



---

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



FACULTAD DE INGENIERÍA

“INGENIERÍA BÁSICA DE ESTRUCTURAS PRINCIPALES PARA  
PLANTAS GEOTERMOELÉCTRICAS”

INFORME ESCRITO

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL

PRESENTA:

MAURICIO ANAYA URBAN

ASESOR:

M. en I. MIGUEL ÁNGEL RODRÍGUEZ VEGA

Ciudad Universitaria, México, D.F., 2016



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CIVIL Y GEOMÁTICA  
COMITÉ DE TITULACIÓN  
FING/DICyG/SEAC/UTIT/124/15

Señor  
MAURICIO ANAYA URBAN  
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento que ha sido aprobado el tema que usted propuso, mismo que será asesorado por el profesor M.I. MIGUEL ÁNGEL RODRÍGUEZ VEGA para ser desarrollado como informe escrito, conforme a la opción VI. "Titulación mediante trabajo profesional" para obtener su título de INGENIERO CIVIL.

**"INGENIERÍA BÁSICA DE ESTRUCTURAS PRINCIPALES PARA PLANTAS GEOTERMOELÉCTRICAS"**

- INTRODUCCIÓN
- I. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA
- II. OBJETIVO
- III. DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES DE TRABAJO
- IV. MARCO TEÓRICO
- V. DEFINICIÓN DEL CONTEXTO DE PARTICIPACIÓN PROFESIONAL
- VI. DESCRIPCIÓN DE LA PARTICIPACIÓN EN LA EMPRESA
- VII. METODOLOGÍA UTILIZADA
- VIII. RESULTADOS
- IX. CONCLUSIONES
- BIBLIOGRAFÍA
- ANEXOS

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"  
Cd. Universitaria a 9 de diciembre del 2015.  
EL PRESIDENTE

M.I. GERMÁN LÓPEZ RINCÓN

GLR/MTH\*gar

*“Cuando una persona desea realmente algo, el Universo entero conspira para que pueda realizar su sueño. Basta con aprender a escuchar los dictados del corazón a descifrar el lenguaje que está más allá de las palabras, el que muestra aquello que los ojos no pueden ver”.*

*(El Alquimista-Paulo Coelho)*

## INFORME ESCRITO

---

### Dedicatorias y agradecimientos

*Esta etapa no fue fácil para mi familia y para mí, sin embargo la realicé con el mismo gran esfuerzo que ellos hicieron por mí.*

*Agradezco de manera profunda y sincera a mis padres de quienes tuve apoyo incondicional en cada etapa de mi educación y muy en especial en la etapa universitaria.*

*Agradezco a José Luis García Guzmán por su valioso y oportuno apoyo tanto académico como moral, tus enseñanzas fueron y son de gran ayuda.*

*A mis amigos en general, en ocasiones una broma, su compañía o apoyo académico fueron de gran ayuda para no desistir o bajar la guardia.*

*A todas aquellas personas que a lo largo de este camino con el más mínimo gesto de apoyo hicieron posible que pudiera continuar y demostrarles que no fue en vano lo realizado.*

*A ENAL por darme la oportunidad laborar en sus instalaciones, y en especial al M. en I. Isaías Hernández Carrillo y al Ing. José Roberto Rodríguez Marian por sus consejos.*

## INFORME ESCRITO

---

*Mi más noble agradecimiento a la Universidad Nacional Autónoma de México y la Facultad de Ingeniería por brindarme la valiosa oportunidad de estudiar en sus aulas.*

*Al Instituto de Ingeniería de la UNAM el cual me apoyo para la realización de mi servicio social y en cuyas instalaciones me llevé valiosas aportaciones.*

*A cada uno de mis profesores de quienes traté de aprovechar los conocimientos proporcionados en cada una de sus clases y en especial al M. en I. Agustín Deméneghi Colina por su dedicación, confianza y su enorme calidad humana.*

*Así mismo agradezco al M. en I. Miguel Ángel Rodríguez Vega quien me asesoró de manera muy entusiasta en este trabajo.*

*A la M. en I. Leda Speziale San Vicente quien fungió como tutora y me brindó su gran apoyo moral y académico al inicio y durante la carrera.*

*Quiero agradecer a profesores como el Fis. Pedro Ramírez Manny, el Fis. Juan Velázquez Torres, el Dr. Mauro Pompeyo Niño Lázaro, el M. en I. Ricardo Rubén Padilla Velázquez, el Ing. Alfonso Morales García, el Dr. Enrique César Valdéz, el M. en I. Rodrigo Takashi Sepúlveda Hirose, el M. en I. Guillermo Mancilla Urrea, la M. en I. Norma Nikte Ocampo Guerrero y el M. en I. Jesús Antonio Esteva Medina no solo por su gran empeño en la enseñanza de la ingeniería sino también por ser ejemplos de vida.*

*A mis sinodales: el Dr. Enrique César Valdéz, el M. en I. Agustín Deméneghi Colina, la M. en I. Norma Nikte Ocampo Guerrero y el M. en I. Rodrigo Takashi Sepúlveda Hirose.*

**ÍNDICE**

<b>Índice de ilustraciones.....</b>	<b>8</b>
<b>Introducción.....</b>	<b>11</b>
<b>1. Descripción de la empresa .....</b>	<b>14</b>
<b>1.1 Reseña de la empresa.....</b>	<b>14</b>
<b>1.2 Misión y Visión .....</b>	<b>14</b>
<b>1.3 Organigrama.....</b>	<b>15</b>
<b>1.4 Alcance de sus trabajos .....</b>	<b>16</b>
<b>2. Objetivo .....</b>	<b>17</b>
<b>3. Descripción de las actividades de trabajo.....</b>	<b>18</b>
<b>4. Marco teórico .....</b>	<b>19</b>
<b>4.1 Energía renovable .....</b>	<b>19</b>
<b>4.2 Energía geotérmica .....</b>	<b>19</b>
<b>4.3 Central geotermoeléctrica .....</b>	<b>20</b>
<b>4.4 Tipos de centrales geotermoeléctricas .....</b>	<b>21</b>
4.4.1 Planta de vapor seco.....	21
4.4.2 Planta de condensación o flasheo .....	21
4.4.3 Planta binaria.....	22
<b>4.5 Equipos principales .....</b>	<b>22</b>
4.5.1 Turbina .....	22
4.5.2 Generador eléctrico .....	23
4.5.3 Condensador .....	23
4.5.4 Colector de vapor .....	23
4.5.5 Separador de vapor.....	23
4.5.6 Secador de vapor .....	24
4.5.7 Bombas de pozo caliente .....	24
4.5.8 Torre de enfriamiento .....	24
<b>4.6 Obras civiles principales .....</b>	<b>24</b>

# INFORME ESCRITO

---

4.6.1	Estructura de casa de máquinas .....	25
4.6.2	Cimentación de casa de máquinas .....	27
4.6.3	Cimentación de la torre de enfriamiento .....	29
4.6.4	Cimentación de las bombas de pozo caliente.....	31
4.6.5	Silenciador de rechazo de carga .....	32
4.6.6	Soportería para vapores.....	32
4.6.7	Edificio eléctrico.....	33
4.6.8	Cimentación del tanque de agua cruda.....	34
4.6.9	Cimentación del tanque de agua contra incendios .....	34
<b>5.</b>	<b><i>Definición del contexto de participación profesional.....</i></b>	<b>36</b>
<b>6.</b>	<b><i>Descripción de la participación en la empresa .....</i></b>	<b>38</b>
<b>7.</b>	<b><i>Metodología utilizada .....</i></b>	<b>39</b>
<b>8.</b>	<b><i>Resultados .....</i></b>	<b>40</b>
<b>9.</b>	<b><i>Conclusiones .....</i></b>	<b>41</b>
	<b><i>Bibliografía.....</i></b>	<b>42</b>
	<b><i>Anexos .....</i></b>	<b>43</b>
	<b>Memoria de cálculo de concreto.....</b>	<b>43</b>
	Concreto de casa de máquinas.....	43
	Concreto para edificio eléctrico .....	46
	Concreto para torre de enfriamiento .....	50
	Concreto para turbogenerador .....	56
	Concreto para bombas de pozo caliente .....	60
	<b>Memoria de cálculo de acero de refuerzo .....</b>	<b>66</b>
	Acero de refuerzo para casa de máquinas .....	66
	Acero de refuerzo para torre de enfriamiento .....	77
	Acero de refuerzo para turbogenerador .....	82
	<b>Lista de datos garantizados .....</b>	<b>90</b>
	<b>Esquemas del sistema de aguas de la central .....</b>	<b>91</b>

## Índice de ilustraciones

<i>Ilustración 1: Organigrama de ENAL</i>	15
<i>Ilustración 2: Representación esquemática de un sistema geotérmico (Dickson, Fanelli, 2003)</i>	20
<i>Ilustración 3: Funcionamiento de una central geotermoeléctrica (Elaboración propia)</i>	21
<i>Ilustración 4: Esquema básico de una planta geotermoeléctrica</i>	25
<i>Ilustración 5: Arreglo estructural para casa de máquinas (Vista frontal)</i>	26
<i>Ilustración 6: Arreglo estructural para casa de máquinas (Vista lateral)</i>	27
<i>Ilustración 7: Arreglo de pilas y dados de cimentación para casa de máquinas (Vista lateral)</i>	28
<i>Ilustración 8: Arreglo de pilas y dados de cimentación para casa de máquinas (Vista en planta)</i>	28
<i>Ilustración 9: Cimentación para casa de máquinas (Vista en planta)</i>	29
<i>Ilustración 10: Arreglo de cimentación para torre de enfriamiento (Vista en planta)</i>	30
<i>Ilustración 11: Arreglo de contratraves, dados, muros y esquineros para torre de enfriamiento</i>	30
<i>Ilustración 12: Arreglo de cimentación para torre de enfriamiento (Vista lateral)</i>	31
<i>Ilustración 13: Arreglo de cimentación de bombas de pozo caliente (Vista en planta)</i>	31
<i>Ilustración 14: Arreglo estructural para silenciador de rechazo de carga (Vista lateral)</i>	32
<i>Ilustración 15: Soporte típico para vaporducto</i>	33
<i>Ilustración 16: Arreglo arquitectónico de edificio eléctrico (Vista en planta)</i>	34
<i>Ilustración 17: Arreglo arquitectónico de edificio eléctrico (Vista lateral)</i>	34
<i>Ilustración 18: Arreglo de cimentación del tanque de agua del sistema contra incendio (Vista en planta)</i>	35
<i>Ilustración 19: Arreglo de cimentación para el tanque de agua del sistema contra incendio (Vista lateral)</i>	35
<i>Ilustración 20: Arreglo de cimentación para casa de máquinas</i>	43
<i>Ilustración 21: Arreglo de cabezal CA-1 para cimentación de casa de máquinas</i>	44
<i>Ilustración 22: Arreglo de cabezal CA-2 para cimentación de casa de máquinas</i>	44
<i>Ilustración 23: Arreglo de cabezal CA-3 para cimentación de casa de máquinas</i>	45
<i>Ilustración 24: Arreglo de contratrabe CT-3 para cimentación de casa de máquinas</i>	45
<i>Ilustración 25: Arreglo de cimentación para edificio eléctrico</i>	46
<i>Ilustración 26: Arreglo de zapata corrida ZC-1 para edificio eléctrico</i>	46
<i>Ilustración 27: Arreglo de dado D-2 para edificio eléctrico</i>	47
<i>Ilustración 28: Arreglo de zapata corrida ZC-2 para edificio eléctrico</i>	48
<i>Ilustración 29: Arreglo de dado D-1 para edificio eléctrico</i>	48
<i>Ilustración 30: Arreglo de dado D-3 para edificio eléctrico</i>	48
<i>Ilustración 31: Arreglo de contratrabe CT-1 en el edificio eléctrico</i>	49
<i>Ilustración 32: Arreglo de cimentación para la torre de enfriamiento (Vista en planta)</i>	51
<i>Ilustración 33: Arreglo de dados y muros de la torre de enfriamiento (Vista en planta)</i>	51



## INFORME ESCRITO

---

<i>Ilustración 34: Arreglo de contratrabe CT-1 en la torre de enfriamiento</i>	52
<i>Ilustración 35: Arreglo de poza de excedencias de la torre de enfriamiento</i>	52
<i>Ilustración 36: Arreglo de muro M-1 para la cimentación de la torre de enfriamiento</i>	54
<i>Ilustración 37: Arreglo de dado D-1 de cimentación en la torre de enfriamiento</i>	55
<i>Ilustración 38: Arreglo de pedestales para cimentación del turbogenerador (Vista en planta)</i>	56
<i>Ilustración 39: Arreglo de pedestales para cimentación de turbogenerador (Vista lateral)</i>	56
<i>Ilustración 40: Arreglo de pila para cimentación del turbogenerador (Vista lateral)</i>	57
<i>Ilustración 41: Arreglo de pila para cimentación del turbogenerador (Vista lateral)</i>	57
<i>Ilustración 42: Arreglo del pedestal PD-1 para cimentación del turbogenerador</i>	58
<i>Ilustración 43: Arreglo de pedestal PD-2 para cimentación del turbogenerador</i>	58
<i>Ilustración 44: Arreglo de cimentación de las bombas de pozo caliente (Vista en planta)</i>	60
<i>Ilustración 45: Arreglo de cimentación de las bombas de pozo caliente (Vista lateral)</i>	61
<i>Ilustración 46: Arreglo de contratrabe CT-1 para cimentación de bombas de pozo caliente</i>	61
<i>Ilustración 47: Arreglo de muros transversales para cimentación de las bombas de pozo caliente</i>	62
<i>Ilustración 48: Arreglo de muros transversales de obra de toma para bombas de pozo caliente</i>	63
<i>Ilustración 49: Arreglo de cimentación para casa de máquinas</i>	66
<i>Ilustración 50: Arreglo de acero para cabezal CA-1 para casa de máquinas</i>	67
<i>Ilustración 51: Arreglo de acero de dado D-1 para casa de máquinas</i>	67
<i>Ilustración 52: Arreglo de acero para contratrabe CT-1 para casa de máquinas</i>	68
<i>Ilustración 53: Arreglo de acero para pilas de cimentación de casa de máquinas</i>	69
<i>Ilustración 54: Arreglo de acero para cabezal CA-2 para casa de máquinas</i>	69
<i>Ilustración 55: Arreglo de acero de dado D-2 para casa de máquinas</i>	70
<i>Ilustración 56: Arreglo de acero de contratrabe CT-2 para casa de máquinas</i>	71
<i>Ilustración 57: Arreglo de acero en pilas de cimentación para casa de máquinas</i>	71
<i>Ilustración 58: Arreglo de acero de cabezal CA-3 para casa de máquinas</i>	72
<i>Ilustración 59: Arreglo de acero de dado D-3 para casa de máquinas</i>	73
<i>Ilustración 60: Arreglo de acero de contratrabe CT-3 para casa de máquinas</i>	73
<i>Ilustración 61: Arreglo de acero de pilas de cimentación para casa de máquinas</i>	74
<i>Ilustración 62: Arreglo de acero de contratrabe CT-3 para casa de máquinas</i>	75
<i>Ilustración 63: Planta de cimentación de torre de enfriamiento</i>	77
<i>Ilustración 64: Planta de dados y muros de torre de enfriamiento</i>	77
<i>Ilustración 65: Arreglo de acero de contratrabe CT-1 para torre enfriamiento</i>	78
<i>Ilustración 66: Arreglo de acero de dado D-1 para torre de enfriamiento</i>	79
<i>Ilustración 67: Arreglo de acero de muro M-1 para torre de enfriamiento</i>	79
<i>Ilustración 68: Arreglo de acero de esquineros K-1 para torre de enfriamiento</i>	81

## INFORME ESCRITO

---

<i>Ilustración 69: Arreglo de cimentación del turbogenerador (Vista en planta)</i>	82
<i>Ilustración 70: Arreglo de cimentación del turbogenerador (Vista lateral)</i>	82
<i>Ilustración 71: Arreglo de acero de pila de cimentación para Turbogenerador</i>	83
<i>Ilustración 72: Arreglo de acero de contratraves CT-1 en losa de cimentación para turbogenerador</i>	84
<i>Ilustración 73: Arreglo de acero de columnas C-1 para cimentación del Turbogenerador</i>	85
<i>Ilustración 74: Arreglo de acero de columna C-2 para cimentación de turbogenerador</i>	85
<i>Ilustración 75: Arreglo de acero de trabe T-1 para cimentación de turbogenerador</i>	86
<i>Ilustración 76: Arreglo de acero de trabe T-2 para cimentación de turbogenerador</i>	87
<i>Ilustración 77: Arreglos interiores de acero en pedestales del turbogenerador</i>	88
<i>Ilustración 78: Arreglo exterior de pedestales del turbogenerador</i>	89
<i>Ilustración 79: Drenaje pluvial en plataforma de la central geotermoeléctrica</i>	91
<i>Ilustración 80: Drenaje pluvial en casa de máquinas y edificio eléctrico</i>	92
<i>Ilustración 81: Drenaje aceitoso en casa de máquinas y área de transformadores</i>	93

## Introducción

Existen numerosas edificaciones, cada una de ellas con diferentes objetivos a cumplir, es por ello que su adecuado diseño es de vital importancia.

Las plantas geotermoeléctricas contienen varias estructuras y cada una de ellas debe ser lo suficientemente segura para cumplir adecuadamente su función y de esta manera conseguir la operación íntegra de la planta geotermoeléctrica.

El predimensionamiento de las estructuras y elementos estructurales es un importante factor en la presentación de propuestas de ingeniería básica, ya que reflejan la experiencia y la formación de criterio, cuya finalidad es la elaboración de propuestas con mayor grado de detalle, alta calidad, así como un gran apego a la normatividad aplicable, dentro de lapsos de tiempo menores.

Este trabajo tiene como finalidad mostrar los aspectos principales de la ingeniería básica de las principales obras civiles de una planta geotermoeléctrica, así como uno de los tantos productos finales como lo fue la lista de datos garantizados de los principales materiales para su construcción basados en la realización planos y memoria de cálculo de los mismos.

Las siguientes líneas son una descripción general del contenido del trabajo.

En el capítulo 1 se presenta la descripción de la empresa en la cual tuve la oportunidad de laborar compuesta por una breve reseña desde su fundación, el tipo de proyectos realizados, el esquema de organización interna, alcance de sus trabajos y las empresas con las que ha colaborado.

En el capítulo 2 se da a conocer los objetivos del presente trabajo. El objetivo principal está relacionado a la descripción del proyecto desarrollado en la empresa y los objetivos secundarios pretenden brindar conocimientos básicos acerca del tema tratado en el trabajo y recalcar la importancia de la correcta elaboración de los documentos para entrega.

En el capítulo 3 se brinda una breve descripción de las actividades realizadas en el puesto de trabajo que abarca desde las que se llevaron a cabo durante el proyecto tanto para la elaboración de los documentos para entrega, actividades de atención a sugerencias por parte del cliente y la forma de participación con las diferentes disciplinas para dar atención a las necesidades de cada área.

El capítulo 4 se presentan los fundamentos teóricos básicos acerca de los equipos principales y obras civiles necesarias dentro de una central geotermoeléctrica, con la finalidad de que el trabajo sea comprendido en su gran mayoría mediante la exposición breve del funcionamiento de los equipos y estructuras principales de la central.

En el capítulo 5 se plantea las características técnicas bajo las cuales se tuvo que desarrollar el proyecto, mencionando los principales requerimientos de las estructuras y sistemas asociados a la central. En este capítulo se recalca la importancia de la elaboración de la lista de datos garantizados, mismo que servirá de base para la evaluación técnica y económica.

El capítulo 6 enuncia las actividades en las que tuvo participación directa y como apoyo dentro del proyecto, se mencionan los fundamentos para los esquemas básicos del sistema de aguas de la central, así como los requerimientos en la elaboración de las memorias de cálculo realizadas.

El capítulo 7 hace alusión a la metodología empleada para dar solución al panorama planteado en el capítulo 6 explicando de manera breve los documentos que sirvieron de base para la elaboración de la propuesta, así como la importancia de participación por medio de sugerencias y comentarios por parte del cliente.

En el capítulo 8 se realiza una síntesis de los resultados obtenidos en el desarrollo del proyecto además de realizar una descripción de las características con las que fueron entregados los documentos requeridos por parte del cliente y la forma con la que fue evaluada de manera preliminar la propuesta entregada.

## INFORME ESCRITO

---

En el capítulo 9 se presentan las principales conclusiones acerca de la elaboración de la ingeniería básica para las principales estructuras de la central, resaltando que de la correcta elaboración de cada uno de los documentos es como se puede tener certeza de cada uno de los datos entregados al cliente.

## 1. Descripción de la empresa

### 1.1 Reseña de la empresa

ENAL (Energías Alternas, Estudios y Proyectos S.A. de C.V.) se constituyó como empresa en el año de 2009, bajo la dirección del Dr. Gerardo Hiriart Le Bert.

Desde entonces ha participado en la gestión de proyectos geotérmicos, eólicos, solares y de desalación.

Ha colaborado con empresas como Comisión Federal de Electricidad (CFE), Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), Grupo Dragón, ALSTOM entre otros, ya sea en el apoyo para realizar las bases de licitación o en la elaboración de la ingeniería necesaria.

### 1.2 Misión y Visión

*MISIÓN: Brindar servicios especializados en: Energía Renovable, Eficiencia Energética, Desalación de Agua y Desarrollo de Proyectos Integrales.*

*Nuestra labor está orientada a la realización de proyectos de ingeniería aplicada que resuelvan los problemas reales del sector energético del país, asimismo de la satisfacción de necesidades en zonas con déficit hídrico; para ello buscamos estrecha colaboración con entidades públicas y privadas quienes encuentren en ENAL el soporte sólido y oportuno en las áreas técnicas y administrativas para implementar soluciones a la medida, ya sean de organización, producción o industrialización. Todo ello para que con el profesionalismo y ética laboral que imprimimos a nuestro trabajo, seamos considerados como el vínculo para la solución de sus necesidades de ingeniería en el uso y aprovechamiento de las energías alternas.*

*Proporcionar soluciones eficientes, innovadoras, competitivas y con alto valor agregado partiendo de la vasta experiencia de nuestro equipo de expertos en la materia, combinado con el dinamismo de jóvenes y emprendedores ingenieros.*

*VISIÓN: Posicionar a "ENAL, Energías Alternas Estudios y Proyectos S.A de C.V", como una empresa referente nacional e internacional de ingeniería de alto nivel. Ser una empresa líder en brindar servicios y consultoría integral de Ingeniería aplicada<sup>1</sup>.*

---

<sup>1</sup> Energías Alternas, Estudios y Proyectos, S.A. de C.V. "Quiénes somos" [En línea] <enal.com.mx/quienes.html> México. [Consulta: 11 de agosto de 2015].

1.3 Organigrama

ORGANIGRAMA 2015



**DIRECCIÓN OPERATIVA**  
Ing. Héctor Gutiérrez Puente



**DIRECCIÓN GENERAL**  
Dr. Gerardo Hiriart Le Bert



**DIRECCIÓN TÉCNICA**  
Ing. Salvador Espindola H.



**EXPLORACIÓN**  
Ing. Daniel A. Orellana González

**GEOLOGÍA**  
Ing. Estefanny Dávalos Elizondo

**GEOQUÍMICA**  
M. en C. Sandra B. Briseño Prieto

**GEOFÍSICA**  
Ing. Manuel Arrubarrena Moreno

**SISTEMAS**  
A. Miguel Salazar Cortés



**GERENCIA OPERATIVA**  
Ing. Carlos Alberto Piña Nájera

Ing. Karla Lorena Soto García  
Ing. Julieth A. Rueda Sandoval  
Mtra. Tania Rito Ronzón  
Sergio Aquino Ocampo

**REGISTROS**  
Ing. Juan Daniel Valenzuela  
Ing. César Godínez Huerta

*Becarios*  
Raúl Guevara Macías



**GERENCIA TÉCNICA**  
M. en C. Isaías Hernández Carrillo

M. en C. José Iván Chávez Mejía  
Ing. Edgar Cruz Olguín

*Becarios*  
Esaú Luis Monroy López  
Kevin A. Alvarado Angulo  
Abraham Alatríste Luna  
Iván Cortés Salazar

**MODELADO DE YACIMIENTOS**

Ing. Fabián H. Andraca Gutiérrez  
Ing. José Roberto Rodríguez Marian

*Becarios*  
Andrea Galván Vargas  
Adriana M. Providell Urango



**GERENCIA DE OBRA CIVIL**  
Ing. Luis Enrique Mora Guerrero

Ing. Oscar Castañeda García  
*Becarios*  
Mauricio Anaya Urban



**GERENCIA DE FINANZAS Y ADMINISTRACIÓN**  
Lic. Erika Patricia Chávez Macías

Lic. Diana Olvera Gómez

**ASISTENTES DE DIRECCIÓN**  
Ricardo Olguín Malagón  
Eduardo Michelle Tejeda Durán

**MANTENIMIENTO**  
J. Patricia Pérez Téllez  
Esperanza Galván Muñoz



**GERENCIA DE DESARROLLO DE NEGOCIOS**  
M. en C. Alma C. Santa Rita F.

Lic. Tamara E. Estrada Medina

**ENAL del SUR**  
Ing. Andreas Stuardo

**UN PASO ADELANTE EN INGENIERÍA**

Ilustración 1: Organigrama de ENAL

### 1.4 Alcance de sus trabajos

Dentro de los alcances de los trabajos realizados por ENAL, se encuentran: trabajos de exploración geofísica, exploración geológica, exploración geoquímica, evaluación del potencial de yacimientos geotérmicos, trabajos de perforación, evaluación y manejo de pozos, modelado matemático de yacimientos, desarrollo de turbinas, estimulación de pozos así como la construcción y puesta en servicio de la planta geotermoeléctrica.

Los trabajos de campo por parte ENAL le permiten el procesado y evaluación del potencial geotérmico, lo que se traduce en la generación de mapas digitales 3D y la definición de estrategias para la explotación del campo geotérmico.



## 2. Objetivo

### Objetivo principal

Presentar los aspectos principales de la ingeniería básica de estructuras civiles para plantas geotermoeléctricas en la que tuve participación, así como los criterios que son tomados en cuenta en el predimensionamiento de las principales estructuras civiles de la central geotermoeléctrica.

### Objetivos secundarios

Describir de manera general el funcionamiento de la central a través de la breve descripción de cada uno de los equipos y estructuras civiles que la conforman.

Hacer hincapié en el cuidado de la elaboración de documentos cuya importancia radica en la posterior evaluación tanto técnica como económica del proyecto, cuyo fundamento es en primer orden la generación de planos y su corroboración por medio de la elaboración de memorias de cálculo.

### 3. Descripción de las actividades de trabajo

Colaborar en las actividades relacionadas a la ingeniería civil desarrolladas en la empresa, tales como elaboración de planos, memorias de cálculo, cuantificación de materiales así como participación en el desarrollo de propuestas de ingeniería básica para plantas geotérmicas realizando actividades tales como dimensionamiento de espacios para retención de fluidos producto de la puesta en operación y funcionamiento de la planta, elaboración de propuestas de arreglo y distribución de equipos, verificación estructural de elementos de la planta como son la estructura de casa de máquinas, edificio eléctrico, turbogenerador, torre de enfriamiento, soportería, silenciadores, etc., con la finalidad de elaborar una propuesta integra que cumpla con los requerimientos técnicos y económicos solicitados por el cliente.

Verificar los parámetros de diseño civiles con base en las especificaciones técnicas, que permita la elaboración de documentos en los que se especifique la normatividad de diseño utilizada así como las normas de calidad para la construcción de las obras civiles.

Participar como enlace del área de ingeniería civil de la empresa, cuya función es dar atención a las sugerencias y modificaciones por parte del cliente, con la finalidad de mejorar de la ingeniería realizada, así como fundamentar las consideraciones por las cuales se desarrollan los diseños de una u otra forma.

Colaborar con las otras disciplinas que intervienen en el proyecto con el intercambio de información para que los requerimientos de todas áreas que están implicadas en el proyecto sean considerados de manera correcta.

Las anteriores actividades las he desempeñado desde el 27 de enero de 2015 hasta la fecha.

## 4. Marco teórico

El crecimiento y desarrollo económico y social de los países depende en gran medida de su capacidad para garantizar energía a su población, así como la mitigación del impacto que la producción de ésta produce.

### 4.1 Energía renovable

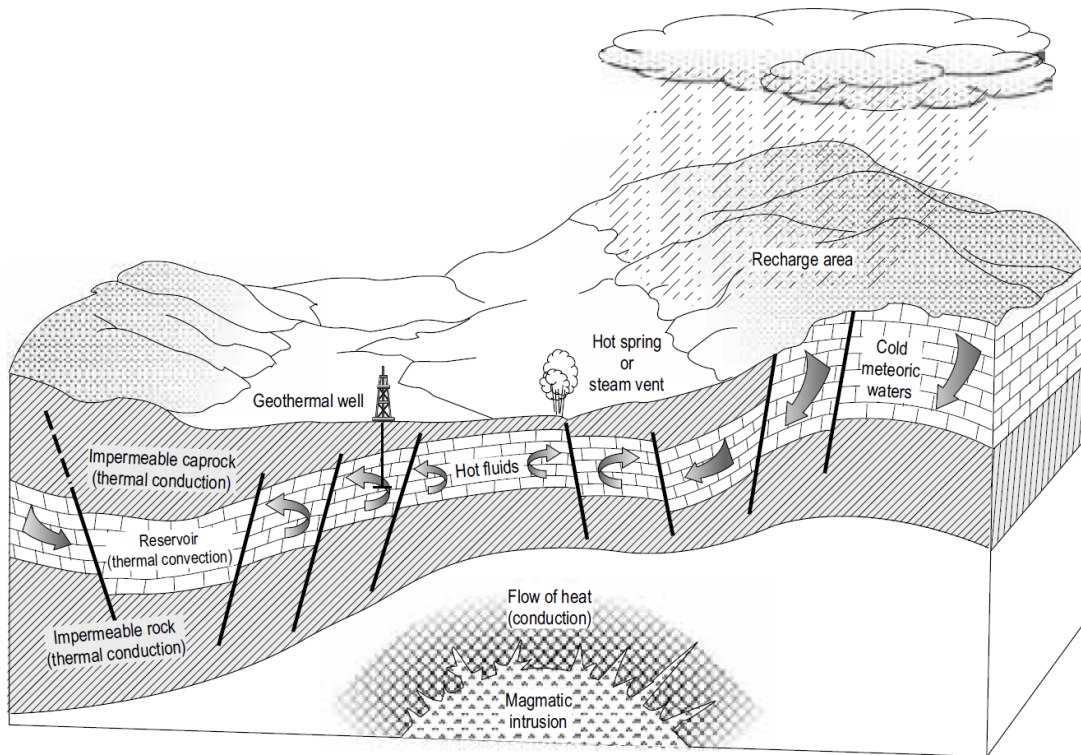
Las energías renovables son aquellas que “se obtiene de fuentes naturales virtualmente inagotables, unas por la inmensa cantidad de energía que contienen, y otras porque son capaces de regenerarse por medios naturales” (Casas, Gea, Javaloyes, Martín y Pérez, p. 165).

Entre las principales formas de energía renovables se encuentran:

- Solar
- Eólica
- Hidráulica
- Mareomotriz
- Geotérmica
- Biomasa

### 4.2 Energía geotérmica

La energía geotérmica es la obtenida del calor interno de la Tierra. Con el aumento de la profundidad la temperatura de la misma se incrementa, fenómeno que puede ser aprovechado cuando se tienen condiciones como las que se muestran en la ilustración 2.



**Ilustración 2: Representación esquemática de un sistema geotérmico (Dickson, Fanelli, 2003)**

El sistema geotérmico está compuesto por tres elementos: una fuente de calor, un reservorio o contenedor y un fluido quien es el encargado de la transferencia de calor (Modificado de Dickson, Fanelli, 2003, p.8)

En general este tipo de arreglos es común encontrarlos en áreas volcánicas. La presencia de geissers, fumarolas de vapor y cambios en la composición química de las rocas cercanas, son un claro indicativo del fenómeno geotermal.

### 4.3 Central geotermoeléctrica

Una central geotermoeléctrica es un arreglo de equipos y estructuras que tienen por finalidad aprovechar las condiciones de presión y temperatura del fluido geotérmico tratado (vapor por lo general) para la generación de energía eléctrica, para su posterior distribución y aprovechamiento.

La ilustración 3 representa de forma simplificada el funcionamiento de una central geotermoeléctrica.

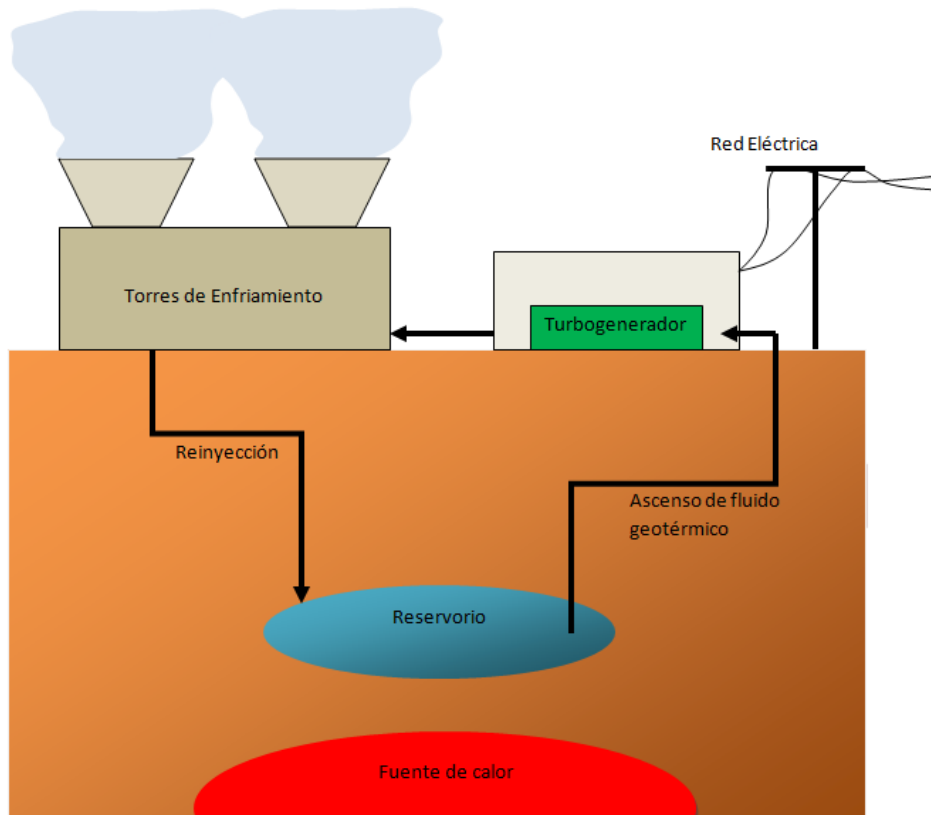


Ilustración 3: Funcionamiento de una central geotermoeléctrica (Elaboración propia)

## 4.4 Tipos de centrales geotermoeléctricas

### 4.4.1 Planta de vapor seco

En este tipo de plantas geotermoeléctricas el vapor es tomado directamente del yacimiento geotérmico y se hace pasar por la turbina acoplada al generador. Terminado el ciclo que realiza el vapor geotérmico éste es liberado a la atmósfera y una porción reinyectado. Dado que el vapor es liberado a la atmósfera ya no es necesario el uso de condensadores y torres de enfriamiento para la condensación y reinyección del fluido.

### 4.4.2 Planta de condensación o flasheo

A diferencia de las plantas de vapor seco, en este tipo de plantas el fluido geotérmico se encuentra en estado líquido. El fluido se hace pasar por un separador de agua-vapor en el cual debido a las condiciones de presión y temperatura el líquido se vaporiza rápidamente (Flash). El vapor separado es el encargado de realizar el

trabajo en la turbina. En este tipo de plantas se hace uso del condensador y torres de enfriamiento para disminuir la temperatura del condensado después de su paso a través de la turbina, con el objetivo de condensar el vapor y trasladarlo a la torre de enfriamiento para su tratamiento y reinyección.

### 4.4.3 Planta binaria

Las plantas binarias tienen por principal característica el uso de un segundo fluido con menor punto de ebullición que el agua con la finalidad de que sea el segundo fluido quien realice el trabajo mecánico. En este tipo de plantas el vapor geotérmico se hace pasar por un intercambiador de calor en el que se realiza la transferencia de calor entre el vapor geotérmico y el segundo fluido de trabajo. Este tipo de plantas trabajan con yacimientos de mucha menor temperatura que las plantas a condensación y de vapor seco, lo cual representa una gran ventaja para las zonas que hasta ahora se consideraban no viables debido a las condiciones de temperatura del yacimiento.

## 4.5 Equipos principales

Se refiere a los principales equipos de la central cuya importancia radica en mantener funcionando en forma continua, segura y sin limitaciones a la central geotermoeléctrica.

### 4.5.1 Turbina

La turbina es de suma importancia en el funcionamiento de la central geotermoeléctrica, debido a que es la encargada aprovechar las condiciones de presión y temperatura del vapor geotérmico para convertir la energía interna de éste en energía mecánica. Las condiciones con las que el vapor entra a la turbina influyen directamente en la vida útil, funcionamiento y eficiencia, debido a las incrustaciones y sedimentación de los materiales que arrastra el vapor geotérmico, es por ello que este tipo de turbinas deben contar con un sistema de lavado para maximizar la eficiencia y la vida útil.

El sistema de lavado de la turbina debe ser apropiado para permitir el lavado sin que sea necesario que la turbina salga de operación.

### 4.5.2 Generador eléctrico

Este equipo es tan importante como la turbina, ya que es el encargado de generar energía eléctrica a partir de la energía mecánica proporcionada por la turbina. Dicha energía generada debe ser trasladada para su conexión con el sistema eléctrico. El diseño del generador debe contemplar los decrementos e incrementos de carga de la turbina producto de la variabilidad de la demanda de energía eléctrica por parte del sistema eléctrico o de la irregularidad en el flujo de vapor de los yacimientos hacia la turbina, así como la salida de operación del sistema completo debido a labores de inspección y mantenimiento.

### 4.5.3 Condensador

Este equipo en el caso de plantas a condensación se encarga de la condensación para el posterior enfriamiento del vapor después de su paso a través de la turbina, para tratamiento químico y disposición. Dicho condensado también puede ser reutilizado dentro de los procesos de la misma planta como lo es el enfriamiento del vapor a la salida de la turbina.

### 4.5.4 Colector de vapor

El funcionamiento de la planta geotermoeléctrica en muchas ocasiones depende del suministro de vapor de varios pozos, por lo que el colector de vapor es el equipo encargado de reunir el flujo de los vaporductos para dar salida a un solo flujo con la finalidad de obtener una misma calidad para su posterior caracterización y tratamiento en su trayecto hacia la turbina.

### 4.5.5 Separador de vapor

La calidad con la que el vapor entra a la turbina es un factor importante en el desempeño, debido a que influye directamente en la eficiencia y vida útil, es por ello que se hace uso del separador ya que usualmente el vapor viene mezclado con agua. A la salida del separador el vapor tiene una calidad cercana al 97%, es decir 97% del flujo total está representado por vapor.

### 4.5.6 Secador de vapor

Este equipo se encarga de elevar aún más la calidad del vapor a valores cercanos a 99% antes de la entrada a la turbina. Su función radica en eliminar gran parte los contaminantes generados por la conducción a través de la tubería. Su funcionamiento debe ser continuo.

### 4.5.7 Bombas de pozo caliente

El condensado se coloca en una fosa para su posterior bombeo hacia la torre de enfriamiento, para ello se utilizan las bombas de pozo caliente, que son bombas verticales accionadas por motores eléctricos. Usualmente se hace uso de dos bombas, cada una con la capacidad de tratar el total del flujo emanado del condensador, con el objetivo de mantener siempre funcionando el sistema de enfriamiento de la central.

### 4.5.8 Torre de enfriamiento

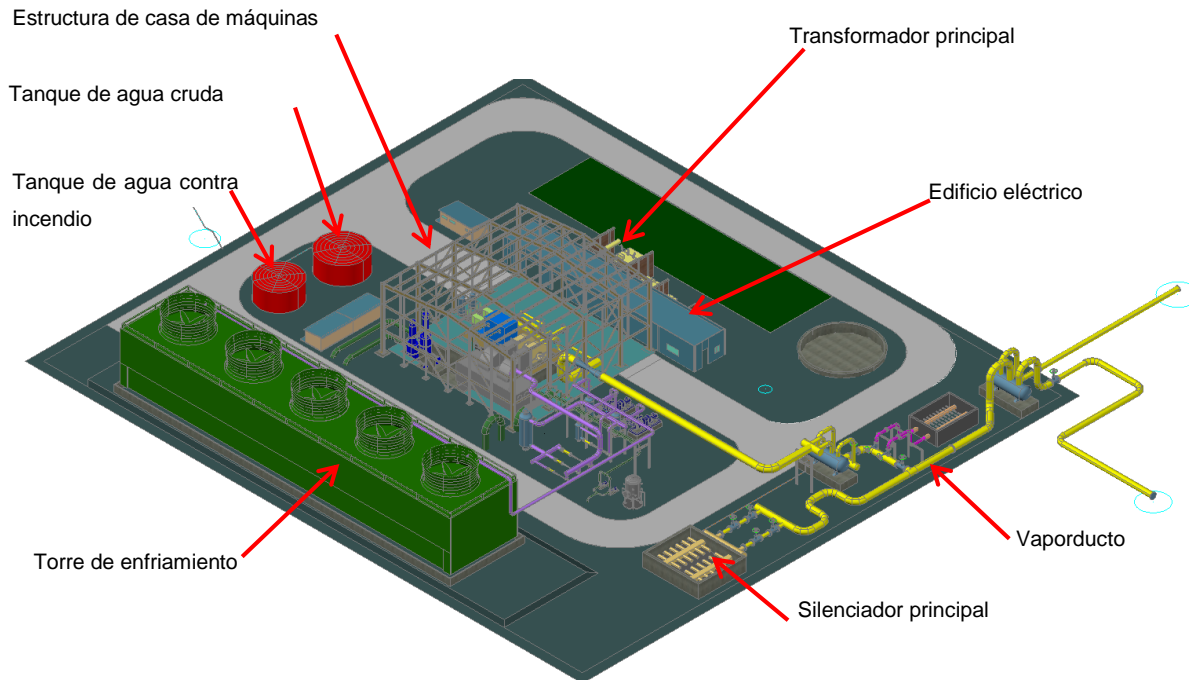
La torre de enfriamiento es el equipo utilizado para bajar la temperatura del agua caliente o condensado. Es en esta parte del proceso que se le proporciona tratamiento químico al agua para evitar la generación de algas así como las reacciones de oxidación producto del fluido geotérmico que pudiesen dañar las estructuras contenedoras y de traslado. El enfriamiento del condensado se logra por medio de su exposición al ambiente y por el uso de ventiladores para acelerar el decremento de temperatura.

## 4.6 Obras civiles principales

Gran parte de los equipos que componen la central geotermoeléctrica requieren ser cimentados y protegidos de las condiciones atmosféricas y corrosivas imperantes en ambientes geotérmicos. Algunos de estos equipos requieren condiciones especiales como evitar asentamientos o vibraciones excesivas que pudieran impedir que se tenga un desempeño óptimo del equipo, un claro ejemplo es el turbogenerador.



Los demás equipos, aunque no requieren ser protegidos de las condiciones climatológicas, requieren ser cimentados, como lo es la torre de enfriamiento, el tanque de agua cruda y tanque de agua contra incendio.



**Ilustración 4: Esquema básico de una planta geotermoeléctrica**

### 4.6.1 Estructura de casa de máquinas

La casa de máquinas es la estructura cuya función principal es dar protección a los equipos principales de las condiciones climatológicas y corrosivas de los ambientes geotérmicos. Para la conformación de la estructura se hace uso de perfiles estructurales con arriostramientos y paredes de paneles de concreto por lo general. Es importante hacer énfasis en el buen diseño y arreglo de la misma, ya que una incorrecta distribución de los equipos puede conllevar a diseños sobrados que pueden acarrear costos excesivos.

La estructura de casa de máquinas debe ser resistente a cargas accidentales y de servicio como lo son acciones sísmicas y de viento ya que por el tipo de zonas en

## INFORME ESCRITO

las que son instaladas las centrales geotermoeléctricas este tipo de acciones tienen que ser correctamente valuadas y consideradas.

Una manera hasta cierto punto indirecta es el uso de la normatividad aplicable para el sitio y la otra es la realización de estudios más detallados de las condiciones sísmicas y de viento particulares.

Un elemento de importancia en el diseño estructural es la grúa viajera, que es el mecanismo encargado de hacer las maniobras de izaje para la puesta en operación y mantenimiento de los equipos. Dicha grúa debe ser capaz de soportar el equipo más pesado dentro de casa de máquinas. Es necesario mencionar que deben procurarse diseños para casa de máquinas en los que la grúa viajera tenga que salvar claros cortos, debido al alto costo que puede resultar el requerimiento de una grúa más grande y las exigencias estructurales para casa de máquinas que se requieren para su correcto funcionamiento.

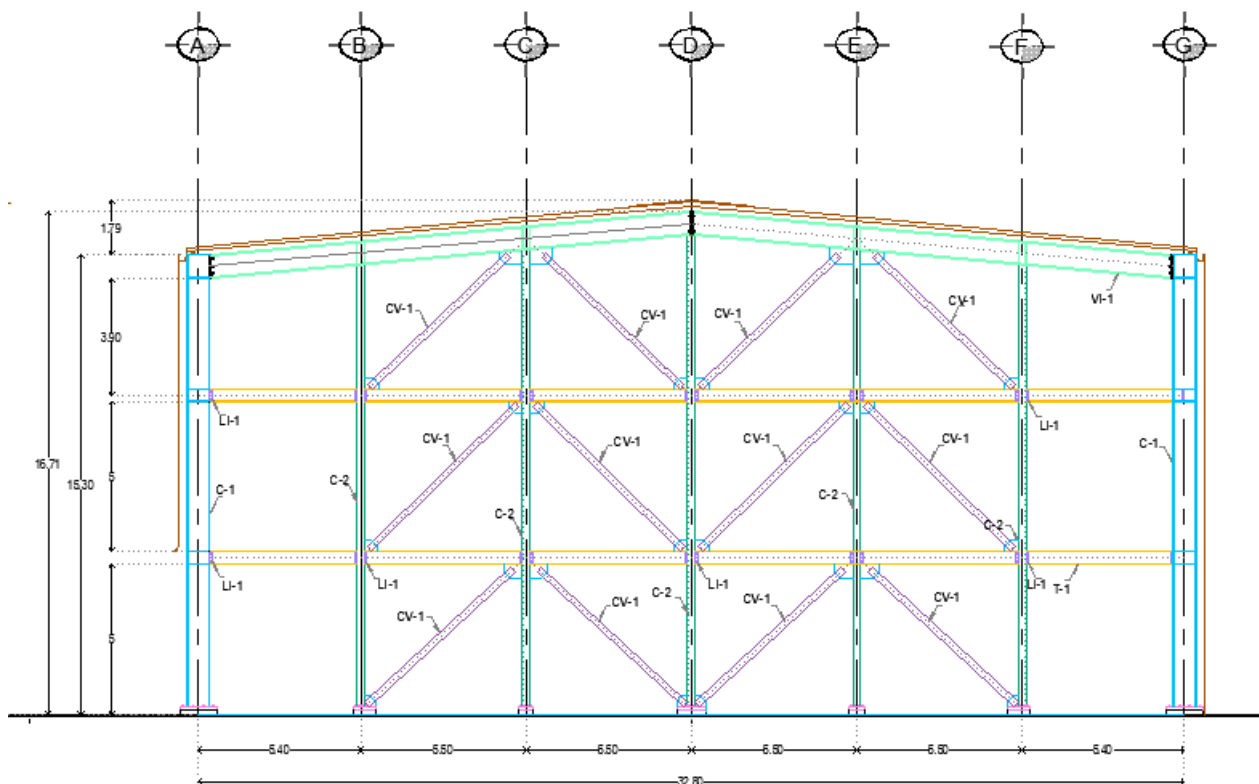


Ilustración 5: Arreglo estructural para casa de máquinas (Vista frontal)

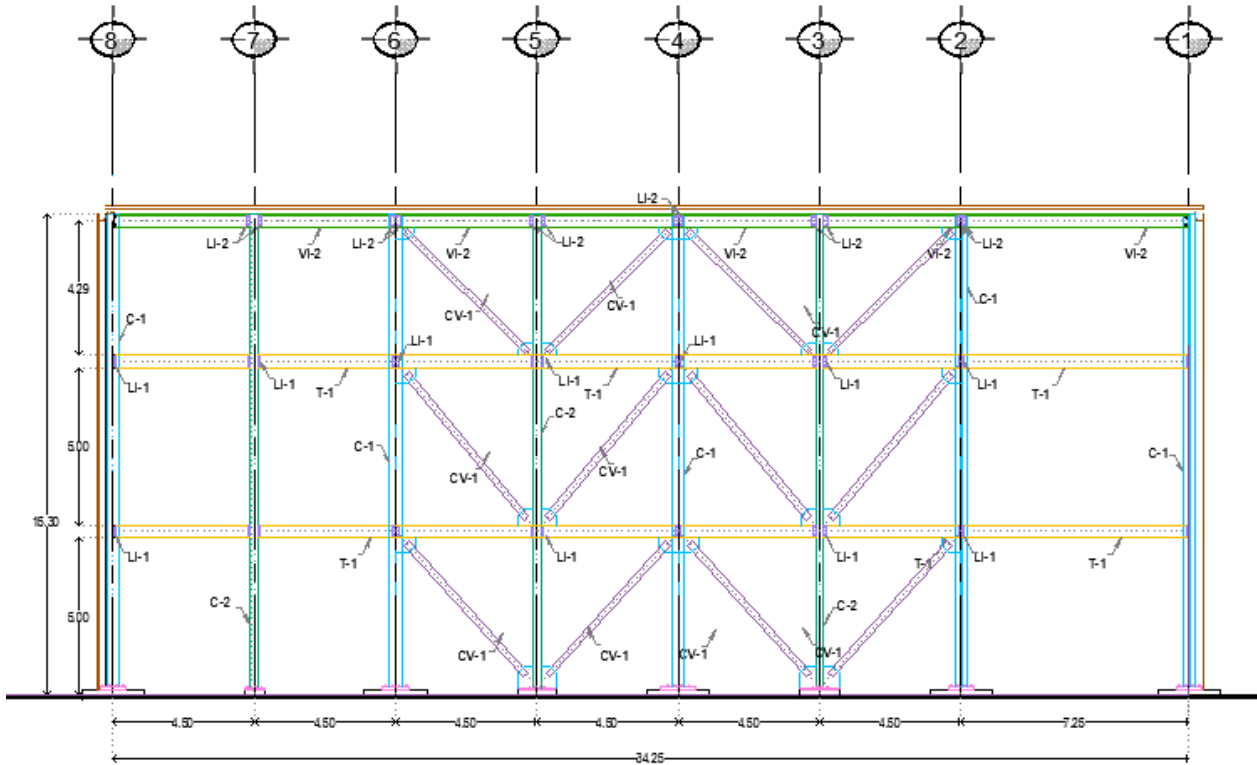


Ilustración 6: Arreglo estructural para casa de máquinas (Vista lateral)

#### 4.6.2 Cimentación de casa de máquinas

Las exigencias estructurales y la necesidad de una correcta operación de la grúa viajera usada requieren que la cimentación usada sea adecuada cumpliendo condiciones como capacidad de carga y mínimos asentamientos. Por lo general se hace uso de cabezales o dados de concreto unidos a pilas o pilotes como una forma de cumplir con las condiciones impuestas.

# INFORME ESCRITO

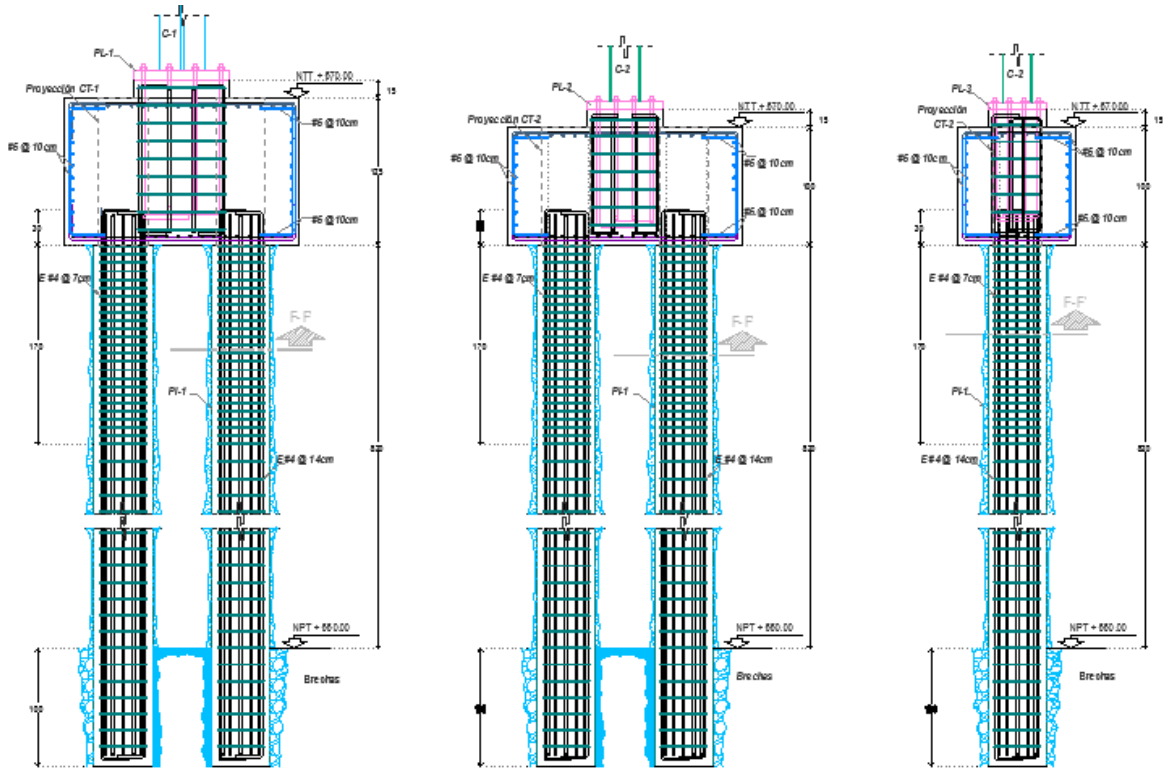


Ilustración 7: Arreglo de pilas y dados de cimentación para casa de máquinas (Vista lateral)

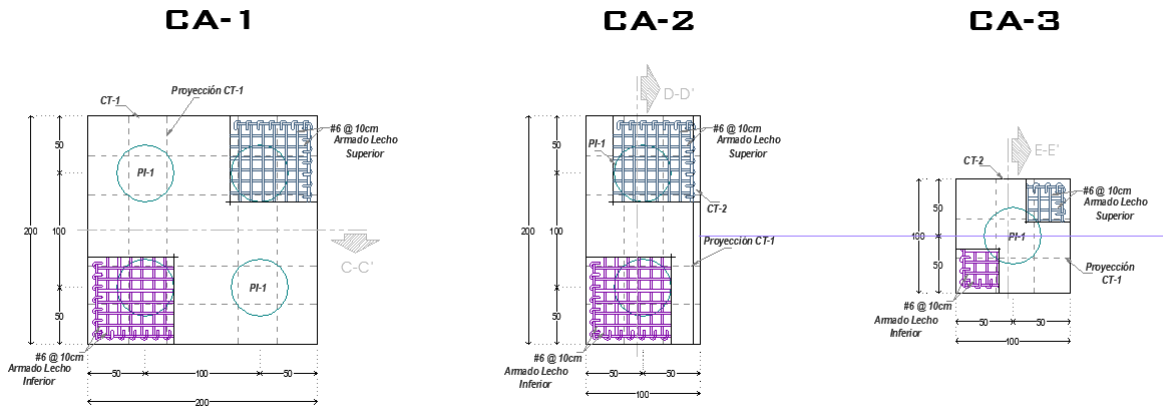


Ilustración 8: Arreglo de pilas y dados de cimentación para casa de máquinas (Vista en planta)

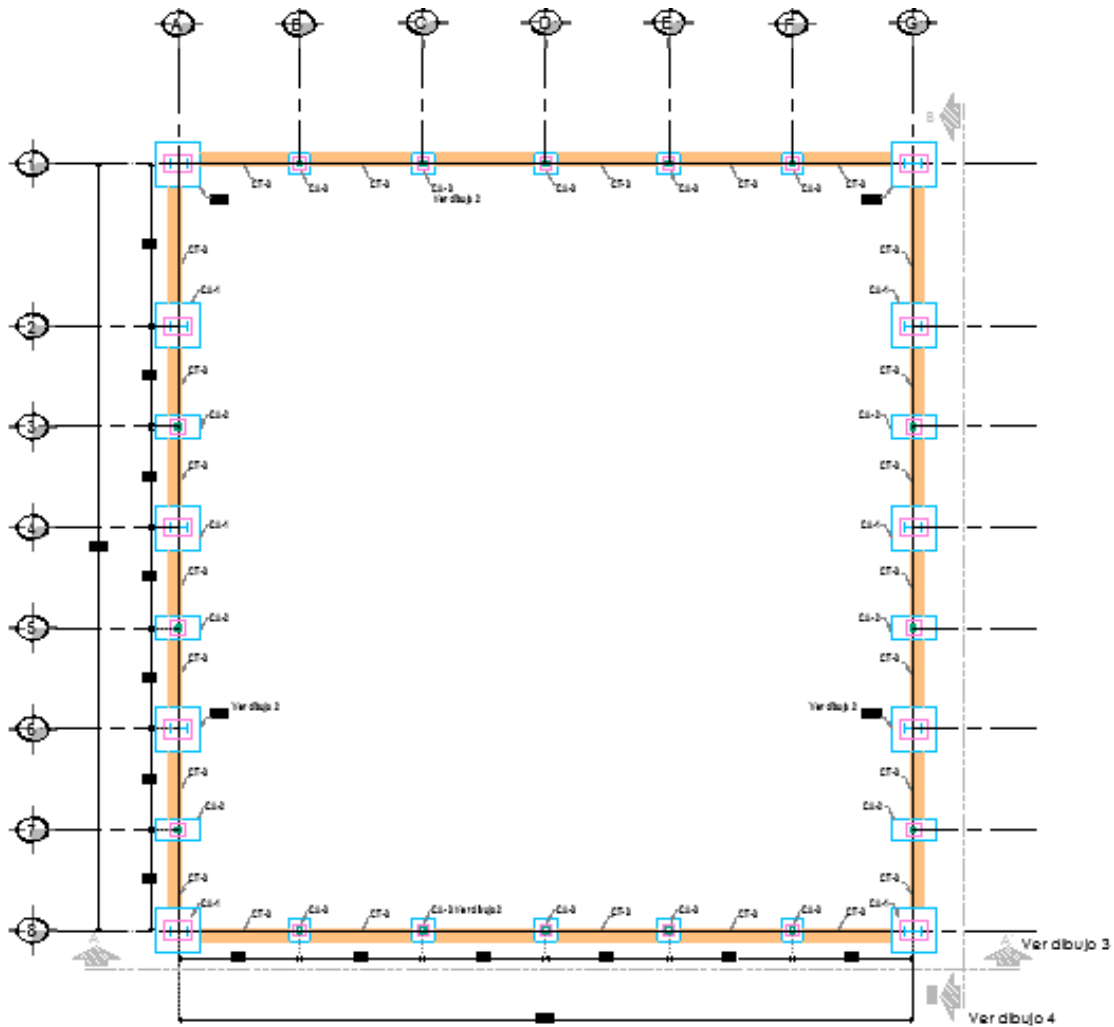


Ilustración 9: Cimentación para casa de máquinas (Vista en planta)

#### 4.6.3 Cimentación de la torre de enfriamiento

La cimentación de la torre de enfriamiento debe ser capaz de soportar las exigencias estructurales producto de la retención y almacenamiento del condensado, así como del peso propio del equipo. El arreglo de cimentación también debe ajustarse a las condiciones impuestas para el tratamiento del condensado como puede ser el uso de celdas independientes y para su mantenimiento como puede ser la remoción de sedimentos y limpieza de las celdas. Es importante mencionar que se debe hacer uso de aditivos para evitar la corrosión química provocada por el condensado a las paredes de concreto de la torre de enfriamiento.

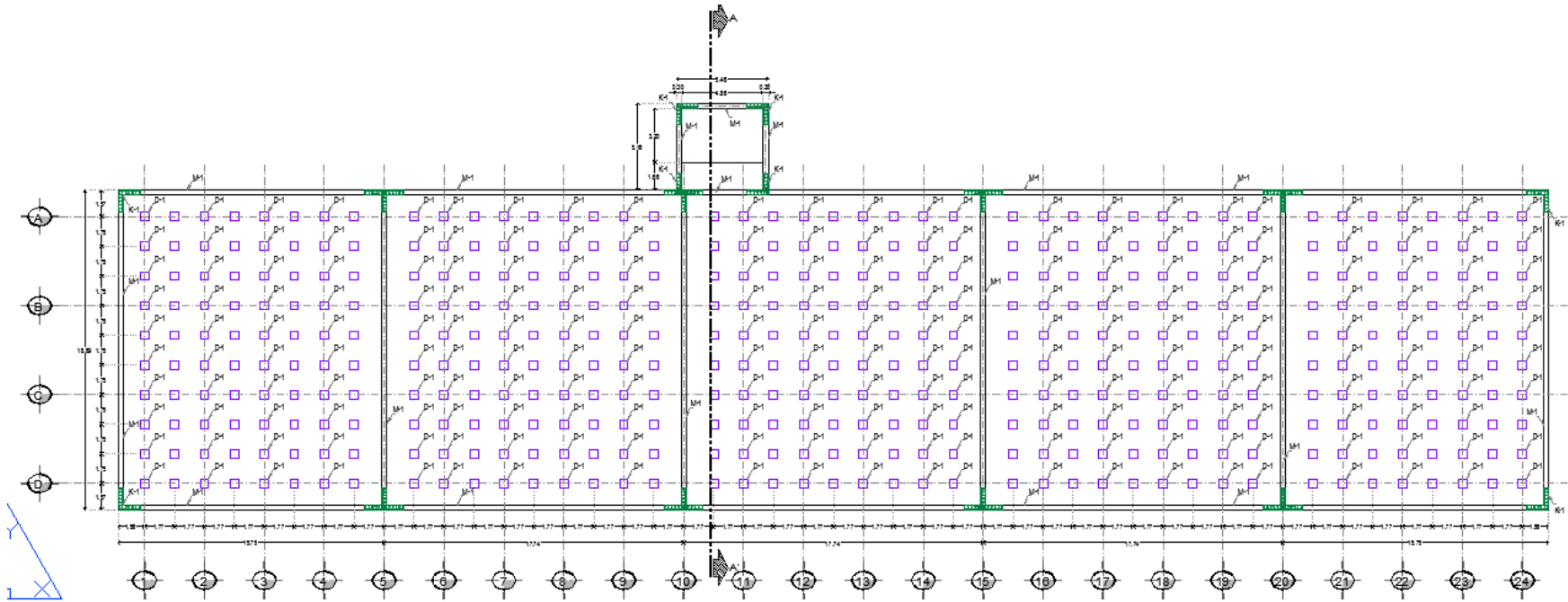


Ilustración 10: Arreglo de cimentación para torre de enfriamiento (Vista en planta)

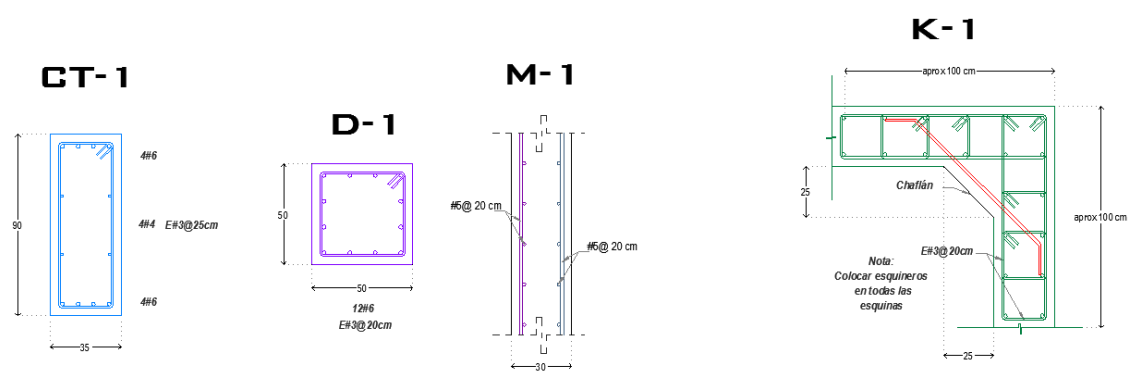


Ilustración 11: Arreglo de contratrabes, dados, muros y esquineros para torre de enfriamiento

# INFORME ESCRITO

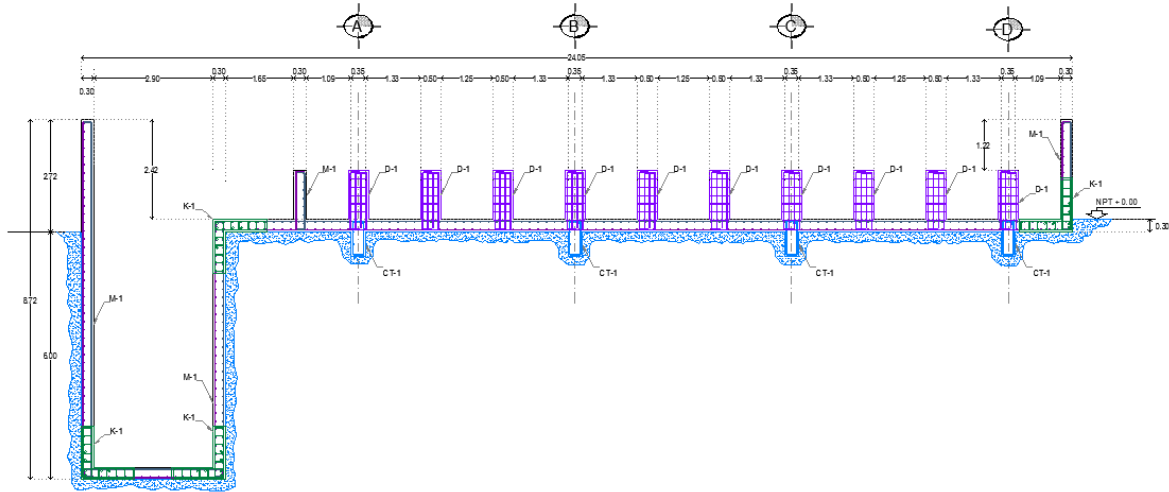


Ilustración 12: Arreglo de cimentación para torre de enfriamiento (Vista lateral)

## 4.6.4 Cimentación de las bombas de pozo caliente

Este tipo de estructura se suele considerar en conjunto con las piletas para el almacenamiento del condensado. Para el arreglo de cimentación de las bombas de hace uso de pedestales unidos estructuralmente a las piletas.

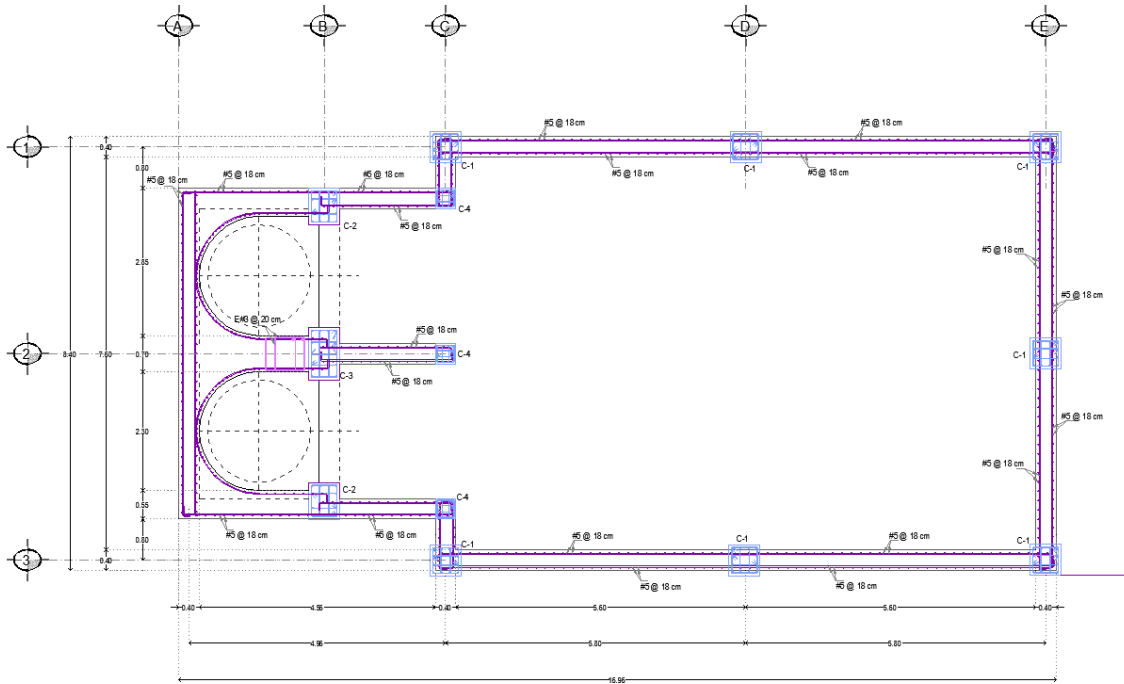


Ilustración 13: Arreglo de cimentación de bombas de pozo caliente (Vista en planta)

## 4.6.5 Silenciador de rechazo de carga

El flujo de vapor que se envía a la turbina eventualmente tiene que ser desviado para labores de mantenimiento o por alguna otra razón extraordinaria, en este caso es indispensable hacer la descarga de vapor a la atmósfera, para esto se emplea un arreglo compuesto de tubos con orificios, dentro de una estructura de concreto, que contiene roca, cuya función principal es abatir los niveles de ruido generados por la descarga de vapor.

Dicha estructura contiene las previsiones necesarias para el desalojo del condensado de vapor, la inspección y las labores de mantenimiento.

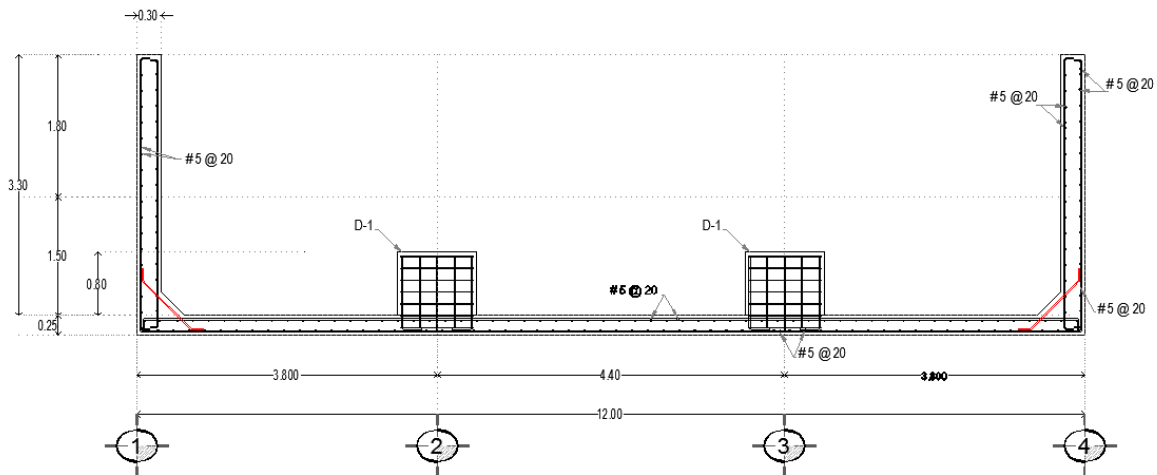


Ilustración 14: Arreglo estructural para silenciador de rechazo de carga (Vista lateral)

## 4.6.6 Soportería para vaporductos

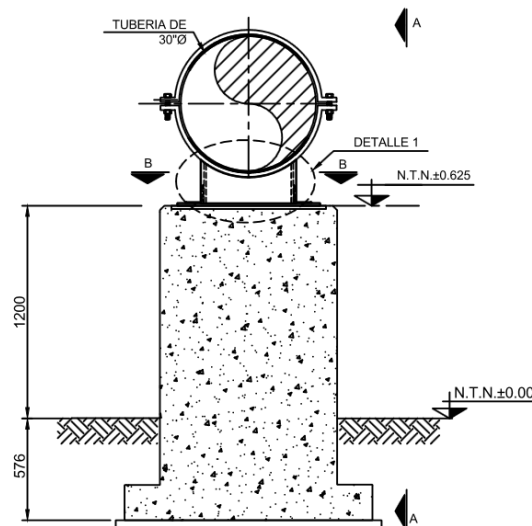
Gran parte de la tubería que se encarga de conducir el vapor o el condensado tiene que ser soportada adecuadamente para transmitir las acciones al suelo.

El diseño de los soportes se realiza con base en las condiciones de presión, temperatura y peso propio (*condiciones de operación*), así como de la trayectoria que la tubería tenga que cursar, en ocasiones muy caprichosa debido a las condiciones topográficas del sitio.

En este ámbito la carga aportada por el peso propio de la tubería es un elemento que no cobra importancia en el diseño. Sin embargo, en muchas ocasiones los



soportes se ven sometidos a cargas laterales importantes provocadas por el flujo de vapor a través de la tubería, que por lo general son el principal factor a considerar en el diseño del mismo.



**Ilustración 15: Soporte típico para vaporducto**

### 4.6.7 Edificio eléctrico

El edificio eléctrico es el espacio dentro de la planta destinado para las labores de monitoreo de la planta, con la finalidad de ajustar su funcionamiento con base en la demanda energética de la red, o de las condiciones de flujo de vapor. En este edificio se realiza el monitoreo a los equipos mecánicos principales como lo es la turbina y el generador para que operen dentro de sus parámetros de diseño o que las condiciones anormales de operación sean solo en lapsos breves de tiempo.

Desde este punto se llevan a cabo todos los procesos automatizados de la planta, y es el lugar donde se ordena la apertura o cierre de válvulas del sistema según se requiera.

Es indispensable que este espacio este completamente cerrado para la protección de las condiciones climatológicas, ya que los equipos que contiene son indispensables para el funcionamiento y monitoreo de la planta.

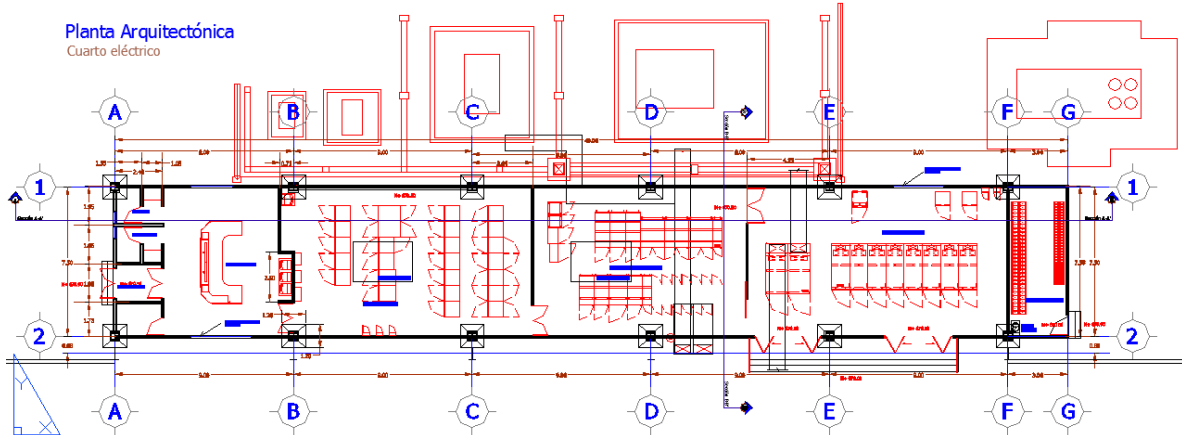


Ilustración 16: Arreglo arquitectónico de edificio eléctrico (Vista en planta)

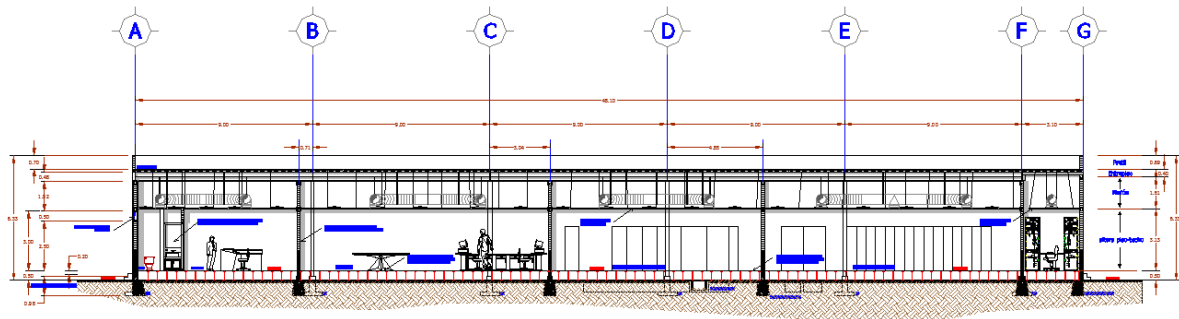


Ilustración 17: Arreglo arquitectónico de edificio eléctrico (Vista lateral)

#### 4.6.8 Cimentación del tanque de agua cruda

Algunos de los procesos que se llevan a cabo en la planta requieren el uso de agua, como lo es la dosificación de químicos para el tratamiento del condensado o del mismo vapor geotérmico.

Este contenedor por lo general es de forma cilíndrica y requiere de cimentación para evitar el contacto con terreno natural, para evitar deformaciones en el mismo tanque o asentamientos excesivos debidos a la gran sobrecarga que representa.

#### 4.6.9 Cimentación del tanque de agua contra incendios

Por el tipo de equipos y fluidos manejados dentro de la misma planta es necesaria la implementación del tanque de agua contra incendios. Algunos de los equipos que son considerados para la protección contra incendio son el turbogenerador, el área de transformadores, el tanque de aceite de la turbina y la torre de enfriamiento. La

# INFORME ESCRITO

protección más común implementada es la colocación de aspersores, extintores y tomas tipo siamesa.

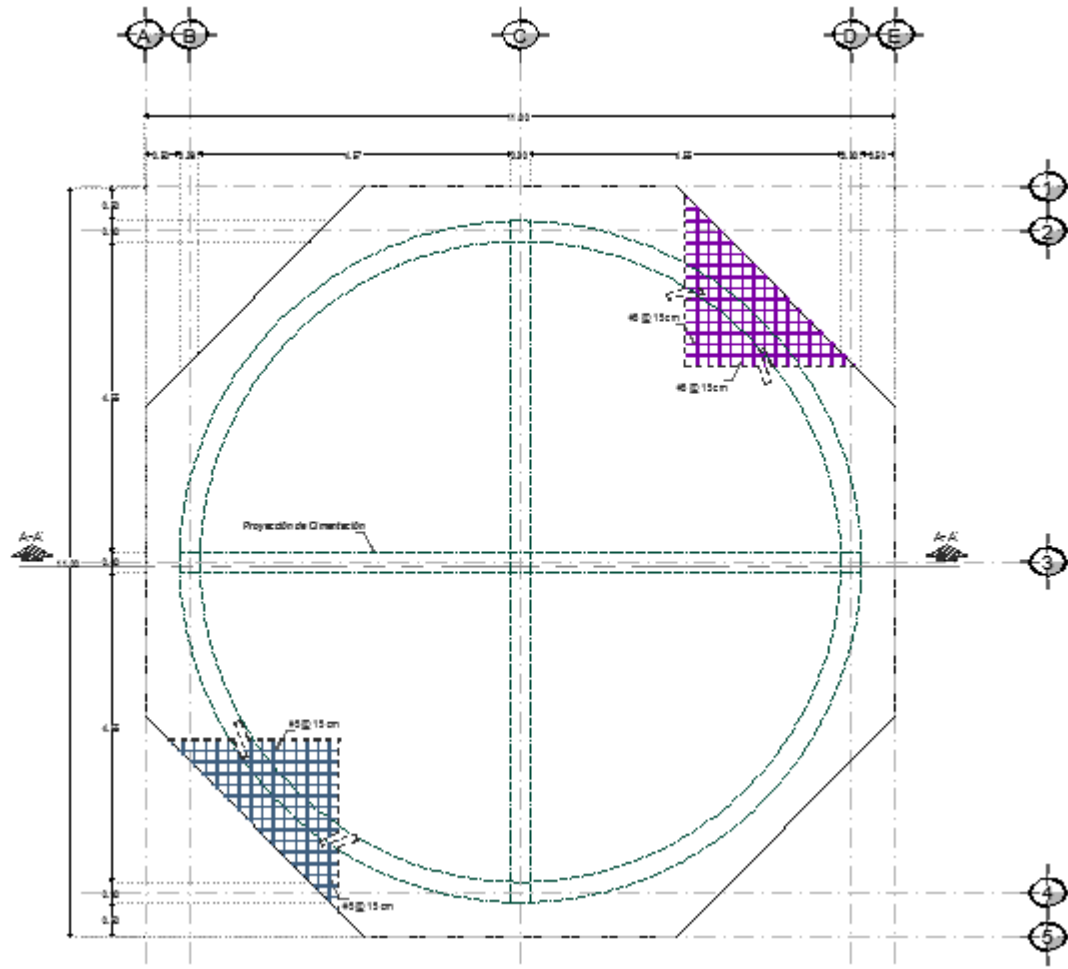


Ilustración 18: Arreglo de cimentación del tanque de agua del sistema contra incendio (Vista en planta)

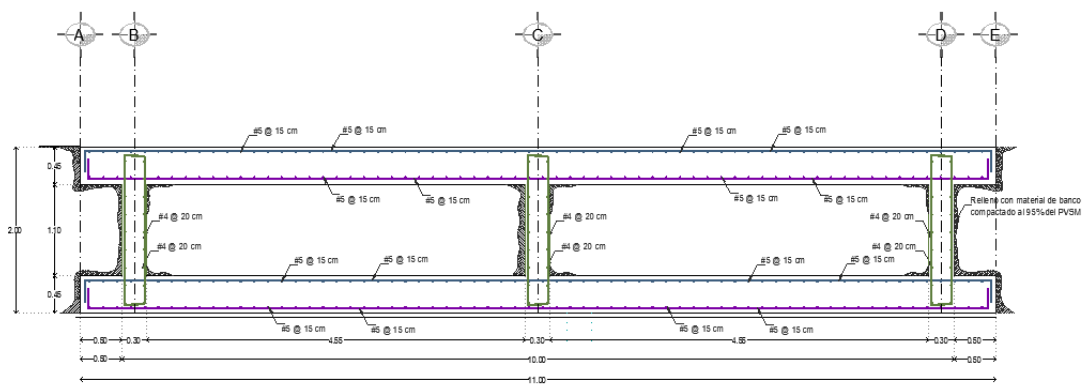


Ilustración 19: Arreglo de cimentación para el tanque de agua del sistema contra incendio (Vista lateral)

### 5. Definición del contexto de participación profesional

Como parte del contrato que se tenía con el cliente, ENAL colaboró en actividades para el desarrollo de una propuesta técnica para la puesta en marcha de una planta geotermoeléctrica a nivel ingeniería básica.

La propuesta debía incluir el diseño arquitectónico, estructural, eléctrico, mecánico, de instrumentación y control, así como las memorias de cálculo y planos constructivos, en los que de habrían de definir las características principales de los equipos y sistemas que conformarían la planta.

Como parte de la participación de ENAL en lo que respecta al área de ingeniería civil, debían entregarse planos estructurales de las edificaciones principales, indicar los niveles de desplante y terminación de las cimentaciones, niveles de terminación de pisos, y características principales de los elementos estructurales. Los trabajos incluían el diseño a nivel básico del sistema de agua (agua potable, agua cruda, agua pluvial, aguas negras, aguas oleaginosas y aguas de proceso) de la central geotermoeléctrica.

Se debían incluir planos arquitectónicos de las edificaciones principales, que presentaran una propuesta armoniosa con el ambiente que integrará los espacios existentes de la central.

Presentación de la distribución en la central de los diferentes sistemas de tuberías, así como el diseño básico de ductos y trincheras para cables de control y potencia.

Descripción de los principales parámetros de diseño civiles utilizados en el diseño de las edificaciones con base en la normatividad aplicable según las especificaciones técnicas.

Además de la inclusión de la cantidad garantizada de concreto, acero de refuerzo y acero estructural (perfiles) necesaria para cada una de las edificaciones de la central geotermoeléctrica necesaria para las principales estructuras de la central geotermoeléctrica.

## INFORME ESCRITO

---

Se requería que se entregaran planos estructurales con arreglos de secciones para las edificaciones principales, con los arreglos y detalles.

Como detalle particular pero de suma importancia: la propuesta debía incluir la lista de datos garantizados, que se refería al documento en el que se debían mostrar las cantidades necesarias de los materiales para la construcción de cada una de las obras. Los requerimientos presentados en las especificaciones técnicas obligaron a la realización cuidadosa de la memoria de cálculo de cada una de las estructuras, ya que el incumplimiento de las cantidades especificadas conllevaba grandes sanciones de tipo económico.

### 6. Descripción de la participación en la empresa

Las actividades que desempeñé dentro de este proyecto fueron: la verificación de las memorias de cálculo de acero de refuerzo, acero estructural y concreto producto de las propuestas elaboradas por el especialista de estructuras y cimentaciones.

Dentro de las responsabilidades directas estuvieron el desarrollo de los diagramas para los sistemas de agua potable, agua pluvial, agua cruda, agua oleaginosa, aguas negras y aguas de proceso, para indicar mediante la elaboración de planos básicos las trayectorias para el abastecimiento de las edificaciones y los sistemas, así como las trayectorias apropiadas para el desalojo de aguas de la central.

El desarrollo de los diagramas estuvo basado en las especificaciones técnicas proporcionadas por el cliente, además de los requerimientos necesarios por parte de las otras áreas que intervinieron en el proyecto, como lo fue la necesidad de proporcionar agua cruda para el área de dosificación de químicos, el desalojo del condensado de la torre de enfriamiento, y la conducción del contenido del tanque de purgas hacia el tanque de separación y neutralización con el que debía contar la planta.

Como parte de una de los principales requerimientos estuvo la participación en la realización de la lista de datos garantizados, en la que se debía incluir entre otras cosas: la cantidad de acero de refuerzo, concreto y acero estructural (perfiles).

Para estas últimas memorias de cálculo fue requerido que se desarrollaran con precisión y claridad para las estructuras civiles principales de la central, ya que además de ser un documento que respaldara la ingeniería realizada, debía incluirse en el paquete para posterior entrega al cliente.

Dicha lista de datos garantizados serviría como base para la evaluación económica de la propuesta por parte de contratante.

### 7. Metodología utilizada

Con base en las especificaciones técnicas se comenzó con una propuesta en términos muy generales, que constó de la elaboración de un modelo conceptual de los principales requerimientos y arreglo de equipos de la central. En este se incluía a nivel muy básico las principales dimensiones de los edificios requeridos, así como del tratamiento del vapor dentro de la central, con base en el arreglo propuesto por el contratante.

El arreglo general propuesto se fue complementando con la retroalimentación por parte del cliente, con base en los requerimientos de los equipos, así como de las maniobras debido al movimiento para mantenimiento e inspección de los mismos.

Con base en los planos generados basados en las consideraciones de diseño civil, se realizó la cuantificación de los materiales necesarios para las cimentaciones que se debían presentar, dividiendo a éstas en elementos cuyo manejo resultará más claro para su revisión; esto es mediante figuras geométricas regulares.

El cálculo de acero de estructural se realizó haciendo uso de los planos estructurales generados para la casa de máquinas y el edificio eléctrico; edificaciones cuyos requerimientos estructurales hizo necesario el uso de perfiles estructurales.

Para el caso de las diseño básicos del sistema de aguas de la central, se acudió a las especificaciones técnicas del cliente, con la finalidad de cubrir cada uno de los aspectos requeridos, realizando propuestas de trayectorias y dimensionamiento de la tubería, ya sea mediante el cálculo de caudales o de acuerdo a la normatividad que tuviera aplicación, como lo fue el caso del sistema de agua potable para el edificio de baños y vestidores de la central.

### 8. Resultados

Como resultado de la elaboración de la propuesta técnica para la puesta en marcha de la planta geotermoeléctrica se hizo entrega de los planos estructurales y arquitectónicos en lo que corresponde al área de ingeniería civil, así como los planos básicos del sistema de aguas de la central.

Los arreglos propuestos cumplieron en gran medida con las especificaciones técnicas, y en el caso de las cimentaciones de los equipos más importantes se especificó en planos que debía desplantarse sobre el estrato más resistente y con menor grado de fractura ubicado a unos 10 metros de profundidad con respecto del nivel de terreno natural indicado para el proyecto.

Los predimensionamientos resultaron congruentes a los esperados por parte del cliente con base en la comparación de los mismos con proyectos similares de la misma capacidad neta realizados en México.

En referencia al sistema de aguas de la central se condicionaron las trayectorias del sistema a los requerimientos de la central, tales como el abastecimiento de los aspersores ubicados en la zona del tanque de aceite de la turbina, área de bombas de pozo caliente y área de transformadores.

Se desarrolló de forma básica el tratamiento del condensado que en su mayoría consistía en tratamiento químico.

Se logró en la gran mayoría de las trayectorias elegidas conllevaran a propuestas con gran beneficio entre los sistemas de desalojo de aguas, procurando que las interferencias fueran las mínimas posibles.

Aunque la elaboración de la lista de datos garantizados fue uno de los puntos más críticos en la conformación de la propuesta, la elaboración de las memorias de cálculo para los sistemas estructurales de los equipos principales respaldó de manera concisa los datos entregados dentro de la lista de datos garantizados.



## 9. Conclusiones

### Sobre el trabajo

- El cumplimiento de los requerimientos principales para la ingeniería básica de este proyecto se logró haciendo uso principalmente de las especificaciones técnicas proporcionadas.
- El funcionamiento de una central geotermoeléctrica se describió mediante conceptos fundamentales mencionado las principales estructuras y equipos que la conforman, así como su función y estructuración en el caso de las obras civiles.
- Cada uno de los documentos elaborados en el proyecto fue importante y respaldó firmemente la lista de datos garantizados entregada, ya que con la correcta elaboración de cada uno de ellos es como se puede tener certeza de cada uno de los datos entregados.

### Sobre el proyecto

- Se logró la presentación de la propuesta a nivel ingeniería básica para la construcción de la planta geotermoeléctrica, que se fundamentó en el cumplimiento de las especificaciones técnicas, por medio de las cuales se elaboraron especificaciones para el control de calidad de los materiales y proceso constructivo.
- Los planos civiles de las principales estructuras así como los planos referentes al sistema de aguas de la central fueron elaborados con base en las especificaciones técnicas proporcionadas, colocando la mayor cantidad de elementos que pudieran brindar un panorama de la organización de los equipos dentro de la central.
- El conjunto de documentos que integraron la propuesta fue entregado con el mayor detalle que permitió las restricciones de tiempo y condiciones de operación propias de la planta.

### Bibliografía

Asociación Costarricense de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Fundaciones (2002). Código de Cimentaciones de Costa Rica (CCCR). Costa Rica: Editorial Tecnológica de Costa Rica.

Casas José, Gea Francisca, Javayoles Esmeralda, Alberto Martín y Pérez Angel (2007). Educación Mediambiental. España: Editorial Club Universitario.

Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica (2010). Código Sísmico de Costa Rica (CSCR). Costa Rica: Editorial Tecnológica de Costa Rica.

Comisión Federal de Electricidad: Instituto de Investigaciones Eléctricas (2008), Manual de Diseño de Obras Civiles: Diseño por Sismo, México: CFE.

Comité ACI 318 (2014) Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318S-14). Farmington Hills: American Concrete Institute.

Dickson M., Fanelli M. (2003), Geothermal Energy: utilization and technology. Francia, UNESCO PUBLISHING.

Gonzáles Cuevas; Robles Fernández (2005), Aspectos fundamentales del concreto reforzado (4ta Edición), México: Editorial Limusa.

[<sup>1</sup>] Energías Alternas, Estudios y Proyectos, S.A. de C.V. “Quiénes somos” [En línea] <[enal.com.mx/quienes.html](http://enal.com.mx/quienes.html)> México. [Consulta: 11 de agosto de 2015].

## Anexos

### Memoria de cálculo de concreto

#### Concreto de casa de máquinas

Con base en el plano de cimentación de casa de máquinas, la cantidad total de concreto se puede desglosar en 4 conceptos.

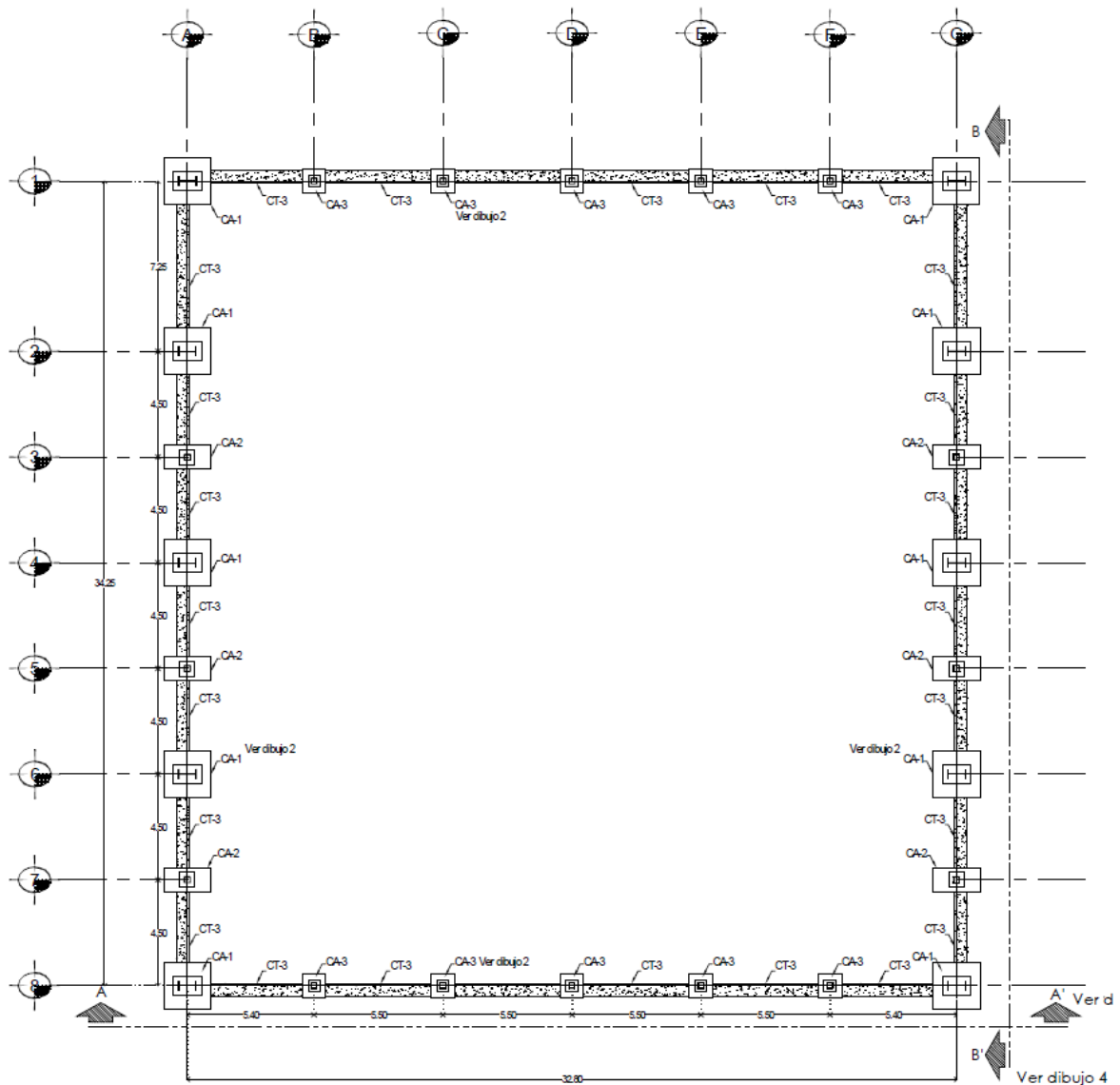
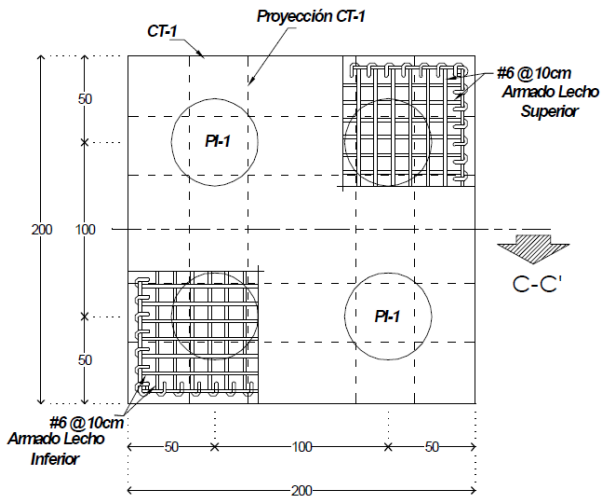


Ilustración 20: Arreglo de cimentación para casa de máquinas

## 1. Cabezales con 4 pilas de cimentación.

### CA-1



Las dimensiones indicadas en planos para este primer arreglo de cabezal son:

$$\text{Vol} = 2 \text{ m} \times 2 \text{ m} \times 1.25 \text{ m} = 5 \text{ m}^3$$

Las pilas son semejantes, y las dimensiones indicadas son:

$$\text{Diámetro} = 0.50 \text{ m}, \text{Área}_{\text{pila}} = 0.193 \text{ m}^2, \text{Largo} = 9.75 \text{ m} \text{ y Cantidad} = 4$$

$$\text{Vol} = 4 \times 0.193 \times 9.75 = 7.66 \text{ m}^3$$

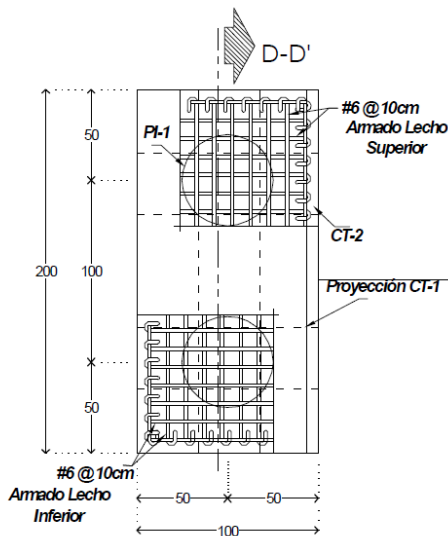
El número de piezas con este arreglo es 10, por lo que el volumen es:

$$\text{Vol}_1 = 126.58 \text{ m}^3$$

Ilustración 21: Arreglo de cabezal CA-1 para cimentación de casa de máquinas

## 2. Cabezales con 2 pilas de cimentación

### CA-2



Las dimensiones indicadas en planos para este segundo arreglo de cabezal son:

$$\text{Vol} = 2 \text{ m} \times 1 \text{ m} \times 1 \text{ m} = 2 \text{ m}^3$$

Las pilas son semejantes, y las dimensiones indicadas son:

$$\text{Diámetro} = 0.50 \text{ m}, \text{Área}_{\text{pila}} = 0.193 \text{ m}^2, \text{Largo} = 10.00 \text{ m} \text{ y Cantidad} = 2$$

$$\text{Vol} = 2 \times 0.193 \times 10.00 = 3.93 \text{ m}^3$$

El número de piezas con este arreglo es 10, por lo que el volumen es:

$$\text{Vol}_2 = 35.56 \text{ m}^3$$

Ilustración 22: Arreglo de cabezal CA-2 para cimentación de casa de máquinas

3. Cabezales con una pila de cimentación

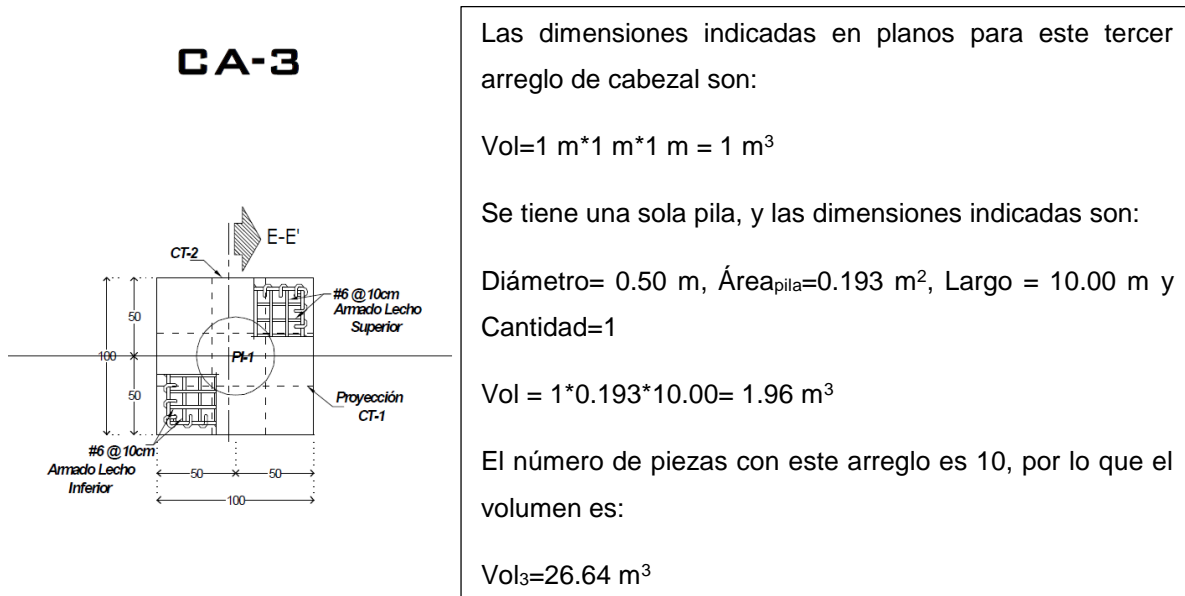
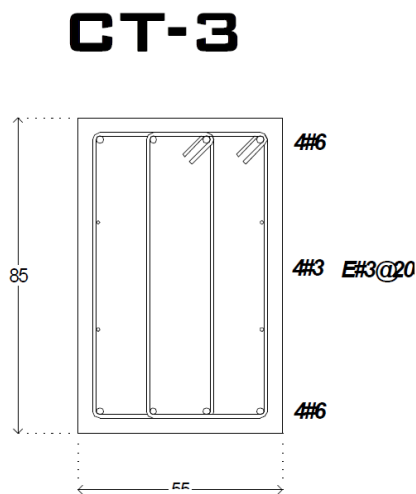


Ilustración 23: Arreglo de cabezal CA-3 para cimentación de casa de máquinas

4. Trabes de liga

El arreglo indicado en planos para trabes de liga es el siguiente:



Las dimensiones indicadas en planos para este arreglo de trabe de liga:

$Vol=85\text{ cm} \times 55\text{ cm} \times 9330\text{ cm} = 43.62\text{ m}^3$

9330 cm es la longitud total de la trabe de liga usada para el arreglo de cimentación de casa de máquinas.

Por lo tanto, se considera es un arreglo formado por una sola pieza cuyo volumen total es:

$Vol_4=43.62\text{ m}^3$

Ilustración 24: Arreglo de contratrabe CT-3 para cimentación de casa de máquinas

De esta manera la cantidad de concreto que conforma la cimentación de casa de máquinas es:

$Vol_{Total}=Vol_1+ Vol_2+ Vol_3+ Vol_4=232.4\text{ m}^3$

# INFORME ESCRITO

## Concreto para edificio eléctrico

Con base en el plano de cimentación de edificio eléctrico, la cantidad de concreto se puede desglosar en 4 conceptos.

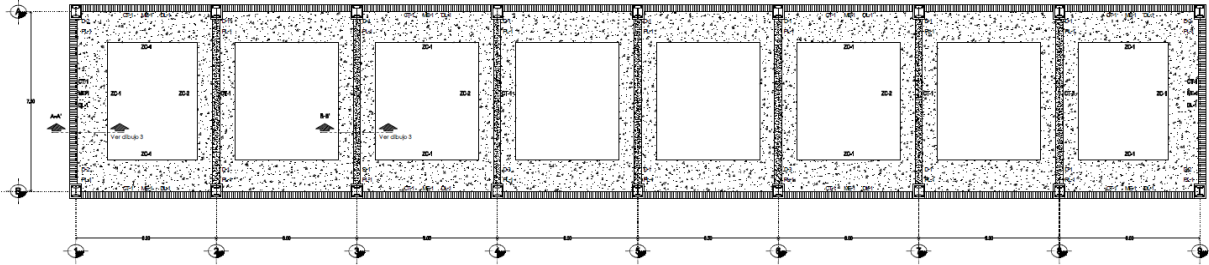


Ilustración 25: Arreglo de cimentación para edificio eléctrico

### 1. Zapata corrida uno (ZC-1)

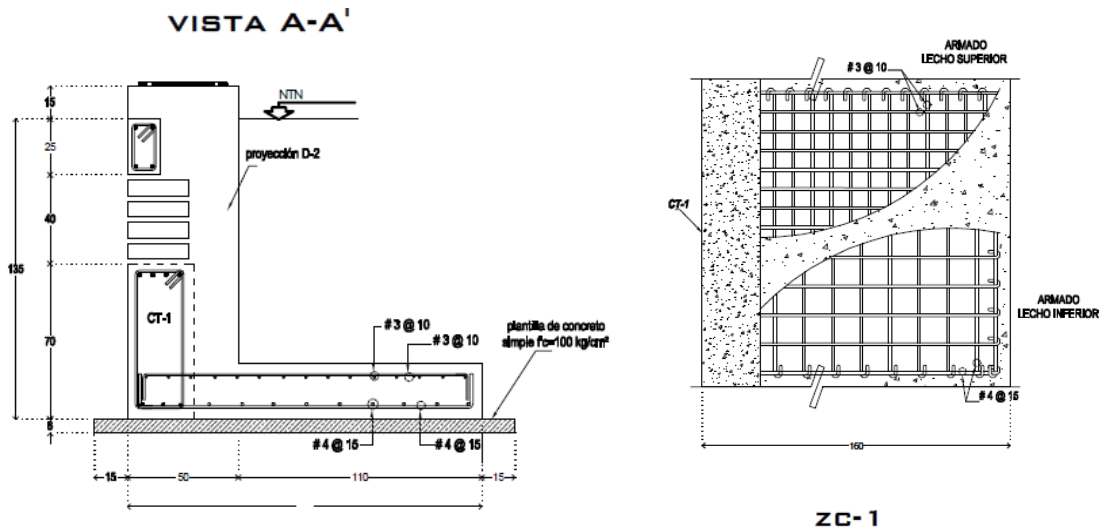
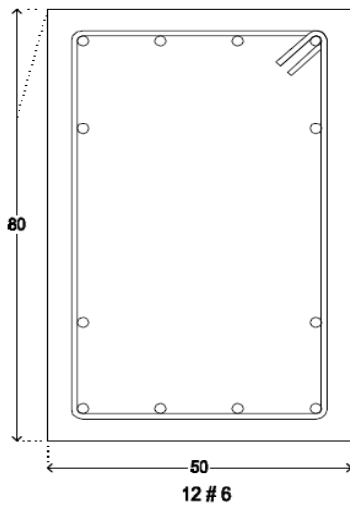


Ilustración 26: Arreglo de zapata corrida ZC-1 para edificio eléctrico

La zapata corrida uno (ZC-1) se encuentra en la periferia del edificio eléctrico, y para fines de cálculo se considera que está compuesta por:

- Cuatro dados D-2

**D-2**



Las dimensiones especificadas son:

Largo= 1.25 m, Ancho=0.50m y Espesor=0.80 m

Vol=1.25\*0.50\*0.80=0.5 m<sup>3</sup>

Para el total de piezas, el volumen es:

Vol=2 m<sup>3</sup>

**Ilustración 27: Arreglo de dado D-2 para edificio eléctrico**

b) Dos losas verticales

La losa tiene por dimensiones: Largo=8.10 m, Ancho=1.60 m y Espesor=0.25 m

Vol=8.10\*1.60\*0.25=3.24 m<sup>3</sup>

Para el total de piezas el volumen es:

Vol=6.48 m<sup>3</sup>

c) Dieciséis losas horizontales

La losa tiene por dimensiones: Largo=3.85 m, Ancho=1.60 m y Espesor=0.25 m

Vol=3.85\*1.60\*0.25=1.54 m<sup>3</sup>

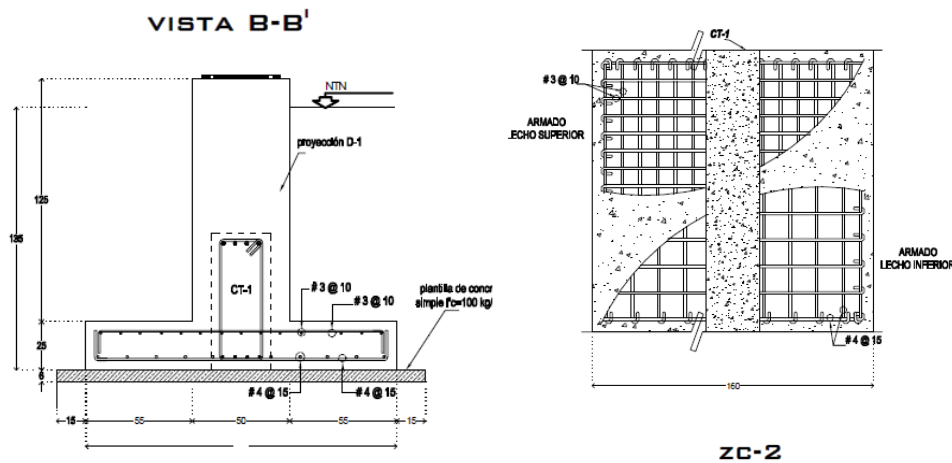
Para el total de piezas el volumen es:

Vol=24.64 m<sup>3</sup>

Por lo que el volumen para este primer concepto es:

Vol<sub>1</sub>=33.12 m<sup>3</sup>

## 2. Zapata corrida dos (ZC-2)

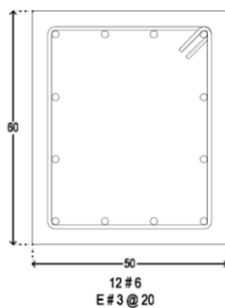


**Ilustración 28: Arreglo de zapata corrida ZC-2 para edificio eléctrico**

La zapata corrida (ZC-2) son los arreglos de cimentación interiores del edificio eléctrico, y para fines de cálculo se considera que está compuesta por:

### a) Diez dados D-1

#### D-1



Las dimensiones especificadas son:

Largo= 1.25 m, Ancho=0.50m y Espesor=0.60 m

Vol=1.25\*0.50\*0.60=0.38 m<sup>3</sup>

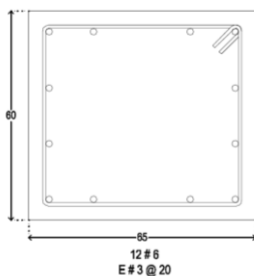
Para el total de piezas, el volumen es:

Vol=3.78 m<sup>3</sup>

**Ilustración 29: Arreglo de dado D-1 para edificio eléctrico**

### b) Cuatro dados D-3

#### D-3



Las dimensiones especificadas son:

Largo= 1.25 m, Ancho=0.65m y Espesor=0.60 m

Vol=1.25\*0.65\*0.60=0.49 m<sup>3</sup>

Para el total de piezas, el volumen es:

Vol=1.95 m<sup>3</sup>

**Ilustración 30: Arreglo de dado D-3 para edificio eléctrico**



c) Siete losas verticales

La losa tiene por dimensiones: Largo=8.10 m, Ancho=1.60 m y Espesor=0.25 m

$$\text{Vol}=8.10*1.60*0.25=3.24 \text{ m}^3$$

Para el total de piezas el volumen es:

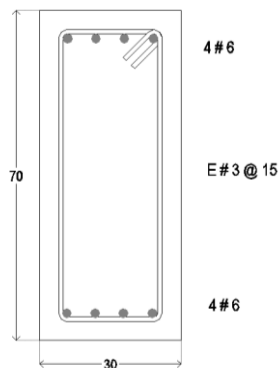
$$\text{Vol}=22.68 \text{ m}^3$$

Por lo que el volumen para este segundo concepto es:

$$\text{Vol}_2=28.38 \text{ m}^3$$

### 3. Contratrabe uno (CT-1)

#### **CT-1**



Las dimensiones especificadas son:

Ancho=0.30 metros

Espesor\*=0.45 metros

\*Una parte del concreto que requiere ésta contratrabe ya se contabilizó en las zapatas corridas.

#### Ilustración 31: Arreglo de contratrabe CT-1 en el edificio eléctrico

Las contratraves son usadas para conexiones entre dados, y para fines de cálculo se considera que está compuesta por:

a) Siete contratraves de 6.90 metros de largo

$$\text{Vol}=6.90*0.30*0.45=0.93 \text{ m}^3$$

Para el total de piezas el volumen es:

$$\text{Vol}=6.52 \text{ m}^3$$

b) Dos contratraves de 6.50 metros de largo

$$\text{Vol}=6.50*0.30*0.45=0.88 \text{ m}^3$$

Para el total de piezas el volumen es:

$$\text{Vol}=1.76 \text{ m}^3$$

c) Doce contratraves de 5.50 metros de largo  
 $\text{Vol}=5.50*0.30*0.45=0.74 \text{ m}^3$

Para el total de piezas el volumen es:

$$\text{Vol}=8.91 \text{ m}^3$$

d) Cuatro contratraves de 5.35 metros de largo  
 $\text{Vol}=5.35*0.30*0.45=0.72 \text{ m}^3$

Para el total de piezas el volumen es:

$$\text{Vol}=2.89 \text{ m}^3$$

Por lo que el volumen para este tercer concepto es:

$$\text{Vol}_3=20.07 \text{ m}^3$$

#### 4. Losa de terminación

Se tiene una losa de terminación cuyas dimensiones son:

Largo=48.5 m, Ancho=8.1 metros y con Espesor=0.11 metros.

Por lo que el volumen para este cuarto concepto es:

$$\text{Vol}_4=48.50*8.10*0.11=43.21 \text{ m}^3$$

De esta manera la cantidad total de concreto necesario para el edificio eléctrico es:

$$\text{Vol}_{\text{Total}}=\text{Vol}_1+ \text{Vol}_2+ \text{Vol}_3+ \text{Vol}_4=124.8 \text{ m}^3$$

### Concreto para torre de enfriamiento

Con base en el plano de cimentación de torre de enfriamiento, la cantidad de concreto se puede desglosar en 9 conceptos:

# INFORME ESCRITO

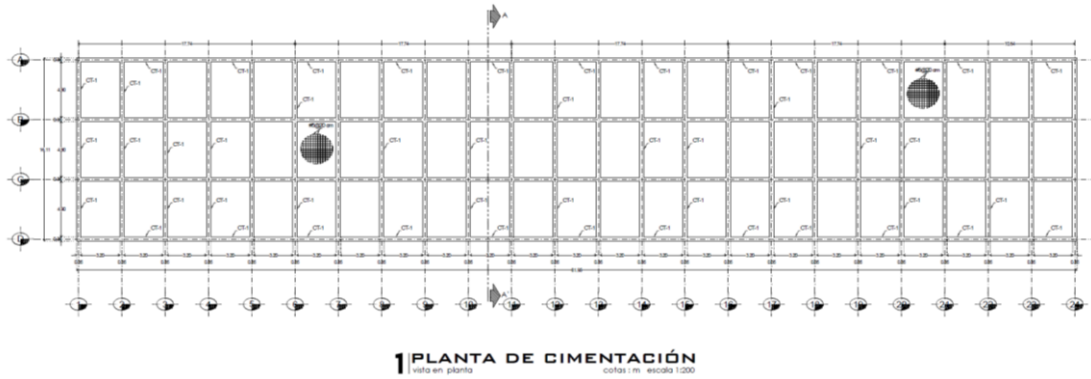


Ilustración 32: Arreglo de cimentación para la torre de enfriamiento (Vista en planta)

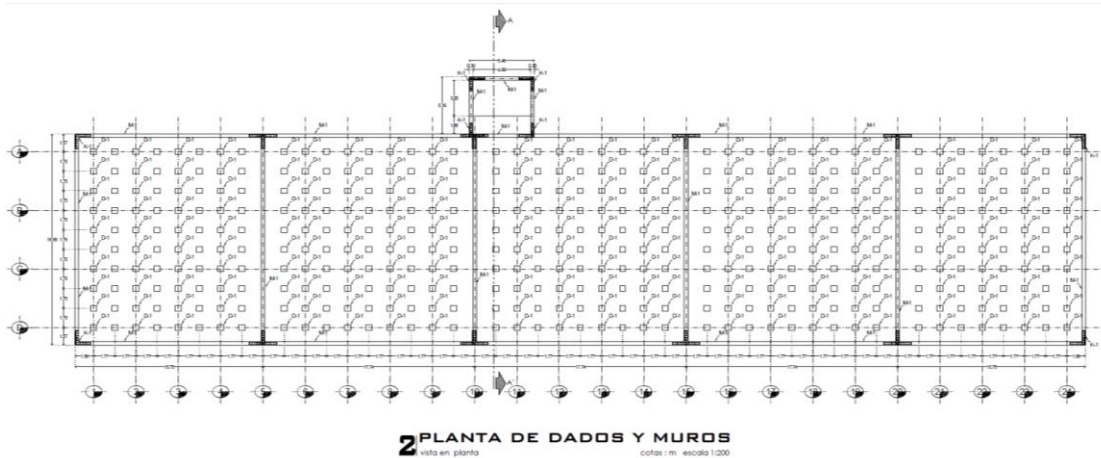


Ilustración 33: Arreglo de dados y muros de la torre de enfriamiento (Vista en planta)

## 1. Losa de cimentación

Las dimensiones de la losa de cimentación son:

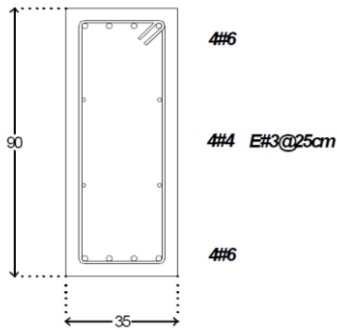
Largo=84.72 m, Ancho=18.89 m y Espesor de 0.30 m.

Por lo que el volumen de este primer concepto es:

$$\text{Vol}_1 = 84.72 \cdot 18.89 \cdot 0.30 = 480.11 \text{ m}^3$$

## 2. Veinticuatro contratrabes de 18.89 de largo

**CT-1**



Las dimensiones de la contratrabe son:

Largo=18.89 m, Ancho=0.35 m y Espesor de 0.60 m.

0.30 metros de espesor de la contratrabe ya fueron contabilizados con la losa de cimentación.

Por lo que el volumen es:

$$\text{Vol}=18.89*0.35*0.60=3.97 \text{ m}^3$$

**Ilustración 34: Arreglo de contratrabe CT-1 en la torre de enfriamiento**

Por lo que el volumen para el total de piezas de este segundo concepto es:

$$\text{Vol}_2=95.21 \text{ m}^3$$

3. Cuatro contratraves de 84.72 metros de largo

Las dimensiones de la contratrabe son:

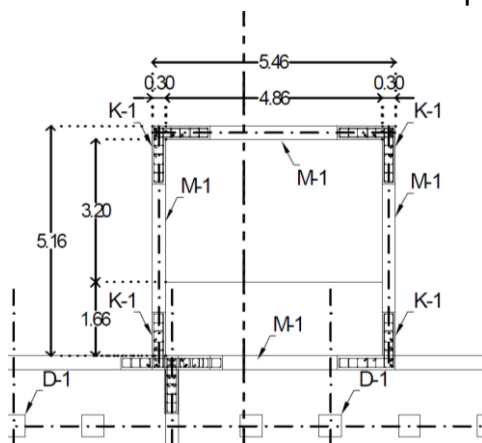
Largo=84.72 m, Ancho=0.35 y espesor de 0.60 m, de igual manera 0.30 m de espesor ya fueron contabilizados con la losa de cimentación, por lo que el volumen es:

$$\text{Vol}=84.72*0.35*0.60=17.79 \text{ m}^3$$

Por lo que el volumen para el total de piezas de este tercer concepto es:

$$\text{Vol}_3=71.16 \text{ m}^3$$

4. Una losa de cimentación para la poza adyacente a la torre



Las dimensiones de la losa son:

Largo=5.46 m, Ancho=1.66 m y Espesor de 0.30 m

Por lo que el volumen para este cuarto concepto es:

$$\text{Vol}_4=2.72 \text{ m}^3$$

**Ilustración 35: Arreglo de poza de excedencias de la torre de enfriamiento**

## INFORME ESCRITO

---

5. Muros para la poza adyacente a la torre hasta nivel de terreno  
Se refiere al arreglo de muros para formar la poza, y para fines de cálculo se considera que está compuesta por:

a) Dos muros de 5.46 metros de largo

Las dimensiones para este muro son:

Largo=5.46 m, Ancho=0.30 m y profundidad de 6 m.

$$\text{Vol}=5.46*0.30*6.00=9.83 \text{ m}^3$$

Para el total de piezas el volumen es:

$$\text{Vol}=19.66 \text{ m}^3$$

b) Dos muros de 3.50 metros de largo

Las dimensiones para este muro son:

Largo=3.50 m, Ancho=0.30 m y profundidad de 6 m.

$$\text{Vol}=3.50*0.30*6.00=9.83 \text{ m}^3$$

Para el total de piezas el volumen es:

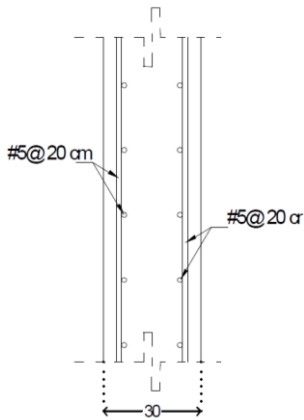
$$\text{Vol}=12.60 \text{ m}^3$$

Por lo que el volumen total para este quinto concepto es:

$$\text{Vol}_5=32.26 \text{ m}^3$$

6. Seis muros de 18.29 metros de largo

**M-1**



Las dimensiones del muro son:

Largo=18.29 m, Ancho=0.30 y profundidad de 2.42 m.

Por lo que el volumen es:

$$\text{Vol}=18.29 \times 0.30 \times 2.42=13.28 \text{ m}^3$$

Para el total de piezas de este sexto concepto el volumen es:

$$\text{Vol}_6=79.67 \text{ m}^3$$

Ilustración 36: Arreglo de muro M-1 para la cimentación de la torre de enfriamiento

7. Dos muros de 84.72 metros de largo

Las dimensiones del muro son:

Largo=84.72 m, Ancho=0.30 y profundidad de 2.42 m.

Por lo que el volumen es:

$$\text{Vol}=18.29 \times 0.30 \times 2.42=61.51 \text{ m}^3$$

Para el total de piezas de este séptimo concepto el volumen es:

$$\text{Vol}_7=123.01 \text{ m}^3$$

8. Muros para la poza adyacente a la torre sobre el nivel de terreno

Para fines de cálculo se considera que el concepto está compuesto por:

a) Un muro de 4.86 metros de largo

Las dimensiones del muro son:

Largo=4.86 m, Ancho=0.30 y profundidad de 2.42 m.

Por lo que el volumen es:

$$\text{Vol}=4.86 \times 0.30 \times 2.42=3.53 \text{ m}^3$$

Para el total de piezas el volumen es:

$$\text{Vol}=3.53 \text{ m}^3$$

b) Dos muros de 5.16 metros de largo

## INFORME ESCRITO

Las dimensiones del muro son:

Largo=5.16 m, Ancho=0.30 y profundidad de 2.42 m.

Por lo que el volumen es:

$$\text{Vol}=5.16*0.30*2.42=3.75 \text{ m}^3$$

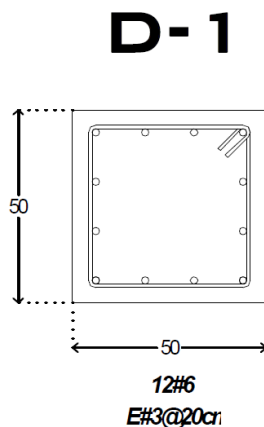
Para el total de piezas el volumen es:

$$\text{Vol}=7.49 \text{ m}^3$$

Por lo que el volumen total para este octavo concepto es:

$$\text{Vol}_8=11.02 \text{ m}^3$$

### 9. Cuatrocientos cincuenta dados



Las dimensiones del dado son

Largo= 0.50 m, Ancho=0.50 m y altura=1.20 m.

Por lo que el volumen es:

$$\text{Vol}=0.50*0.50*1.20=0.30 \text{ m}^3$$

Para el total de piezas de este noveno concepto el volumen es:

$$\text{Vol}_9=135 \text{ m}^3$$

**Ilustración 37: Arreglo de dado D-1 de cimentación en la torre de enfriamiento**

De esta manera la cantidad total de concreto necesaria para la cimentación de la torre de enfriamiento es:

$$\text{Vol}_{\text{Total}}=\text{Vol}_1+\text{Vol}_2+\text{Vol}_3+\text{Vol}_4+\text{Vol}_5+\text{Vol}_6+\text{Vol}_7+\text{Vol}_8+\text{Vol}_9=1030.16 \text{ m}^3$$

# INFORME ESCRITO

## Concreto para turbogenerador

Con base en el plano de cimentación de turbogenerador, la cantidad de concreto se puede desglosar en 6 conceptos:

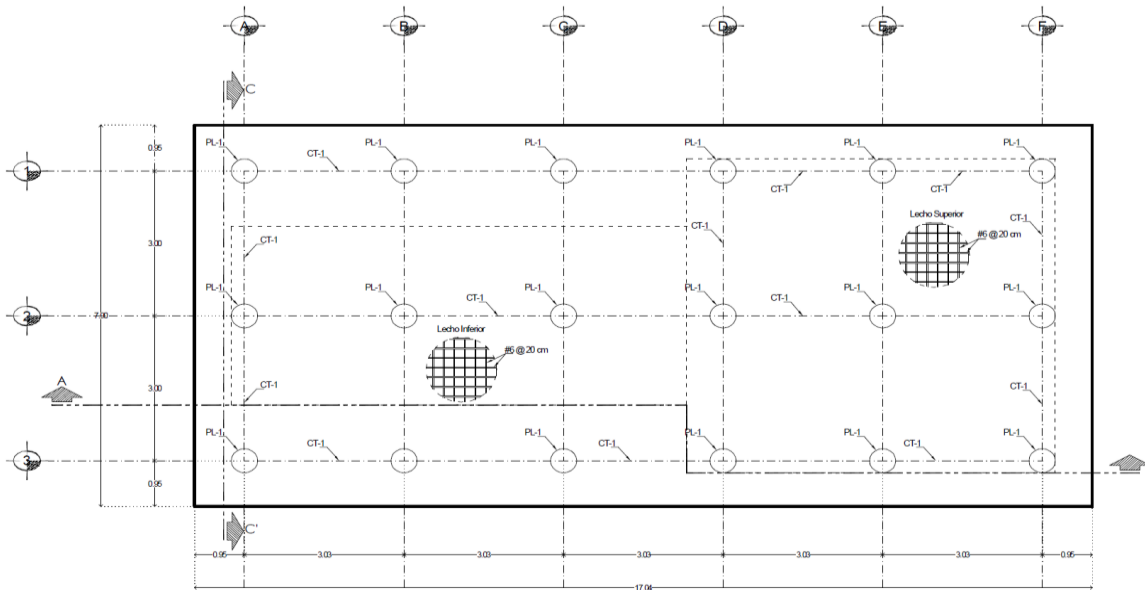


Ilustración 38: Arreglo de pedestales para cimentación del turbogenerador (Vista en planta)

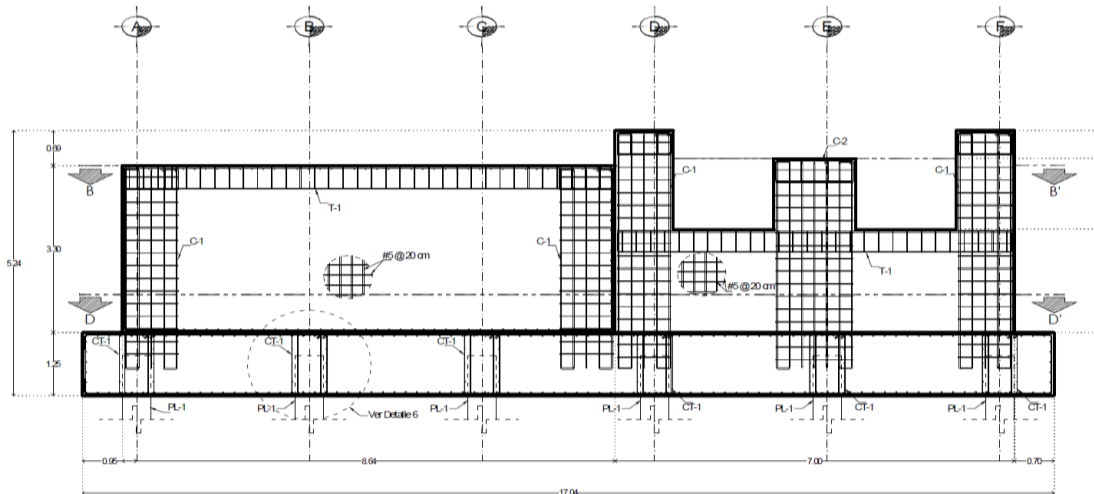


Ilustración 39: Arreglo de pedestales para cimentación de turbogenerador (Vista lateral)

1. Una losa de cimentación

Las dimensiones del muro son:

Largo=18.04 m, Ancho=7.90 y Espesor de 1.25 m.



# INFORME ESCRITO

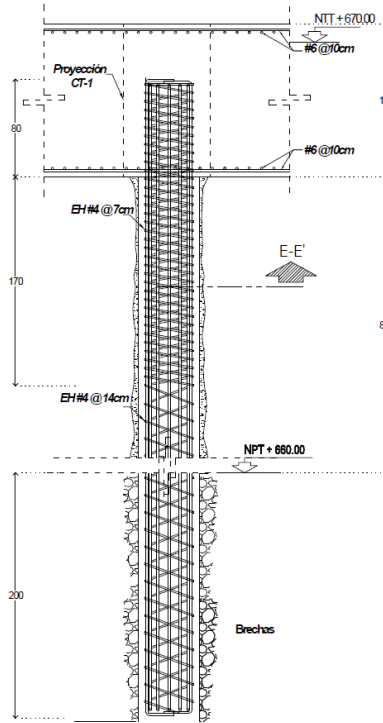
Por lo que el volumen es:

$$\text{Vol}=178.45 \text{ m}^3$$

Para el total de piezas de este primer concepto el volumen es:

$$\text{Vol}_1=178.45 \text{ m}^3$$

## 2. 18 pilas de cimentación



Las dimensiones de la pila son:

Diámetro=0.50 m, Profundidad=10.90 m.

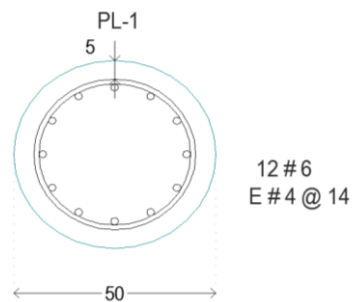
Por lo que el volumen es:

$$\text{Vol}=2.14 \text{ m}^3$$

Para el total de piezas de este segundo concepto el volumen es:

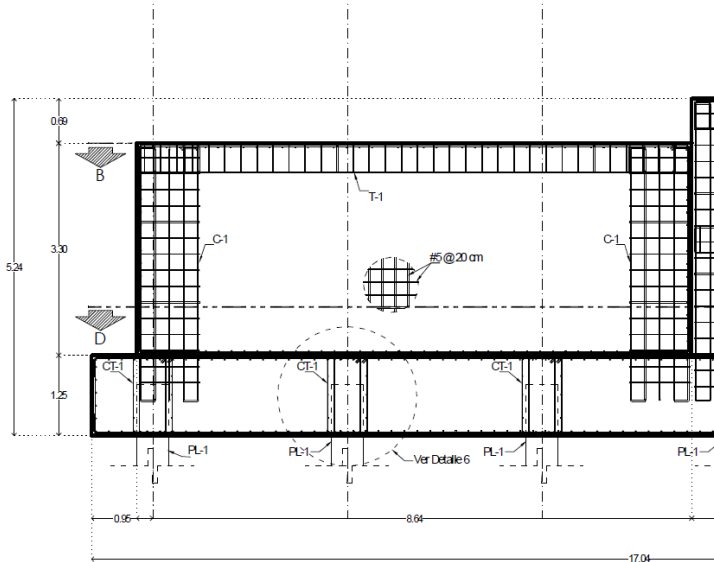
$$\text{Vol}_2=38.52 \text{ m}^3$$

**Ilustración 40: Arreglo de pila para cimentación del turbogenerador (Vista lateral)**



**Ilustración 41: Arreglo de pila para cimentación del turbogenerador (Vista lateral)**

3. Un pedestal (PD-1) del turbogenerador



Las dimensiones del pedestal son:

Largo=8.64 m, Ancho=3.70 m y altura de 3.30 m.

Por lo que el volumen es:

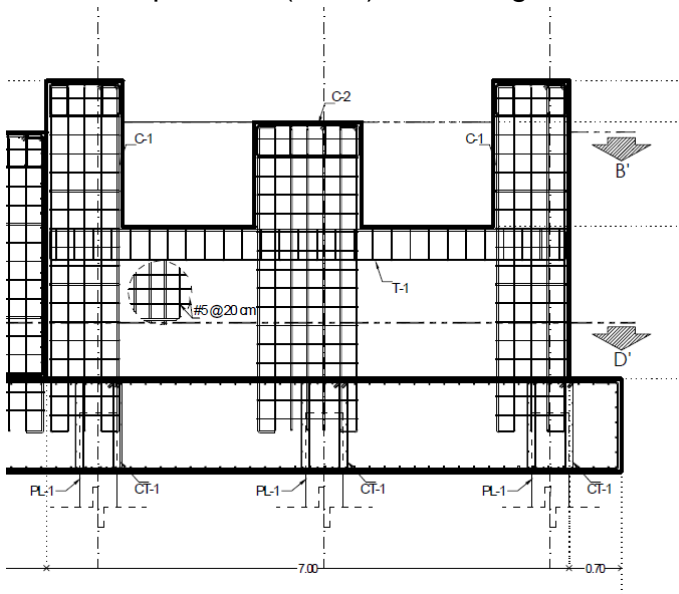
$$\text{Vol}=105.49 \text{ m}^3$$

El volumen para este tercer concepto es:

$$\text{Vol}_3=105.49 \text{ m}^3$$

Ilustración 42: Arreglo del pedestal PD-1 para cimentación del turbogenerador

4. Un pedestal (PD-2) del turbogenerador



Las dimensiones del pedestal son:

Largo=7.00 m, Ancho=6.50 m y altura de 2.04 m.

Por lo que el volumen es:

$$\text{Vol}=92.96 \text{ m}^3$$

El volumen para este cuarto concepto es:

$$\text{Vol}_4=92.96 \text{ m}^3$$

Ilustración 43: Arreglo de pedestal PD-2 para cimentación del turbogenerador

5. Dos arreglos de columna tipo C-1

Las dimensiones de este arreglo son:

Largo=1.02 m, Ancho=6.50 m y altura de 1.95 m

Por lo que el volumen es:

$$\text{Vol}=12.93 \text{ m}^3$$

Para el total de piezas de este quinto concepto el volumen es:

$$\text{Vol}_5=25.86 \text{ m}^3$$

6. Un arreglo de columna tipo C-2  
Las dimensiones de este arreglo son:

Largo=1.44 m, Ancho=6.50 m y altura de 1.40 m

Por lo que el volumen es:

$$\text{Vol}=13.10 \text{ m}^3$$

Para el total de piezas de este sexto concepto el volumen es:

$$\text{Vol}_6=13.10 \text{ m}^3$$

De esta manera la cantidad total de concreto necesaria para la cimentación del Turbogenerador es:

$$\text{Vol}_{\text{Total}}=\text{Vol}_1+ \text{Vol}_2+ \text{Vol}_3+ \text{Vol}_4+ \text{Vol}_5+ \text{Vol}_6 =454.38 \text{ m}^3$$

# INFORME ESCRITO

## Concreto para bombas de pozo caliente

Con base en el plano de cimentación de bombas de pozo caliente, la cantidad de concreto se puede desglosar en los siguientes conceptos:

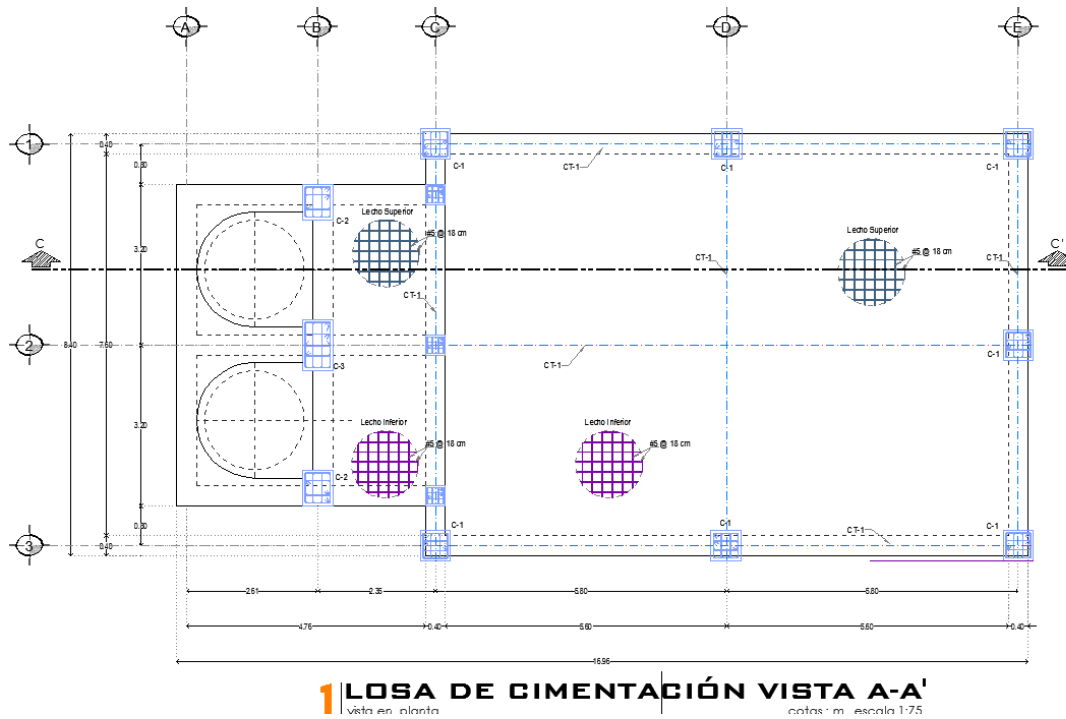
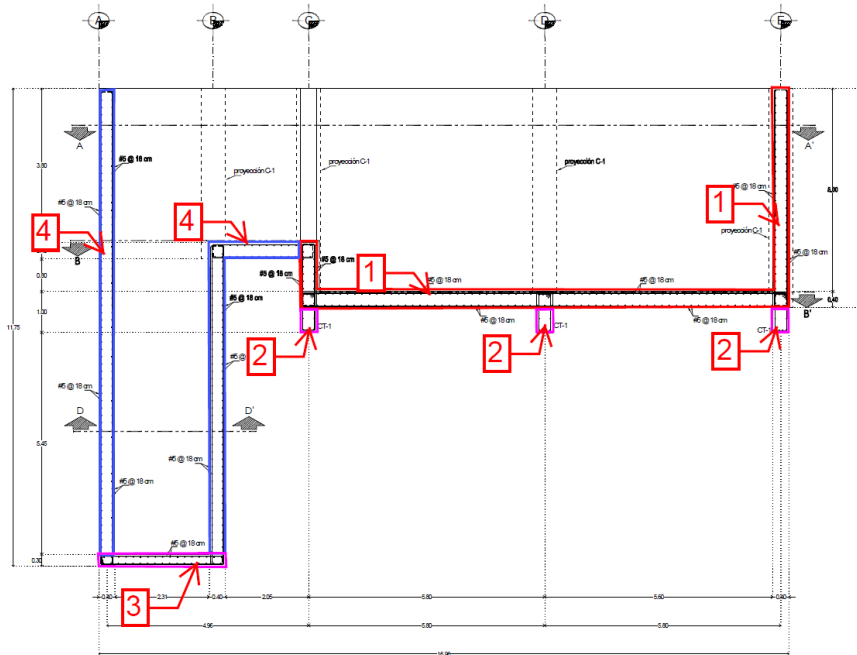


Ilustración 44: Arreglo de cimentación de las bombas de pozo caliente (Vista en planta)



**Ilustración 45: Arreglo de cimentación de las bombas de pozo caliente (Vista lateral)**

1. Volumen de concreto en (1)

Las dimensiones de la sección son:

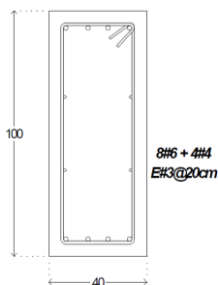
Largo=(5.40+5.60+6.00+1.20)=18.20 m, Ancho=8.40 m, y Espesor de 0.40 m.

Por lo que el volumen para este primer concepto es:

$$Vol_1=61.15 \text{ m}^3$$

2. Volumen de concreto en (2)

### CT-1



Las 3 contratraves tienen por dimensiones:

Largo=8.40 m, Ancho=0.40 m y peralte de 0.60 m (0.40 m ya se consideraron en punto anterior).

Por lo que el volumen para las 3 piezas de este segundo concepto es:

$$Vol_2=2.06 (3)=6.05 \text{ m}^3$$

**Ilustración 46: Arreglo de contratrabe CT-1 para cimentación de bombas de pozo caliente**

3. Volumen de concreto en (3)

## INFORME ESCRITO

La losa indicada tiene por dimensiones:

Largo=7.40 m, Ancho=3.11 m y Espesor=0.30 m.

Por lo que el volumen para este tercer concepto es:

$$\text{Vol}_3=6.91 \text{ m}^3$$

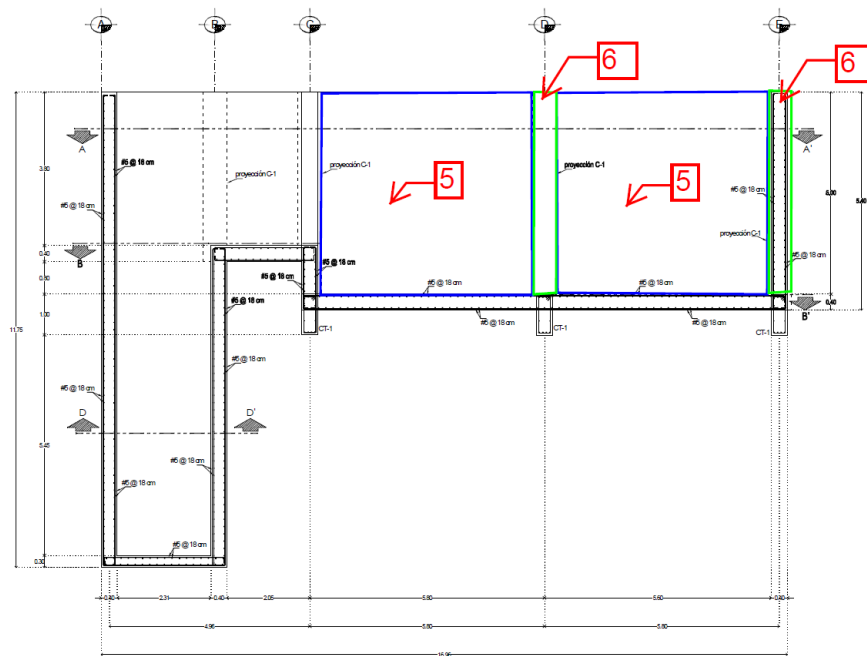
4. Volumen de concreto en (4)

La sección tiene por dimensiones:

Largo=(1.85+7.65+11.45)=20.95 m, Ancho=6.40 m y Espesor=0.40m.

Por lo que el volumen para este cuarto concepto es:

$$\text{Vol}_4=53.63 \text{ m}^3$$



**Ilustración 47: Arreglo de muros transversales para cimentación de las bombas de pozo caliente**

5. Volumen de concreto en (5)

Las dimensiones que componen los 4 muros de la sección 5 son:

Largo=6.20 m, Altura=5 m y Espesor=0.40 m.

Por lo que el volumen es:

## INFORME ESCRITO

$$\text{Vol}=12.40 \text{ m}^3$$

Para el total de piezas que componen este quinto concepto el volumen es:

$$\text{Vol}_5=49.6 \text{ m}^3$$

6. Volumen de concreto en (6)

Las dimensiones que componen las 5 columnas de la sección 6 son:

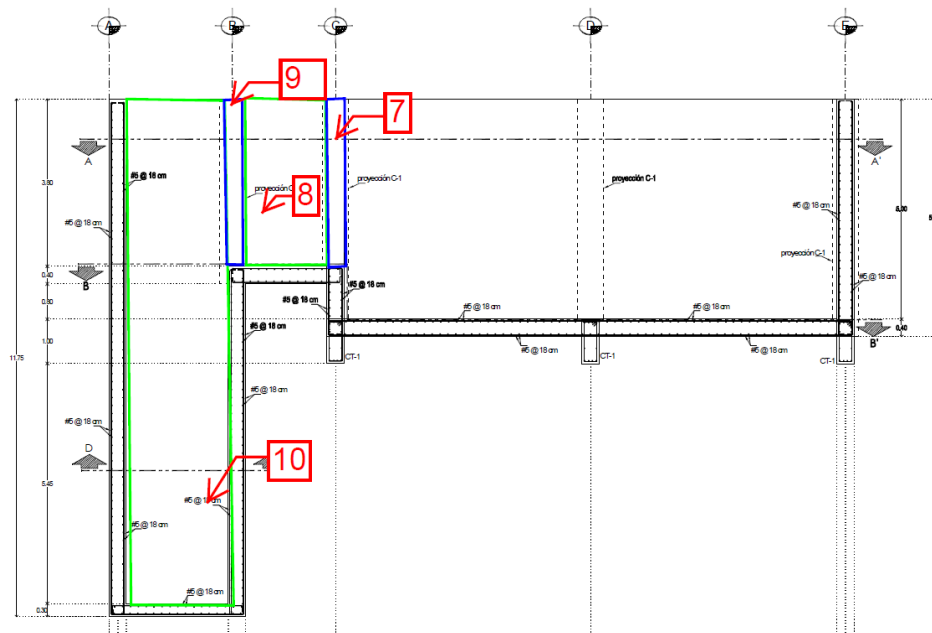
Largo=0.40 m, Ancho=0.40 m y Altura=5 m.

Por lo que el volumen es:

$$\text{Vol}=0.8 \text{ m}^3$$

Para el total de piezas que componen este sexto concepto el volumen es:

$$\text{Vol}_6=4 \text{ m}^3$$



**Ilustración 48: Arreglo de muros transversales de obra de toma para bombas de pozo caliente**

7. Volumen de concreto en (8)

Para fines de cálculo la sección 8 se divide en:

a) 2 columnas tipo C-1

Las dimensiones de la columna son:

Largo=0.60 m, Ancho=0.60 m y Altura=3.80 m

Por lo que el volumen es:

$$\text{Vol}=1.368 \text{ m}^3$$

Para el total de piezas que la componen el volumen es:

$$\text{Vol}=2.736 \text{ m}^3$$

b) 3 columnas tipo C-4

Las dimensiones de la columna son:

Largo=0.40 m, Ancho=0.40 m y Altura=3.80 m

Por lo que el volumen es:

$$\text{Vol}=0.608 \text{ m}^3$$

Para el total de piezas que la componen el volumen es:

$$\text{Vol}=1.824 \text{ m}^3$$

c) 2 muros de 0.50 metros de largo

Las dimensiones del muro son:

Largo=0.50 m, Ancho=0.40 m y Altura=3.80 m

Por lo que el volumen es:

$$\text{Vol}=0.76 \text{ m}^3$$

Para el total de piezas el volumen es:

$$\text{Vol}=1.52 \text{ m}^3$$

Por lo que el volumen total para este octavo concepto es:

$$\text{Vol}_7=6.08 \text{ m}^3$$

8. Volumen de concreto en (9)

Las dimensiones de los 3 muros que componen la sección 9 son:

Largo=1.80 m, Altura=3.80 m y Espesor=0.40 m.

Por lo que el volumen es:

$$\text{Vol}=2.74 \text{ m}^3$$

Para el total de piezas que a componen el volumen es:



$$\text{Vol}_8=8.21 \text{ m}^3$$

9. Volumen de concreto en (10)

Para fines de cálculo la sección 8 se divide en:

a) Dos columnas tipo C-2

Las dimensiones de la columna son:

Largo=0.71 m, Ancho=0.71 m y Altura=3.80 m

Por lo que el volumen es:

$$\text{Vol}=1.916 \text{ m}^3$$

Para el total de piezas que la componen el volumen es:

$$\text{Vol}=3.83 \text{ m}^3$$

b) Una columna tipo C-3

Las dimensiones de la columna son:

Largo=1.02 m, Ancho=0.60 m y Altura=3.80 m

Por lo que el volumen es:

$$\text{Vol}=2.326 \text{ m}^3$$

Por lo que el volumen para este decimo concepto es:

$$\text{Vol}_9=6.16 \text{ m}^3$$

10. Volumen de concreto en (11)

Las dimensiones de los dos muros que componen este concepto son:

Largo=2.31 m, Ancho=0.40 y Altura=11.45 m.

Por lo que el volumen es:

$$\text{Vol}=10.58 \text{ m}^3$$

Para el total de piezas que componen este onceavo concepto el volumen es:

$$\text{Vol}_{10}=21.16 \text{ m}^3$$

De esta manera la cantidad total de concreto necesaria para la cimentación de la cimentación de las bombas de pozo caliente es:

$$\text{Vol}_{\text{Total}}=\text{Vol}_1+ \text{Vol}_2+ \text{Vol}_3 + \text{Vol}_4+ \text{Vol}_5+ \text{Vol}_6 + \text{Vol}_7+ \text{Vol}_8+ \text{Vol}_9 + \text{Vol}_{10} =222.95 \text{ m}^3$$

## Memoria de cálculo de acero de refuerzo

### Acero de refuerzo para casa de máquinas

Con base en el plano plano de cimentación de casa de máquinas, la cantidad total de acero de refuerzo se puede desglosar en 4 conceptos.

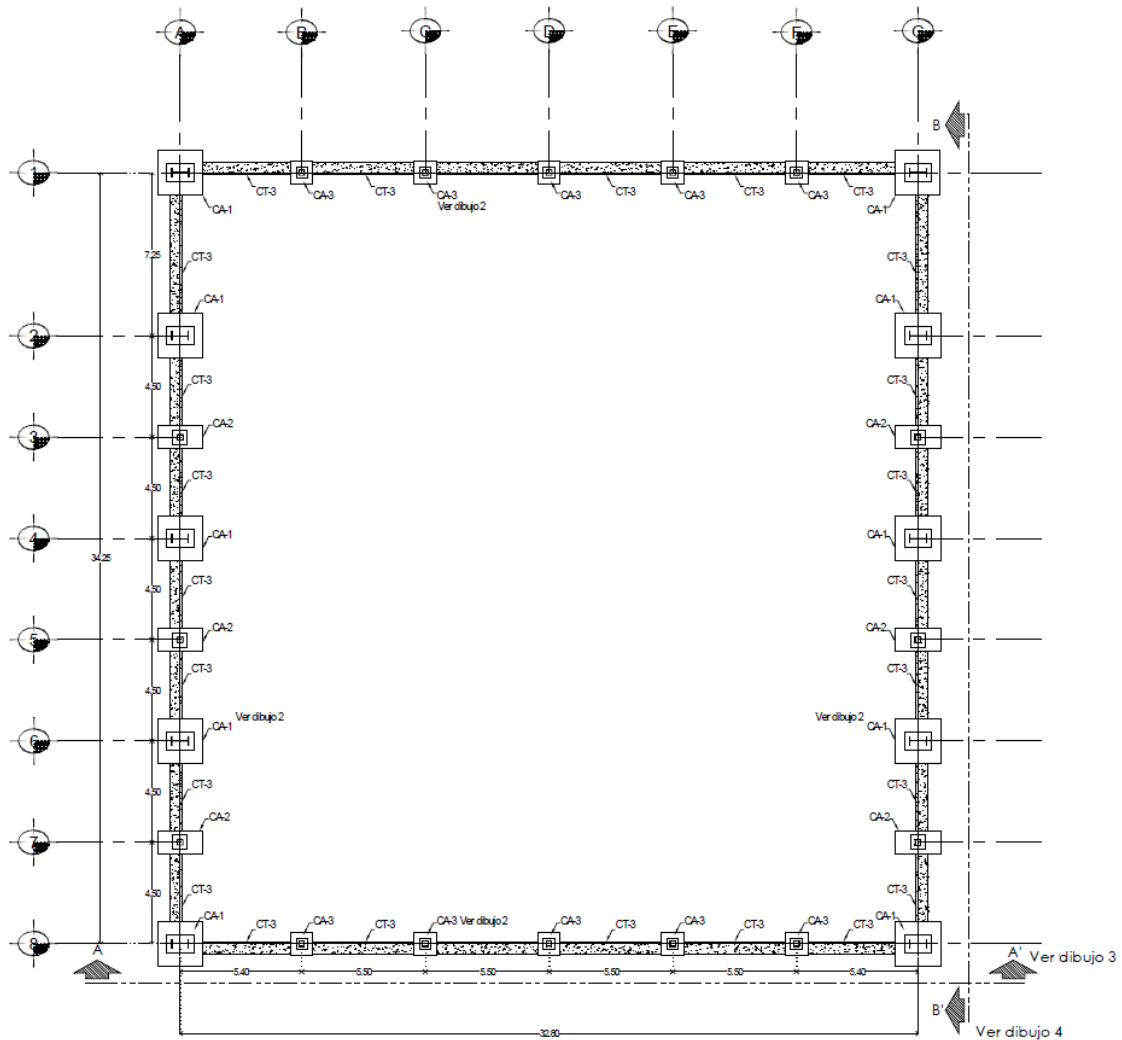
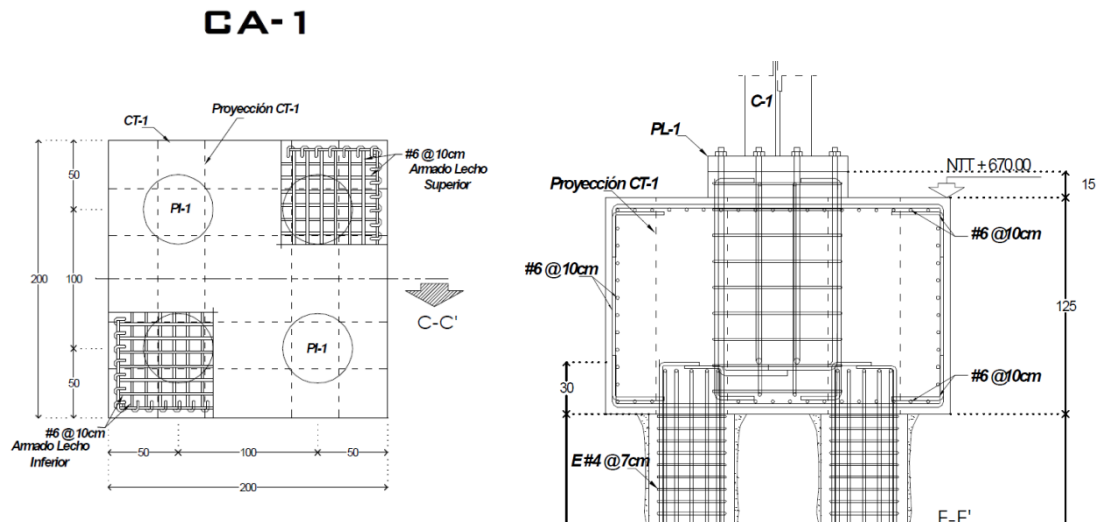


Ilustración 49: Arreglo de cimentación para casa de máquinas

#### 1. Cabezales con 4 pilas de cimentación

Para fines de cálculo el cabezal se divide en:

a) Armado para cabezal CA-1



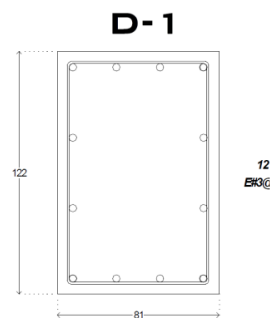
**Ilustración 50: Arreglo de acero para cabezal CA-1 para casa de máquinas**

Se compone de acero superior, inferior y lateral con varilla del #6 @ 10 cm

Lecho superior: 40 piezas de 2.46 m, Lecho inferior: 40 piezas de 2.46 m, acero lateral longitudinal: 50 piezas de 2.48 m, acero lateral transversal: 80 piezas de 1.69 m.

Por lo que la longitud de acero respectivamente para los diez arreglos por los que está compuesta la casa de máquinas es: 982.40 m, 982.40 m, 1,237.50 m y 1,352.0 m.

b) Armado de dado D-1



**Ilustración 51: Arreglo de acero de dado D-1 para casa de máquinas**

Se compone de 12 varillas del #6, y para este caso de Estribos #3 @ 15 cm.

## INFORME ESCRITO

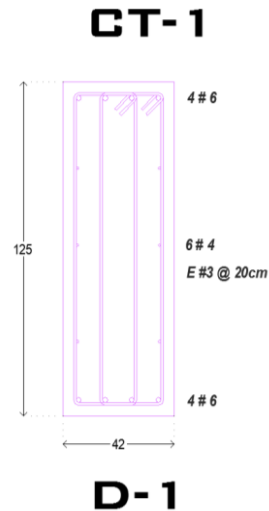
---

Por lo que la longitud de la varilla es 1.71 m, y 3.62 m para el estribo.

Para el total de arreglos por los que está compuesta la casa de máquinas la longitud es:

205.44 m de varilla del #6 y 325.80 m de varilla del #3.

c) Armado de contratrabe CT-1



**Ilustración 52: Arreglo de acero para contratrabe CT-1 para casa de máquinas**

Dado que se tienen dos contratrabes para este tipo de cabezal, la cantidad de varillas son 24 varillas del #4 de 2.48 m de largo y 32 varillas del # 6 de 2.48 m de largo.

El total de estribos del #3 a usar son 80.

Por lo que las longitudes de varilla para los diez arreglos que componen el cabezal respectivamente son:

792 m de varilla del #6, 594 m de varilla del # 4 y 2,224 m de varilla del #3 para estribos.



## INFORME ESCRITO

---

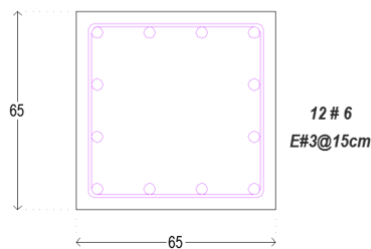
Se compone de acero superior, inferior y lateral con varilla del #6 @ 10 cm

Lecho superior: 10 piezas de 2.46 m y 20 piezas de 1.46 m, Lecho inferior: 10 piezas de 2.46 m y 20 piezas de 1.46 m, Acero lateral longitudinal: 20 piezas de 2.48 m y 20 piezas de 1.54 m, acero lateral transversal: 40 piezas de 1.69 m y 20 piezas de 1.15 m.

Por lo que la longitud de acero respectivamente para los seis arreglos por los que está compuesta la casa de máquinas es: 147.36 m, 174.84 m, 147.36 m, 174.84 m, 297 m, 184.50 m, 405.60 m y 137.40 m.

b) Armado de dado D-2

### D-2



**Ilustración 55: Arreglo de acero de dado D-2 para casa de máquinas**

Se compone de 12 varillas del #6, y para este caso de Estribos #3 @ 15 cm.

Por lo que la longitud de la varilla es 1.46 m, y 2.24 m para el estribo.

Para el total de arreglos por los que está compuesta la casa de máquinas la longitud es:

104.83 m de varilla del #6 y 94.08 m de varilla del #3.

c) Armado de contratabe CT-2

## CT-2

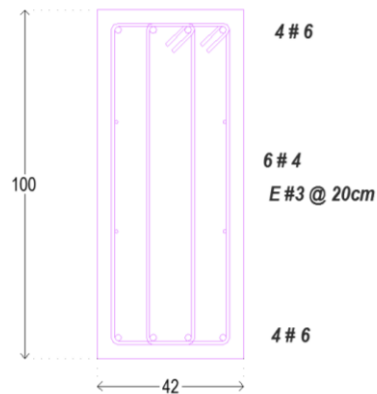


Ilustración 56: Arreglo de acero de contratrabe CT-2 para casa de máquinas

Dado que se tienen dos contratraves para este tipo de cabezal, la cantidad de varillas son 16 varillas del #6 de 2.48 m de largo y 8 varillas del # 4 de 2.48 m de largo.

El total de estribos del #3 a usar son 40.

Por lo que las longitudes de varilla para los seis arreglos que componen el cabezal respectivamente son:

237.60 m de varilla del #6, 118.80 m de varilla del # 4 y 546.72 m de varilla del #3 para estribos.

### d) Armado de pilas de cimentación

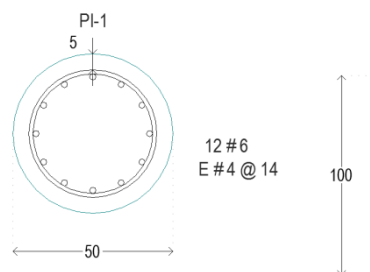


Ilustración 57: Arreglo de acero en pilas de cimentación para casa de máquinas

Se compone de 12 varillas del #6 y estribos de #4 @ 14 cm

## INFORME ESCRITO

Dado que se tiene en el arreglo 2 pilas con varilla de del #6, se tendrá un arreglo de 24 varillas de 10.76 m de largo y un total de 156 estribos con longitud de varilla de 1.26 m.

Por lo que la longitud total de acero para pilas para los seis arreglos de los que está compuesta la casa de máquinas es:

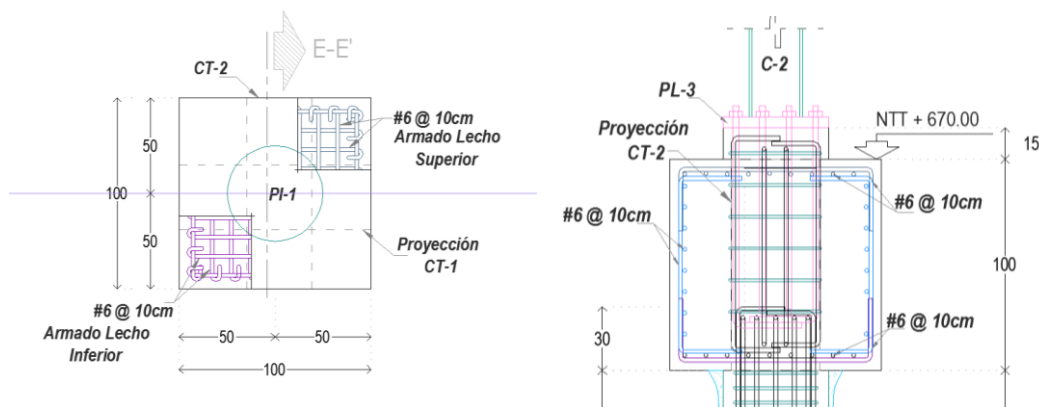
1,549.44 m de varilla del #6 y 1,176.55 m de varillas del #4.

Por lo que el peso total de acero para este segundo concepto es: 8,917 kg.

### 3. Cabezales con una pila de cimentación

Para fines de cálculo el cabezal se divide en:

#### a) Armado de cabezal CA-3



**Ilustración 58: Arreglo de acero de cabezal CA-3 para casa de máquinas**

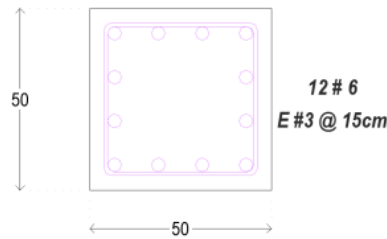
Se compone de acero superior, inferior y lateral con varilla del #6 @ 10 cm.

Lecho superior: 20 piezas de 1.46 m, Lecho inferior: 20 piezas de 1.46 m, acero lateral longitudinal: 32 piezas de 1.54 m, acero lateral transversal: 80 piezas de 1.15 m.

Por lo que la longitud de acero respectivamente para los diez arreglos por los que está compuesta la casa de máquinas es: 291.40 m, 291.40 m, 492 m y 916.0 m.



## b) Armado de dado D-3



**Ilustración 59: Arreglo de acero de dado D-3 para casa de máquinas**

Se compone de 12 varillas del #6, y para este caso de Estribos #3 @ 15 cm.

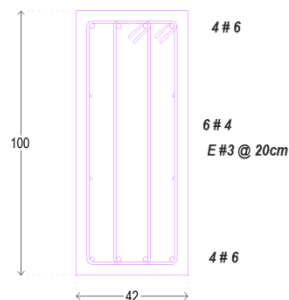
Por lo que la longitud de la varilla es 1.46 m, y 1.64 m para el estribo.

Para el total de arreglos por los que está compuesta la casa de máquinas la longitud es:

174.72 m de varilla del #6 y 98.64 m de varilla del #3.

## c) Armado de contratrabe CT-2

### CT-2



**Ilustración 60: Arreglo de acero de contratrabe CT-3 para casa de máquinas**

Dado que se tienen una contratrabe para este tipo de cabezal, la cantidad de varillas son 8 varillas del #6 de 2.48 m de largo y 4 varillas del #4 de 2.48 m de largo.

El total de estribos del #3 a usar son 20.

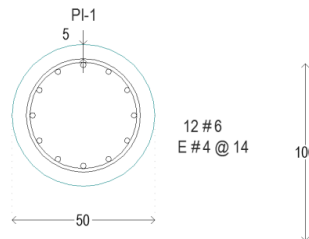
Por lo que las longitudes de varilla para los diez arreglos que componen el cabezal respectivamente son:

## INFORME ESCRITO

---

198 m de varilla del #6, 99 m de varilla del # 4 y 455.60 m de varilla del #3 para estribos.

### d) Armado de pilas de cimentación



**Ilustración 61: Arreglo de acero de pilas de cimentación para casa de máquinas**

Se compone de 12 varillas del #6 y estribos de #4 @ 14 cm.

Dado que se tiene en el arreglo una pila con varilla de del #6, se tendrá un arreglo de 12 varillas de 10.76 m de largo y un total de 78 estribos con longitud de varilla de 1.26 m.

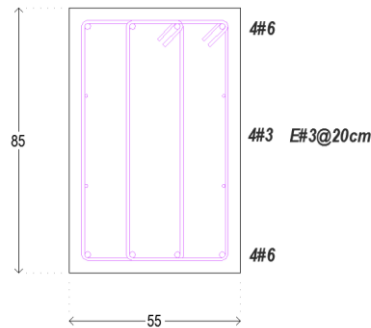
Por lo que la longitud total de acero para pilas para los diez arreglos de los que está compuesta la casa de máquinas es:

1,291.30 m de varilla del #6 y 980.46 m de varillas del #4

Por lo que el peso total de acero para este tercer concepto es: 8,882 kg.

### 4. Trabes de liga

## CT-3



**Ilustración 62: Arreglo de acero de contratrabe CT-3 para casa de máquinas**

Para fines de cálculo las trabes de liga se dividen en:

a) Trabes de liga caso 1

La cantidad de trabes con este arreglo es 4 y las longitudes necesarias para conexiones con los cabezales son:

8 varillas del #6 de 4.08 m, 4 varillas del #3 de 4.05 m, con 20 estribos de 2.16 m cada uno.

Por lo que las longitudes necesarias para varillas del #6, #3 y para estribos respectivamente son:

130.6 m de varilla del #6, 64.8 m de varilla del #3, y 172.5 m de varilla del #3 para estribos.

b) Trabes de liga caso 2

La cantidad de trabes con este arreglo es 8 y las longitudes necesarias para conexiones con los cabezales son:

8 varillas del #6 de 3.18 m, 4 varillas del #3 de 3.15 m, con 16 estribos de 2.16 m cada uno.

Por lo que las longitudes necesarias para varillas del #6, #3 y para estribos respectivamente son:

## INFORME ESCRITO

---

203.7 m de varilla del #6, 100.8 m de varilla del #3, y 276 m de varilla del #3 para estribos.

### c) Trabes de liga caso 3

La cantidad de trabes con este arreglo es 20 y las longitudes necesarias para conexiones con los cabezales son:

8 varillas del #6 de 5.43 m, 4 varillas del #3 de 5.40 m, con 16 estribos de 2.16 m cada uno.

Por lo que las longitudes necesarias para varillas del #6, #3 y para estribos respectivamente son:

868.9 m de varilla del #6, 431.7 m de varilla del #3, y 540 m de varilla del #3 para estribos.

Por lo que el peso total de acero para este cuarto concepto es: 3,268 kg.

De esta manera la cantidad total de acero de refuerzo para casa de máquinas es de:

$A_{\text{AceroTotal}}=48,494 \text{ kg}$

# INFORME ESCRITO

## Acero de refuerzo para torre de enfriamiento

Con base en el plano de cimentación de torre de enfriamiento, la cantidad total de acero se puede desglosar en:

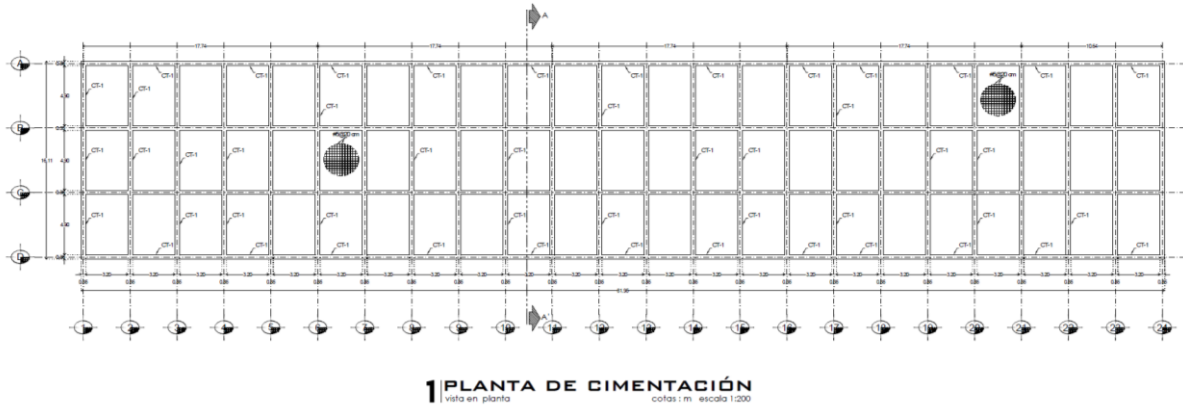


Ilustración 63: Planta de cimentación de torre de enfriamiento

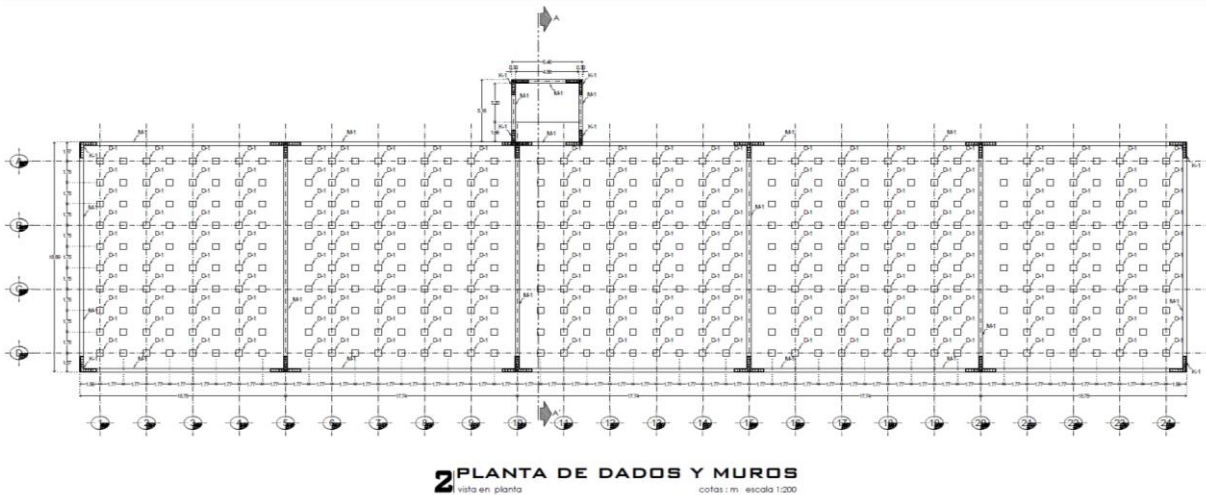


Ilustración 64: Planta de dados y muros de torre de enfriamiento

### 1. Losa de cimentación

La losa de cimentación se compone de varilla del #5 @ 20 cm, en dos direcciones y con dos lechos (Inferior y superior).

#### a) Acero transversal inferior

Se compone de 424 piezas de 19.19 m de largo.

#### b) Acero longitudinal inferior

Se compone de 95 piezas de 85.02 m de largo.

c) Acero transversal superior

Se compone de 424 piezas de de 19.19 m de largo.

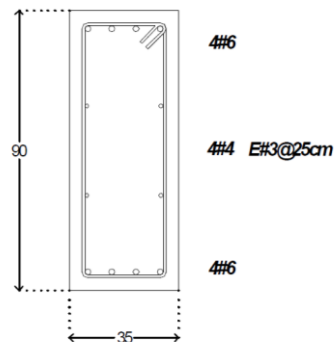
d) Acero longitudinal superior

Se compone de 95 piezas de 19.19 m de largo

Por lo que para el calibre de varilla del que se trata el peso total es: 50,402 kg

2. Contratraves transversales CT-1

### CT-1



**Ilustración 65: Arreglo de acero de contratrabe CT-1 para torre enfriamiento**

Se compone de 8 varillas del #6 con una longitud de 19.27 m y 4 varillas del #4 con una longitud de 24 m, con un total de estribos de 76 de 2.41 m cada uno. El número de arreglos que componen la torre de enfriamiento es 24.

Por lo que el total de varilla para este segundo concepto es: 12,568 kg

3. Contratraves horizontales CT-1

Se compone de 8 varillas del #6 con una longitud de 85.10 m y 4 varillas del #4 con una longitud de 84.94 m, con un total de estribos de 340 de 2.41 m cada uno. El número de arreglos que componen la torre de enfriamiento es 4.

Por lo que el total de varilla para este concepto es: 9,275 kg

4. Arreglo de dados D-1

## D-1

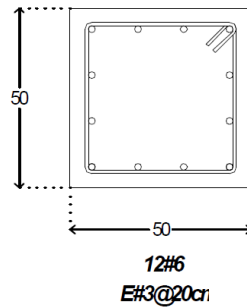


Ilustración 66: Arreglo de acero de dado D-1 para torre de enfriamiento

Se compone de 12 varillas del #6 con una longitud de 1.88 m, con un total de estribos de 8 de 1.91 m cada uno. El número de arreglos que componen la torre de enfriamiento es 430.

Por lo que el total de varilla para este concepto es: 25,363 kg

### 5. Arreglo de muros M-1 cortos

## M-1

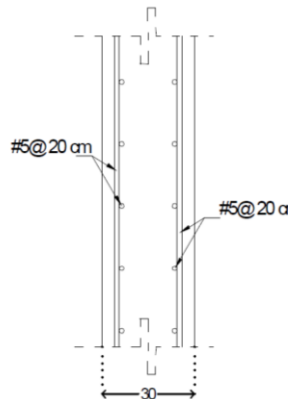


Ilustración 67: Arreglo de acero de muro M-1 para torre de enfriamiento

Se compone de varilla del #5 en dos lechos y en ambas direcciones.

#### a) Arreglo de muro izquierdo transversal

Se requieren un total de 95 piezas de 3.02 m de largo, y el número de arreglos que se tienen para la torre de enfriamiento es 6.

#### b) Arreglo de muro izquierdo horizontal

## INFORME ESCRITO

---

Se requieren un total de 14 piezas de 19.19 m de largo, y el número de arreglos que se tienen para la torre de enfriamiento es 6.

c) Arreglo de muro derecho transversal

Se requieren un total de 95 piezas de 3.02 m de largo, y el número de arreglos que se tienen para la torre de Enfriamiento es 6.

d) Arreglo de muro derecho horizontal

Se requieren un total de 14 piezas de 19.19 m de largo, y el número de arreglos que se tienen para la torre de enfriamiento es 6.

Por lo que el total de varilla para este concepto es: 10,423 kg

6. Arreglo de muros M-1 largos

a) Arreglo de muro izquierdo transversal

Se requieren un total de 424 piezas de 3.02 m de largo, y el número de arreglos que se tienen para la torre de enfriamiento es 2.

b) Arreglo de muro izquierdo horizontal

Se requieren un total de 14 piezas de 85.02 m de largo, y el número de arreglos que se tienen para la torre de enfriamiento es 2.

c) Arreglo de muro derecho transversal

Se requieren un total de 424 piezas de 3.02 m de largo, y el número de arreglos que se tienen para la torre de enfriamiento es 2.

d) Arreglo de muro derecho horizontal

Se requieren un total de 14 piezas de 85.02 m de largo, y el número de arreglos que se tienen para la torre de enfriamiento es 2.

Por lo que el total de varilla para este concepto es: 15,451 kg

7. Arreglo muros para la poza adyacente

a) Arreglo de muro izquierdo transversal

Se requieren un total de 28 piezas de 20.78 m de largo, y el número de arreglos que se tienen para la torre de enfriamiento es 2.

b) Arreglo de muro izquierdo horizontal



## INFORME ESCRITO

Se requieren un total de 103 piezas de 5.76 m de largo, y el número de arreglos que se tienen para la torre de enfriamiento es 2.

c) Arreglo de muro derecho transversal

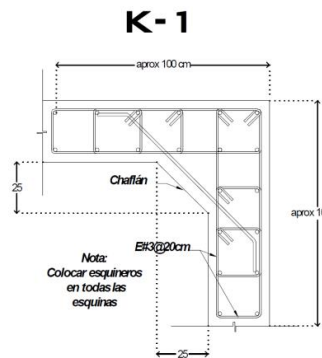
Se requieren un total de 18 piezas de 9.02 m de largo, y el número de arreglos que se tienen para la torre de enfriamiento es 4.

d) Arreglo de muro derecho horizontal

Se requieren un total de 44 piezas de 3.80 m de largo, y el número de arreglos que se tienen para la torre de enfriamiento es 4.

Por lo que el total de varilla para este concepto es: 5,698 kg

8. Arreglo de esquineros K-1



**Ilustración 68: Arreglo de acero de esquineros K-1 para torre de enfriamiento**

Se compone de varilla del #3 @ 20 cm, con longitudes de estribo de 3.83 m, 1.13 m y 1.13 m. el número de piezas requeridas es 58, 146 y 24 respectivamente.

Este tipo de arreglo debe colocarse en todas las esquinas, y la cantidad necesaria para la formación del arreglo para la torre de enfriamiento es: 2,390 kg.

De esta manera la cantidad total de acero de refuerzo para la torre de enfriamiento es de:

$\text{Acero}_{\text{Total}} = 131,570 \text{ kg}$

# INFORME ESCRITO

## Acero de refuerzo para turbogenerador

Con base en el plano de cimentación de turbogenerador la cantidad total de acero necesaria para la cimentación del turbogenerador se puede desglosar en los siguientes conceptos:

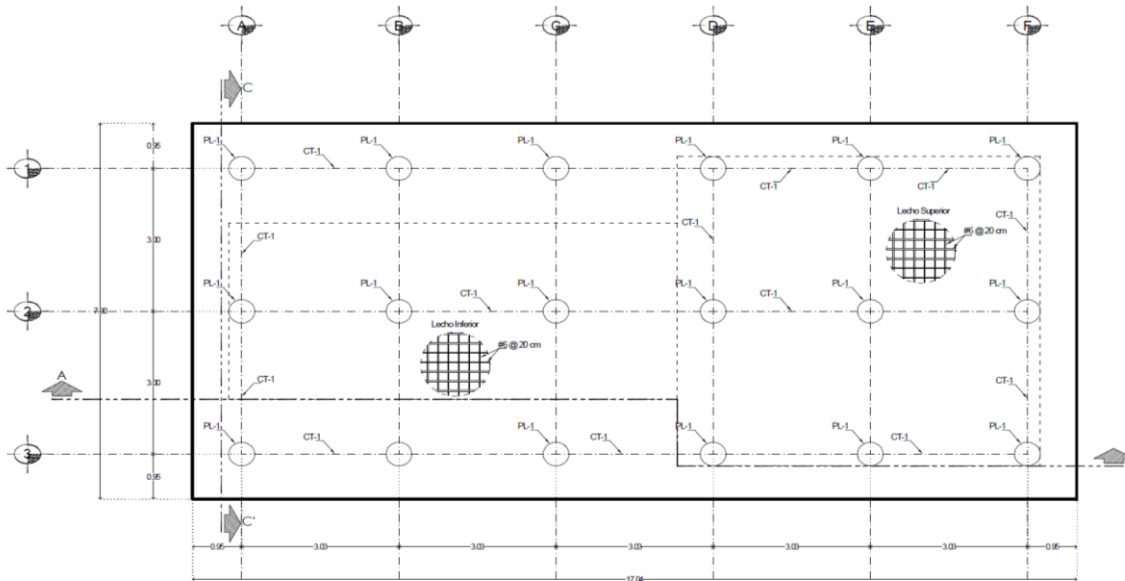


Ilustración 69: Arreglo de cimentación del turbogenerador (Vista en planta)

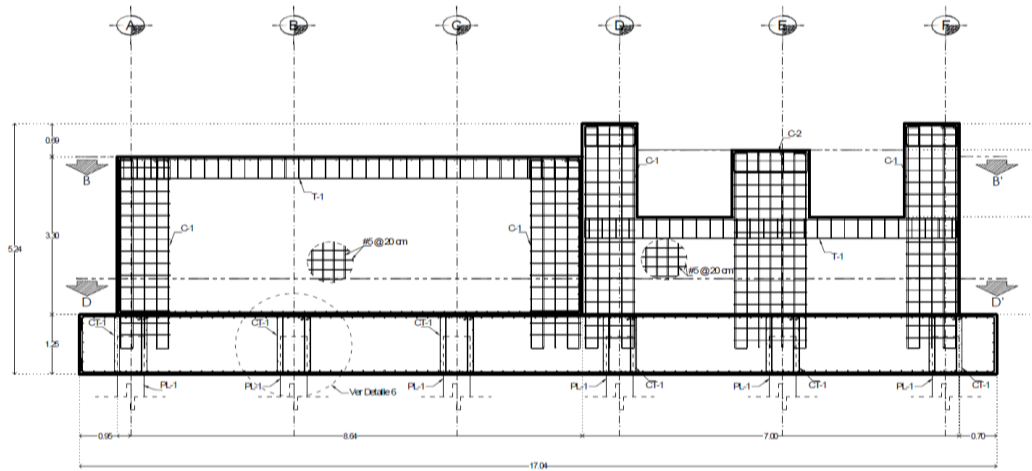


Ilustración 70: Arreglo de cimentación del turbogenerador (Vista lateral)

# INFORME ESCRITO

## 1. Losa de cimentación

Se compone de un arreglo de los lechos de varilla del #6 a cada 20 cm en ambas direcciones.

### a) Arreglo superior e inferior de la losa de cimentación

La longitud de la varilla es 8.58 m en la dirección corta y 17.72 m en la dirección larga, la cantidad de piezas necesarias respectivamente son, 87 y 42 piezas.

Dado que se tienen 2 lechos la cantidad total de varilla es 6,627 kg.

### b) Arreglo lateral de acero de la losa de cimentación

La longitud de la varilla es 1.63 m en la dirección corta y 8.28 m en la dirección larga, la cantidad de piezas necesarias respectivamente son, 42 y 7 piezas.

Por lo que para cubrir la periferia de la losa de cimentación la cantidad necesaria es 555 kg.

## 2. Pilas de cimentación

El arreglo de pilas de cimentación comprende 12 varillas del #6, con estribos del #4 a cada 14 y 7 cm, en la parte baja y alta de la pila respectivamente.

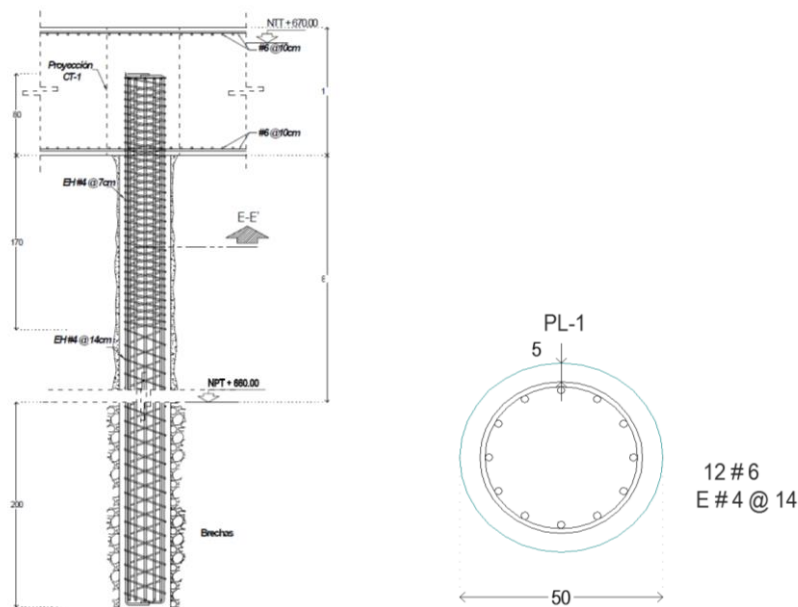


Ilustración 71: Arreglo de acero de pila de cimentación para Turbogenerador

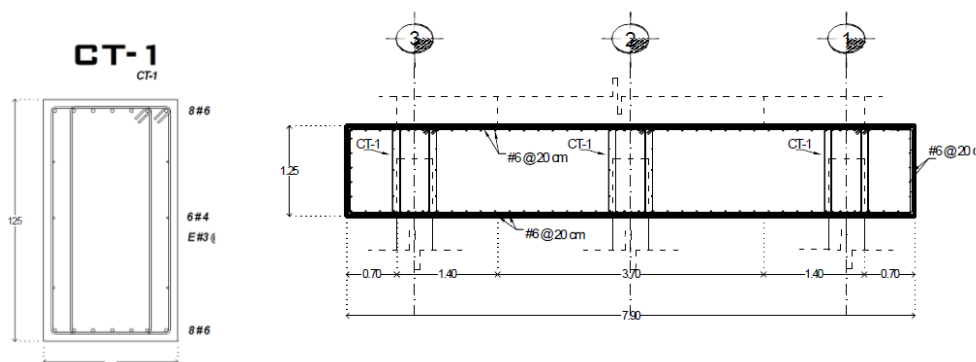
## INFORME ESCRITO

La longitud de cada varilla es 12.11 m y el número de pilas es de 18.

El arreglo de estribos para la parte superior de la pila con separación de 7 cm consta de 35 estribos, y para la parte inferior de la misma, consta de 66 estribos, cuya longitud es 1.58 m y 1.60 m respectivamente.

Por lo que la cantidad de acero para las 18 pilas que componen el arreglo de cimentación del turbogenerador es 8,692 kg.

### 3. Contratraves CT-1



**Ilustración 72: Arreglo de acero de contratraves CT-1 en losa de cimentación para turbogenerador**

Se compone de un arreglo de 12 varillas del #6 y 6 varillas del #4.

#### a) Contratraves transversales

Se compone de seis contratraves tipo CT-1. La longitud de las varillas del #6 es 6.38 m y la del #4 es 6.22 m. Se compone de 2 estribos del #3 a cada 20 cm de 3.81 m y 3.41 m de longitud, siendo el total de ellos 50.

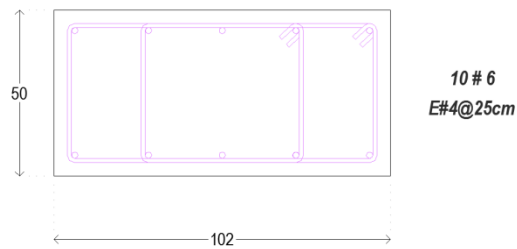
Por lo que la cantidad de acero de refuerzo necesaria es 2,193 kg.

#### b) Contratraves longitudinales

Se compone de tres contratraves tipo CT-1. La longitud de las varillas del #6 es 15.52 m y la del #4 es 15.36 m. Se compone de 2 estribos del #3 a cada 20 cm de 3.81 m y 3.41 m de longitud, siendo el total de ellos 122.

Por lo que la cantidad de acero de refuerzo necesaria es 2,686 kg.

## 4. Arreglo de columna C-1



**Ilustración 73: Arreglo de acero de columnas C-1 para cimentación del Turbogenerador**

a)

Se compone de cuatro columnas tipo C-1. La longitud de las varillas del #6 es 4.93 m. Se compone de 2 estribos del #3 a cada 25 cm de 3.02 m y 2.13 m de longitud, siendo el total de ellos 38.

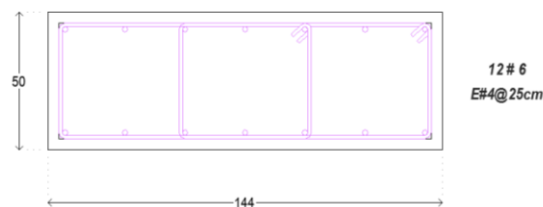
Por lo que la cantidad de acero de refuerzo necesaria es 827 kg.

b)

Se compone de cuatro columnas tipo C-1. La longitud de las varillas del #6 es 5.62 m. Se compone de 2 estribos del #3 a cada 25 cm de 3.02 m y 2.13 m de longitud, siendo el total de ellos 44.

Por lo que la cantidad de acero de refuerzo necesaria es 945 kg.

## 5. Arreglo de columna C-2

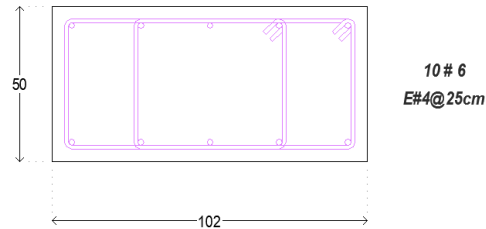


**Ilustración 74: Arreglo de acero de columna C-2 para cimentación de turbogenerador**

Se compone de dos columnas tipo C-2. La longitud de las varillas del #6 es 5.07 m. Se compone de 2 estribos del #3 a cada 25 cm de 3.86 m y 2.11 m de longitud, siendo el total de ellos 38.

Por lo que la cantidad de acero de refuerzo necesaria es 503 kg.

### 6. Arreglo de trabe T-1



**Ilustración 75: Arreglo de acero de trabe T-1 para cimentación de turbogenerador**

Se compone de un arreglo de 10 varillas del #6.

#### a) Trabes transversales del primer pedestal

Se compone de dos trabes tipo T-1. La longitud de las varillas del #6 es 4.08 m. Se compone de 2 estribos del #3 a cada 25 cm de 3.02 m y 2.13 m de longitud, siendo el total de ellos 30.

Por lo que la cantidad de acero de refuerzo necesaria es 341 kg.

#### b) Trabes longitudinales del primer pedestal

Se compone de dos trabes tipo T-1. La longitud de las varillas del #6 es 9.02 m. Se compone de 2 estribos del #3 a cada 25 cm de 3.02 m y 2.13 m de longitud, siendo el total de ellos 70.

Por lo que la cantidad de acero de refuerzo necesaria es 763 kg.

#### c) Trabes transversales del segundo pedestal

Se compone de dos trabes tipo T-1. La longitud de las varillas del #6 es 6.88 m. Se compone de 2 estribos del #3 a cada 25 cm de 3.02 m y 2.13 m de longitud, siendo el total de ellos 54.

Por lo que la cantidad de acero de refuerzo necesaria es 580 kg.

#### d) Trabes longitudinales del segundo pedestal

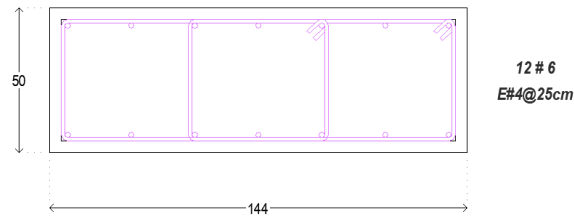
## INFORME ESCRITO

---

Se compone de dos traves tipo T-1. La longitud de las varillas del #6 es 7.38 m. Se compone de 2 estribos del #3 a cada 25 cm de 3.02 m y 2.13 m de longitud, siendo el total de ellos 58.

Por lo que la cantidad de acero de refuerzo necesaria es 623 kg.

### 7. Arreglo de trabe T-2



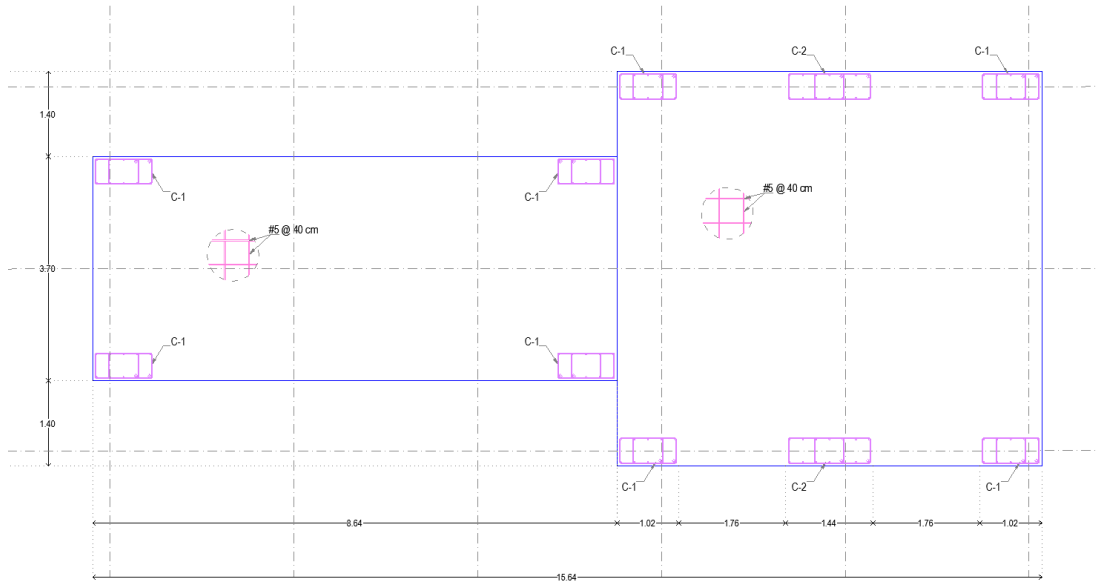
**Ilustración 76: Arreglo de acero de trabe T-2 para cimentación de turbogenerador**

El arreglo para la trabe T-2 consta de 12 varillas del #6 con estribos a cada 25 cm.

El cimiento del turbogenerador se compone de dos traves tipo T-2. La longitud de las varillas del #6 es 6.88 m. Se compone de 2 estribos del #3 a cada 25 cm de 3.86 m y 2.11 m de longitud, siendo el total de ellos 54.

Por lo que la cantidad de acero de refuerzo necesaria es 685 kg.

### 8. Arreglo interior de acero de refuerzo



**Ilustración 77: Arreglos interiores de acero en pedestales del turbogenerador**

Consta de una malla de acero en el interior de los dos pedestales con varilla del #5 a cada 40 cm.

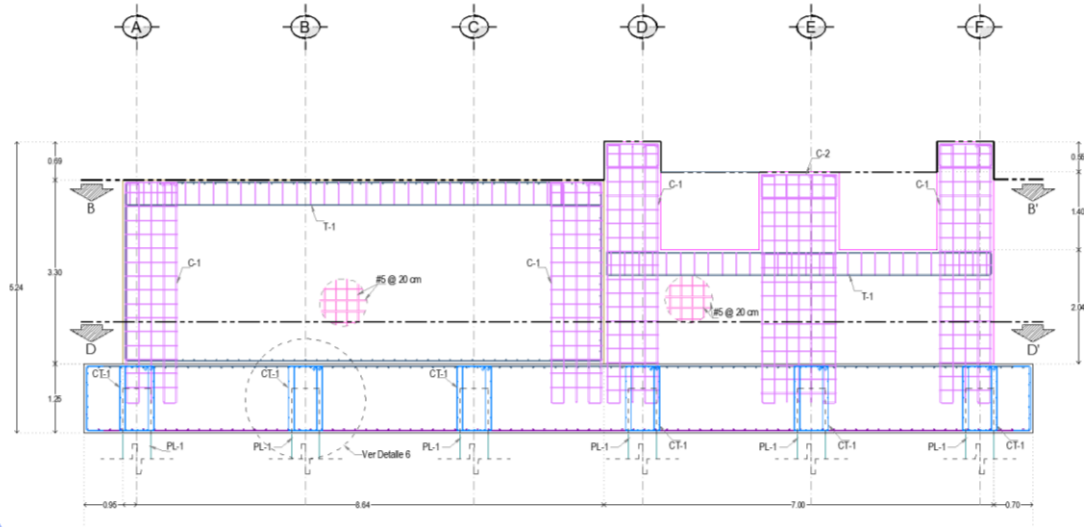
En este caso se realiza una asignación de cuantía por metro cubico de concreto estructural dadas las dimensiones de los pedestales.

El numero asignado de varillas por metro cubico es 27, de esta manera se realiza un mallado interno con separación de 40 cm, por lo que la cantidad de varilla necesaria para este fin es 10,943 kg.

## 9. Arreglos de perímetro para los pedestales del turbogenerador



## INFORME ESCRITO



**Ilustración 78: Arreglo exterior de pedestales del turbogenerador**

Las dimensiones de las caras, número de piezas necesarias, y longitud de las mismas para esta malla son:

Largo (m)	Ancho (m)	Piezas	Piezas	Long (m)	Long (m)
3.30	8.64	18	44	153.8	152.5
2.04	7.00	11	36	80.2	78.9
3.70	3.30	20	18	67.3	67.4
3.99	6.50	21	34	139.4	138.8
1.02	1.95	6	11	12.8	12.6
1.44	1.40	8	8	12.7	12.7

Por lo que la cantidad de acero de refuerzo para este concepto es 1619 kg.

**De esta manera la cantidad total de acero de refuerzo necesaria para la cimentación del turbogenerador es:**

**Acero<sub>Total</sub>=38,082 kg**

# INFORME ESCRITO

## Lista de datos garantizados

La tabla que se presenta a continuación es uno de los productos finales en la elaboración de la propuesta técnica. En esta se reflejan las cantidades necesarias en los que respecta al área de ingeniería civil.

ITEM		CASA DE MAQUINAS	CUARTO ELECTRICO	SECADOR (1)	SILENCIADORES (2)	TANQUE DE AGUA CRUDA	TANQUE DE AGUA CONTRA INCENDIO	TORRES DE ENFRIAMIENTO	TURBOGENERADOR	CONDENSADOR	BAÑOS Y VESTIDORES	BOMBAS DE POZO CALIENTE	BOMBAS DE VACIO (2)	TANQUE DE PURGAS	TANQUE DE NEUTRALIZACIÓN	CASA DE BOMBAS Y AGUA POTABLE	COLECTOR DE VAPOR	SOPORTERÍA	Total	
CONCEPTO	UNIDAD																			
ACERO ESTRUCTURAL	Kg	198,656	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	198,656
ACERO DE REFUERZO	Kg	48,494	36,867	6,795	23,234	13,319	11,444	131,570	38,082	6,828	2,948	28,946	2,640	181	21,246	9,414	7,091	23,512	-	412,946
PERFILES ESTRUCTURALES	Kg	62,436	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	130,000	192,436
PINTURA PARA TODOS LOS ACEROS ESTRUCTURALES	Kg	2,803	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,803
ELEMENTOS A QUEDAR EMPOTRADOS O EMBEBIDOS EN LA CIMENTACIÓN	Kg	1,844	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,844
PANELES DE CONCRETO	m <sup>2</sup>	3,255	624	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,879
CUBIERTA BITUMINOSA	m <sup>2</sup>	1,123	354	-	-	-	-	-	-	-	41	-	-	-	-	89	-	-	-	1,607
LAMINAS LISAS DE ALUMINIO PARA CANOAS, BAJANTES BOTAGUAS Y ELEMENTOS DE FIJACIÓN	m <sup>2</sup>	91	16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	107
VOLUMEN DE CORTE DE EXCAVACIÓN MEDIDO EN BANCO	m <sup>3</sup>	283	368	98	0	306	258	916	189	23	12	221	32	4	209	92	99	-	-	3,116
VOLUMEN DE RELLENO	m <sup>3</sup>	51	276	148	0	173	149	151	9	21	11	7	53	5	159	71	151	-	-	1,443
VOLUMEN DE CONCRETO PARA LAS CIMENTACIONES	m <sup>3</sup>	232.4	125	59	85	138	114	1,030.2	454	28	23	223	21	3	69	31	68	259	-	2,967
VOLUMEN DE CONCRETO PARA EL RESTO DE LA OBRA	m <sup>3</sup>	411	0	0	108	0	0	0	0	-	3	0	0	0	0	79	0	-	-	642
TUBERIA A INSTALAR Y REQUERIDA PARA TODAS LAS OBRAS	Ton	289																	289	

Esquemas del sistema de aguas de la central

Los siguientes esquemas son la representación del arreglo para dar salida al agua pluvial de la central geotermoeléctrica.

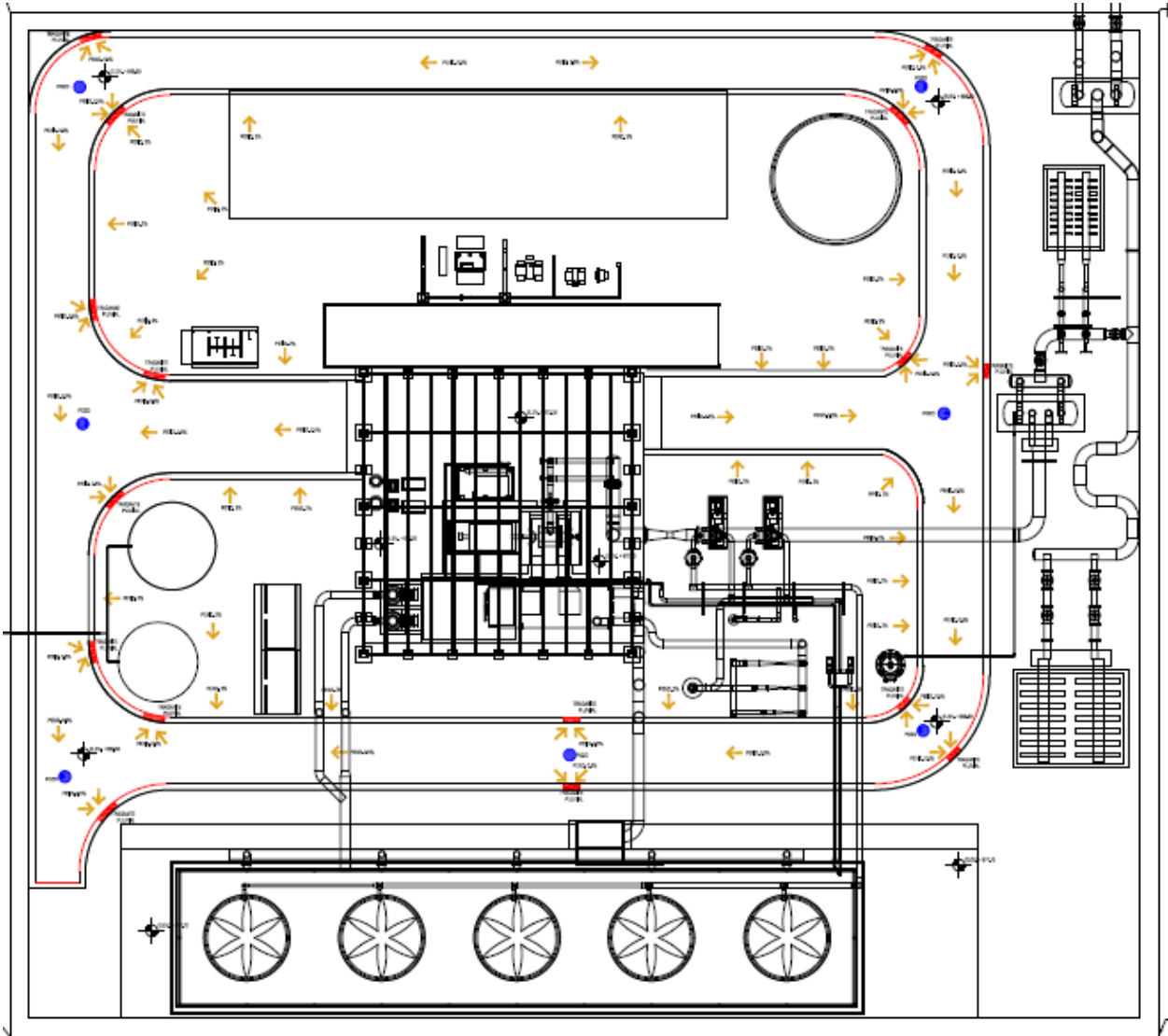


Ilustración 79: Drenaje pluvial en plataforma de la central geotermoeléctrica

# INFORME ESCRITO

En este esquema se ilustra la propuesta para desalojo de agua pluvial en el área de casa de máquinas y el edificio eléctrico.

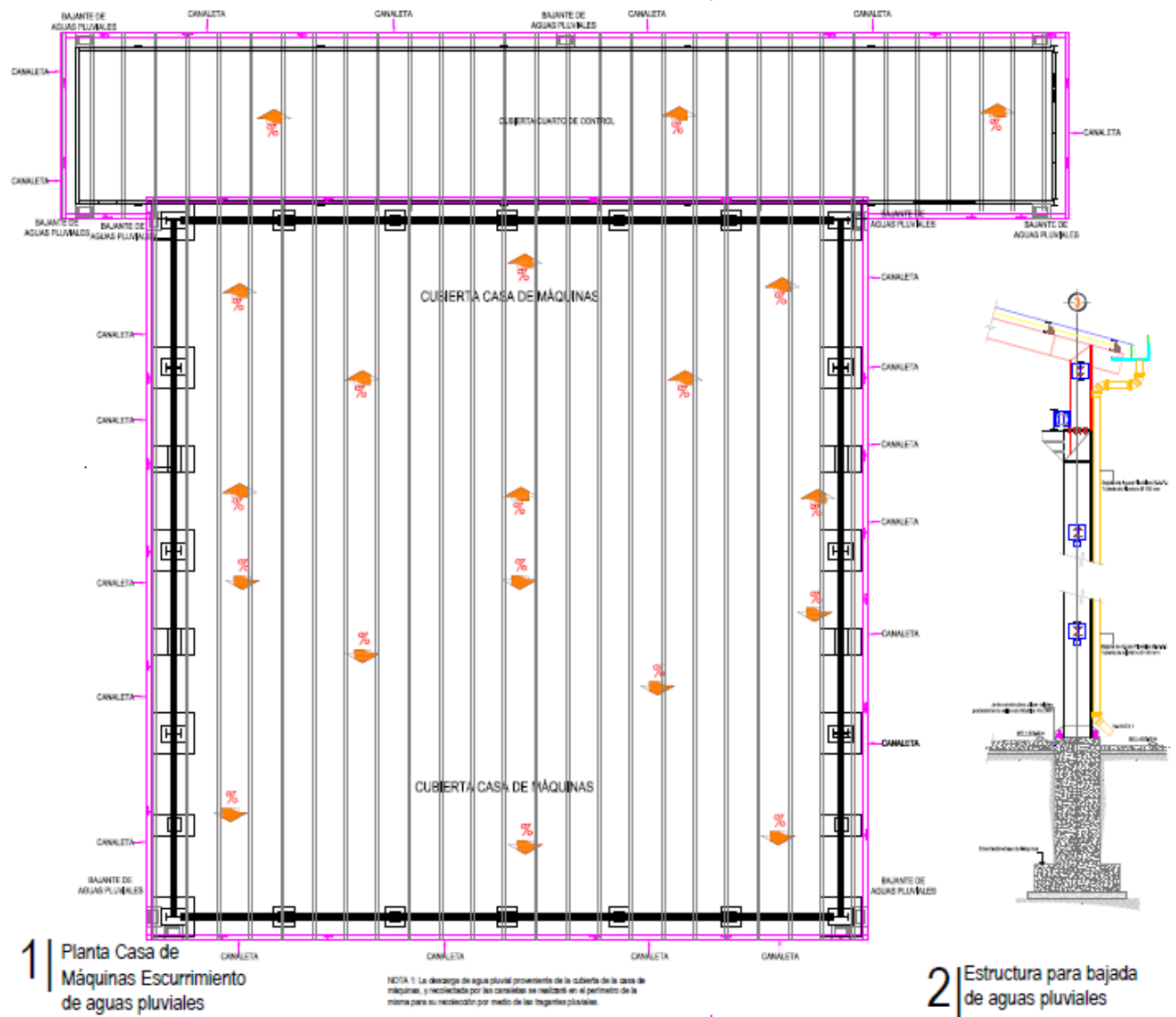


Ilustración 80: Drenaje pluvial en casa de máquinas y edificio eléctrico

# INFORME ESCRITO

Este esquema ilustra la propuesta elaborada para el drenaje de la mezcla agua-aceite producto de la operación de los equipos dentro de la casa de máquinas y el área de transformadores.

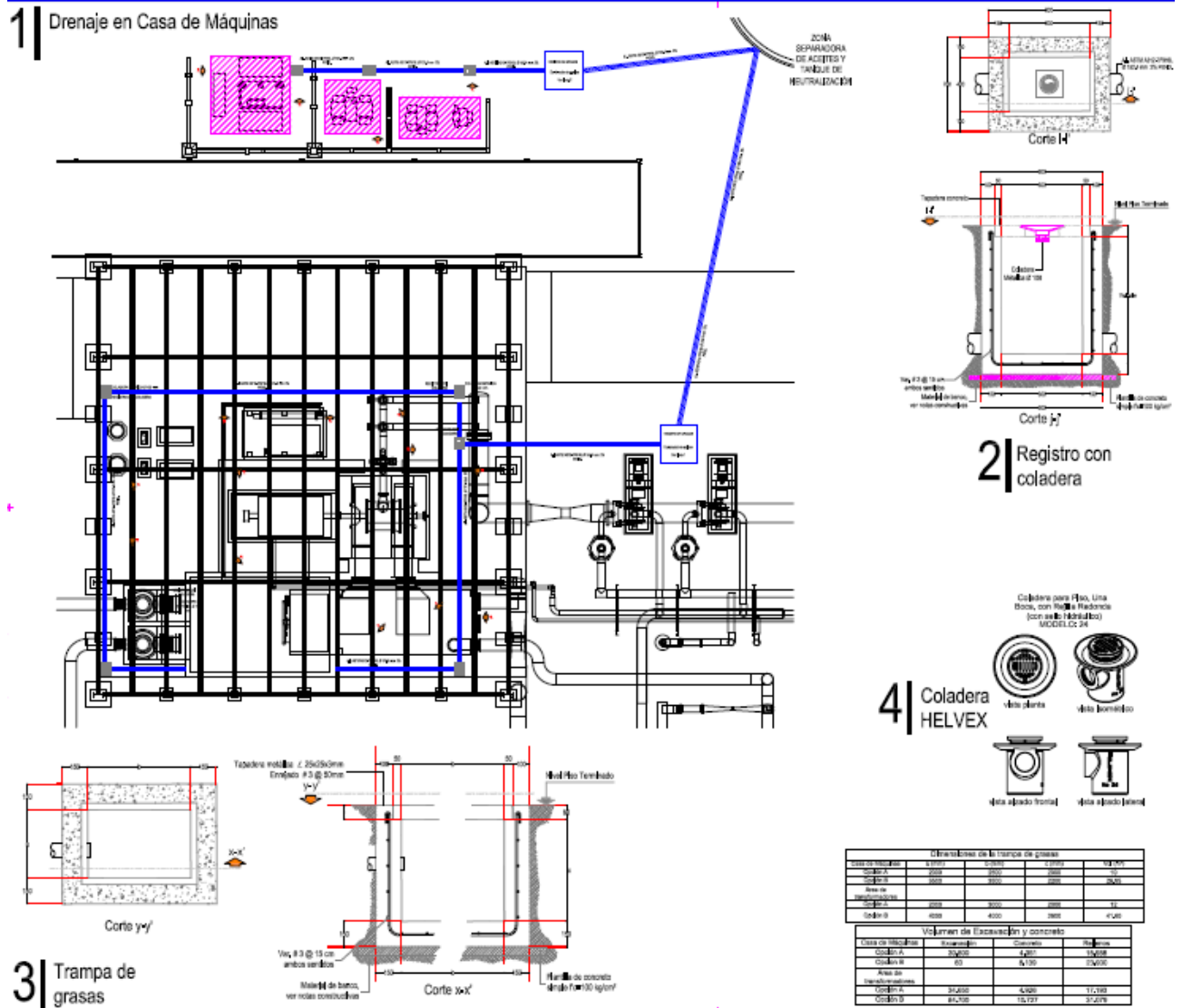


Ilustración 81: Drenaje aceitoso en casa de máquinas y área de transformadores