881	0,6086	0,3955	0,2915	0,2306
DESPLAZAMIENTO EN EL EJE DEL MOTOR					
Desplazamiento x (mm)	0,1911	0,1226	0,0626	0,0525	0,0443
Desplazamiento y (mm)	0,1137	0,0825	0,0578	0,0458	0,0377
Desplazamiento z (mm)	0,1421	0,1056	0,065	0,039	0,035
Desplazamiento	0,2639	0,1816	0,1072	0,0798	0,0679

Fuente: propia

4.2.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el marco de vigas UPN de 160 y 140, se observa un esfuerzo máximo de Von Mises de 93,75 MPa, en una de las vigas secundarias que soporta el motor, este esfuerzo es menor al esfuerzo permisible del acero que es de 250 MPa. El desplazamiento total en eje de la bomba es de 0,8881 mm, este valor no cumple con la norma API 610 en el cual establece que el desplazamiento máximo debe ser 0,254 mm (0,010 in), El desplazamiento en el eje del motor es mucho menor al del eje de la bomba con un valor de 0,2639 mm. Por lo tanto el marco de vigas 160 – 140 no tiene la suficiente rigidez requerida para el diseño.

En el marco de vigas UPN de 200 y 180, se observa un esfuerzo máximo de Von Mises de 56,54 MPa, en una de las vigas secundarias que soporta la bomba, este esfuerzo es menor al esfuerzo permisible del acero que es de 250 MPa por tanto esta condición

de diseño si cumple, pero el desplazamiento total en eje del motor es de $0,6086 \text{ mm}$, este valor no cumple con la norma API 610 en el cual establece que el desplazamiento máximo debe ser $0,254 \text{ mm}$ ($0,010 \text{ in}$), El desplazamiento en el eje del motor es mucho menor al del eje de la bomba con un valor de $0,1816 \text{ mm}$. Por lo tanto el marco de vigas 200 – 180 tampoco brinda la suficiente rigidez requerida para el diseño.

En el marco de vigas UPN de 240 y 220, posee un esfuerzo máximo de Von Mises de $80,07 \text{ MPa}$, en una de las vigas secundarias que soporta al motor, este esfuerzo es menor al esfuerzo permisible del acero que es de 250 MPa , esta condición de diseño si cumple, pero el desplazamiento total en eje del motor es de $0,3955 \text{ mm}$, este valor no cumple con la norma API 610 la cual establece que el desplazamiento máximo debe ser $0,254 \text{ mm}$ ($0,010 \text{ in}$), El desplazamiento en el eje del motor es mucho menor al del eje de la bomba con un valor de $0,1072 \text{ mm}$. Por lo tanto el marco de vigas 240 – 220 tampoco brinda la suficiente rigidez requerida para el diseño.

En el marco de vigas UPN de 280 y 260, posee un esfuerzo máximo de Von Mises de $79,45 \text{ MPa}$, en una de las vigas secundarias que soporta a la motor, este esfuerzo es menor al esfuerzo permisible del acero que es de 250 MPa por tanto esta condición de diseño se acepta, pero el desplazamiento total en eje del motor es de $0,2915 \text{ mm}$, este valor es mayor al valor establecido por la norma API 610 en el cual establece que el desplazamiento máximo debe ser $0,254 \text{ mm}$ ($0,010 \text{ in}$), El desplazamiento en el eje del motor es mucho menor al del eje de la bomba con un valor de $0,0798 \text{ mm}$. Por lo tanto el marco de vigas 280 – 260 tampoco brinda la suficiente rigidez requerida para el diseño al igual que las anteriores plataformas.

En el marco de vigas UPN de 300 y 280, posee un esfuerzo máximo de Von Mises de $24,47 \text{ MPa}$, en una de las vigas secundarias que soporta a la bomba, este esfuerzo es menor al esfuerzo permisible del acero que es de 250 MPa por lo tanto si cumple con esta condición de diseño. El desplazamiento total en eje del motor es de $0,2306 \text{ mm}$, este valor es menor al valor establecido por la norma API 610. El desplazamiento en el eje del motor es mucho menor al del eje de la bomba con un valor de $0,0679 \text{ mm}$. Por lo tanto el marco de vigas 300 – 280 si cumple con la rigidez requerida por la

norma, por lo ende el diseño será con este marco de vigas, para las principales se utilizaran vigas UPN de 300 y para las secundarias UPN de 280.

Todos los marcos de vigas estructurales poseen un esfuerzo de Von Mises menor al del acero, esta condición de diseño se cumple en todas las plataformas. La condición que no cumplen en los marco de vigas 160 - 140, 200 - 180, 240 - 220, 280 - 260 es la del desplazamiento en el eje de la bomba, en los cuales se obtienen valores mayores a 0,254 mm (0,010 in) que establece la NORMA API 160.

Los desplazamientos en las diferentes direcciones en el eje del motor son muy inferiores en comparación a los valores del eje de la bomba, esto se debe a que el motor no está sometido a fuerzas y momentos como la bomba.

En la siguiente grafica se muestra el desplazamiento en función del tamaño del marco de vigas:

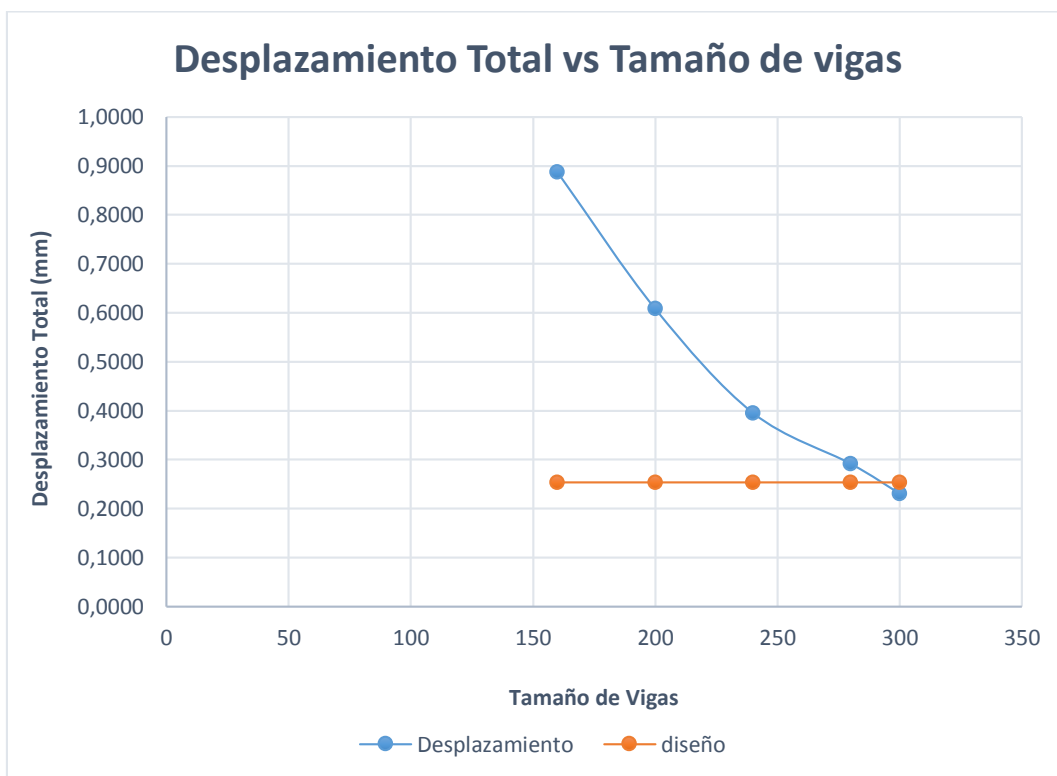


Figura 4. 27 Desplazamiento vs Tamaño de Vigas

Fuente: propia

El desplazamiento total del eje de la bomba debe estar en un valor igual o inferior al que indica la norma API 610 que es de $0,01 \text{ in}$ ($0,254 \text{ mm}$), la estructura que cumple con este valor de diseño es la placa UPN 300, con un valor de desplazamiento de $0,2306 \text{ mm}$, inferior al valor especificado en la norma. En la Figura 4.27 se observa la tendencia descendente del desplazamiento en cada una de los diferentes tamaños de placas base.

4.3 DISEÑO DE LOS PERNOS DE ANCLAJE

Para el diseño de los pernos de anclaje, se tomará en consideración el tipo de perno F1554 – Gr 36, el cual recomienda la NORMA 686, CAPITULO 4, Fundaciones. A continuación se observa en la tabla 4.7 de las propiedades de dicho perno.

Tabla 4. 7 Propiedades del perno

PROPIEDADES DEL PERNO F1554 – GR 36	
F_y	36 Ksi
F_u	58 Ksi
F_p	21,6 Ksi

Fuente: Propia

Para elegir el diámetro del perno se realizará simulaciones en distintos tamaños de diámetro, hasta encontrar uno que cumpla con la condición de diseño de los pernos de anclaje para la placa base.

A continuación se muestran las simulaciones de los esfuerzos en los pernos bajo las cargas de operación del equipo de bombeo.

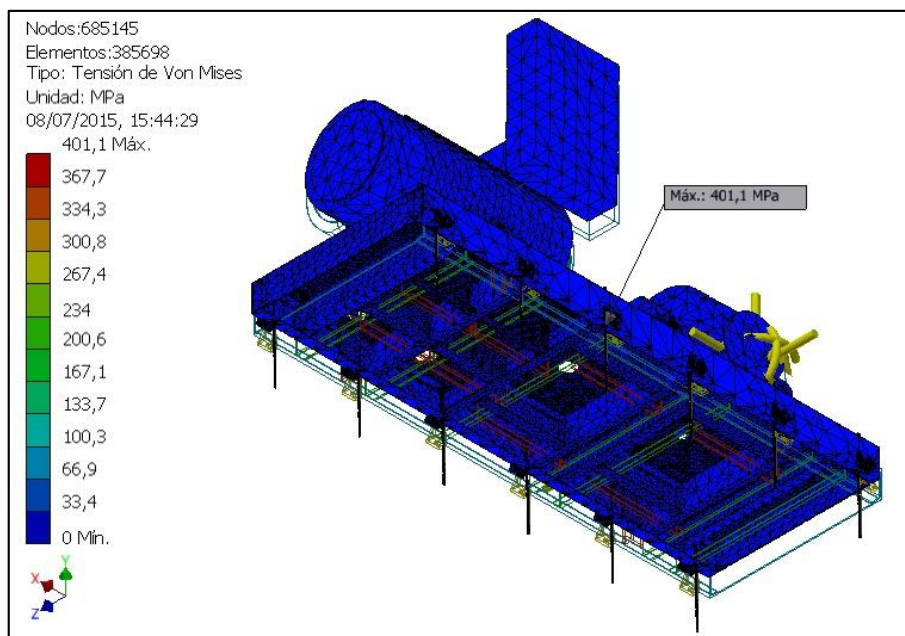


Figura 4. 28 Esfuerzo máximo en el perno de diámetro 3/4 pulgada.

Fuente: Propia

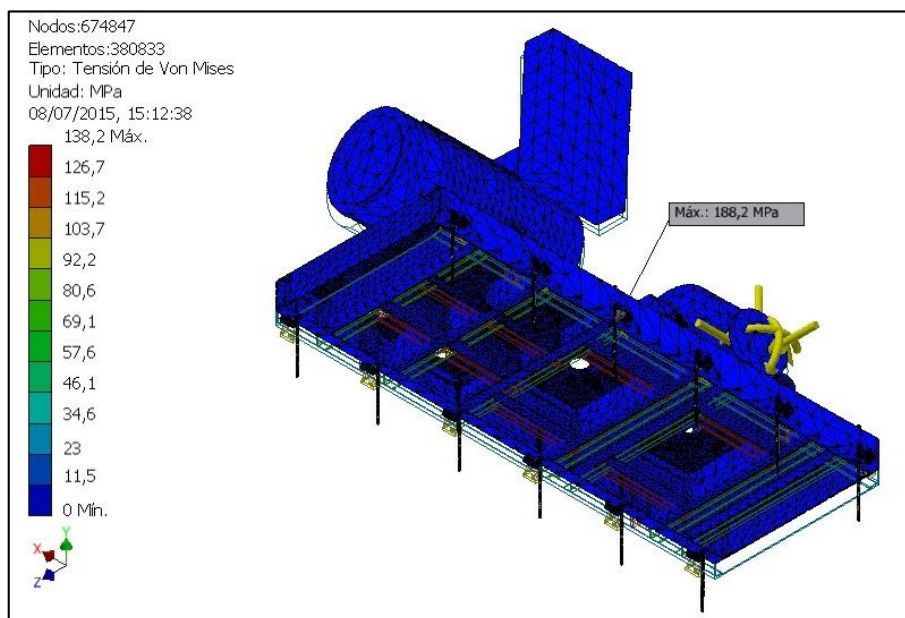


Figura 4. 29 Esfuerzo máximo en el perno de diámetro 1 pulgada.

Fuente: Propia

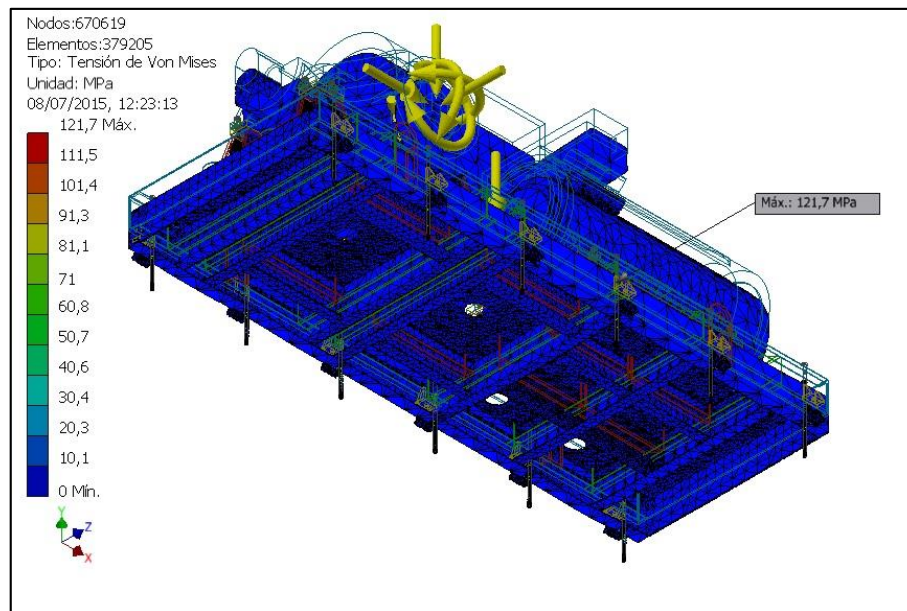


Figura 4. 30 Esfuerzo máximo en el perno de diámetro 1 1/8 pulgada.

Fuente: Propia

4.3.1 ANALISIS DE RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN DE LOS PERNOS

En la Tabla 4.8 se muestran los resultados de la simulación de los pernos de anclaje.

Tabla 4. 8 Esfuerzos en los pernos

Diámetro del perno (in)	Esfuerzo en el perno	
	<i>MPa</i>	<i>Ksi</i>
1/2	401,1	58,17
1	188,2	27,3
1 1/8	121,7	17,65

Fuente: Propia

En el perno de anclaje de diámetro 3/4 pulgada el esfuerzo máximo es de 401,1 *MPa* (58,17 *Ksi*), este valor es mayor al esfuerzo permisible del material del perno, por lo tanto no pasa la condición de diseño.

En el perno de anclaje de diámetro 1 pulgada, se presenta un esfuerzo máximo de 188,2 *MPa* (27,3 *Ksi*), que al igual que en perno de diámetro de 1/2 pulgada, es mayor

al esfuerzo permisible del material del perno, por lo tanto tampoco pasa la condición de diseño.

En el perno de anclaje de diámetro 1 1/8 pulgada presenta un esfuerzo máximo de 121,7 MPa (17,65 Ksi), este valor es menor al esfuerzo permisible del material, por lo tanto este perno si cumple con la condición de diseño.

En la Figura 4.31 se muestra la relación entre el diámetro y el esfuerzo presente en los pernos.

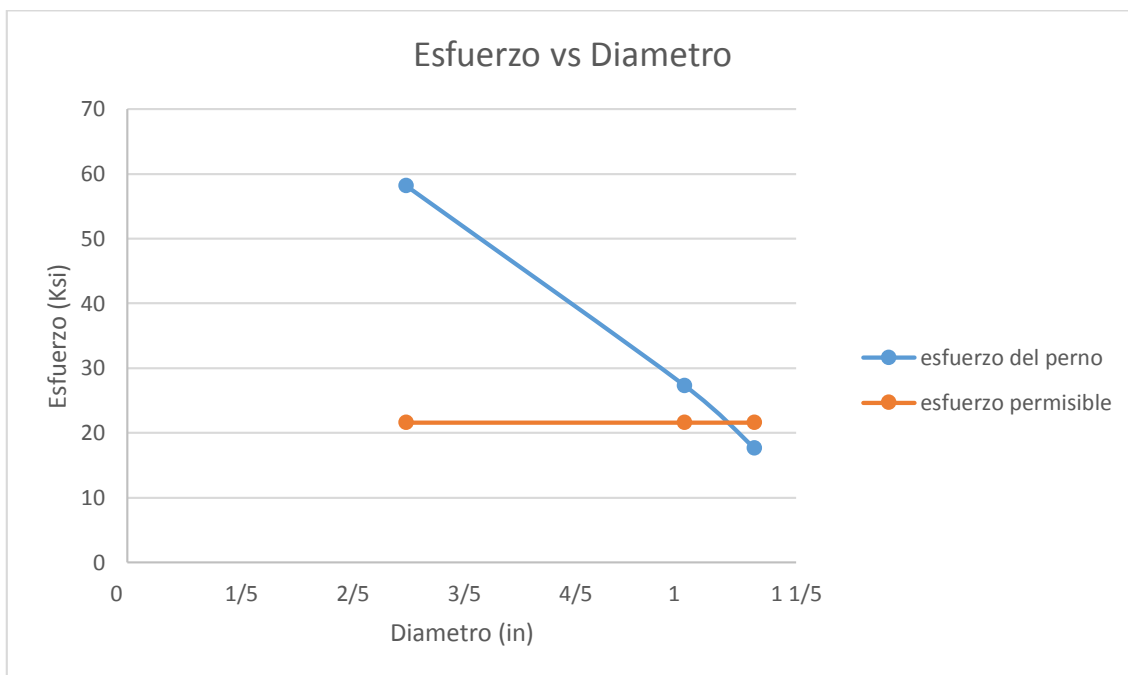


Figura 4. 31 Esfuerzo máximo en el perno

Fuente: Propia

Al analizar la Figura 4.31 se observa que al incrementar el diámetro del perno el esfuerzo va disminuyendo, el perno con diámetro de 1 1/8 in tiene un valor de esfuerzo por debajo del permisible del material del perno, por consiguiente estos pernos se utilizarán para el anclaje de la placa base.

4.4 DISEÑO DE LAS OREJAS DE IZAJE

Para el diseño de las orejas de izaje de la placa base se tomará en consideración la norma ASME BTH1.

Primeramente se debe calcular la tensión máxima a la cual va estar sometida las orejas, estos cálculos se encuentre en el ANEXO 5.

El factor de seguridad que se va a tomar en consideración para el diseño de las orejas es el de la categoría B especificado en la norma ASME BTH1, que especifica un valor de 3,6 este valor se usa cuando la magnitud y la variación de las cargas aplicadas no son predecibles, las condiciones de carga y del medio ambiente son variables, o no se define con precisión.

Datos

Factor de seguridad (Fs) = 3,6

Tensión Actuante Maxima en la cuerda $T_{Max} = 1261,38 \text{ kg} = 2780,87 \text{ lb}$

Material ASTM A 36

Limite elastico del material $F_y = 36000 \text{ [psi]}$

Resistencia a la Traccion $F_u = 58000 \text{ [psi]}$

Dimensiones de la oreja

$D_h = D_p = 2,75 \text{ [in]}$

$b_e = 2,63 \text{ [in]}$

$R = 8 \text{ [in]}$

$a = 2,63 \text{ [in]}$

$w = R + b_e = 8 \text{ [in]}$

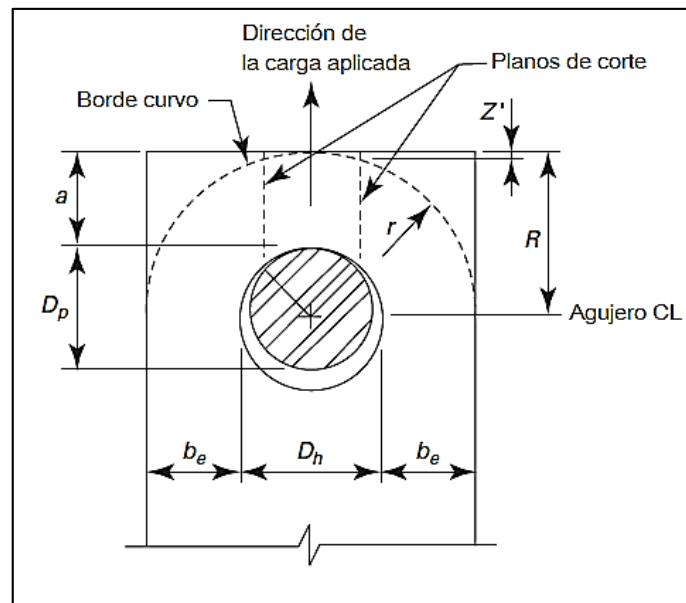


Figura 4. 32 Notación de orejas de izaje

Fuente: ASME BTH-1-2008

Esfuerzo de tracción

Esfuerzo de tracción admisible

$$F_t = \frac{F_y}{F.S}$$

$$F_t = \frac{36000 [psi]}{3,6}$$

$$F_t = 10000 [psi]$$

Área en tensión

$$A_{ten} = t * (w - D_h)$$

$$A_{ten} = 1 \text{ in} * (8 \text{ in} - 2,75 \text{ in})$$

$$A_{ten} = 5,25 [in^2]$$

Esfuerzo de Tracción

$$S_t = \frac{T_{Max}}{A_{ten}}$$

$$S_t = \frac{2780,87 [lb]}{5,25 [in^2]}$$

$$S_t = 529,69 [psi]$$

Revisión del esfuerzo de tracción:

$$S_t < F_t$$

$$529,69 [psi] < 10000 [psi]$$

El esfuerzo de tracción en la oreja de mayor tensión, cumple con la condición de diseño.

Resistencia al corte

Área total de dos planos de corte en la placa

$$A_{corte} = 2 * \left[R - \left(\frac{D_h}{2} \right) * \cos(45) \right] * t$$

$$A_{corte} = 2 * \left[8 in - \left(\frac{2,75 in}{2} \right) * \cos(45) \right] * 1 in$$

$$A_{corte} = 14,05 [in^2]$$

Doble plano de resistencia al corte

$$P_v = \frac{0,7 * F_u}{1,2 * F.S} * A_{corte}$$

$$P_v = \frac{0,7 * 58000 [psi]}{1,2 * 3,6} * 14,05 [in^2]$$

$$P_v = 132043,98 [lb]$$

Revisión de Corte

$$T_{max} < P_v$$

$$2780,87 [lb] < 132043,98 [lb]$$

La carga cortante en la oreja de mayor tensión, es mucho menor a la carga cortante en los planos de corte, por lo tanto cumple con la condición de diseño al esfuerzo cortante.

Esfuerzo cortante en la soldadura

En la fabricación de este tipo de placas la mayoría de estas utilizan un electrodo *E 6010*

$$F_u = 70000 \text{ [psi]}$$

Esfuerzo cortante de soldadura admisible

$$F_v = \frac{0,6 * F_u}{1,2 * F.S}$$

$$F_v = \frac{0,6 * 70000}{1,2 * 3,6}$$

$$F_v = 9722,22 \text{ [psi]}$$

Área de la soldadura

En la industria y las observaciones que se pudo realizar, el ancho de soldadura en las orejas de izaje, están en un rango de 5 mm a 10 mm , para nuestro diseño se tomará en consideración un valor de $a = 10 \text{ mm}$ ($0,39 \text{ in}$).

$$A_w = (2 * w + 2 * t) * (0,707 * a)$$

$$A_w = (2 * 9,47 \text{ in} + 2 * 1 \text{ in}) * (0,707 * 0,39 \text{ in})$$

$$A_w = 5,77 \text{ [in}^2\text{]}$$

Carga de soldadura admisible

$$F_w = F_v * A_w$$

$$F_w = 9722,22 \text{ [psi]} * 5,77 \text{ [in}^2\text{]}$$

$$F_w = 56097,22 \text{ [lb]}$$

Revisión de la soldadura

$$T_{max} < F_w$$

$$2780,87 [lb] < 59097,22 [lb]$$

La carga máxima en la oreja de mayor tensión es mucho menor a la carga de soldadura admisible presentada en las orejas, por lo tanto la soldadura en las orejas cumple con la condición de diseño.

CAPÍTULO 5

5. INGENIERÍA DE DETALLE

Para el presente capítulo, tomando en cuenta el diseño ya definido en capítulos anteriores, ahora se procede a realizar un detalle de los elementos principales que fueron utilizados para el diseño de la placa base.

5.1 SOLDADURA DE LA PLACA BASE

En el presente diseño de la placa base todas las uniones incluyendo la placa de cubierta de la placa base, deben ser con soldadura continua para evitar la corrosión por grieta, por lo tanto los puntos de soldadura no son aceptables.

Por otro lado, todas las soldaduras y reparaciones por soldadura de ser el caso deben efectuarse e inspeccionarse por soldadores y con procedimientos calificados de acuerdo con los requerimientos de la Tabla 5.1.

Tabla 5. 1 Requerimientos de soldaduras

REQUERIMIENTO	CÓDIGO O ESTÁNDAR APLICABLE
Soldador / Operador calificado	ASME BPVC IX o ISO 9606 (todas las partes)
Procedimiento de soldadura calificado	Aplica la especificación del material o donde los procedimientos de soldadura no son cubiertos por la especificación del material, ISO 15609 (toda las partes) ASME BPVC IX o ANSI/ASME B31.3
Soldadura estructural no sujeta a presión tales como placas bases o soportes	AWS D1.1 o ISO 10721-2
Inspección por partículas magnéticas o líquidos penetrantes de los bordes de placas	ASME BPVC VIII; División 1, UG-93 (d)(34)
Tratamiento térmico después de soldaduras	Aplica la especificación del material; EN 13445-4, ASME BPVC VIII, División 1, UW 40, o ANSI/ASME B31.3
Tratamiento térmico después de soldaduras de carcasas fabricadas por soldadura	Aplica la especificación del material? EN 13445-4, o ASME BPVC VIII, División 1

Fuente: API 610

De la Tabla 5.1, se determina que para soldaduras estructurales no sujetas a presión tales como las placas base, el estándar aplicable es la AWS D1.1 o la ISO 10721-2. Por lo tanto, para soldaduras para placas base o cualquier otra estructura que no estén cubiertas por los códigos ASME, deben soldarse considerando el estándar AWS D1.1 como mínimo.³²

Ya que la construcción de la placa base es enteramente soldada tomando en consideración lo anteriormente mencionado, se utilizó como guía el Estándar AWS D1.1 Código de soldadura para acero estructural (Structural welding code- steel) y de la Norma Ecuatoriana De Construcción “Estructuras de Acero” Capítulo 14. Diseño de Conexiones, para realizar la unión mediante soldadura de la estructura “placa base” de este proyecto. Por otro lado, la elección del electrodo para ser usado en las soldaduras de la placa base tomó en cuenta los requisitos para metales de aporte según el metal base dado en AWS D1.1. La Tabla 5.2 resume las disposiciones de la AWS D1.1, para metales de aporte compatibles con el metal base. Para una lista completa de metales base y metales de aporte compatibles precalificados se puede ver en la AWS D1.1.

Tabla 5. 2 Disposiciones de la AWS D1.1 para metales de aporte compatibles con el metal base

METAL BASE	METAL DE APORTE COMPATIBLE
A36, espesor \leq 19mm	Electrodos E60 & E70
A36, espesor > 19mm A572(Gr.50&55) A588* A913(Gr.50) A1011 A992 A1018	SMAW: E7015, E7016, E7018, 7028 Otros procesos: Electrodo E70
A913 (Gr.60&65)	Electrodos E80
* Para resistencia a la corrosión y color similar a la base ver la Sección 3.7.3 de AWS D1.1	
Notas: Los electrodos deben cumplir con los requisitos de los Artículos A5.1, A5.5, A5.17, A5.18, A5.20, A5.23, A5.29, A5.29 de AWS. En juntas con metal base de diferente resistencia se debe utilizar cualquiera de los metales de aporte compatibles con la mayor resistencia del metal base o un metal de aporte compatible con la menor resistencia y produzca un pequeño depósito de hidrógeno.	

Fuente: Norma ecuatoriana de construcción, estructuras de acero

³² Paresh Girdhar, Octo Moniz; Practical Centrifugal Pumps; Editorial Elsevier; 2004, pag 135

De la Tabla 5.2, se tomó en consideración el uso de electrodos E60 para la soldadura de las chapas metálicas ubicadas en los extremos de la placa base, las cuales se observan en la Figura 5.3 y para la chapa tipo cubierta de la placa base, la cual se ilustra en la Figura 5.5, ya que dichas chapas poseen un espesor de $\frac{1}{2}$ pulg es decir menor a 19mm, para todas los demás elementos que conforman la placa base y cuyo espesor es mayor a 19mm, se utilizará electrodos E70.

Una vez definido el estándar y los electrodos a utilizar, se detalla los elementos principales que están soldados entre sí para formar la placa base. Comenzando con la estructura principal, denominada esqueleto estructural conformada por vigas UPN 300 y 280, están soldadas entre sí, dichas soldaduras en su mayoría serán juntas a tope de esquina y con o sin bisel, según sea el caso como se ilustra en la Figura 5.1 y en la Figura 5.2, por lo tanto dicha estructura donde descansarán indirectamente los soportes de la bomba y del motor están soldadas con el objeto de reforzar los miembros y para que se aseguren a la lechada con el fin de resistir movimientos de la placa.

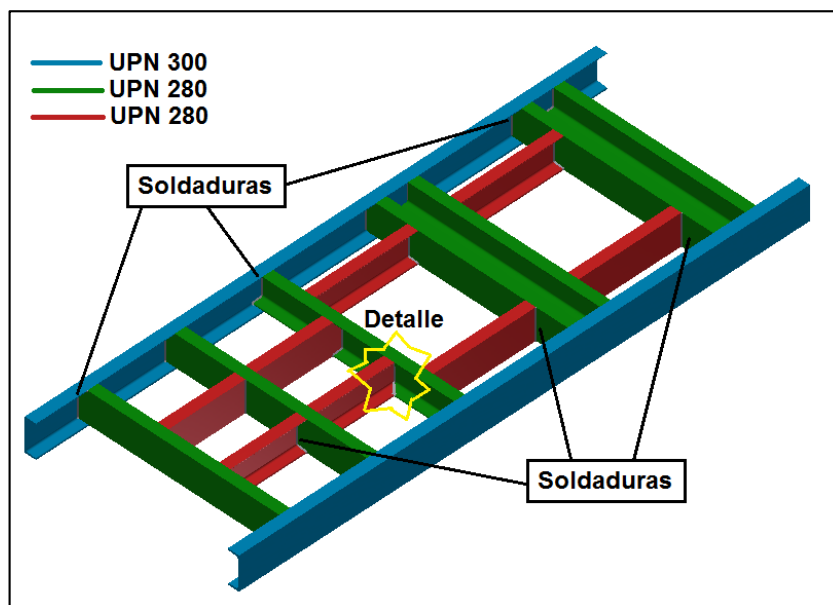


Figura 5. 1 Soldadura en todas las conexiones entre las vigas del esqueleto estructural

Fuente: propia

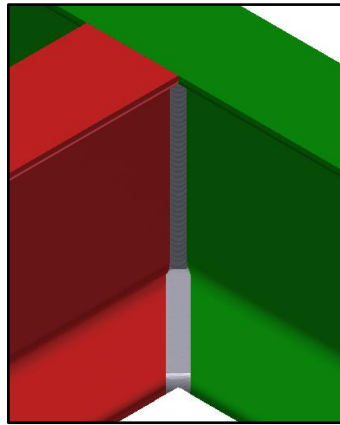


Figura 5. 2 Detalle de Soldadura entre dos vigas transversal

Fuente: propia

Por otro lado, existen dos chapas metálicas ubicadas en cada extremo longitudinal del esqueleto estructural, las cuales se denominan chapa metálica frontal, la misma que está a un costado del pedestal de la bomba y la otra llamada chapa metálica trasera, que se encuentra en el extremo donde se halla el pedestal del motor, ambas chapas están unidas a dicho esqueleto mediante soldadura tal como se observa en la Figura 5.3 y la Figura 5.4.

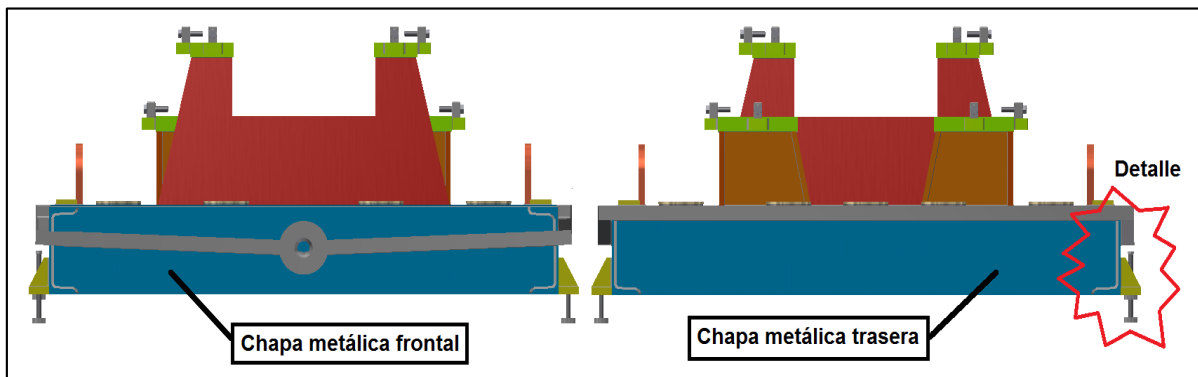


Figura 5. 3 Chapas metálicas de los extremos de la placa base

Fuente: propia

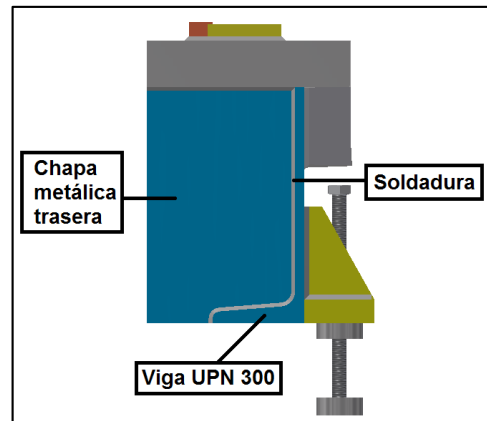


Figura 5. 4 Detalle de la soldadura entre la chapa metálica y la viga UPN 300

Fuente: propia

Siguiendo con las partes que están soldadas y que forman parte de la placa base, se tiene una chapa metálica que funciona como una cubierta a lo largo y ancho de la estructura y que está asentada sobre el esqueleto, sirve como soporte directo de los pedestales tanto de la bomba como del motor. Esta chapa metálica está asentada y unida mediante soldadura continua alrededor de todos sus contornos, es decir, esta chapa tipo cubierta esta soldada a las vigas principales UPN 300 y a las chapas que están ubicadas a los costados del esqueleto estructural, tal como se observa en la Figura 5.5 y la Figura 5.6, respectivamente.

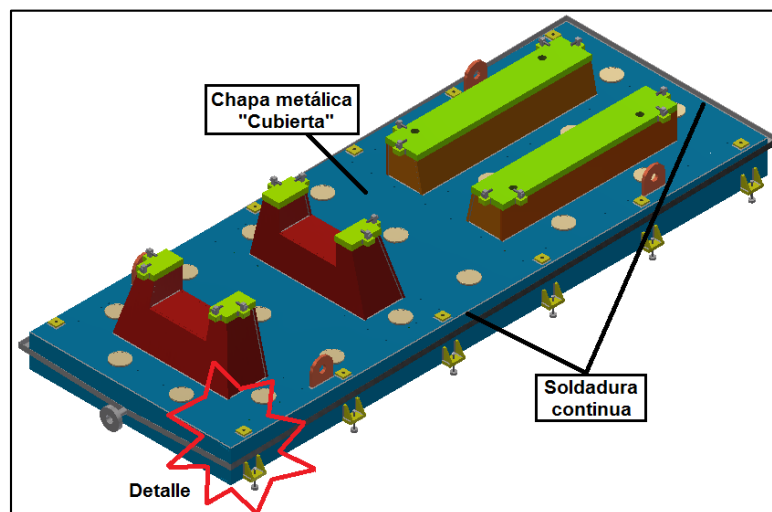


Figura 5. 5 Chapa metálica soldada con las vigas UPN 300

Fuente: propia

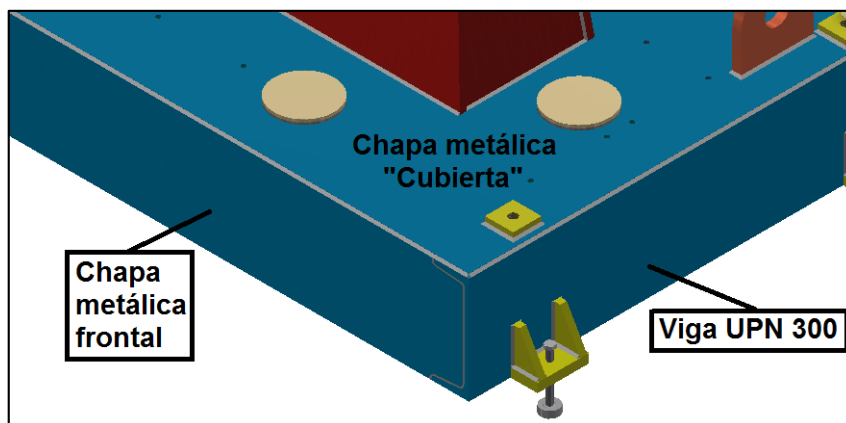


Figura 5. 6 Detalle de la unión de la chapa metálica con las vigas UPN 300.

Fuente: propia

Finalmente, los últimos elementos principales que pertenecen a la placa base y que están unidos mediante soldadura, son los pedestales de la bomba y del motor los cuales como se mencionó anteriormente se hallan apoyados directamente sobre la chapa metálica tipo cubierta e indirectamente sobre el esqueleto estructural de la placa base.

Todos los contornos de la parte inferior tanto para el pedestal de la bomba como la del motor, están soldados a la chapa metálica tipo cubierta, tal como se observa en la Figura 5.7.

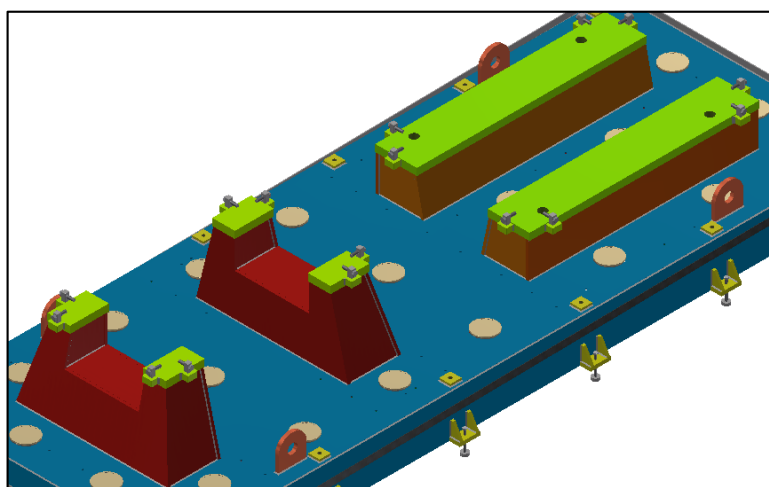


Figura 5. 7 Pedestales unidos mediante soldadura a la chapa metálica

Fuente: propia

5.2 ANCLAJES DE SUSPENSIÓN (OREJAS DE IZAJE)

Para poder transportar la estructura desde el lugar de ensamblaje hasta el lugar de operación en la planta o en cualquier otro sitio; se ubicaron orejas de izaje en cuatro puntos dispuestos simétricamente con respecto al centro de gravedad de la placa base, la ubicación de las mismas se ilustra en la Figura 5.8.

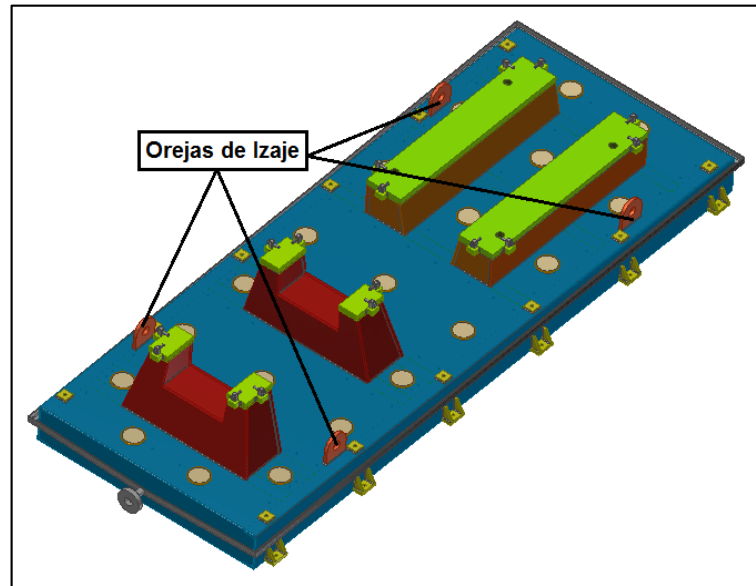


Figura 5. 8 Ubicación de las orejas de izaje en la placa base

Fuente: propia

Las orejas de izaje están embebidas en la chapa principal de la placa base. Como se mencionó anteriormente, la placa base consta de cuatro orejas de izaje, las mismas están constituidas por un arreglo de dos placas de una pulgada (1 in) de espesor unidas mediante soldadura por la periferia para formar el cuerpo de la oreja de izaje, tal como se muestra en la Figura 5.9. La geometría de estas orejas se encuentra los planos en el ANEXO 10.

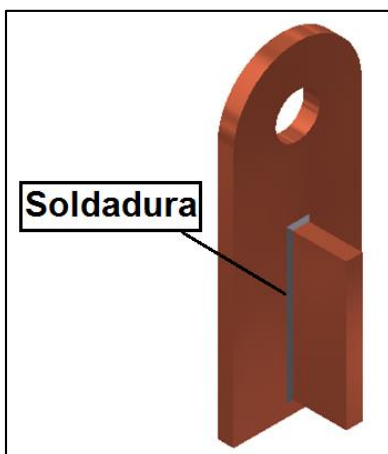


Figura 5. 9 Orejas de Izaje

Fuente: propia

Las orejas se conectan a las caras internas del alma de las Vigas UPN 300 mediante soldadura, de esa forma se distribuyen mejor las fuerzas a lo largo de la placa base, esto se puede apreciar en la Figura 5.10 y la Figura 5.11

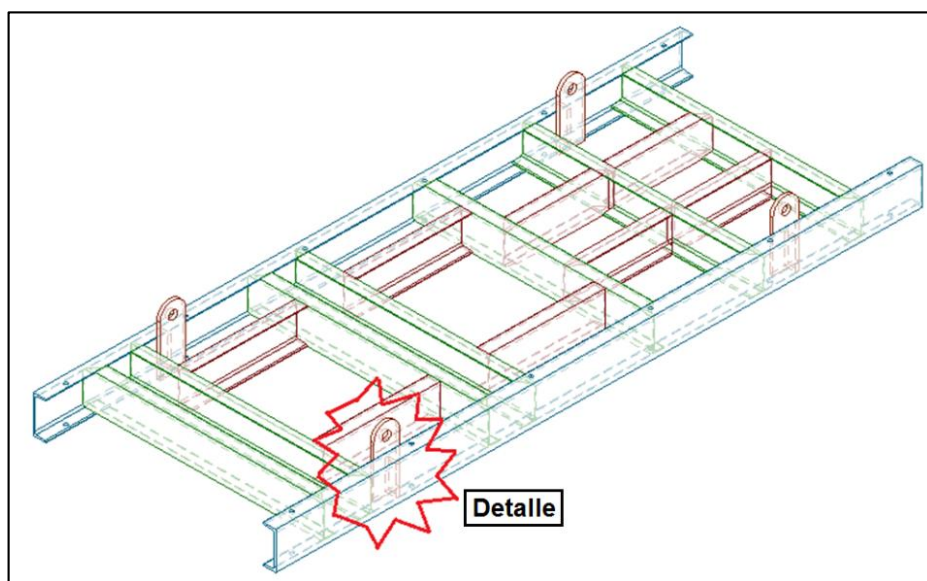


Figura 5. 10 Ubicación de las orejas de izaje respecto a las vigas longitudinales UPN 300

Fuente: propia

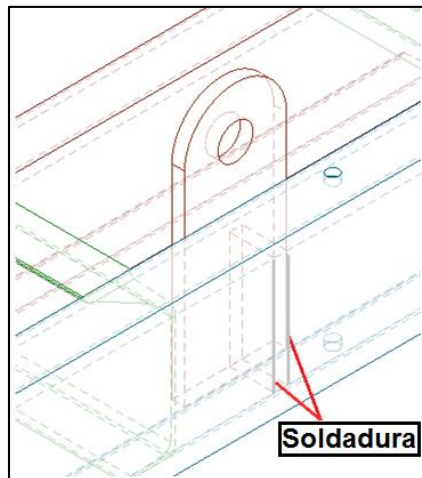


Figura 5. 11 Detalle de la unión mediante soldadura entre la oreja de izaje y la viga UNP 300

Fuente: propia

Esta disposición de las orejas de izaje permite que los ángulos de drenaje se ubiquen en la periferia de la placa base.

5.3 PERNOS DE ANCLAJE Y TORNILLOS DE NIVELACIÓN

La manera de anclar la placa base a la fundación de concreto, se determinó según las recomendaciones de la NORMA API 686, Segunda Edición, por lo que se está empleando pernos de anclaje tipo camisa y de un material ASTM F1554 para usos generales, el número de pernos utilizados son doce divididos seis en cada lado longitudinal de la placa base los cuales se encuentran separados a la misma distancia entre sí como se observa en la Figura 5.12, además dichos pernos de anclaje se encuentran embebidos en el alma de cada viga longitudinal de la placa base, la lechada y la fundación como se ilustra en la Figura 5.13 , de esta manera se garantiza que la placa base este fija para el momento del vertido de la lechada.

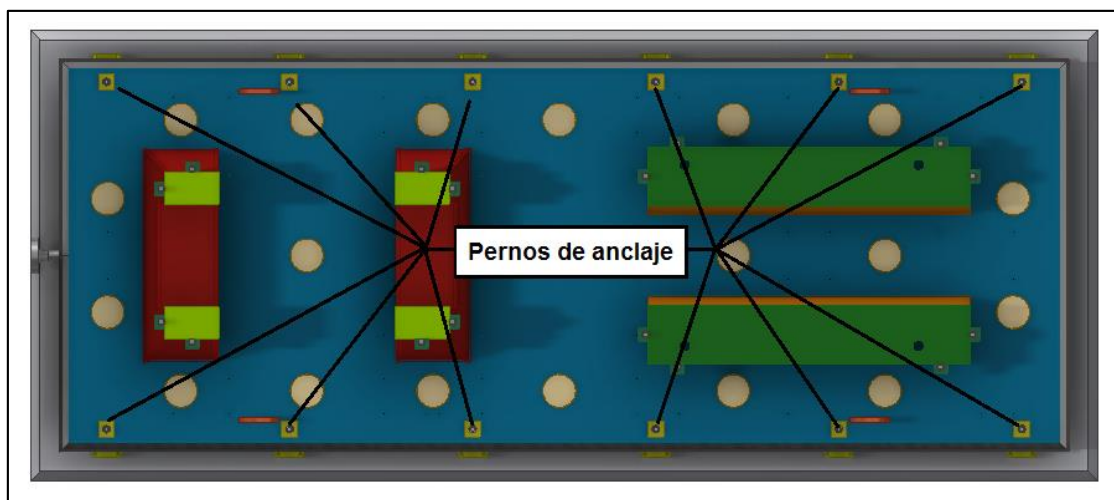


Figura 5. 12 Pernos de anclaje, dispuestos longitudinalmente a cada lado de la placa base

Fuente: propia

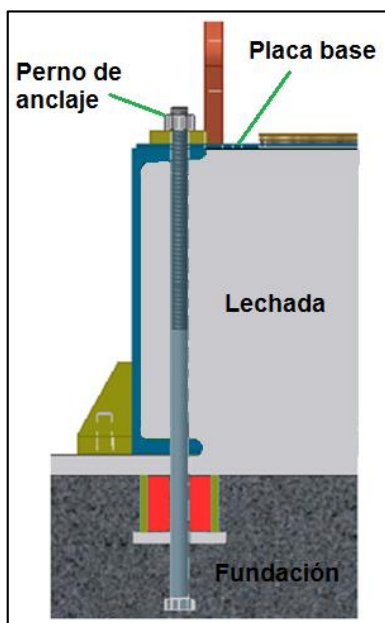


Figura 5. 13 Pernos de anclaje embebido.

Fuente: propia

Por otro lado, los tonillos de nivelación están ubicados en las caras exteriores de las vigas longitudinales mediante un arreglo de placas que estarán soldadas entre sí a su vez a la vigas principales como se observa en la Figura 5.14, al igual que para los

pernos de anclaje, el número de tornillos de nivelación son 12, 6 por cada lado, ubicados y distanciados de la misma manera que los pernos de anclaje, es decir se encuentran paralelos a dichos pernos como se observa en la Figura 5.15.

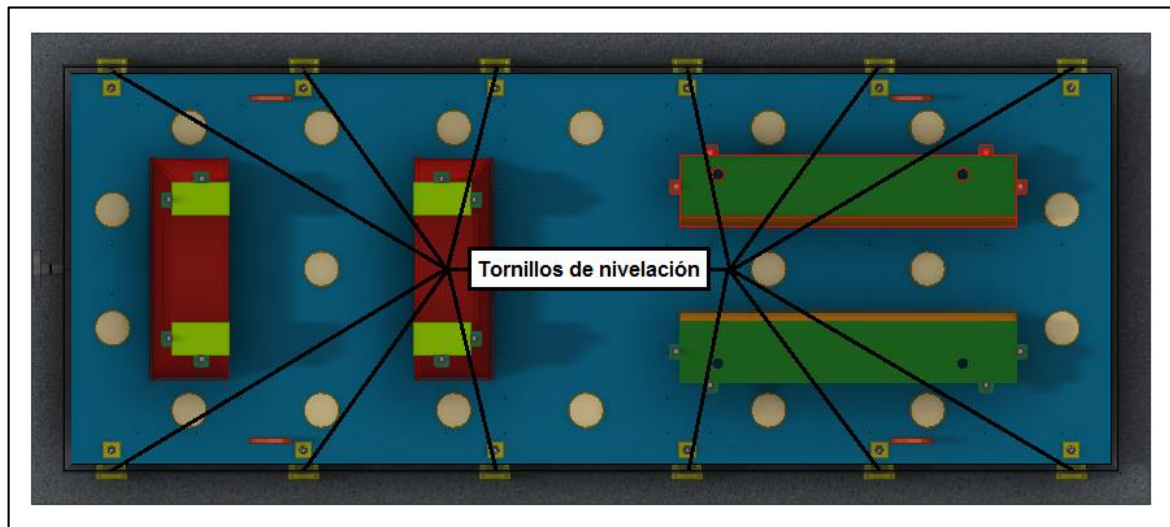


Figura 5. 14 Tornillos de nivelación paralelos a los pernos de anclaje

Fuente: propia

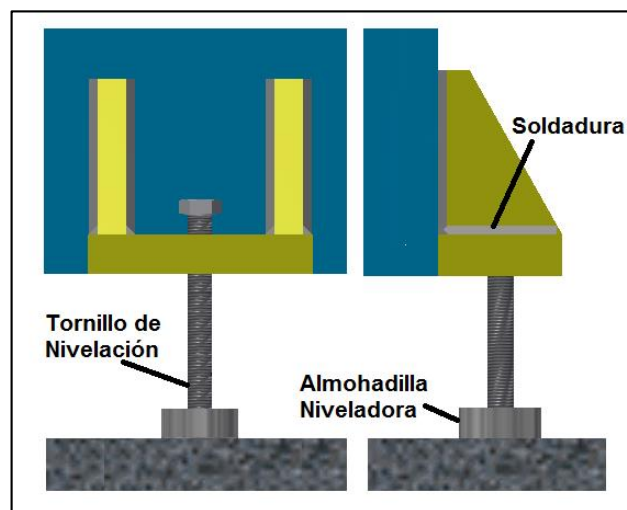


Figura 5. 15 Vista frontal y lateral del arreglo de placas unidas a las vigas principales donde se ubica los tornillos de nivelación

Fuente: propia

5.4 TORNILLOS DE ALINEACIÓN DE LA BOMBA Y EL MOTOR

Según la norma PEMEX en el numeral 8.2.3.14, especifica que se deben usar tornillos de posicionamiento para alinear el equipo de bombeo con pesos de 225 kg (500 lb) y mayores a estos, para facilitar los ajustes transversales, horizontales y longitudinales.

Por otro lado, también se recomienda el uso de tornillos de posicionamiento cuando el sistema de bombeo con motores (conductores) cuya potencia sea mayor a 75 kW.³³

Por tal motivo, se usan los tornillos de posicionamiento tanto para la bomba como para el motor y están ubicados en los pies de asiento de los pedestales del equipo de bombeo, dos tornillos por cada pie de asiento (placa de montaje), dichos tornillos deben localizarse a un costado de los pie de asiento de los pedestales de tal manera que no interfieran con el montaje y desmontaje de los equipos como se ilustra en la Figura 5.16.

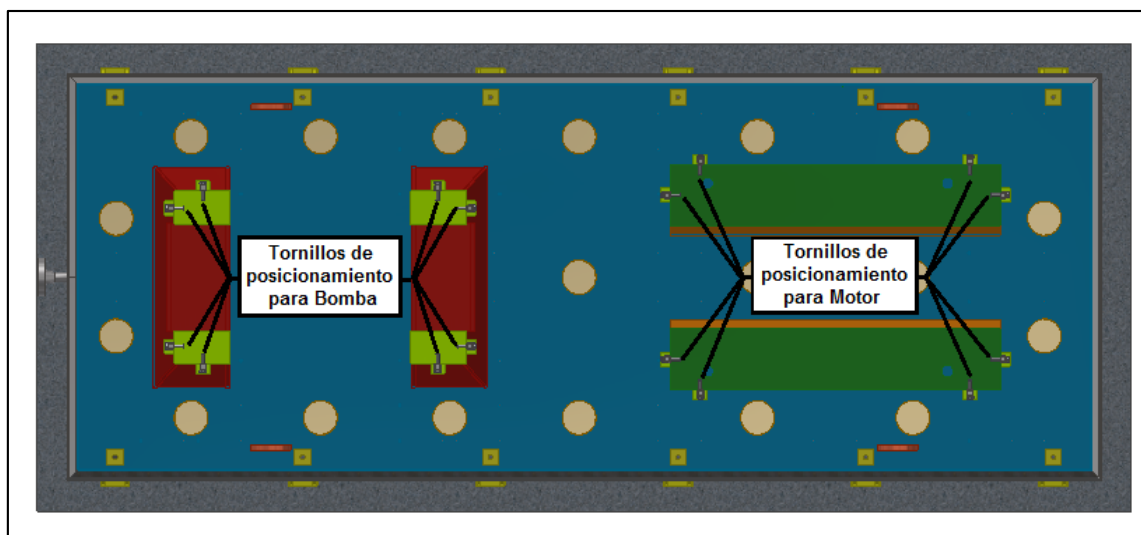


Figura 5. 16 Tornillos de posicionamiento para el equipo de bombeo

Fuente: propia

³³ Heinz P. Bloch; PUMP WISDOM Problem Solving for Operators and Specialists; Editorial WILEY; 2011; Pag 33

Los tornillos se fijan a las placas de asiento de los pedestales de cada equipo mediante un arreglo de placas soldadas entre sí y estas a su vez unidas a los pies de asiento de los pedestales mediante soldadura tanto para los pedestales de la bomba como para los del motor, tal como se observa en las Figura 5.17 y Figura 5.18, respectivamente.

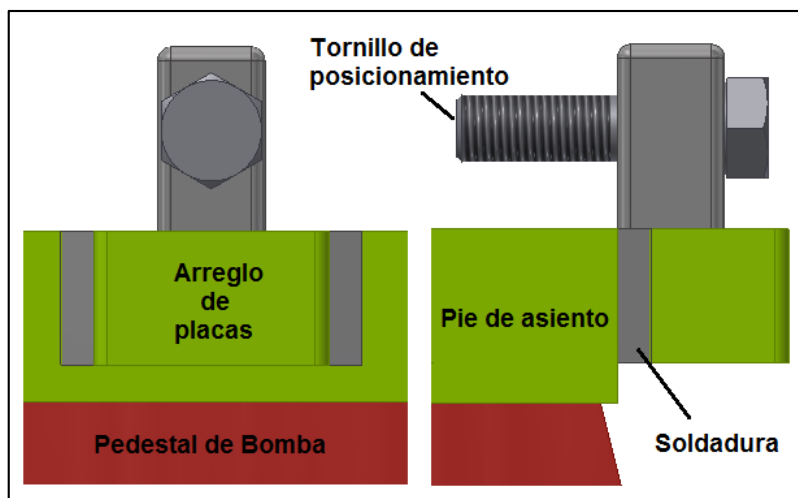


Figura 5. 17 Vista frontal y lateral de los tornillos de posicionamiento para la bomba

Fuente: propia

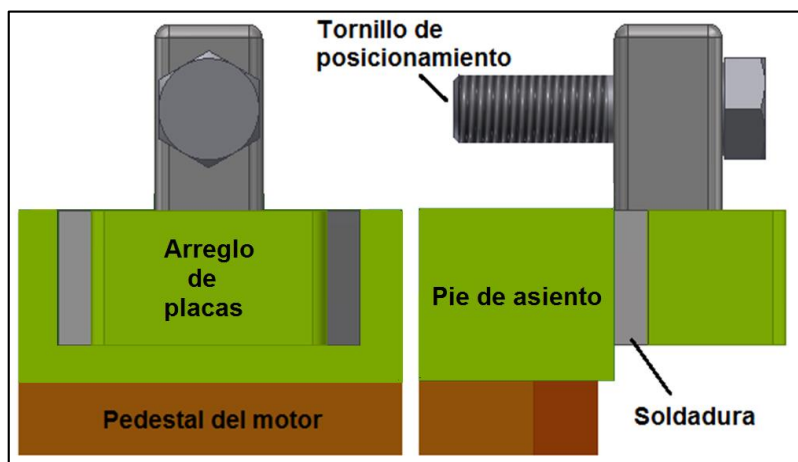


Figura 5. 18 Vista frontal y lateral de los tornillos de posicionamiento para el motor

Fuente: propia

Estos tornillos ayudarán a facilitar los ajustes transversales y longitudinales del equipo de bombeo. La norma recomienda que estos tornillos deben ser al menos M12.

Tomando en consideración la norma, el motor y la bomba tendrán ocho tornillos M16 para el posicionamiento cada uno.

5.5 SOPORTES PARA LA BOMBA Y EL MOTOR

EL Motor está asentado en dos pedestales idénticos, diseñados por chapas metálicas de espesor de $\frac{3}{4}$ de pulgada, y una chapa de 2 pulgadas llamada pie de asiento, donde irá asentado el motor, la configuración de estos soportes se puede apreciar en los planos, cada uno de los soportes están fijados a la placa base por medio de soldadura de forma continua. Estos soportes se encuentran asentados sobre un arreglo de 8 vigas UPN 280 del esqueleto de la placa base, los cuales permiten la transmisión de cargas y esfuerzos a la lechada y esta a su vez a la fundación.

Por otro lado los pedestales de la bomba al igual que para el motor son iguales, dichos pedestales están diseñados por un arreglo de siete chapas metálicas de espesor de $\frac{3}{4}$ de pulgada y una chapa de 2 pulgadas llamada pie de asiento, estos pedestales están apoyados sobre 4 vigas UNP 280 la configuración de los pedestales y su unión mediante soldadura permitirá que las fuerzas y momentos generados por la bomba puedan ser transmitidas a las vigas, a la lechada y finalmente a la fundación.

Todos los pies de asiento tanto los de la bomba como del motor deben ser planos, completamente maquinados y paralelos para montar el equipo. Las superficies maquinadas deben estar en un mismo plano dentro de una toleración de 150 um/m (0,002 in/pie) como lo especifica el apartado 7.3.5 de la norma API 610. La ubicación de estos pedestales en la placa base se observa en la Figura 5.21

Los pedestales del equipo de bombeo (motor-bomba), se ilustran en la Figura 5.19 y Figura 5.20, respectivamente.

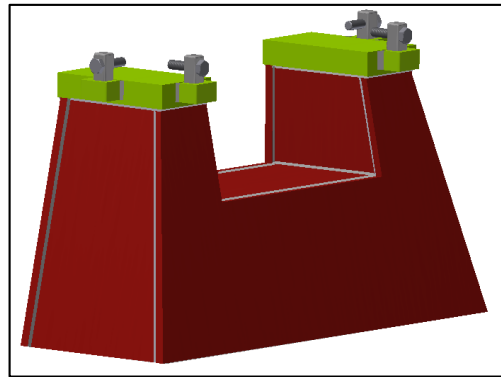


Figura 5. 19 Pedestal de la Bomba

Fuente: Propia

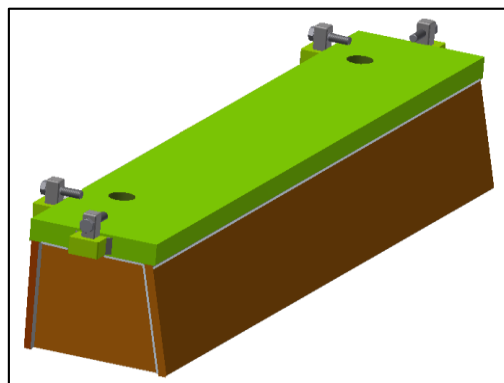


Figura 5. 20 Pedestal del Motor

Fuente: Propia

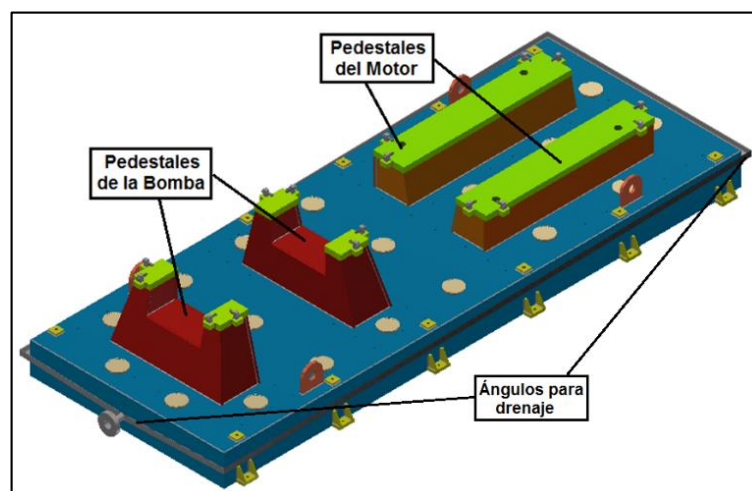


Figura 5. 21 Pedestales de la Bomba y el Motor; Ángulos de Drenaje

Fuente: propia

5.6 BORDE DE GOTEO (ÁNGULO DE DRENAJE)

La placa base incorpora unos ángulos de 50x50x5 a lo largo y ancho de la placa base y está provista con una conexión de drenaje en uno de los extremos tal como se ilustra en la Figura PEDR, dicho sistema sirve para poder recolectar los fluidos que genere el equipo de bombeo especialmente la bomba centrífuga.

Por otro lado, los ángulos de drenaje tienen una inclinación 1:100, ya que según la Norma Pemex numeral 8.2.3.1 recomienda una pendiente mínima de 1:120 hacia las conexiones para drenaje, el extremo inferior del sistema de drenaje está al costado izquierdo de la placa base tal como se observa en la Figura 5.22.

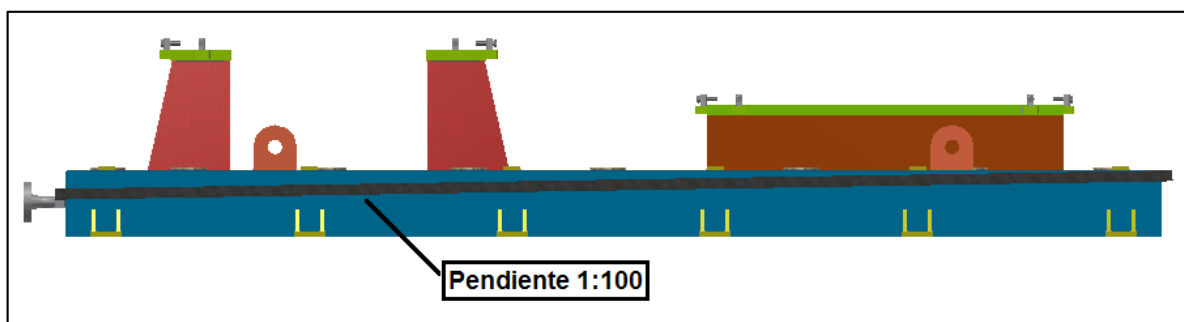


Figura 5. 22 Inclinación del sistema de recolección de drenaje

Fuente: propia

5.7 ORIFICIOS DE VENTILACIÓN Y ORIFICIOS PARA EL GROUND

Según la norma API 610, en el apartado 7.3.10, todas las bases deben tener orificio para el llenado de la lechada “grouting”, Estos orificios deben estar dispuestos de tal manera que permita el llenado total del espacio dado entre la placa base y la fundación, sin crear bolsas de aire.

Para el diseño de la placa base se tienen 20 agujeros, con un área de 222.5 cm^2 , para el llenado de la lechada. Este diámetro considerado es mayor a lo que establece la Norma API 610, el cual es un mínimo de 125 cm^2 .

Por cada agujero de llenado debe haber un agujero de venteo de 13 mm (0.5 in) de diámetro como mínimo, los agujeros deben estar localizados en la parte superior adyacente a las vigas transversales del esqueleto estructural de la placa base, ya que estos actuarán de diques de tal forma que por esos lados subirá la lechada e irá empujando al aire atrapado en el interior de la placa base de manera que necesita de ventilación para permitir la salida de dicho aire caso contrario podrían formarse vacíos después del curado de la lechada los cuales son perjudiciales ya que disminuyen la capacidad de transmitir las cargas generadas por el equipo de bombeo hacia la fundación.

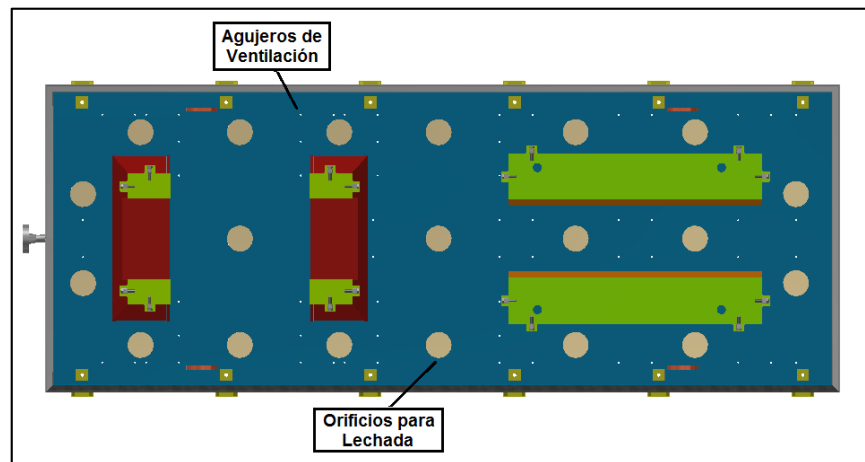


Figura 5. 23 Orificios de Ventilación y agujeros de ventilación en la placa base

Fuente: propia

UBICACIÓN DEL CENTRO DE GRAVEDAD

En la simulación de la estructura de la placa base en el cual no se encuentra montado el motor y la bomba, el centro de gravedad es generado automáticamente por el programa tomando en consideración los pesos reales de la placa base, tal como se ilustra en la Figura 5.24.

En la Tabla 5.3 se muestran las coordenadas del centro de gravedad, tomando como referencia el centro geométrico de la estructura.

Tabla 5. 3 Coordenadas del Centro de Gravedad

Coordenadas del Centro de Gravedad	
X	-47,5 mm
Y	237,7 mm
Z	-2,3 mm

Fuente: Propia

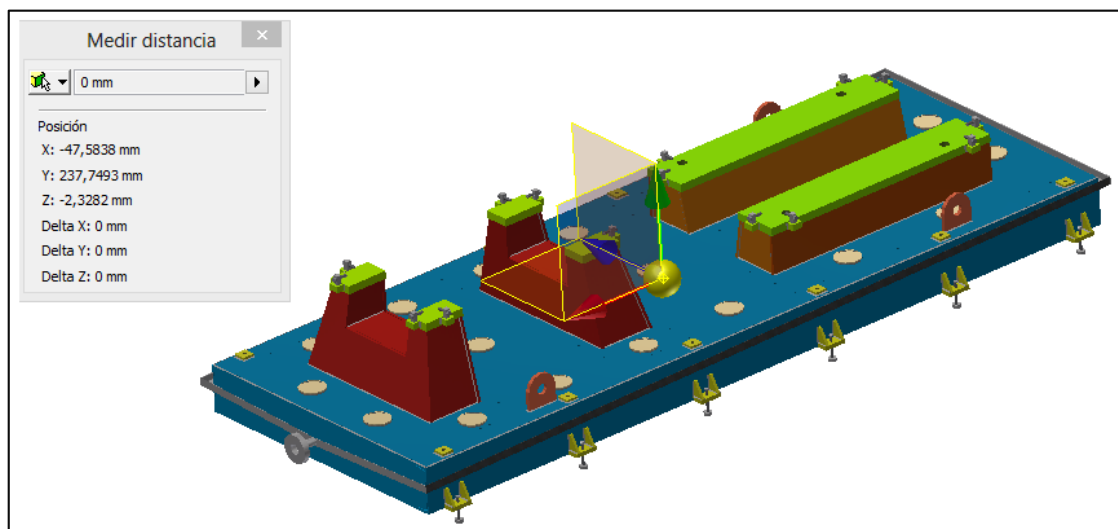


Figura 5. 24 Centro de gravedad de la placa base

Fuente: propia

Como se observa el centro de gravedad está cerca del centro geométrico de la placa base, ya que 47,5mm y 2,3mm es despreciable con respecto a las dimensiones tanto en ancho como en el largo de la placa base.

CAPITULO 6

6. ANÁLISIS DE COSTOS

El objetivo del presente capítulo es presentar una breve estimación presupuestaria para el diseño y construcción de la placa base, en donde se realiza una descripción de los factores más significativos en los costos de fabricación. El análisis presentado en este capítulo se basa en datos proporcionados por casas comerciales y empresas constructoras. Finalmente, en base al estudio realizado en este capítulo se determinará una estimación del presupuesto para la fabricación de la placa base.

6.1 INTRODUCCIÓN

El costo es el valor que representa el monto total de lo invertido: esfuerzo, dinero y tiempo para comprar o producir un bien o servicio.

El análisis de costos permitirá evaluar los gastos totales previstos frente a los beneficios obtenidos, con el fin de seleccionar la mejor alternativa, que sea más rentable.

En el presente capítulo se realizara una estimación de la suma total de los gastos que implican la fabricación de la placa base.

6.2 ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

El análisis de precios unitarios permite determinar el rendimiento de una obra, desglosando el costo por unidad de medición de un rubro en sus diferentes componentes básicos como: materiales, mano de obra, equipos y costos indirectos.

6.3 CLASIFICACIÓN DE LOS COSTOS

6.3.1 Costos de materiales directos.

Involucran los costos de adquisición de todos los materiales que después de procesos determinados se convierten en parte del producto terminado. Estos costos incluyen el traslado del material, impuestos sobre las ventas y derechos de aduana.

6.3.2 Costos de mano de obra directa de fabricación

Los costos de la mano de obra directa de fabricación incluyen la remuneración de todo el personal que está involucrado en la construcción y/o fabricación del producto final. Los costos directos de mano de obra directa incluyen salarios y prestaciones pagadas a los operadores de maquinaria y trabajadores de líneas de ensamble.

En la Tabla 6.1 se muestran salarios de algunas profesiones según la cámara de comercio de Quito.

Tabla 6. 1 Salarios según la Cámara de Comercio de Quito

CAMARA DE LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION								
DEPARTAMENTO TÉCNICO								
SALARIOS MINIMOS POR LEY								
ENERO 2015 (SALARIOS EN DÓLARES)								
CATEGORIAS OCUPACIONALES	SUELDO UNIFICADO	DÉCIMO TERCER	DÉCIMO CUARTO	APORTE PATRONAL	FONDO RESERVA	TOTAL ANUAL	JORNAL REAL	COSTO HORARIO
REMUNERACIÓN BASICA UNIFICADA MÍNIMA CONSTRUCCIÓN Y SERVICIOS TÉCNICOS Y ARQUITECTÓNICOS	354							
Peón, Ayudante soldador, ayudante en general.	363,74	363,74	354	530,33	363,74	5.976,69	25,43	3,18
Tomero	368,48	368,48	354	537,24	368,48	6.049,96	25,74	3,22
Pintor	368,48	368,48	354	537,24	368,48	6.049,96	25,74	3,22
Topógrafo 2: título experto. mayor a 5 años(Estr.Oc.C1)	410,82	410,82	354	598,98	410,82	6.704,46	28,53	3,57
Grúa puente de elevación	410,82	410,82	354	598,98	410,82	6.704,46	28,53	3,57
Soldador Calificado	544,94	544,94	354	794,52	544,94	8.777,68	37,35	4,67
CHOFER: Para camiones pesados y extra pesados con o sin remolque de más de 4 toneladas (Estr. Oc. C1)	544,94	544,94	354	794,52	544,94	8.777,68	37,35	4,67

6.3.3 Costos indirectos de fabricación

Los costos indirectos de fabricación son todos aquellos que se consideran parte del producto final pero no se pueden identificar en el producto terminado. Por ejemplo la energía utilizada, los suministros, materiales indirectos, mano de obra indirecta, depreciación de la planta y remuneración del personal administrativo como gerentes o jefes de proyecto.

6.4 RUBROS INVOLUCRADOS EN LA FABRICACION DE LA PLACA BASE

Los rubros que se tomaran en cuenta para la fabricación de la placa base serán:

- Suministro de Materiales
- Fabricación y Armado de la placa base
- Pruebas de Funcionalidad y Calidad

Los costos referenciales en cuanto a la maquinaria a utilizar se consideraran los establecidos por la cámara de comercio de Quito, que se detallan en la Tabla 6.2.

Tabla 6. 2 Descripción de costos de equipos y herramientas

Descripción	Unidad	Precio inc. I.V.A \$.	Precio Mensual inc. I.V.A \$.
Soldadora Eléctrica 300 Amp.	Día	30,00	600,00
Amoladora 2Hp	Día	5,00	100,00
Compresor de aire 2Hp	Día	5,00	100,00
Equipo Oxicorte	Día	5,00	100,00
Taladro de pedestal 2Hp	Día	10,00	200,00
Grúa 10 Ton	Día	400,00	8000,00
Montacargas 2 Ton	Día	150,00	3000,00
Andamios-módulo	Día	1,50	30,00
Herramienta menor	Día	4,00	80,00

Fuente: Erazo Carvajal, Ordoñez González, & Baldeón Valencia, 2013

En la tabla 6.3 se describen los costos unitarios del suministro de Acero para la fabricación de la placa base.

Tabla 6. 3 Rubro 1. Suministros de Acero Estructural

Rubro	Suministro Acero estructural A-36				
Código	XBDS- 01				
Unidad	kg				
Cantidad	3300	Tiempo (h)	40		
R (unidad/hora)	82,50	K (hora/unidad)	0,0121		
EQUIPOS					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo /hora	Costo unitario	Porcentaje
		USD/hora			
Montacargas	0,05	17,92	0,90	0,0109	0,37
Pórtico de Izaje	1,00	0,19	0,19	0,0023	0,08
Herramienta menor	1,00	0,50	0,50	0,0061	0,20
			Subtotal 1	0,0192	0,65
PERSONAL					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo /hora	Costo unitario	Porcentaje
		USD/hora			
Operador equipo pesado	0,05	3,38	0,17	0,0020	0,07
Operador equipo liviano	0,05	3,18	0,16	0,0019	0,06
			Subtotal 2	0,0040	0,13
MATERIAL					
Descripción	Unidad	Cantidad	Costo	Costo u total	Porcentaje
			USD		
Vigas UPN Acero A36 LC	kg	1,03	1,30	1,3390	45,05
Placas Acero A36 e = 3/4"	kg	1,05	1,40	1,4700	49,46
			Subtotal 3	2,8090	94,51
TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Cantidad	Costo/unidad	Costo u total	Porcentaje
Tráiler	kg	1,00	0,14	0,1400	4,71
			Subtotal 4	0,1400	4,71
COSTOS UNITARIO DEL RUBRO 1					% Total
COSTO TOTAL DIRECTO				2,97	100,00

COSTO INDIRECTO	
Utilidad (15%)	0,45
Costo administrativo (8%)	0,24
Costo financiero (1%)	0,03
Impuestos (1%)	0,03
COSTO TOTAL INDIRECTO	0,74
PRECIO UNITARIO	3,72

Fuente: Propia

En la tabla 6.4 se describen los costos unitarios involucrados en la fabricación de la placa base.

Tabla 6. 4 Rubro 2. Fabricación de la Placa Base

Rubro	FABRICACION DE LA PLACA BASE				
Código	XBDS- 02				
Unidad	kg				
Cantidad	3300	Tiempo (h)	240		
R (unidad/hora)	13,75	K (hora/unidad)	0,0727		
EQUIPOS					
Descripción	Cantidad	Tarifa USD/hora	Costo /hora	Costo unitario	Porcentaje
Cortadora Oxiacetilenica	0,5	1,19	0,6	0,0433	1,08
Soldadora 35 Hp	0,8	6,30	5,0	0,3665	9,14
Amoladora	0,4	1,19	0,5	0,0346	0,86
Rectificadora	0,2	10,00	2,0	0,1455	3,63
Grúa	0,3	33,6	10,1	0,7329	18,27
Herramienta menor	2,0	0,50	1,0	0,0727	1,81
Taladro de pedestal	0,4	1,25	0,5	0,0364	0,91
			Subtotal 1	1,43	35,69
PERSONAL					
Descripción	Cantidad	Tarifa USD/hora	Costo /hora	Costo unitario	Porcentaje
Soldador API	1,00	6,00	6,0	0,4364	10,88
Ayudante soldador	2,00	3,39	6,8	0,4931	12,29
Personal para montaje	1,00	3,21	3,2	0,2335	5,82
Operador equipo pesado	1,00	3,38	3,4	0,2458	6,13
Pintor	0,30	3,05	0,9	0,0665	1,66
			Subtotal 2	1,4753	36,78
MATERIAL					
Descripción	Unidad	Cantidad	Costo/unidad	Costo u total	Porcentaje

Oxiacetileno	kg	0,012	50,00	0,6000	14,96
Gratas de desbaste	unidad	0,01	10,00	0,1000	2,49
Discos de Abrasión	unidad	0,01	12,00	0,1200	2,99
Electrodo ER70-XX	kg	0,02	2,95	0,0590	1,47
Disco de corte	unidad	0,01	5,00	0,0500	1,25
Pintura anticorrosiva	galón	0,01	14,14	0,1414	3,52
Disco abrasivo	unidad	0,012	2,83	0,0341	0,85
			Subtotal3	1,1045	27,53
TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Cantidad	Costo/unidad	Costo u total	Porcentaje
			Subtotal 4	0,0000	0,0000
COSTOS UNITARIO DEL RUBRO 2					% Total
COSTO TOTAL DIRECTO				4,01	100,00

COSTO INDIRECTO	
Utilidad (15%)	0,60
Costo administrativo (8%)	0,32
Costo financiero (1%)	0,04
Impuestos (1%)	0,04
COSTO TOTAL INDIRECTO	1,00
PRECIO UNITARIO	5,01

Fuente: Propia

En la tabla 6.5 se describen los costos unitarios para las pruebas de funcionalidad y calidad.

Tabla 6. 5. Rubro 3. Pruebas de Funcionalidad y Calidad

Rubro	Pruebas de Funcionalidad y Calidad				
Código	XBDS- 03				
Unidad	m ²				
Cantidad	30	Tiempo (h)	8		
R (unidad/hora)	3,75	K (hora/unidad)	0,27		
EQUIPOS					
Descripción	Cantidad	Tarifa USD/hora	Costo /hora	Costo unitario	Porcentaje
Kit metrología	1,0	0,52	0,52	0,1387	8,99
Equipo de Ultrasonido	1,0	0,42	0,42	0,1120	7,26

Herramienta menor	1,0	0,50	0,50	0,1333	8,65
			Subtotal 1	0,3840	24,90
PERSONAL					
Descripción	Cantidad	Tarifa USD/hora	Costo /hora	Costo unitario	Porcentaje
Técnico	1,00	3,38	3,38	0,2458	15,94
Inspector nivel 2	1,00	5,00	5,00	0,3636	23,58
Ayudante	1,00	3,05	3,05	0,2218	14,38
			Subtotal 2	0,8313	53,90
MATERIAL					
Descripción	Unidad	Cantidad	Costo/unidad	Costo u total	Porcentaje
lija	Unidad	0,03	0,80	0,0240	1,56
Acoplante para palpador	galón	0,01	30,00	0,3000	19,45
Thinner	galón	0,001	3,00	0,0030	0,19
			Subtotal3	0,3270	21,20
TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Cantidad	Costo/unidad	Costo u total	Porcentaje
			Subtotal 4	0,0000	0,0000
COSTOS UNITARIO DEL RUBRO 2					% Total
COSTO TOTAL DIRECTO				1,54	100,00

COSTO INDIRECTO	
Utilidad (15%)	0,23
Costo administrativo (8%)	0,12
Costo financiero (1%)	0,02
Impuestos (1%)	0,02
COSTO TOTAL INDIRECTO	0,39
PRECIO UNITARIO	1,93

Fuente: Propia

6.4 PRESUPUESTO

En la tabla 6.6 se muestra una cantidad aproximada para la fabricación de la placa base.

Tabla 6. 6 Presupuesto

Estimación del Presupuesto para la fabricación de la placa base					
Descripción/rubro		Unidad	Cantidad	P. unitario	P. Total
1	Suministro de Acero	kg	3300	3,72	12260,33
2	Fabricación de la Placa Base	kg	3300	5,01	16547,85
3	Pruebas de Funcionalidad y Calidad	m ²	30	1,93	57,84
TOTAL					28866,01

Fuente: Propia

6.5 CRONOGRAMA VALORADO

En la figura 6.7 se detalla el cronograma de las actividades y tiempos involucrados en la fabricación de la placa base.

Tabla 6. 7 Cronograma Valorado

CRONOGRAMA VALORADO																																																																		
Descripción/rubro	Unidad	Cantidad	P. unitario	P.Total	%	Tiempo			R	semana 1							semana 2							semana 3							semana 4							semana 5							semana 6							semana 7														
						horas	días	semana		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36																					
1	Suministro de Acero	kg	3300	3,72	12260,33	42,47	40	5	1	82,50	12260,33																																																							
2	Fabricación de la Placa Base	kg	3300	5,01	16547,85	57,33	240	30	6	13,75								2757,98							2757,98							2757,98							2757,98							2757,98							2757,98													
3	Pruebas de Funcionalidad y Calidad	m2	30	1,93	57,84	0,20	8	1	0,20	3,75																																											57,84							28866,01						
TOTAL					28866,01	100,00	288	36	7,20																																																									
Flujo										12260,33	2757,98							2757,98							2757,98							2757,98							2757,98							57,84																				
Avance										12260,33	15018,30							17776,28							20534,25							23292,23							26050,20							28808,18							28866,01													
Porcentual %										42,47	52,03							61,58							71,14							80,69							90,25							99,80							100													

Fuente: Propia

CAPITULO 7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 CONCLUSIONES

Las placas base son indispensables para un correcto funcionamiento del equipo de bombeo, ya que en esta estructura se apoya el mismo, por lo que todas las fuerzas y momentos generados por este conjunto es soportado por la placa base, además todas las vibraciones que genere la bomba y su conductor se distribuirán a la placa base, esta a su vez a la lechada y finalmente a la fundación.

La placa base que cumple con la rigidez requerida, es la estructura conformada por las vigas UPN 300 como principales y UPN 280 como secundarias, en la cual el desplazamiento es menos a 0.1 in que es la permitida por la *NORMA API 610*.

Las placas base, las fundaciones y la lechada a menudo reciben poca atención en comparación con la elección de una bomba centrífuga, motor, acoplamiento, y tuberías adecuadas. No se toma en cuenta que un enlace débil debajo de la bomba puede causar problemas y a la larga disminuir la vida útil del equipo de bombeo. La solución es dar una atención adecuada a los detalles como los anteriormente mencionados tales como la las fundaciones, la lechada y especialmente a su placa base; y estar dispuestos a gastar una cantidad relativamente pequeña de dinero pero bien dirigida a estos detalles.

Al igual que existen una gran variedad de tipos de bombas, de igual forma existen varios tipos de placas base que se adaptan a las necesidades, requerimientos, tamaño del equipo de bombeo al cual va a estar destinado, es decir puede que el equipo de bombeo esté destinado a ser usado en una industria petroquímica por lo cual su placa base va a estar en contacto continuo con químicos por lo que es recomendable usar placa base de polímero mientras que si se va a utilizar un equipo de bombeo grande para el transporte de crudo lo más recomendable es usar placa bases estructurales, por lo que existen varios aspectos los cuales deben examinarse para no escoger una

placa base errónea que desencadene en un gasto innecesario y el deterioro del equipo de bombeo.

Las placas base estructurales son utilizadas especialmente para conjuntos de bombeo grandes ya que el costo, rigidez y versatilidad que posee respecto a otros tipos de placas base son mejores, por lo cual para este proyecto se utilizó este tipo de placas base.

El uso del diseño asistido por computadora es un método que puede llegar a dar resultados fiables sobre el comportamiento de la placa base cuando a esta se le aplican cargas debido al equipo de bombeo, dicho resultados se puede obtener utilizando un análisis de elementos finitos (FEA) siempre y cuando se tengan claro las bases teóricas de los datos a ingresar, de esta manera se puede llegar a ahorrar tiempo y dinero debido a que además de que se garantiza la estabilidad estructural de la placa base mediante el modelado en 3D de la estructura y definiendo exactamente sus dimensiones se puede ahorrar al diseñador y constructor problemas de última hora.

Las cargas estáticas generadas por las boquillas de succión y descarga simuladas en Autodesk Inventor en condiciones normales de funcionamiento de la bomba centrífuga producen tensiones inferiores a las máximas permisibles, con lo cual se garantiza la seguridad de la placa base.

Debido al buen diseño de placa base, las deformaciones que sufre tanto en el análisis en suspensión y en el análisis con cargas en las boquillas son mínimas, por lo que no existirá peligro de desalineación entre la bomba y motor tal como se especifica en la NORMA API 610.

Por todo lo anteriormente mencionado el diseño y modelo de la placa base empleado en este proyecto constituye una solución satisfactoria y admisible para su implementación en donde sea necesario.

7.2 RECOMENDACIONES

Al momento de utilizar una herramienta de diseño asistido se debe tener mucho cuidado al ensamblar los componentes que forman parte de la estructura, además de ingresar los datos correctos para realizar un análisis de elementos finitos, ya que de no tener precaución pueden generarse datos erróneos que pueden a la larga generar un diseño equivocado.

Se debe tomar en cuenta los requerimientos que hacen las normas relacionadas al diseño de la placa base, para garantizar un diseño confiable.

La placa base debe ser lo suficientemente rígida para soportar las cargas generadas por el equipo de bombeo y además ser capaz de no sufrir ninguna deformación cuando esta sea transportada.

El diseño de placas base deben ser realizados tomando en consideración las Normas vigentes correspondientes al tema, tal como la API 610, ya que esta y otras normas con los años han podido establecer los requerimientos necesarios para poder obtener un diseño de placas base adecuado.

Se debe tener mucho cuidado en la preparación de la placa base y la fundación antes de ser lechadas, ya que de esto dependerá que exista una buena adhesión entre la placa base, la lechada y la fundación.

Se debe tener presente la posible o no implementación del sistema de drenaje para el diseño de placas base, donde este sistema sea necesario, ya que el incorporar dicho sistema a la placa base puede generar problemas en el diseño de la estructura.

La geometría que se diseñe para los pedestales de la bomba y el motor deben permitir una fácil alineación entre la bomba y su motor, además de permitir una eficiente transmisión de las cargas generadas por la bomba y su conductor a la superficie de la placa base mediante dichos soportes.

Se recomienda tomar en consideración las guías suministradas al final de este proyecto, tales como la guía para el izaje de la placa base, la bomba y el motor; la guía

para la lechada de la placa base entre otras, de esta manera se garantizará una correcta instalación de la placa base en su lugar de trabajo.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Towsley,G. (2010). *Informe Técnicos. Acoplamientos*. En: Grundfos. Junio 2010.
- Towsley,G. (2010). *Informe Técnicos. Base de Montaje*. En: Grundfos. Junio 2010.
- Towsley,G. (2010). *Informe Técnicos. Cimiento*. En: Grundfos. Julio 2010.
- Álvarez, J.; Viejo, M. (2004). *Bombas. Teorías, diseño y aplicaciones*. México: Limusa S.A.
- Paresh Girdhar, Octo Moniz; *Practical Centrifugal Pumps*; Editorial Elsevier; 2004, pág 135
- Carrera, A.; Villamarín, O. (2010). *Diseño de una plataforma típica de producción petrolera en la Amazonia Ecuatoriana*. Escuela Politécnica Nacional. Ecuador.
- Colcha, F.; Castillo, E. (2012). *Diseño y Construcción de un Bastidor para un Módulo Didáctico de chasis de auto liviano para la Escuela de Ingeniería Automotriz de la ESPOCH*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Ecuador.
- Ruhrpumpen. (2012). *Manual de instalación, operación y mantenimiento. Bomba de proceso API 610*. Estados Unidos.
- Blodgett, O. (1991). *Desing of welded structures*. Estados Unidos: Progress Through Study.
- Caraballo, L. (2009). *Diseño de un banco de pruebas para bombas reciprocantes en el taller de bombas de la superintendencia de talleres de PDVSA-SAN TOMÉ*. Universidad de Oriente Núcleo de Anzoátogui. España.
- Instituto Técnico de la Estructura en Acero. *Diseño de uniones*. España: Vol. 13.
- Sintemar. (2005). *Especificación del grouting con resinas epoxídicas para bancadas de bombas*. Biskaya: Vol. 119.

Patterson Pump Company. (2001). *Manual de operación y mantenimiento para bombas de carcasa partida y aspiración doble*. Estados Unidos. Ayerville Road.

Lasierra, J.; Martinez, F. (2007). *Modela informático para el cálculo de bases inerciales y soportes antivibratorios*. España: Betancourt.

Norma Ecuatoriana de la Construcción. (2014). *Estructuras de Acero*. Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. Ecuador: Dirección de comunicación social Miduvi.

Castillo, E; Colcha, F. (2012). Diseño y construcción de un bastidor para un módulo didáctico de chasis de auto liviano para la Escuela de Ingeniería Automotriz de la ESPOCH. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Burbano, N. (2014). Diseño y construcción de un soporte universal automatizado para la reparación de motores para la empresa tracto diésel. Escuela Politécnica del Ejército.

Salazar, J. (2013). Cálculo y diseño de cimentaciones para equipos y maquinaria presentes en una facilidad de producción petrolera. Escuela Politécnica del Ejército.

Delgado, César. (2006). Diseño de la placa base para una bomba helicoaxial multifásica, utilizando CAE. Universidad Simón Bolívar.

Arias, Luis. (2008). Aplicaciones de sellos mecánicos en bombas de la Industria Petrolera Ecuatoriana. Escuela Politécnica Nacional.

API Recommended practice 686; *Recommended Practice for Machinery Installation and Installation Design*; Second Edition; December 2009.

ASME MTH-1-2008; *Design of Below – the – Hook Lifting Devices*

API Recommended Practice 2A-WSD; *Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms – Working Stress Design*; Twenty; First Edition; December 2000.

ANSI/API Standard 610; *Centrifugal Pump for Petroleum, Petrochemical and Natural Gas Industries*; Eleventh Edition; September 2010.

Harrison, D; *The Grouting Handbook*; Gulf Publishing Company.

Virtuales:

http://www.academia.edu/7756533/INFORME_FLUJO_DE_FLUIDOS

<https://areamecanica.wordpress.com/2013/04/21/ingenieria-mecanica-bombas-centrifugas-de-camara-partida/>

<http://www.definicionabc.com/motor/motor-electrico.php#ixzz3XKjbHtk9>

<http://www.abb.com/product/seitp322/4a2471e8d0074c57c1257c8b00374241.aspx?productLanguage=es&country=EC>

http://cbs.grundfos.com/export/sites/dk.grundfos.cbs/GMX_Mexico/whitepaper/Download_Files/IT-02_Base_de_Montaje.pdf

<http://www.flowserve.com/files/Files/Literature/ProductLiterature/Pumps/ps-10-30-s.pdf> página 23

http://www.construmatica.com/construpedia/Estructuras_Met%C3%A1licas

http://www.ahmsa.com/Acero/Complem/Manual_Construccion_2013/Capitulo_2b.pdf

<http://www.academica.mx/sites/default/files/adjuntos/35347/Manual%20de%20Autodesk%20Inventor%202013.pdf>

<http://www.aaende.org.ar/sitio/material/CORENDE2000Raul.pdf>

<http://www.sppumps.com/linkservid/6452438F-3A43-411D-A44A761077367F16/showMeta/0/>; Pag 5

ANEXOS

ANEXO 1. GUÍA DE CONSTRUCCIÓN DE LA PLATAFORMA DE FUNDACIÓN

Aquí se definen los procedimientos e inspecciones mínimas recomendadas para la instalación de placa base de equipos rotatorios sobre fundaciones de concreto.

El objetivo de estas instrucciones es suministrar guías generales para el dimensionamiento, la instalación y preparación de la fundación para poder montar sobre esta una placa de montaje que será lechada para poder formar un solo conjunto entre todas ellas es decir un conjunto monolítico.

Cualquier pregunta sobre la instalación y preparación de la fundación debe ser dirigida al ingeniero civil o encargado de la fundación antes de proceder con los trabajos.

A continuación se mencionan las pautas a seguir para la construcción de la fundación:

1. Dimensionamiento de la plataforma de fundación
2. Ubicación de la plataforma de fundación
3. Dimensionamiento de los pernos de anclaje
4. Instalación de las varillas de refuerzo y ubicación de los pernos de anclaje
5. Colocación de los pernos de anclaje y camisas
6. Preparación de los pernos de anclaje
7. Vertido y Curado de la fundación
8. Preparación de la fundación previo al montaje de la placa base

Dimensionamiento de la plataforma de fundación

Para el dimensionamiento de la fundación según la *Norma API 686 segunda edición*, se deberá tener en cuenta la disposición de los equipos, el arreglo de la tubería, mantenimiento y autorizaciones de instalación y la altura mínima requerida de la fundación, para el empotramiento de los pernos de anclaje de la placa base.

La base deberá ser lo suficientemente ancha para evitar la oscilación (balanceo) y de una profundidad adecuada para permitir el embebido correcto de los pernos de

anclaje. El ancho de la fundación será de al menos 1,5 veces la distancia vertical desde la base hasta la línea central de la máquina, a menos que un análisis demuestre que un valor menor puede ser adecuado.

La práctica de la industria en general, recomienda que una fundación debe ser de al menos 300 mm más ancho y más largo que la base de montaje que será instalada, además debe pesar entre 2 y 3 veces el peso del equipo de bombeo, esto es importante en el mantenimiento de la alineación del conjunto motor – bomba acoplado. Se recomienda fundaciones que tengan una altura mínima de 300 mm de altura, para poder alcanzar el peso necesario y para poder dar cabida a los huecos para fijar los pernos de anclaje. La fundación debe incorporar varillas de acero reforzadas para aumentar su rigidez.³⁴

La altura aproximada de una fundación se puede calcular de la siguiente manera:³⁵

$$\text{Altura (m)} \approx W / (2400 \times B \times L)$$

Donde:

- W (kg) = peso total del equipo de bombeo
- 2400 (kg/m³) = densidad del concreto
- B (m) = ancho de la fundación
- L (m) = largo de la fundación

³⁴ HARRISON D; The Grouting Handbook, Editorial ELSEVIER; Houston Texas; Año 2000; Primera edición; pag 3,5

³⁵ <http://www.sppumps.com/linkservid/6452438F-3A43-411D-A44A761077367F16/showMeta/0/>; Pag 5

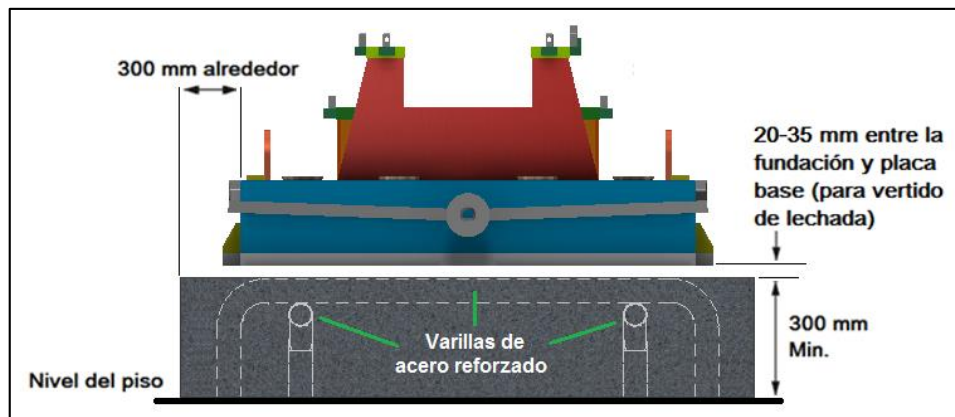


Figura 1. Dimensiones de la fundación

Fuente: propia

Otra práctica establece líneas imaginarias descendentes a 30° hacia cada lado de la vertical de la bomba montada sobre la placa base, cruzando la línea de centro. Estas líneas imaginarias, como se ve en la Figura 2, deben atravesar la base de la fundación, no los lados, si se cumple esta premisa la altura de la fundación será suficientemente alta para poder soportar la placa base y su equipo de bombeo.³⁶

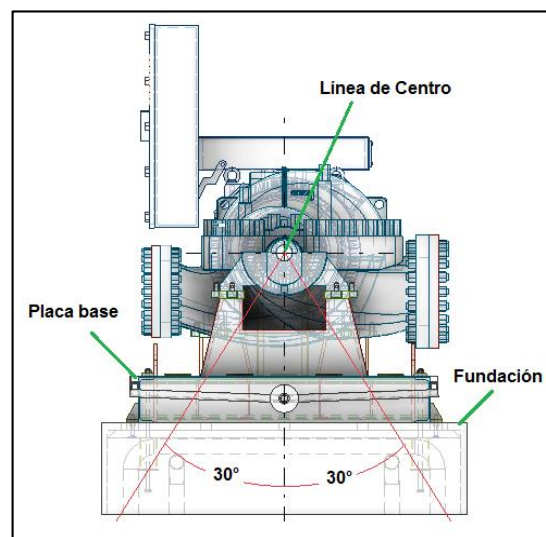


Figura 2. Método de líneas imaginarias para verificar el dimensionamiento de la fundación

Fuente: propia

³⁶ HARRISON D; The Grouting Handbook, Editorial ELSEVIER; Houston Texas; Año 2000; Primera edición; pag 4

Ambos métodos para dimensionar la fundación, son sólo aproximaciones del dimensionamiento de la fundación, por lo que el ingeniero civil encargado del diseño de la fundación deberá verificar mediante cálculos las dimensiones necesarias de esta, según lo requiera el equipo de bombeo.

Cuando el grosor de la fundación es mayor que 120 cm (48 pulgadas.), el ingeniero deberá consultar la *NORMA ACI 207.2R*, entre otras.³⁷

Ubicación de la plataforma de fundación

La ubicación adecuada de la fundación puede reducir las dificultades de construcción asociados con la protección del personal y el mantenimiento de la producción existente.

Se debe considerar la ubicación y el grado de aislamiento requerido para la fundación con respecto a los equipos sensibles adyacentes y los efectos que pudiesen ocasionar a las estructuras cercanas debido a la vibración generada por la maquinaria apoyada sobre la fundación. El método actual para aislar los cimientos de las estructuras y equipos adyacentes se deja en manos del diseñador de la fundación.

Todas las precauciones necesarias serán tomadas en el diseño para proteger la seguridad del personal directamente expuesto a la construcción.

A menos que se especifique lo contrario, el contratista deberá requerir un especialista en suelo calificado para inspeccionar el terreno de apoyo de la fundación y determinar su adecuación para proporcionar la capacidad de carga requerida.

Tomando en cuenta las consideraciones especificadas anteriormente, la fundación y placa base con su equipo de bombeo deberán ser ubicados tan cerca como sea posible de la fuente de suministro, siempre permitiendo suficiente espacio alrededor del equipo para poder remover la carcasa de la bomba y el rotor de la misma para permitir su inspección y mantenimiento. Además se debe asegurar de tener espacio para permitir

³⁷ NORMA API 686. Capítulo 4. Fundaciones: Diseño de fundaciones

la operación de una grúa o los servicios de izaje. La práctica en la industria indica que el espacio seguro que debe existir a los alrededores de la fundación es de al menos 70cm como se muestra en la Figura 3.

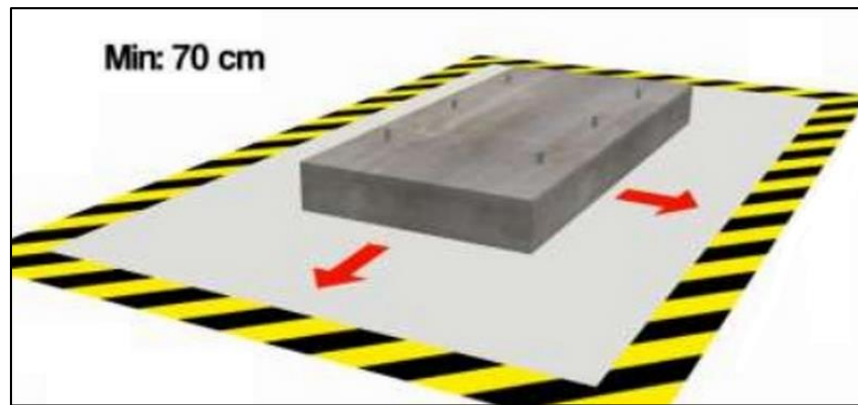


Figura 3 Espacio seguro en los alrededores de la fundación

Fuente:<http://es.slideshare.net/rossiaronescardenas/aplicacion-bomba-1-finalfinal>, PAG 26

Dimensionamiento de los pernos de anclaje

Si se utiliza pernos de anclaje con camisa, *Según la NORMA API 686, Segunda Edición, Capítulo 4: Fundaciones*, el diámetro interior de la camisa será de al menos dos veces el diámetro de los pernos de anclaje. La longitud de la camisa será mayor a 150 mm (6 pulg.) o la longitud suficiente para permitir la elongación adecuada del perno de anclaje durante el apriete. La distancia mínima desde el borde de la manga del perno de anclaje hasta el borde de la fundación será de al menos 150 mm (6 pulg.) o cuatro diámetros de perno de anclaje, la distancia al borde es necesario para transferir las fuerzas de los pernos de anclaje a la fundación de hormigón. Una arandela debe colocarse entre la cabeza del perno y la camisa.

NOTA: Se requieren camisas para perno de anclaje para permitir que una sección del perno sea protegido de la adherencia de hormigón o de lechada. Esta sección del tornillo se mantiene libre de la lechada de hormigón y de esta manera permitir la elongación correcta del perno de anclaje durante el procedimiento de apriete. En general un tramo largo de 10 a 15 diámetros del perno de anclaje es adecuado para el

apriete. La cabeza del perno debe extenderse un mínimo de 5 diámetros de perno por debajo de la parte inferior de la camisa, esto permitirá un espacio adecuado para que el cono de anclaje (sujetador) de concreto desarrolle. También la porción del perno de anclaje por encima de la parte superior de la camisa de la parte inferior de la placa de montaje debe ser protegido de la adherencia de lechada para permitir el "estiramiento" del perno de anclaje. Por lo general, el aislamiento de tuberías de espuma de uretano se utiliza para este propósito.

Todos los agujeros de los pernos de anclaje de la placa base deberán tener un mínimo de 3 mm (1/8 pulg.) de juego (holgura) diametral con los pernos de anclaje para permitir la alineación de campo de las placas de montaje.³⁸

La práctica en la industria indica que para mantener apropiadamente la base en el cimiento, la longitud del perno ya sea este un perno con camisa o un perno en J, este debe extenderse desde dentro del cimiento, de 0.75pulg. a 1.5pulg. (2cm a 3.5cm) pasando por la lechada hasta la altura de la base, otra aproximación para su longitud, se dice que esta será mayor o igual a 20 veces el diámetro del perno de anclaje, y de 0.25pulg. a 0.50pulg. (0.6cm a 1.3cm) arriba de la tuerca, es decir los pernos de anclaje tendrán suficiente proyección por encima de la plataforma para sostener la placa base, todas estas medidas aproximadas se ilustran en la Figura 4. Por otro lado, para tener una aproximación del diámetro que la camisa deberá poseer es que esta deberá ser de 2 a 3 veces el diámetro del perno de anclaje, en cuanto a su longitud esta deberá ser de al menos 10 veces el diámetro de los pernos de anclaje.³⁹

³⁸ Norma API 686 Capítulo 4. Fundaciones: Perno de anclaje y diseño de acero de refuerzo

³⁹ http://www.gouldspumps.com/ittgp/medialibrary/goulds/website/Products/3408-3410/Goulds_3408iom.pdf?ext=.pdf,

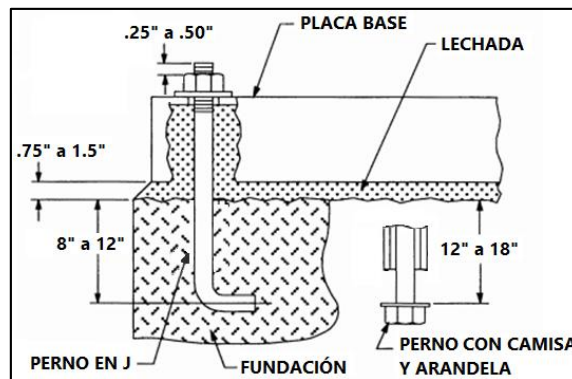


Figura 4. Medidas aproximadas para los pernos de anclaje

Fuente: http://www.gouldspumps.com/ittgp/medialibrary/goulds/website/Products/3408-3410/Goulds_3408iom.pdf?ext=.pdf, pag 14

Por otro lado los pernos de anclaje deberán ir embebidos en la fundación a cierta distancia, es decir, los pernos en J deberán tener una distancia de penetración de al menos 8", mientras que para los pernos en camisa su penetración deberá ser de al menos de 12" para una correcta fijación entre la placa base y la fundación.

Instalación de las varillas de refuerzo y ubicación de los pernos de anclaje

Antes de la colocación del concreto para la fundación, la instalación de varillas de refuerzo serán necesarias para proveer el sustento y soporte para la fundación, además otro factor importante antes de la colocación del concreto será la ubicación de los pernos de anclaje, sus proyecciones y diámetros estarán verificados en campo para que coincida con la ubicación del agujero del perno de anclaje en la placa base, tal como se muestra en la Figura 5. En el caso de que la placa base no esté en el sitio, la ubicación de los pernos de anclaje se verificará con los planos estructurales de la fundación y el fabricante de los planos. Los pernos de anclaje también serán examinados para comprobar que se han instalado a plomo (rígidamente). Si los pernos de anclaje van a estar acompañados de camisas de pernos, dichas camisas deberán estar limpias y secas; y se llenarán de material moldeable y no adherente y a menos que el contratista especifique lo contrario los pernos de anclaje deberán de estar acompañados a más de las camisas también de plantillas para ayudar a la ubicación y fijación de los pernos de anclaje.

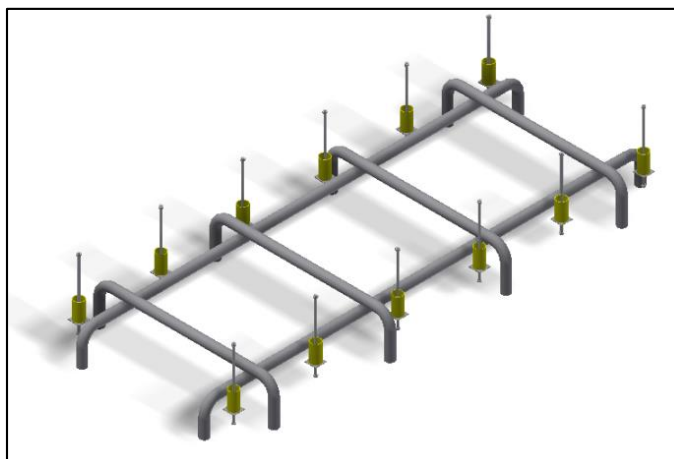


Figura 5 Instalación de las varillas de refuerzo y ubicación de los pernos de anclaje

Fuente: propia

Los pernos de anclaje y las camisas estarán situados a las tolerancias especificadas por el fabricante en los tres planos y firmemente apoyado para evitar la desalineación durante la operación de colocación del concreto.

Los pernos de anclaje no serán reducidos en diámetro ni tampoco rebajados para facilitar la alineación con la placa de montaje.

No se permite la modificación de la placa de montaje para facilitar la alineación, salvo autorización del representante de maquinaria designado.

Se recomienda el uso de una plantilla para ayudar en la colocación de pernos de anclaje. La plantilla ayudará a colocar con precisión los pernos de anclaje y para mantener los pernos de anclaje en su posición correcta (horizontal y vertical) durante el vaciado de concreto.

Preparación de los pernos de anclaje

A continuación se enumeran algunos requerimientos, *Según la NORMA API 686, Segunda Edición, Capítulo 5: Lechado de placas de montaje*, en cuanto a la preparación de los pernos de anclaje.

1. Se deberá asegurar que las plantillas hayan sido utilizadas para la ubicación de los pernos de anclaje si fueron suministradas por el fabricante. En caso de que no hayan sido suministradas, el contratista de montaje debe fabricarlas.

2. Se tendrá que verificar que las camisas de los pernos de anclaje estén limpias y secas; además que estas hayan sido llenadas con material moldeable y no adherente para excluir la lechada de las camisas del perno de anclaje. Este material evitará la acumulación de agua dentro de las camisas de los pernos de anclaje y es lo suficientemente flexible para permitir de ser necesario, un pequeño movimiento de los pernos de anclaje.

NOTA: Las camisas de los pernos de anclaje no están diseñados para asumir realineamientos grandes entre los huecos de la placa base y el perno de anclaje. El movimiento lateral para fines de alineamientos no debe exceder 6.5 mm (1/4 in)

3. La rosca de los pernos de anclaje debe ser cubierta con cinta aislante, espuma aislante de tuberías, u otros materiales que la mantenga limpia y evitar cualquier daño que pueda ocurrir durante la escarificación y el vaciado de la lechada.

La localización, proyección y diámetros de los pernos de anclaje serán verificados con el fin de compararlo con el arreglo de los huecos en la placa base para verificar que coincidan antes del vaciado de la lechada.

4. Se deberá comprobar que todos los agujeros de los pernos de anclaje en la placa de montaje posean un mínimo de 3 mm (1/8 pulg.) de espacio anular para permitir la alineación de campo de las placas de montaje.

5. Todos los pernos de anclaje tendrán una penetración completa por la tuerca de tornillo de anclaje y por lo menos 2 ½ hilos que sobresalgan por encima de la tuerca de tornillo de anclaje.

6. Los pernos de anclaje deberán estar incrustados en el hormigón a una profundidad de ocho (8) a doce (12) pulgadas y bloqueadas con una tuerca y arandela en la parte

inferior si se utilizasen camisas. La arandela deberá tener al menos dos veces el diámetro que la camisa.

7. Los pernos de anclaje no estarán inclinados y deberán estar perpendiculares con respecto a la parte inferior de la placa de montaje, tal como se observa en la Figura 6.

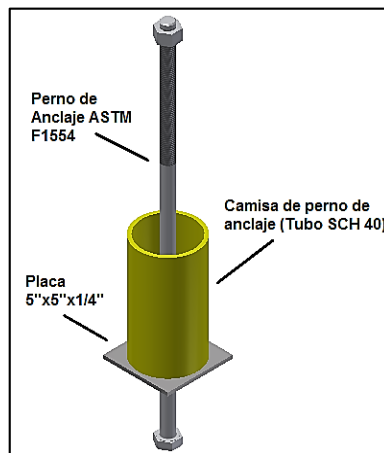


Figura 6. Perno y camisa de anclaje.

Fuente: propia

Vertido y Curado de la fundación

Una vez que están ubicados los pernos de anclaje, las camisas del perno de ser el caso y las varillas de refuerzo para la fundación como se muestra en la Figura GGG, se procederá al vertido continuo para la fundación a menos que sean aprobados de otra manera por el usuario del equipo o si se especifican en los planos de la fundación, para que finalmente se obtenga una estructura de fundación completamente homogénea tal como se observa en la Figura 7.

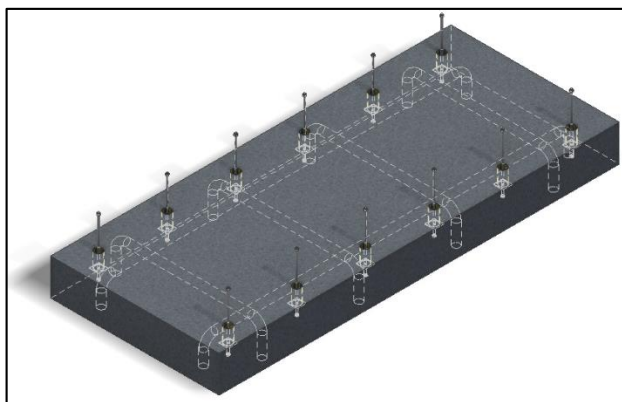


Figura 7. Base fundación con sus respectivas varillas de refuerzo y los pernos de anclaje embebidos

Fuente: propia

Inmediatamente después de la colocación, la fundación será protegida del calor y fríos extremos, así como también de lesiones mecánicas, del secado prematuro (concreto verde) y debe ser curado por un mínimo de siete días (*según NORMA API-310*) antes de la preparación de la lechada. La fundación puede ser expuesta a un periodo de secado para asegurar que los capilares estén libres de humedad y que existirá una adecuada adherencia de la lechada. Además de la *NORMA API-310* se puede consultar las *NORMAS ACI 301* y *ACI 308* para obtener información adicional sobre el curado del hormigón. Toda la fundación deberá tener una resistencia a la compresión mínima de 28 mega pascales (4.000 libras por pulg²) a los 28 días de haber curado, a menos que se especifique lo contrario en los planos de la fundación.

Como se mencionó anteriormente, puede ser necesario suministrar a la fundación una protección contra el clima cuando las condiciones del mismo sean extremas. El viento, el sol, la lluvia y las temperaturas alrededor de la base de fundación pueden tener efectos definitivos en la calidad de la instalación. Durante el clima cálido, la fundación y el equipo de fundación utilizado debe ser cubierto por una carpa para evitar la exposición directa al sol, así como también del rocío, humedad o lluvia, a la lechada de la fundación. En climas fríos, se debe instalar una protección que permita que la fundación quede totalmente cubierta, además se debe instalar una fuente de calor por

convección para elevar la temperatura de la fundación y del equipo de fundación hasta 18°C (65°F) por un mínimo de 48 horas antes y después de aplicar la lechada para unir la fundación y la placa base como un solo cuerpo.⁴⁰

Preparación de la fundación previo al montaje de la placa base

Se recomienda seguir los procedimientos, *Según la NORMA API 686, Segunda Edición, Capítulo 4: Fundaciones, que se enumeran a continuación:*

1. Se debe picar (astillar, escarificar) la parte superior de la fundación un mínimo de 0,50 - 1,0 pulgada (13 - 25 mm) para eliminar el concreto poroso o de poca resistencia de la fundación para proporcionar una superficie de unión para la lechada. Si se va a utilizar un martillo neumático para llevar acabo el astillado de la fundación, se debe asegurar de que no contamine la superficie con aceites o ningún otro elemento húmedo, es por eso que se recomienda preferiblemente el uso de martillos y cinceles, como se observa en la Figura 8.

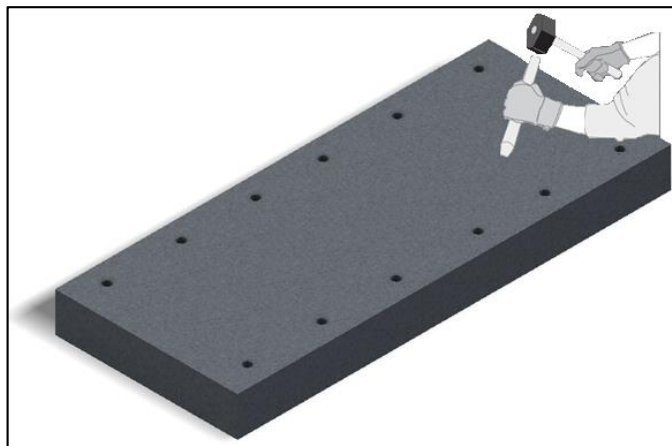


Figura 8 Preparación de la superficie de la fundación.

Fuente: propia

⁴⁰ Norma API 686 Capítulo 4. Fundaciones

NOTA:

- a. No se debe astillar la fundación con herramientas pesadas, como martillos rompedores ya que de hacerlo se puede dañar la integridad estructural de la fundación, además no es aceptable la utilización de pistola de punta, pulidora o chorro de arena para escarificar la base con el objeto de remover la lechada de la fundación.
- b. Cuando el picado de la superficie es completa, la fundación debe ser cepillada a fondo y soplar con aire para dejar la superficie libre de polvo y de aceite.
- c. Se tiene que retirar agua y/o escombros que se encuentren en los agujeros/camisas de los pernos de anclaje.
- d. En caso de que la placa base utilizase pernos de anclaje tipo manga, se debe rellenar estas con un material moldeable para posteriormente sellarlo y así impedir la entrada de lechada.
- e. Se debe cubrir la parte expuesta del tornillo de anclaje con un compuesto que no se adhiera a la lechada, como pasta de cera, ya que de esta manera se evita que la lechada se adhiera a los tornillos de anclaje. No se debe utilizar aceites ni cera líquida.
- f. Si el fabricante de la lechada lo recomienda, se debe recubrir la superficie de la cimentación con un cebador compatible.
- g. La fundación puede ser mojada si se requiere, siempre y cuando esta sea de cemento, por lo que al menos ocho (8) horas antes de la colocación de la lechada hormigón deberá ser humedecida con agua fresca y será mantenida húmeda hasta la colocación de la lechada. El exceso de agua deberá ser eliminada del hormigón justo antes de la colocación de la lechada.

Para la fundación de máquinas donde la lechada se extienda hasta los bordes de su base, esta deberá terminar en chaflán a 45° de 50 mm de lado o a su vez la lechada vertida poseerá este chaflán, como se observa en la Figura 9.

NOTA: El propósito del chaflán, será la de proveer un plano de corte en la interface fundación-lechada para evitar laminación.

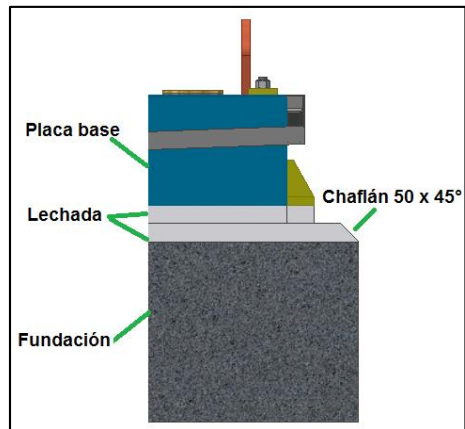


Figura 9. Chaflán de 50 x 45° realizado en la lechada.

Fuente: propia

ANEXO 2. GUIA PARA LA INSTALACION DE LA PLACA BASE

Aquí al igual que la anterior guía, en esta se definen los procedimientos mínimos recomendados para la instalación de placa base de equipos rotatorios sobre fundaciones de concreto.

El objetivo de estas instrucciones es suministrar guías generales para una correcta instalación de la placa base sobre la fundación.

Cualquier pregunta sobre la instalación y preparación de la placa base debe ser dirigida al contratista o encargado del diseño de la placa base antes de proceder con los trabajos.

Hay muchos métodos para instalar unidades de bomba hasta sus cimientos de hormigón reforzado. El método correcto depende del tamaño de la unidad de bombeo, su ubicación y las vibraciones y el ruido que genere el equipo de bombeo. El incumplimiento de la disposición de la fundación e instalación incorrecta puede dar lugar a un fallo de la bomba y su conductor.

A continuación se mencionan las pautas a seguir para la instalación de la placa base:

1. Preparación de la Placa Base antes del montaje sobre la fundación
2. Fijación y Nivelación de la Placa Base sobre la fundación
3. Colocación del marco (formaleta) para la lechada.

Preparación de la Placa Base antes del montaje sobre la fundación

Se debe seguir los procedimientos, *Según la NORMA API 686, Segunda Edición, Capítulo 5: Lechado de placas de montaje*, enumerados a continuación.

1. Se debe verificar que todas las superficies de la placa de base que estarán en contacto con la lechada estén libre de contaminantes es decir que no tengan óxido, aceite ni suciedad. De existir algún contaminante, estos deben ser removidos con un trapo mojado con solvente.

2. Las superficies de la estructura de la placa base debe haber sido preparada y lista para instalar por el fabricante de la máquina, si no es así, estas superficies deben ser preparadas así: La estructura de soporte debe ser limpiada a “casi metal blanco” y remover cualquier óxido o escarcha como se observa en la Figura 10. Se debe tener mucho cuidado para evitar daños en las superficies maquinadas de las estructuras de soporte. Una limpieza final debe ser realizada con un solvente aprobado por la Interventoría. Un solvente con alcohol no debe ser utilizado debido a que este deja residuos de aceite. Todas las superficies a las cuales estarán en contacto con el grout deben ser inmediatamente protegidas con una pintura compatible con el grout a utilizar.

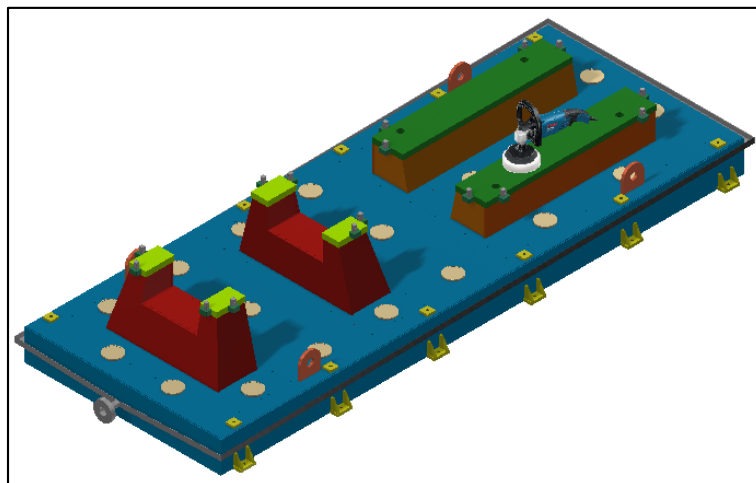


Figura 10. Limpieza de la placa base para remover cualquier óxido o escarcha

Fuente: propia

NOTA:

- a. Es posible que sea necesario realizar una limpieza por chorro de arena las superficies que van a entrar en contacto con el grout y, luego cubrir esas superficies con un cebador compatible con la lechada.
- b. Es importante quitar todos los equipos antes de echar el chorro de arena

- c. Todos los diversos orificios de la placa base (tales como los agujeros del protector para el acoplamiento) deben ser tapados para evitar la entrada de la lechada. Todas las uniones deben ser recubiertas con cera en pasta para evitar la adherencia de la lechada.

CONSIDERACIONES EN EL MONTAJE DE LA PLACA BASE

Un correcto método de instalación de las placas base, da como resultado reducciones en las vibraciones presentes en el equipo de bombeo dando como resultado una larga vida útil de estos elementos. Una vez que la placa base ha sido instalada y fundada con el concreto, ésta estará en la mayoría de los casos entre 20 o 30 años operativos, por tal razón es muy importante hacer una correcta instalación, fijación y nivelación de la placa base. Todo el esfuerzo y el tiempo gastado especificando el equipo de bombeo correcto y el diseño de la placa base puede verse arruinado por una pobre y deficiente técnica de instalación.

Preparación de tornillos de nivelación para la placa base

Se deberá establecer y preparar las almohadillas del tornillo de nivelación de la siguiente manera:

Se deberá asegurar que las almohadillas tengan una dimensión de 3 pulgadas de diámetro, 1/2 pulgada de espesor, de acero 4140 o un tipo de material similar.⁴¹

Se tendrá que hacerles a las almohadillas un arenado a metal blanco y cebar con un recubrimiento epoxi, de ser el caso.

Nota: En el caso de utilizar una masilla epoxi de alta resistencia a la compresión para instalar las almohadillas, esta masilla proporcionará una superficie llamada “zona de golpeo” al 100% en la parte inferior de las almohadillas donde irá asentadas a la fundación y estas a su vez deberán ser niveladas.

⁴¹ Norma API 686 Capítulo 5. : Lechadas de placas de montaje

Las almohadillas serán circulares y sus bordes deberán achaflanarse para reducir las concentraciones de esfuerzos en la lechada, por lo que no se recomienda el uso de almohadillas de nivelación cuadrados.

Se deberá engrasar o cubrir los tornillos de nivelación con cinta adhesiva para facilitar su extracción después de que la lechada haya curado.

Fijación y Nivelación de la Placa Base sobre la fundación

Un correcto método de instalación de las placas base, da como resultado reducciones en las vibraciones presentes en la bomba. Una vez que la placa base ha sido instalada y fundada con concreto, ésta estará en la mayoría de los casos entre 20 o 30 años operativa, por esa razón es muy importante hacer una correcta fijación y nivelación, asegurando superficies coplanares. Todo el esfuerzo y el tiempo gastado especificando la bomba correcta, los materiales, los sellos mecánicos y el diseño de la placa base puede verse arruinado por una pobre y deficiente técnica de instalación

Por lo que, antes del vertido de la lechada, se deberá fijar y nivelar cuidadosamente la placa base, se deberá comenzar colocando los orificios de los pernos de anclaje situados en la placa base con los pernos de anclaje embebidos en la fundación, para que la placa base descansa en la parte superior de la cimentación y además se pueda apoyar en los tornillos de nivelación como el mostrado en la Figura 11.



Figura 11. Tornillo de Nivelación

Fuente: propia

Como se mencionó a más de los pernos de anclaje, también la placa base estará provista de tornillos de nivelación y por ende almohadilla niveladoras, para poder nivelar la placa base según sea necesario, además estos tornillos ayudarán a que la parte inferior de la placa base pueda ubicarse a una altura específica con respecto a la superficie superior de la cimentación para que la lechada fluya sin dificultad alguna, este objetivo también se logra mediante cuñas que al igual que los tornillos ayudarán a nivelar la placa base.

La práctica en la industria indica que la placa base deberá descansar a (20 – 35 mm) por encima de la fundación para permitir un vertido de la lechada adecuado ya que según la *NORMA API RP 868*, recomienda que la parte inferior entre los miembros estructurales de las placas de base debe estar abierta para permitir el paso de la lechada tal como se muestra en la Figura 12 y su respectivo detalle en la Figura 13

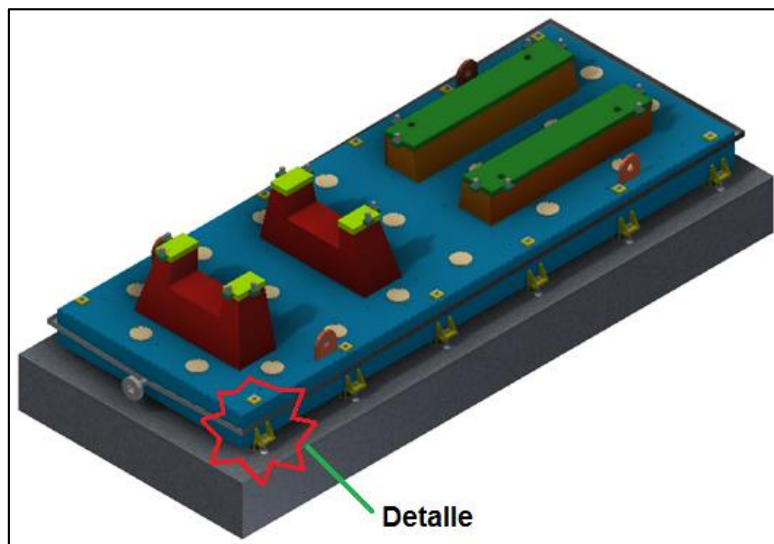


Figura 12. Placa base descansando a una altura por encima de la fundación

Fuente: propia

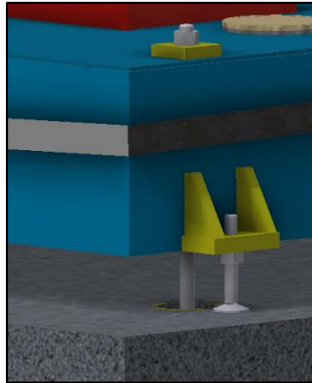


Figura 13. Detalle de la Nivelación de la Placa base

Fuente: propia

Por otra parte, como se mencionó anteriormente, los tornillos de nivelación deberán estar provistos de almohadillas niveladoras (discos de metal circulares) sobre las cuales se apoyarán los tornillos de nivelación, tal como se observa en la Figura 14

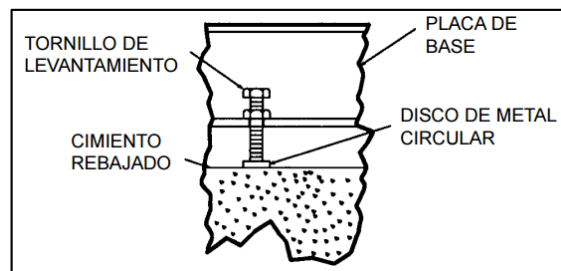


Figura 14. Uso de discos de metal circulares para apoyar los tornillos de nivelación

Fuente: https://gouldspumps.com/ittgp/medialibrary/goulds/website/Literature/Instruction%20and%20Operation%20Manuals/Alphabetical/iANSI_Family-Spanish.pdf?ext=.pdf, PAG 19

Para ubicar las almohadillas niveladoras se puede realizar de dos maneras. La primera es asegurar y nivelar la almohadilla con una masilla epoxi en la fundación, mientras que la segunda simplemente se coloca la almohadilla debajo del perno de nivelación y posteriormente se inicia el procedimiento de nivelación. Se recomienda el uso del primer método para placas base de tamaño considerable para no tener problemas de nivelación posteriores.

Antes del vertido de la lechada, se deberá asegurar que todos los tornillos de nivelación hayan sido adecuadamente cubiertos con cera en pasta o provistos de tubos para excluir la lechada durante el curado de los tornillos, no se permite ceras líquidas y aceites, para que después dichos tornillos sean removidos y posteriormente los orificios dejados por los tornillos sean rellenados por lechada.

Para la nivelación de la placa base la *NORMA API 686, Segunda Edición, Capítulo 5: Lechado de placas de montaje*, presenta algunas pautas a seguir:

Antes de la aplicación de la lechada, se deberá realizar un alineamiento preliminar, para verificar que el espaciamiento del acople y los alineamientos finales pueden ser logrados sin modificar los pernos de nivelación o el pie de la máquina.

Como mínimo, para poder verificar los niveles de la placa de base se lo realizará con un nivel maestro o de precisión mecánica como se observa en la Figura 15. Todas las lecturas del nivel deberán ser registradas en hojas de datos.

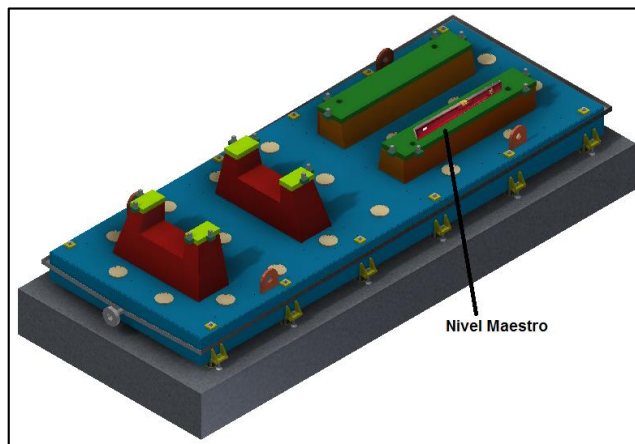


Figura 15. Verificación de los niveles de la placa de base utilizando un nivel maestro

Fuente: Propia

Las superficies de montaje de la placa base para las bombas API deben nivelarse longitudinalmente y transversalmente dentro de 250 micrómetros por metro (0,003 pulg. por pies). Para tomar las medidas sobre las superficies de montaje (maquinadas) de la placa base puede requerir la retirada del equipo para acceder a dichas superficies

NOTA: Este requisito deberá cumplirse previo a la lechada ya que alguna distorsión puede ocurrir durante el curado de la lechada.

El nivel deseado de la placa base se conseguirá ajustando los tornillos de nivelación y luego ajustando (apretando con un mínimo torque de no más de 10% de valor del torque final) la tuerca de perno de anclaje para sujetar la placa de base en su lugar.

Nota: Se recomienda la nivelación placa de base se con la bomba y el motor quitado. La tubería no debe estar unida a la bomba hasta que la placa base se ha nivelada, lechada y finalmente la bomba y el motor alineados correctamente.

Colocación de la formaleta (marco) para la lechada.

Todas las formaletas según la *NORMA API 686, Segunda Edición, Capítulo 5: Lechado de placas de montaje*, para la lechada deberán ser construidas por materiales de adecuada resistencia, por lo general se usa madera de pino, estas deberán ser ancladas de forma segura y hermetizadas mediante el uso de un sellador para prevenir fugas por la cabeza hidrostática del líquido y fuerzas desarrolladas por el vaciado de la lechada, dicha formaleta en caso de poseer cubierta superior deberá poseer agujeros de ventilación tal como se muestra en la Figura 16

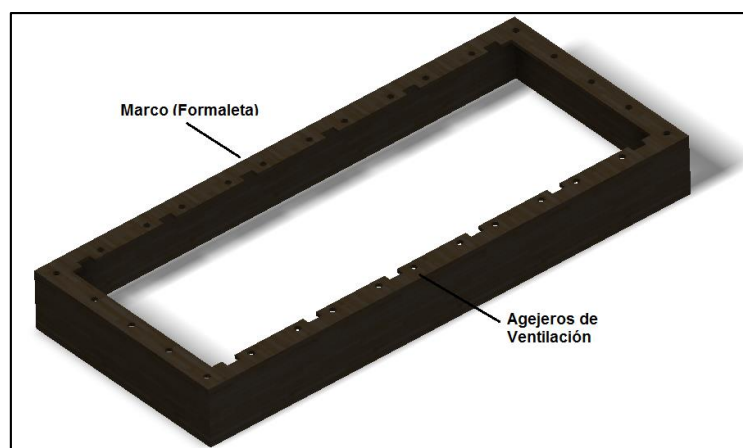


Figura 16. Formaleta de madera con agujeros de ventilación

Fuente: propia

La formaleta deberá ser adjuntada a la fundación o pavimento por medio de anclajes perforados. No se permite el uso de clavos. Además las superficies internas de la formaleta deben tener de dos a tres capas de pasta de cera para impedir la adherencia de la lechada. No se permite el uso de aceite o cera líquida.

NOTA: El encerado de los tableros de la formaleta deberá ser realizado antes de su colocación en la fundación para evitar la contaminación de la superficie de esta que servirá de unión con la lechada. Se recomiendan tres capas de cera en pasta.

La formaleta deberá ser debidamente sellada para prevenir fugas de le lechada. Las fugas de lechada no son auto-sellantes. Para este propósito puede ser utilizado silicona, cemento rápido o caucho vulcanizable a temperatura ambiente. Por otro lado se recomienda que la lechada deber tener un chaflán de 25 mm (1 pulg.) de 45° en todas las esquinas verticales y en la superficie horizontal superior de la lechada.

NOTA: Todos los bordes de chaflán requeridos en la lechada deben ser incorporados en las formaletas, ya que la lechada no se puede ser fácilmente cortada o recortada después del endurecimiento de la misma.

Una vez que se le ha preparado a la formaleta, se la colocará en los alrededores de la fundación previa al vertido de la lechada tal como se muestra en la Figura 17 y 18

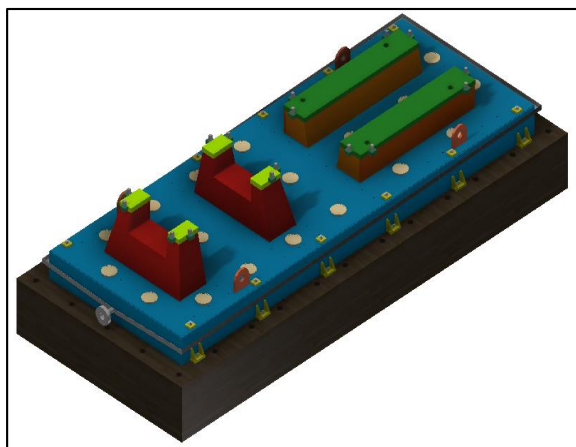


Figura 17. Colocación de la Formaleta

Fuente: Propia

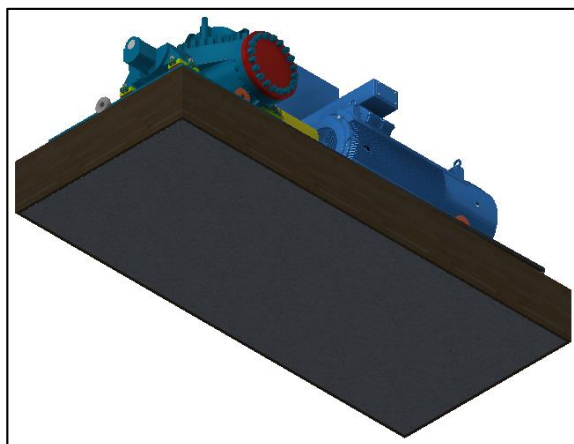


Figura 18. Formaleta asentada desde la fundación

Fuente: Propia

ANEXO 3. GUIA DE VERTIDO DE LA LECHADA

La siguiente información con respecto al vertido de la lechada se ofrece únicamente como una guía general, en esta se desea definir los procedimientos mínimos recomendados para el vertido de la lechada entre la placa base de equipos rotatorios y las fundaciones de concreto.

El objetivo de estas instrucciones es suministrar guías generales para un correcto vertido de la lechada entre la placa base de equipos rotatorios y las fundaciones de concreto.

Cualquier pregunta sobre el vertido de la lechada debe ser dirigida al fabricante de la lechada antes de proceder con los trabajos.

En general, las instrucciones suministradas por el fabricante de la lechada deben seguirse cuidadosamente. Cualquier pregunta relacionada con el diseño de la lechada de la placa de montaje ha de remitirse al representante designado por el usuario antes de proceder.

Existen dos métodos para poder enlechar a una placa base a su fundación, el uno es el método convencional en el cual primero se ubica y se nivela la placa base en la

fundación para que posteriormente se pueda verter la lechada (grout) y un nuevo método que consiste en que la placa base se le enlecha en fábrica y una vez curado la lechada se la transporta para su instalación en la fundación y posterior enlechado de la placa base pre-lechada y su fundación. Este proyecto se centrará en los métodos de vertido de lechada con el método convencional ya que este es el más recomendado para este caso. Si se desea saber más acerca del método de pre-lechado, la *NORMA API 686, Segunda Edición, Capítulo 5: Lechado de placas de montaje*, posee información detallada acerca de este nuevo método.

Los métodos mejorados para la instalación de la placa de base que se describen a continuación, son un extracto de la Norma API 686, los cuales han demostrado una reducción de la vibración de la bomba desde 0,3 hasta 0,4 pulgadas por segundo (ips) por debajo de 0,15 ips.

A continuación se mencionan las pautas a seguir para el vertido tradicional de lechada:

1. Reunión de antes de la lechada
2. Preparativos antes del vertido de la lechada
3. Vertido de la lechada
4. Curado de la lechada
5. Post-curado de la lechada
6. Llenado de vacíos de la lechada

1. Reunión de antes de la lechada

La reunión de antes de la lechada deberá ser realizada al menos un día antes del vaciado de la lechada, para entender y estar de acuerdo con el procedimiento, además para asegurar que todo el material necesario esté disponible y clarificar las responsabilidades. Deberán asistir como mínimo a esta reunión: Un técnico representante del fabricante de la lechada, Interventor, Supervisor de las actividades de la lechada, Ayudantes y obreros, Coordinador de materiales y Supervisor de seguridad.

Deberá quedar claro durante la reunión, que una vez que haya iniciado el vertido de la lechada, esta se deberá llevar hasta la total terminación sin interrupción alguna es por eso que se deben hacer cálculos previos de la lechada necesaria para abastecer el vertido hasta el final.

2. Preparativos antes del vertido de la lechada

El vertido de la lechada debajo de la placa base es sólo una pequeña parte del trabajo de para la lechada. Se requiere mucha preparación antes de que la lechada sea vertida en realidad. Estos preparativos puede hacer la diferencia entre un trabajo de lechada que dure durante toda la vida de la maquinaria, o sólo unos pocos meses o años.

Tomando en cuenta la importancia de los preparativos que se deberá realizar antes del vertido de la lechada, a continuación se enumeran algunos de estos pasos antes del vertido, tomando como referencia la *NORMA API 686, Segunda Edición, Capítulo 5: Lechado de placas de montaje*.

1. Se deberá remover cualquier acumulación de polvo y suciedad con aire limpio, seco y libre de aceite.
2. Se tendrá que revisar que la placa base esté rígidamente instaladas y que las tuercas de los pernos de anclaje estén ajustados antes de la aplicación de la lechada para asegurarse que no pueda flotar fuera de su posición.
3. Antes de la producción de la lechada, tanto los pernos y las camisas de anclaje como la parte inferior de la placa base deberá ser cubierto con un material moldeable (como espuma de aislamiento de tubería) para excluir la lechada, estos procedimientos están detallados en la preparación de los pernos de anclaje y de la placa base antes de la lechada en guías anteriores. La rosca de los pernos debe ser protegida con cinta u otro material.
4. Se deberá revisar la altura de la formaleta de la lechada de modo que la superficie superior de la lechada cumpla con la elevación mostrada en los planos de

construcción. Típicamente, la elevación de la superficie superior de la lechada deberá extenderse hasta la mitad del perfil estructural principal de la placa base.

5. A menos que se especifique otra cosa, el equipo de bombeo deberá ser removido de la base para facilitar la nivelación, especialmente cuando no hay acceso a las superficies para control del nivel y/o cuando sea necesario para proveer un adecuado acceso a los huecos de grout.

NOTA: Ventajas de remover el equipo de bombeo son:

- a. La placa base es fácilmente nivelada ya que se puede utilizar las superficies maquinadas para chequear desniveles sin distorsión de la placa base
- b. Más fácil acceso a los agujeros de lechada
- c. Limpieza debido a la salpicadura de la lechada en el equipo de bombeo no es requerido
- d. Más fácil limpieza de la placa base

6. Se deberá revisar nuevamente la elevación y nivel de la placa base inmediatamente antes del vaciado de la lechada.

7. Se tendrá que asegurar que material de la lechada esté en contenedores limpios, secos y cerrados y que hayan sido almacenados a una temperatura de aproximadamente 21°C (75°F) por un periodo de al menos 48 horas antes de la aplicación de la lechada.

8. Se deberá verificar que la fundación y que la placa base estén dentro del rango de temperatura 18 a 32°C (65 a 90°F)

9. Se deberá poseer un área de trabajo delimitada, en el cual estará todo el equipo necesario para la lechada, como herramientas de limpieza, equipo de mezclado, implementos de seguridad y la suficiente cantidad de lechada a la mano para completar el trabajo en un solo vertido, es por eso que se recomienda un estimado de 15% extra de lechada de lo calculado para el vertido.

3. Vertido de la lechada

Se deberá realizar un chequeo final de la elevación y nivelación de la placa base antes de colocar la lechada.

Para aplicar la lechada, se deberá verter lentamente la lechada en los orificios de lechada de la placa base, preferiblemente se deberá verter desde el centro de la placa de base como se muestra en la Figura 19 y así permitir que la lechada fluya hacia los bordes exteriores, desplazando el aire a través de los orificios de ventilación. Continuar el llenado de la placa base hasta que la lechada se queda sin los orificios de ventilación en el marco de la parte superior de madera en los rebordes la placa base, se deberá cubrir estos orificios de ventilación con cinta adhesiva y continuar llenando la placa base hasta que la lechada intente salir de los orificios de ventilación en la parte superior de la placa base.

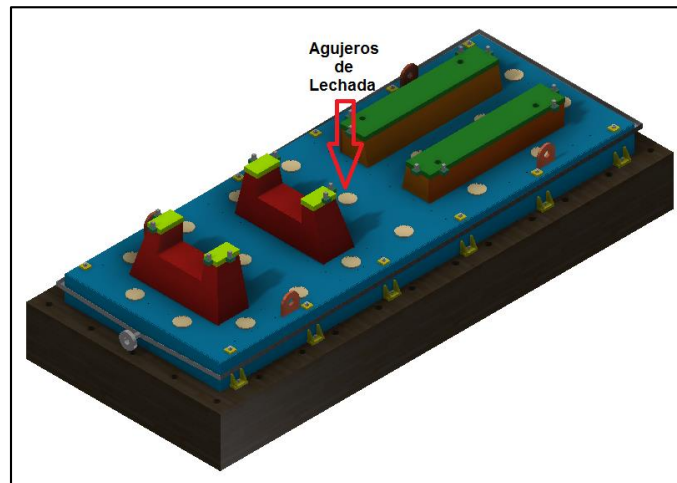


Figura 19. Vertido de la lechada por medio del agujero de lechada ubicada en la placa base

Fuente: propia

No se deberá vibrar la lechada para facilitar el flujo de este, debido a que esto tiende a segregarlo (separación del agregado de la resina). Se deberá limitar el uso de herramientas para ayudar a distribuir la lechada, dando golpes bastante espaciados en vez de muy continuos. Un martillado violento de la lechada no es permitido.

El volumen de la lechada utilizado deberá ser chequeado contra el volumen estimado. Esto es una buena práctica para chequear si quedaron bolsas de aire o no están totalmente llenos todos los espacios.

Se deberá revisar frecuentemente las fugas de lechada. Las fugas no son auto sellantes y si estas no son detenidas, podrán quedar vacíos o perderse el nivel.

4. Curado de la lechada

Tanto para los sistemas de lechada de cemento y epoxi es necesario permitir que la lechada cure completamente antes de realizar cualquier inspección o corrección a las superficies de montaje.

Una vez que la lechada haya asentado lo suficiente, típicamente, tres días después de que la lechada haya sido fundida (esto asegurará que la lechada tenga la suficiente resistencia y dureza), los pernos de nivelación pueden ser retirados tal como se observa en la Figura 20 y su correspondiente detalle en la Figura 21.

Además, se deberá remover cualquier caja de lechada que haya utilizado (las formaletas se utilizan para dar mayor cabeza hidrostática para asegurar que llegue lechada a toda la placa base). No se deberá tapar los huecos de llenado o de venteo a menos que la lechada ya se haya asentado lo suficiente (esto puede causar distorsión de la base debido a la expansión de la lechada).

Nota: Una lechada ha obtenido suficiente dureza cuando un clavo no puede ser metido dentro de la superficie de la lechada.

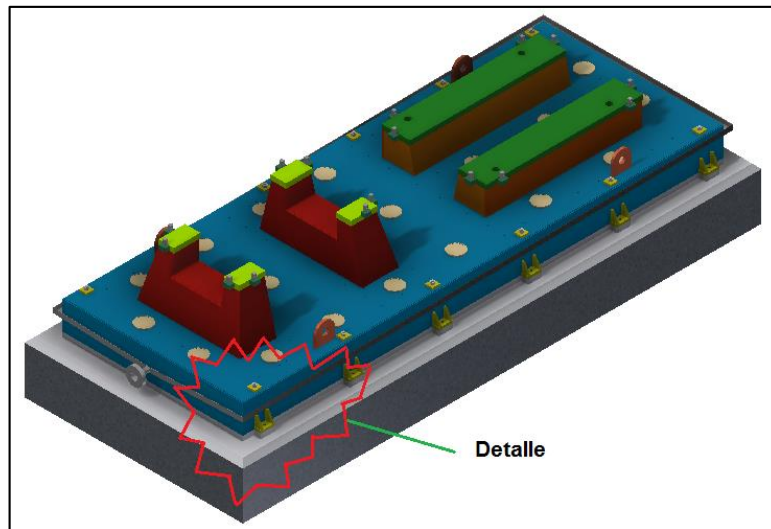


Figura 20. Finalización de curado de la lechada

Fuente: propia

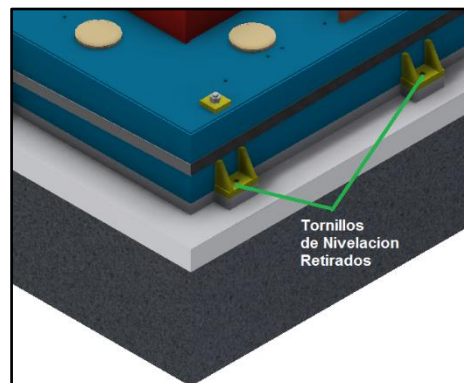


Figura 21. Retiro de los tornillos de nivelación

Fuente: propia

Los huecos de los pernos de nivelación deberán ser llenados con un material flexible (no con lechada) como caucho vulcanizable a temperatura ambiente o con tapones roscados que no se extiendan más allá del hueco roscado de la placa base

La placa base que no queden uniformes y fuera de las tolerancias, deberían ser corregidas. La corrección del nivel podrá incluir el retiro y aplicación de nuevo de una

nueva lechada o el maquinado en campo o taller de las superficies de montaje del equipo.

Se deberá revisar la flexibilidad de la lechada, esto se lo podrá realizar con un micrómetro de deformación magnético colocado sobre la placa base, para tomar datos referenciados a la base de concreto para chequear cualquier movimiento cuando cada perno de anclaje es aflojado y reapretado. El movimiento de la placa base no deberá exceder los 20 micrómetros (0.0008 pulg.)

La totalidad de la parte superior de la fundación deberá ser pintada con una pintura antideslizante compatible con la lechada para protegerla del aceite y del ambiente. Esta capa protectora se deberá extender hacia abajo hasta 45 cm (18 pulg.) de la parte superior de la fundación.

Se tendrá que lubricar abundantemente las roscas de los pernos de anclaje y apretar los pernos de acuerdo a las recomendaciones del fabricante.

Todos los pernos de anclaje, deberán tener penetración total de la tuerca y una proyección de 2-1/2 roscas sobre la tuerca.

Después de que la lechada se haya endurecido minuciosamente (aproximadamente 24 horas), se deberá apretar los pernos de anclaje totalmente, para que finalmente se compruebe la alineación después de que los pernos de anclaje se hayan apretado.

Aproximadamente catorce (14) días después de la lechada se ha vertido y la lechada se haya secado completamente, es recomendable aplicar una pintura a base de aceite a los bordes expuestos de la lechada para evitar que el aire y la humedad entre en contacto con la lechada.

5. Post-curado de la lechada (llenado de vacíos de la lechada)

Después de que lechada haya curado, se tendrá que revisar la existencia de vacíos golpeando a lo largo de parte superior de la placa base. Se deberá marcar las áreas de vacíos para que sea identificado fácilmente para el llenado. Un sonido sólido indica

que un buen llenado por lechada ha sido realizado, mientras un sonido hueco indica un vacío el cual requiere ser llenado.

Las áreas con vacíos deberán ser llenadas mediante perforación de huecos roscados NPT 1/8" en las esquinas opuestas. Un hueco deberá ser tapado por medio de graseras de NPT 1/8", el otro hueco servirá como venteo. La lechada es luego bombeada en cada vacío con una pistola de lechada hasta que esta salga por el otro hueco.

Se tendrá mucho cuidado en el llenado de vacíos debido a que una gran presión dada por la pistola de lechada puede levantar o distorsionar la placa base. Es extremadamente importante que el hueco por donde se vaya a inyectar la lechada y los huecos de ventilación estén comunicados. Una botella de aire comprimido podrá ser utilizada para revisar esta comunicación por medio del soplado de aire por el hueco de inyección y revisar si este sale por el hueco del venteo (no se deberá utilizar aire a alta presión). Se deberá remover todas las facilidades de inyección cuando haya terminado.

Una vez que la lechada de relleno de los vacíos haya fraguado, se deberá revisar nuevamente la existencia de vacíos. Si aún existen vacíos, se debería repetir el procedimiento cuantas veces sea necesario.

Una vez llenado todos los vacíos, se deberá limpiar cualquier salpicado de lechada con un solvente aprobado por el fabricante de lechada.

El conjunto de bombeo se podrá montar después de la placa base ha sido rellena y curada correctamente.

Esta guía fue en la mayor parte un extracto de la *Norma API 686, Segunda Edición*, y se recomienda que todos los vertidos de lechadas sean realizados según las especificaciones establecidas en el *Capítulo 5, Lechado de placas de montaje*, de las *Prácticas Recomendadas de API 686/PIP REIE 686*, ya que como lo mencionan en uno de sus párrafos en la Norma antes mencionada "*Las instalaciones de placa base*

para bombas centrífugas son como los votos matrimoniales, "hasta que la muerte nos separe". Una vez que una placa base se ha lechado, el personal de mantenimiento tendrá que vivir con ella hasta que la unidad sea derribada. En la mayoría de los casos esto sería durante veinte años o más, por lo que conviene instalar la placa base a nivel y con superficies de apoyo coplanares".

ANEXO 4. GUÍA DE IZAJE PARA LA PLACA BASE Y EL EQUIPO DE BOMBEO

En esta guía se definen los procedimientos mínimos recomendados para la izaje del equipo de bombeo por separado, es decir la bomba y su conductor serán transportados independientemente.

El objetivo de estas instrucciones es suministrar guías generales para la transportación del equipo de bombeo tomando como referencia a la *Norma API 686, Capítulo 2, "Montaje y Elevación"* en el cual se proporciona pautas generales para el montaje y levantamiento de equipos por medio de máquinas de transporte, camiones, automotores, etc. sucesivamente, sobre su placa base o una plataforma .

Cualquier pregunta sobre el izaje de los equipos debe ser dirigida a la empresa proveedora tanto de la bomba como del motor antes de proceder con los trabajos.

A continuación se mencionan los pasos recomendadas a seguir para el levantamiento de equipos en general.

1. Planificación previo al izaje
2. Izaje de la maquinaria

1. Planificación previo al izaje

Antes de comenzar con cualquier levantamiento de la maquinaria, se debe hacer una planificación previa de manera que el instalador encargado prevea cualquier inconveniente que se pueda dar durante el izaje de dicha maquinaria, además en este proceso previo se puede recolectar y organizar toda la información necesaria para un correcto levantamiento de la maquinaria.

El instalador será el responsable de la obtención de los siguientes datos previo al izaje:

- i. Peso neto de cada uno de los componentes de la maquinaria y

- ii. Los planos del fabricante que indiquen la ubicación de los puntos de elevación y el centro de la gravedad de la maquinaria.

Además, el instalador será el responsable de:

- i. Preparar un plan de montaje y levantamiento que muestre los puntos de elevación y que incluya las capacidades de carga de las barras de separación (en caso de ser usadas), eslingas, cables, grilletes, ganchos, anillos, y así sucesivamente. Las capacidades de carga se basan en un factor de seguridad mínimo de 1.5. Además se deberá solicitar que las barras separadoras, eslingas, cables, etc., sean inspeccionados en campo justo antes del izaje. Referirse a OSHA 1926.
- ii. Deberá confirmar que todo el equipo este al día con respecto a los permisos e inspecciones.
- iii. Tendrá que confirmar que las losas del suelo sobre el que la grúa será apoyada, estén curadas adecuadamente. Además se deberá confirmar que las fundaciones donde se montará la maquinaria hayan curado y los preparativos de la lechada se han completado.
- iv. Deberá pautar una reunión pre-levantamiento con el usuario y el fabricante (si es necesario) para asegurar que se acordado y comprendido el plan de acción.

Antes de transportar todo el equipo se deberá tener en cuenta lo siguiente:

Se tendrá a disposición bocetos que muestran la ubicación de la instalación para el equipo, en relación al punto inicial de la carga y su punto de instalación final. El dibujo también deberá mostrar la proximidad a estructuras importantes, tuberías, y servicios eléctricos aéreos.

Se deberá coordinar con el personal de control de tráfico en las plantas para los bloqueos de carretera de ser necesario.

En el lugar de instalación se deberá comprobar si hay espacio libre en la parte superior y suficiente radio de giro para facilitar el movimiento de la grúa encargada del izaje.

Si la maquinaria se pretende ubicar en una estructura parcialmente completada, o si los elementos estructurales deben ser removidos para bajar la maquinaria a la estructura, el plan de elevación deberá ser revisado y aprobado por el ingeniero estructural responsable del diseño de la estructura.

2. Izaje de la maquinaria

Una vez que se ha reunido toda la información concerniente al izaje y se ha comprobado algunos requerimientos previos al izaje como por ejemplo el estado de las eslingas, barras separadoras, y la verificación del lugar de la instalación, entre otras, se procederá al levantamiento de los equipos, a continuación se muestra algunas recomendaciones para el izaje:

El instalador deberá verificar que los cables y eslingas estén sujetos sólo en los puntos de elevación destinados.

El instalador mantendrá a los otros subcontratistas y el personal de la planta de trabajo a una distancia segura hasta que la maquinaria se fije en su lugar, este puede ser una fundación o una estructura metálica.

Los puntos de elevación destinados únicamente para el levantamiento de piezas individuales de la maquinaria, no se utilizarán para levantar la maquinaria completa. Los puntos de elevación que se pueden encontrar en los motores, cajas de cambios, etc., pueden ser utilizadas para el levantamiento de las mismas. En caso de duda, consulte con el fabricante.

Lo citado anteriormente es para el izaje de maquinaria en general, pero ya que en este proyecto se trata del izaje tanto del equipo de bombeo y su placa base por separado, a continuación se presentan algunas recomendaciones respecto al levantamiento de estos elementos.

Bomba Centrífuga

Tomando en consideración lo antes mencionado para el izaje de maquinaria en general, a continuación se enumeran algunas recomendaciones para el levantamiento específico para bombas centrífugas de cámara partida, ya que este tipo de bomba es utilizada en el presente proyecto.

1. La capacidad de carga deberá ser adecuada para el peso de la bomba o el conjunto de la bomba.
2. La bomba o el conjunto de la bomba siempre se deberán levantar y transportar en posición horizontal, a menos que el fabricante lo especifique de otra manera.
3. La bomba centrífuga nunca deberá permanecer en una posición elevada por más tiempo de lo necesario.
4. No se utilizará el cáncamo de la bomba para levantar toda la unidad como se observa en la Figura 22, ya que estos puntos de elevación son estrictamente para levantar la carcasa superior de la bomba (la mitad superior de la carcasa) con fines de inspección y mantenimiento, tal como se muestra en la Figura 23

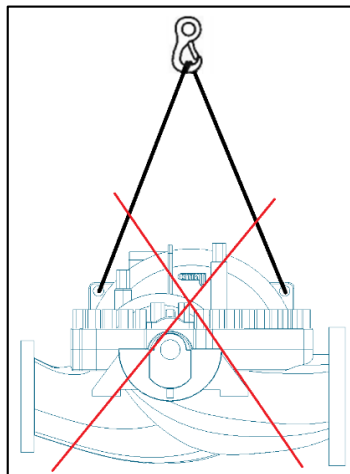


Figura 22. No se permite el uso del cáncamo de la bomba para levantar toda la unidad.

Fuente: propia

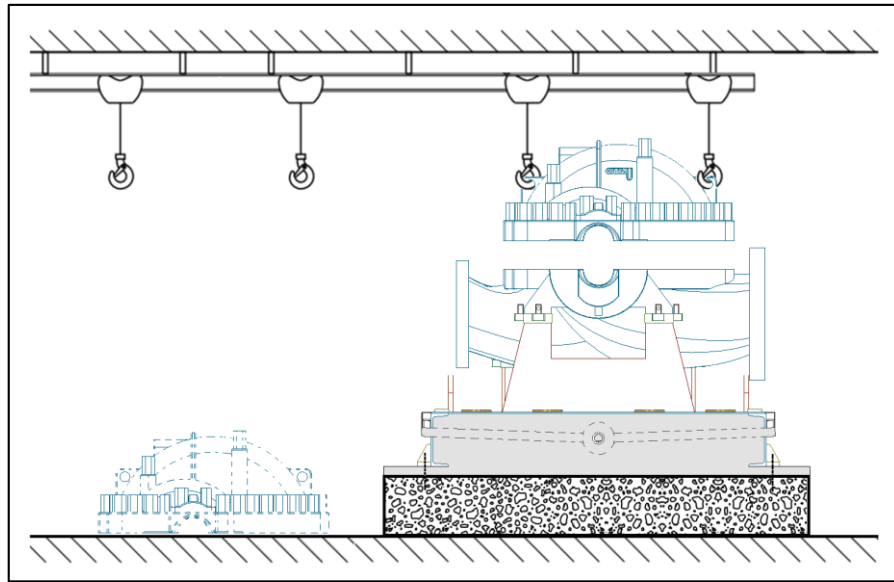


Figura 23. Levantamiento de carcasa superior de la bomba con fines de inspección y mantenimiento

Fuente: propia

Por lo tanto, cuando se levante la bomba, se lo hará usando una eslinga, cadena o cuerda para engancharla alrededor de las dos cajas de cojinetes o en las bridas de succión y descarga de la bomba tal como se observa en la como se ilustra en las Figuras 24.

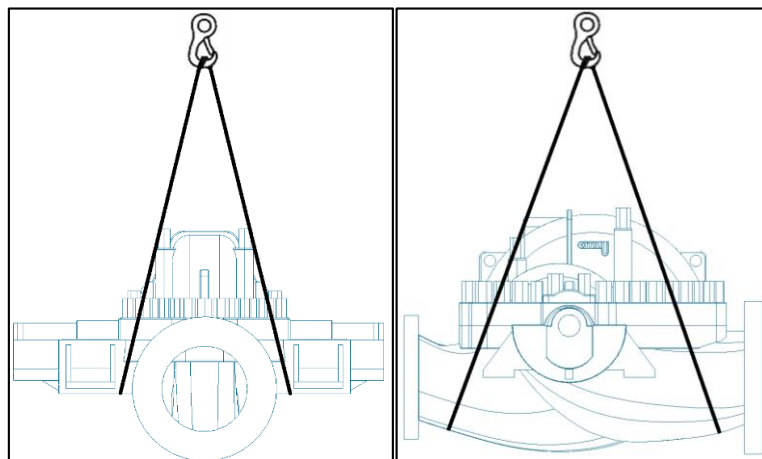


Figura 24. Forma de izaje para trasportación de la bomba

Fuente: Propia

Si la bomba centrífuga va ser transportada de manera vertical dentro de una caja (pedestal), el levantamiento de la bomba será por medio de los puntos de elevación proporcionados en la parte superior del soporte, tal como se observa en la Figura 25.

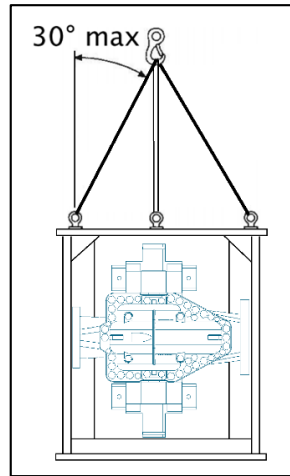


Figura 25. Bomba centrífuga transportada en un pedestal.

Fuente: propia

Motor Eléctrico

Al igual que para el izaje de bombas centrífugas, para el levantamiento del motor se toma en consideración lo antes descrito para el izaje de maquinaria en general, por lo que tomando en cuenta lo anteriormente dicho, a continuación se enumeran algunas recomendaciones para el levantamiento específico del motor eléctrico.

1. La capacidad de carga deberá ser adecuada para el peso del motor
2. El motor se deberá levantar y transportar en posición horizontal, a menos que el fabricante lo especifique de otra manera. Además el motor nunca deberá permanecer en una posición elevada por más tiempo de lo necesario.
3. A diferencia de las bombas centrífugas los cáncamos provistos en el motor serán utilizados para levantar toda la unidad como se observa en la Figura 26, ya que estos puntos de elevación están destinados para levantar a todo el motor.

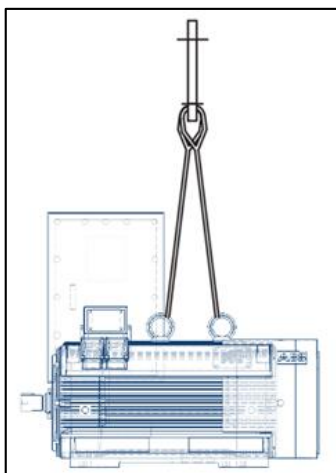


Figura 26. Cáncamos provistos en el motor utilizados para levantar

Fuente: propia

Además del método anterior para levantar el motor, existen otras dos formas recomendadas tal como se muestran en la Figura 26. En el caso de la Figura 27, para el izaje del motor, se proporciona una base de madera ubicada en la parte inferior, y está sujeta a los pies del motor, esto permitirá evitar cualquier daño a los pies del motor debido al transporte.

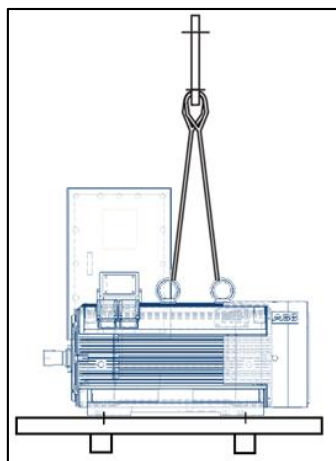


Figura 27. Izaje de la bomba con una base de madera ubicada en la parte inferior.

Fuente: propia

Un último tipo de izaje para los motores al igual que en el levantamiento de la bomba, el motor puede ser izado dentro de una caja de madera y levantado por eslingas ubicadas en la caja o por eslingas ubicadas en el propio motor, tal como se muestra en la Figura 28.

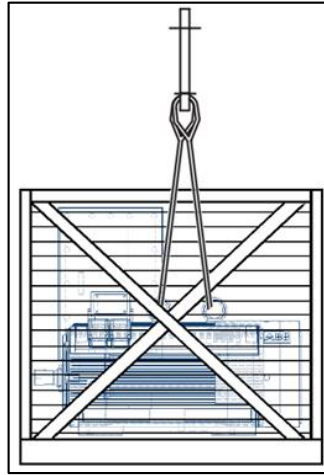


Figura 28. Motor izado cubierto en una caja de madera

Fuente: propia

Placa Base

El izaje de la placa base sigue las pautas recomendadas en la API 686 descrito para el izaje de maquinaria en general y la experiencia de la industria, por lo que tomando en cuenta lo anteriormente dicho, a continuación se enumeran algunas recomendaciones para el levantamiento de la placa base

1. La capacidad de carga deberá ser adecuada para el peso de la placa base
2. La placa base se deberá levantar y transportar en posición horizontal, a menos que el fabricante lo especifique de otra manera.
3. La placa base nunca deberá permanecer en una posición elevada por más tiempo de lo necesario. Además solamente se utilizarán los puntos de elevación (conocidos como orejas de izaje) ubicados en la placa base como se observa

en la Figura 29. No se debe utilizar la maquinaria montada como un punto de elevación a menos que sea aprobado por el fabricante.

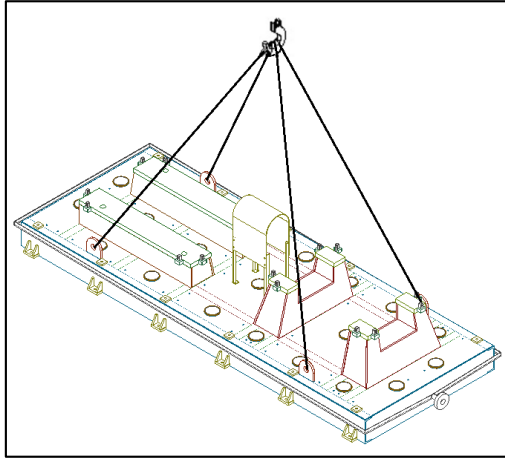


Figura 29. Levantamiento de la placa base desde las orejas de izaje sin equipo de bombeo montado.

Fuente: propia

4. Cuando la longitud de la placa base es superior a 100 pulgadas, como la mostrada en la Figura 30, puede no ser seguro levantarla si está soportando a la bomba y su conductor, por lo que no se recomienda izar a la placa base con el equipo de bombeo montado sobre ella, ya que pueden producir daños.

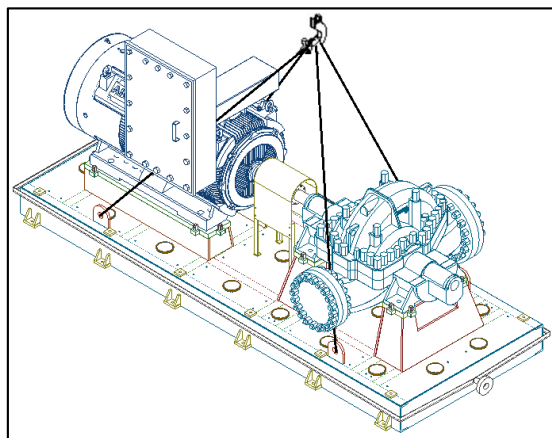


Figura 30. Placa base con longitud aproximada de 205 pulg.

Fuente: propia

Advertencias para Izamiento tanto para bombas, motores y placa base

- ▶ Está terminantemente prohibido pararse debajo o cerca de una carga elevada, mantenerse alejado de las cargas suspendidas.
- ▶ Respetar las normas de prevención de accidentes vigentes.
- ▶ Asegurarse de que la unidad no puede rodar o caer y lesionar a personas o causar daños a la propiedad.
- ▶ Se debe asegurar el uso de métodos de elevación adecuados y calzados con puntas de acero en todo momento por parte del personal involucrado en el izaje.

ANEXO 5. CÁLCULO DE TENSIONES EN LAS CUERDAS DE IZAJE

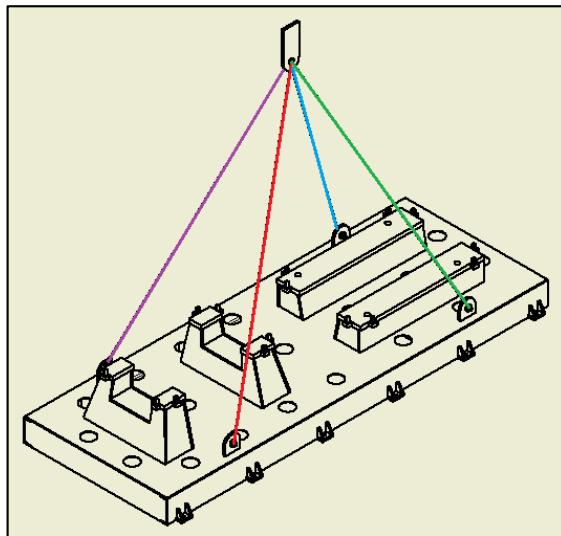


Figura 31. Cuerdas ancladas a cada punto de las orejas de izaje

Fuente: Propia

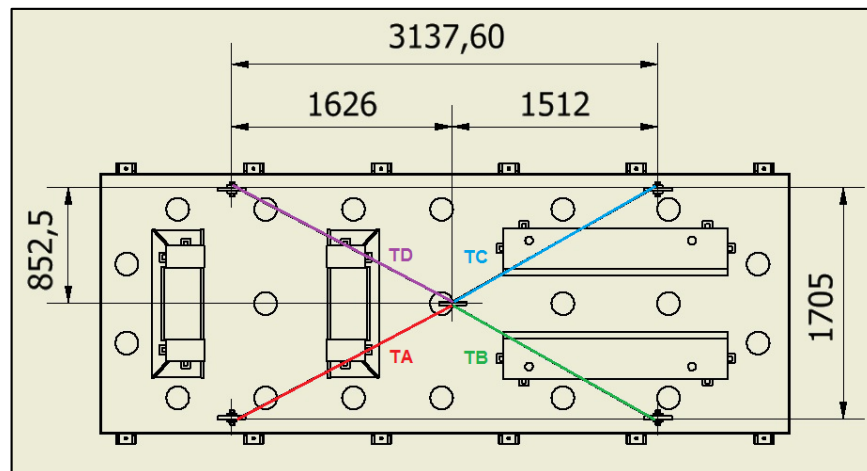


Figura 32. Distancia entre cada punto de las orejas de izaje con respecto al centro de gravedad de la placa base

Fuente: Propia

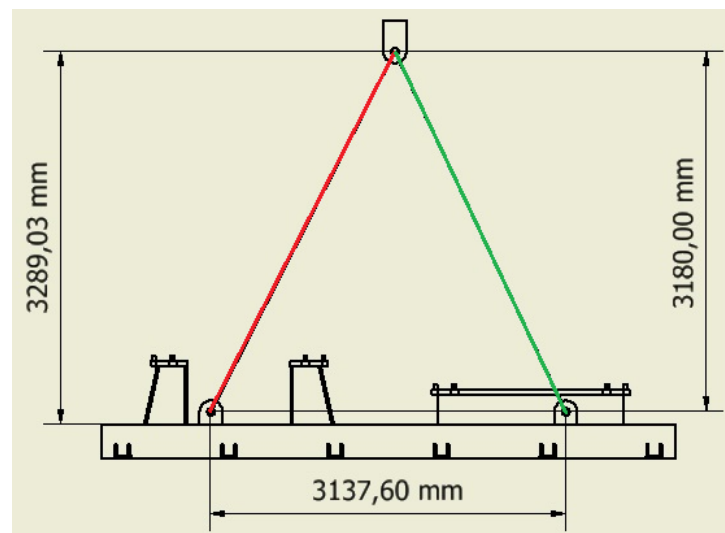


Figura 33. Distancia entre las orejas de izaje con respecto al punto de elevación superior

Fuente: Propia

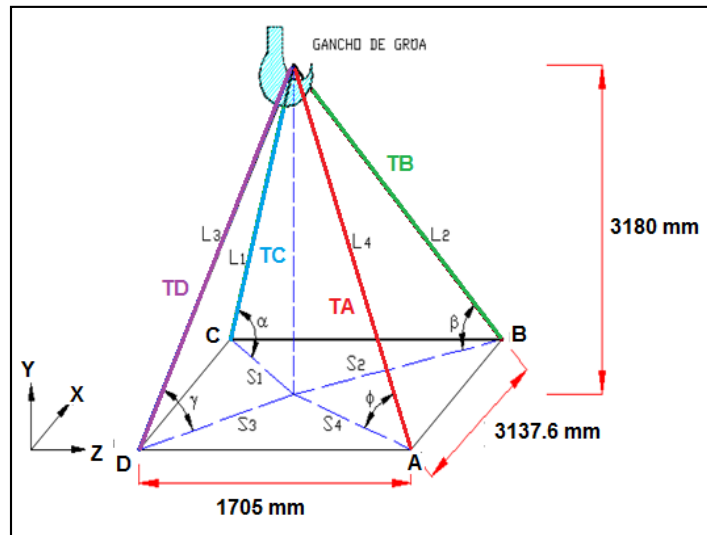


Figura 34. Nomenclatura de las diferentes distancias que existen en las orejas de izaje

Fuente: Propia

- **CALCULO DE LA TENSIÓN EN LA CUERDA A**

Para el cálculo de las tensiones en la cuerda A, se descomponen vectorialmente y resultan las siguientes ecuaciones:

$$T_{Ay} = \frac{\sqrt{3}}{2} T_A$$

$$T_{Ax} = -0,4415 T_A$$

$$T_{Az} = -0,2347 T_A$$

- **CALCULO DE LA TENSIÓN EN LA CUERDA B**

Para el cálculo de las tensiones en la cuerda A, se descomponen vectorialmente y resultan las siguientes ecuaciones:

$$T_{By} = 0,8746 T_B$$

$$T_{bx} = -0,4281 T_A$$

$$T_{Bz} = -0,2276 T_B$$

- **CÁLCULO DE LA TENSIÓN EN LA CUERDA C**

La tensión en la cuerda en C, tienen las mismas magnitudes que las tensiones en B, pero distintas direcciones, ya que tienen las mismas dimensiones en las cuerdas.

$$T_{Cy} = 0,8746 T_C$$

$$T_{Cx} = 0,4281 T_C$$

$$T_{Cz} = 0,2276 T_C$$

- **CÁLCULO DE LA TENSIÓN EN LA CUERDA D**

La tensión en la cuerda en D, tienen las mismas magnitudes que las tensiones en A pero distintas direcciones, ya que tienen las mismas dimensiones en las cuerdas.

$$T_{Dy} = \frac{\sqrt{3}}{2} T_D$$

$$T_{Dx} = -0,4415 T_D$$

$$T_{Dz} = 0,2347 T_D$$

Se realizan sumatoria de fuerzas en cada dirección, obteniéndose los siguientes resultados:

$$\sum F_x = 0$$

$$(1) -0,4415 T_A + 0,4281 T_B + 0,4281 T_C - 0,4415 T_D = 0$$

$$\sum F_y = 0$$

$$(2) 0,8660 T_A + 0,8746 T_B + 0,8746 T_C + 0,8660 T_D = 31360 [N]$$

$$\sum F_z = 0$$

$$(3) -0,2347 T_A - 0,2276 T_B + 0,2276 T_C + 0,2347 T_D = 0$$

Para obtener la cuarta ecuación y poder resolver es sistema de ecuaciones se realiza la sumatoria de momentos respecto al centro de gravedad de la plataforma. Resultando la siguiente ecuación:

$$\sum M_o = 0$$

$$(4) 2,3479 T_A - 1,4968 T_B - 0,8088 T_C + 0,8319 T_D = 0$$

Se obtiene un sistema de 4 x 4

$$1) -0,4415 T_A + 0,4281 T_B + 0,4281 T_C - 0,4415 T_D = 0$$

$$2) 0,8660 T_A + 0,8746 T_B + 0,8746 T_C + 0,8660 T_D = 31360 [N]$$

$$3) -0,2347 T_A - 0,2276 T_B + 0,2276 T_C + 0,2347 T_D = 0$$

$$4) 2,3479 T_A - 1,4968 T_B - 0,8088 T_C + 0,8319 T_D = 0$$

Resolviendo el sistema de ecuaciones las tensiones en las cuerdas son:

$$**T_A = 575,08 Kg**$$

$$**T_B = 1261,38 Kg**$$

$$**T_C = 593,11 Kg**$$

$$**T_D = 1223,13 Kg**$$

ANEXO 6. DIMENSIONES ESTADAR DE PLACAS BASE

	No. AGUJEROS POR LADO	DIMENSIONES (mm/pulg)					
		A	B	C	D	E	F
		±13 (0,5)	±25 (1,0)	±3 (0,12)	±3 (0,12)	±3 (0,12)	±13 (0,5)
0,5	3	760 (3,0)	1230 (48,5)	465 (18,25)	465 (18,25)	685 (27,0)	140 (5,5)
1	3	760 (30,0)	1535 (60,5)	615 (24,25)	615 (24,25)	685 (27,0)	140 (5,5)
1,5	3	760 (30,0)	1840 (72,5)	770 (30,25)	770 (30,25)	685 (27,0)	140 (5,5)
2	4	760 (30,0)	2145 (84,5)	920 (36,25)	615 (24,16)	685 (27,0)	140 (5,5)
2,5	3	915 (36,0)	1535 (60,5)	615 (24,25)	615 (24,25)	840 (33,0)	140 (5,5)
3	3	915 (36,0)	1840 (72,5)	770 (30,25)	770 (30,25)	840 (33,0)	140 (5,5)
3,5	4	915 (36,0)	2145 (84,5)	920 (36,25)	615 (24,16)	840 (33,0)	140 (5,5)
4	4	915 (36,0)	2450 (96,5)	1075 (42,25)	715 (28,16)	840 (33,0)	140 (5,5)
5	3	1065 (42,0)	1840 (72,5)	770 (30,25)	770 (30,25)	990 (39,0)	165 (6,5)
5,5	4	1065 (42,0)	2145 (84,5)	920 (36,25)	615 (24,16)	990 (39,0)	165 (6,5)
6	4	1065 (42,0)	2450 (96,5)	1075 (42,25)	715 (28,16)	990 (39,0)	165 (6,5)
6,5	5	1065 (42,0)	2755 (108,5)	1225 (48,25)	615 (24,12)	990 (39,0)	165 (6,5)
7	4	1245 (49,0)	2145 (84,5)	920 (36,25)	615 (24,16)	1170 (46,0)	165 (6,5)
7,5	4	1245 (49,0)	2450 (96,5)	1075 (42,25)	715 (28,16)	1170 (46,0)	165 (6,5)
8	5	1245 (49,0)	2755 (108,5)	1225 (48,25)	615 (24,12)	1170 (46,0)	165 (6,5)
9	4	1395 (55,0)	2145 (84,5)	920 (36,25)	615 (24,16)	1320 (52,0)	165 (6,5)
9,5	4	1395 (55,0)	2450 (96,5)	1075 (42,25)	715 (28,16)	1320 (52,0)	165 (6,5)
10	5	1395 (55,0)	2755 (108,5)	1225 (48,25)	615 (24,12)	1320 (52,0)	165 (6,5)
11	4	1550 (61,0)	2145 (84,5)	920 (36,25)	615 (24,16)	1475 (58,0)	165 (6,5)
11,5	4	1550 (61,0)	2450 (96,5)	1075 (42,25)	715 (28,16)	1475 (58,0)	165 (6,5)
12	5	1550 (61,0)	2755 (108,5)	1225 (48,25)	615 (24,12)	1475 (58,0)	165 (6,5)

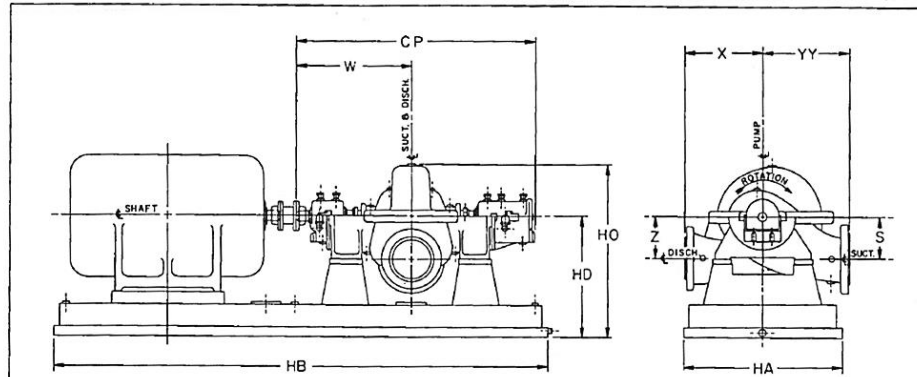
Nota: Ver Figuras G-1 y G-2 para interpretación de dimensiones.

Tabla D-1. Dimensiones estándar de bases.

ANEXO 7. TAMAÑO DE LAS BOQUILLAS DE SUCCIÓN Y DESCARGA DE LA BOMBA DVS J - 14X25

2800-14.02 APRIL 25, 1975

NEW ISSUE



APPROXIMATE DIMENSIONS
IN INCHES

PUMP SIZE	BEARING DESIGN	FLANGE SIZE		ROTATING ELEMENT	APPROXIMATE WEIGHT IN LB				CP	W	X	YY	S	Z	HD	HO	HA	HB
		SUCT.	DISCH.		UPPER HALF CASE	PUMP LESS BASE	PUMP WITH BASE UNDER PUMP ONLY	PUMP WITH FULL BASE										
F-14x19 DVS P-14x22 DVS	SLEEVE	14	14	19'-430	1045	7000	8250	9500	80 1/8	39 7/8	25	28	14	14	36	53	46	170
E-14x17 DVS	SLEEVE	16	14	485	1375	7600	9100	10,600	79 3/4	38 3/8	32	30	12 13/16	12 13/16	40	59	52	170
H-14x19 DVS N-14x19 DVS T-14x19 DVS	SLEEVE	16	14	610	1700	8500	10,000	11,500	79 3/4	38 3/8	32	32	12 13/16	12 13/16	40	59	52	170
A-14x23 DVS E-14x23 DVS D-14x23 DVS L-14x23 DVS P-14x23 DVS T-14x23 DVS	SLEEVE	16	16	615	1940	8100	10,300	12,500	84 1/8	41 7/8	32	35	10	10	40	59	52	180
A-14x24 DVS D-14x24 DVS J-14x24 DVS	SLEEVE	16	14	615	1940	8100	10,300	12,500	85 3/4	43 1/2	32	35	10	10	40	59	52	180
J-14x25 DVS P-14x25 DVS	SLEEVE	16	14	770	2040	8700	10,900	13,100	85 3/4	43 1/2	32	37	10	10	40	59	52	180
C-14x28 DVS H-14x28 DVS J-14x28 DVS	SLEEVE	20	20	900	1625	9000	10,000	11,300	73 7/8	36 1/2	36	40	21	21	47	68	52	175
E-20x21 DVS E-20x21 HDVS	SLEEVE	20	20	650	1235 1875	6225 9125	7725 10,625	9225 12,125	76 7/8	37 7/8	25	32	16	16	40	58	59	180
L-20x24 DVS M-20x24 DVS R-20x24 DVS	SLEEVE	20	20	1200	1300	7600	9100	11,500	76 7/8	37 7/8	25	32	16	16	44	63	66	186
K-24x27 DVS V-24x27 DVS	SLEEVE	24	24	1200	2800	12,000	14,600	17,200	81 3/8	40 1/8	36	45	25	25	53 1/2	82 1/2	66	186
A-24x27 DVS-F H-24x27 DVS-F	SLEEVE	20	20	1200	2800	12,000	14,600	17,200	81 3/8	40 1/8	36	45	25	25	53 1/2	82 1/2	66	186
J-24x29 DVS K-24x29 DVS P-24x29 DVS V-24x29 DVS	SLEEVE	24	24	1910	2500	11,700	14,500	17,000	86 5/8	43 1/8	36	42	22 1/2	22 1/2	51	76	66	186
B-24x29 DVS-F	SLEEVE	20	20	1910	2550	12,000	14,800	17,500	86 3/8	43 1/8	36	42	22 1/2	22 1/2	51	76	66	186
L-24x36 DVS M-24x36 DVS	SLEEVE	30	30	1950	4400	22,000	27,000	32,000	105 1/2	54	48	52	30	30	65	94	64	210
H-30x29 DVS K-30x29 DVS L-30x29 DVS	SLEEVE	30	30	1910	2660	13,000	15,700	18,500	86 5/8	43 1/8	48 1/2	47 1/2	22 1/2	22 1/2	51	76 1/4	66	186

* ROTATION IS CCW VIEWED FROM COUPLING END — CW ROTATION OPTIONAL

OUTLINE DRAWING
TYPE "DVS" PUMPS
UNITED CENTRIFUGAL PUMPS
SAN JOSE, CALIFORNIA
PC-9703-S

WAW



FEB 25, 1975

ANEXO 8. FUERZAS Y MOMENTOS EN LAS BOQUILLAS DE SUCCIÓN Y DESCARGA SEGÚN LA NORMA API 610

FUERZA Y MOMENTO	DIAMETRO NOMINAL DE BOQUILLAS BRIDADAS mm / (pulg)								
	≤ 50 / ≤ (2)	80 / (3)	100 / (4)	150 / (6)	200 / (8)	250 / (10)	300 / (12)	350 / (14)	400 / (16)
Fuerzas N (lbf)									
Cada boquillas superior									
F _X	710 (160)	1070 (240)	1420 (320)	2490 (560)	3780 (850)	5340 (1200)	6670 (1500)	7120 (1600)	8450 (1900)
F _Y	580 (130)	890 (200)	1160 (260)	2050 (460)	3110 (700)	4450 (1000)	5340 (1200)	5780 (1300)	6670 (1500)
F _Z	890 (200)	1330 (300)	1780 (400)	3110 (700)	4890 (1100)	6670 (1500)	8000 (1800)	8900 (2000)	10230 (2300)
F _R	1280 (290)	1930 (430)	2560 (570)	4480 (1010)	6920 (1560)	9630 (2200)	11700 (2600)	12780 (2900)	14850 (3300)
Cada boquillas lateral									
F _X	710 (160)	1070 (240)	1420 (320)	2490 (560)	3780 (850)	5340 (1200)	6670 (1500)	7120 (1600)	8450 (1900)
F _Y	890 (200)	1330 (300)	1780 (400)	3110 (700)	4890 (1100)	6670 (1500)	8000 (1800)	8900 (2000)	10230 (2300)
F _Z	580 (130)	890 (200)	1160 (260)	2050 (460)	3110 (700)	4450 (1000)	5340 (1200)	5780 (1300)	6670 (1500)
F _R	1280 (290)	1930 (430)	2560 (570)	4480 (1010)	6920 (1560)	9630 (2200)	11700 (2600)	12780 (2900)	14850 (3300)
Cada boquilla en el extremo									
F _X	890 (200)	1330 (300)	1780 (400)	3110 (700)	4890 (1100)	6670 (1500)	8000 (1800)	8900 (2000)	10230 (2300)
F _Y	710 (160)	1070 (240)	1420 (320)	2490 (560)	3780 (850)	5340 (1200)	6670 (1500)	7120 (1600)	8450 (1900)
F _Z	580 (130)	890 (200)	1160 (260)	2050 (460)	3110 (700)	4450 (1000)	5340 (1200)	5780 (1300)	6670 (1500)
F _R	1280 (290)	1930 (430)	2560 (570)	4480 (1010)	6920 (1560)	9630 (2200)	11700 (2600)	12780 (2900)	14850 (3300)
Momentos N.m (lbf-pie)									
Cada boquilla									
M _X	460 (340)	950 (700)	1330 (980)	2300 (1700)	3530 (2600)	5020 (3700)	6100 (4500)	6370 (4700)	7320 (5400)
M _Y	230 (170)	470 (350)	680 (500)	1180 (870)	1760 (1300)	2440 (1800)	2980 (2200)	3120 (2300)	3660 (2700)
M _Z	350 (260)	720 (530)	1000 (740)	1760 (1300)	2580 (1900)	3800 (2800)	4610 (3400)	4750 (3500)	5420 (4000)
M _R	620 (460)	1280 (950)	1800 (1330)	3130 (2310)	4710 (3500)	6750 (5000)	8210 (6100)	8540 (6300)	9820 (7200)
Notas:									
1. Para orientación de cargas en boquillas ver la Figura 4.1.									
2. Cada valor mostrado en la tabla indica el valor absoluto, es decir, el rango desde su valor negativo hasta su valor positivo: por ejemplo 160 indica un rango desde -60 hasta + 60.									

ANEXO 9. WPS

ANEXO 10. CATÁLOGOS

ANEXO 11. PLANOS