

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL



TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

**“EVALUACIÓN Y PROPUESTAS DE INDEPENDIZACIÓN DE DRENAJES
EN CENTRALES HIDROELÉCTRICAS”**

PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

ELABORADO POR

RICHARD MANUEL OLIVERA MONTENEGRO

ASESOR

Ing. JOSÉ ENRIQUE MILLONES OLANO

Lima - Perú

2021

© 2021, Universidad Nacional de Ingeniería. Todos los derechos reservados.

“El autor autoriza a la UNI a reproducir el Trabajo de Suficiencia Profesional en su totalidad o en parte, con fines estrictamente académicos.”

Olivera Montenegro, Richard Manuel

richard.olivera.m@uni.pe

990772418

AGRADECIMIENTOS

Mi eterna gratitud, a Dios Todopoderoso por devolverme la existencia y permitirme seguir adelante día a día.

A mis mentores, Ing. José Millones e Ing. Miguel Zubiatur, mi más profundo agradecimiento, por su apoyo y colaboración constante.

DEDICATORIA

Dedico este informe a mi padre, don Sebastián Rojas, hombre ejemplar, modelo a seguir; a mis madres, María Elena Rojas, María Montenegro y Rosa Montenegro, fuentes inagotables de paciencia y amor, propulsoras de mi desarrollo continuo; a Estefanía Gómez, mi compañera de vida, apoyo incondicional y motivación constante.

ÍNDICE

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
PRÓLOGO	3
LISTA DE TABLAS	4
LISTA DE FIGURAS	7
LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS	8
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	12
1.1 GENERALIDADES	12
1.2 PROBLEMÁTICA	12
1.3 OBJETIVOS	13
1.3.1 Objetivo general del proyecto	13
1.3.2 Objetivos específicos del proyecto	13
CAPÍTULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO	14
2.1 CENTRALES HIDROELÉCTRICAS	14
2.1.1 Clasificación de centrales hidroeléctricas	14
2.1.1.1 <i>Según el discurrir del agua</i>	14
2.1.1.2 <i>Según la altura del salto de agua</i>	16
2.1.2 Componentes de centrales hidroeléctricas	17
2.1.2.1 <i>Obras civiles</i>	17
2.1.2.2 <i>Equipos electromecánicos</i>	22
2.2 NORMATIVIDAD AMBIENTAL	26
2.2.1 Sistema Nacional de Gestión Ambiental	26
2.2.1.1 <i>Sistemas funcionales del SNGA</i>	28
2.2.2 Impacto ambiental en centrales hidroeléctricas	31
2.2.2.1 <i>Impactos ambientales negativos directos</i>	31
2.2.2.2 <i>Impactos ambientales negativos indirectos</i>	33
2.2.3 Normatividad para efluentes líquidos	34
2.2.3.1 <i>ECA para agua</i>	34
2.2.3.2 <i>Parámetros para efluentes líquidos</i>	36
2.2.3.3 <i>Plan de contingencia ante derrames</i>	37
2.3 FÓRMULAS HIDRÁULICAS	39
2.3.1 Caudales	39
2.3.1.1 <i>Caudal en tuberías</i>	39

2.3.1.2 Caudal en canales	40
2.3.2 Cubeto de contención	41
2.3.2.1 Principios de diseño	42
2.3.2.2 Dimensionamiento del cubeto	46
CAPÍTULO III: IDENTIFICACIÓN Y LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN	48
3.1 MONUMENTACIÓN GEODÉSICA	48
3.2 IDENTIFICACIÓN DEL SISTEMA DE DRENAJE	50
3.3 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO	51
3.3.1 Desarrollo de levantamiento topográfico	53
3.3.1.1 Levantamiento topográfico de la CH Huinco	53
3.3.1.2 Levantamiento topográfico de la CH Callahuanca	56
3.3.1.3 Levantamiento topográfico de la CH Matucana	57
3.3.1.4 Levantamiento topográfico de la CH Moyopampa	58
3.3.1.5 Levantamiento topográfico de la CH Huampaní	59
3.3.1.6 Levantamiento topográfico de la CH Chimay	60
3.3.1.7 Levantamiento topográfico de la CH Yanango	62
3.3.2 Desarrollo de planos	63
3.3.2.1 Planos topográficos de centrales hidroeléctricas	63
3.3.2.2 Planos de diagramas de drenajes	65
3.4 CONTROL DE CALIDAD DE AGUA	67
CAPÍTULO IV: EVALUACION Y PROPUESTAS DE MEJORAMIENTO	69
4.1 CENTRAL HIDROELÉCTRICA HUINCO	69
4.1.1 Evaluación del sistema de drenaje	69
4.1.1.1 Verificación de capacidad de cubeto de transformadores	69
4.1.2 Cálculos y resultados	71
4.1.2.1 Caudales del pasadizo de cubetos	71
4.1.2.2 Separador agua - aceite	73
4.1.3 Monitoreo de calidad de agua	73
4.1.3.1 Puntos de muestreo de agua	73
4.1.3.2 Parámetros medidos in situ	74
4.1.3.3 Resultados	75
4.1.4 Planteamiento de mejoras en sistemas de drenaje	77
4.2 CENTRAL HIDROELÉCTRICA CALLAHUANCA	80
4.2.1 Evaluación del sistema de drenaje	80
4.2.1.1 Verificación de capacidad de cubeto de transformadores	80

4.2.2	Cálculos y resultados	81
4.2.2.1	<i>Caudales de transformadores internos y 60/220 kV</i>	81
4.2.2.2	<i>Separador agua - aceite</i>	83
4.2.3	Monitoreo de calidad de agua	84
4.2.3.1	<i>Puntos de muestreo de agua</i>	84
4.2.3.2	<i>Parámetros medidos in situ</i>	85
4.2.3.3	<i>Resultados</i>	85
4.2.4	Planteamiento de mejoras en sistemas de drenaje	87
4.3	CENTRAL HIDROELÉCTRICA MATUCANA	89
4.3.1	Evaluación del sistema de drenaje	90
4.3.1.1	<i>Verificación de capacidad de cubeto de transformadores</i>	90
4.3.2	Cálculos y resultados	91
4.3.2.1	<i>Caudales de transformadores principales</i>	91
4.3.2.2	<i>Separador agua - aceite</i>	93
4.3.3	Monitoreo de calidad de agua	93
4.3.3.1	<i>Puntos de muestreo de agua</i>	93
4.3.3.2	<i>Parámetros medidos in situ</i>	94
4.3.3.3	<i>Resultados</i>	95
4.3.4	Planteamiento de mejoras en sistemas de drenaje	96
4.4	CENTRAL HIDROELÉCTRICA HUAMPANÍ	98
4.4.1	Evaluación del sistema de drenaje	99
4.4.1.1	<i>Verificación de capacidad de cubeto de transformadores</i>	99
4.4.2	Cálculos y resultados	100
4.4.2.1	<i>Caudales de transformadores principales</i>	100
4.4.2.2	<i>Separador agua - aceite</i>	101
4.4.3	Monitoreo de calidad de agua	102
4.4.3.1	<i>Puntos de muestreo de agua</i>	102
4.4.3.2	<i>Parámetros medidos in situ</i>	103
4.4.3.3	<i>Resultados</i>	103
4.4.4	Planteamiento de mejoras en sistemas de drenaje	104
4.5	CENTRAL HIDROELÉCTRICA MOYOPAMPA	108
4.5.1	Evaluación del sistema de drenaje	108
4.5.1.1	<i>Verificación de capacidad de cubeto de transformadores</i>	108
4.5.2	Cálculos y resultados	109
4.5.2.1	<i>Caudales de transformadores principales</i>	109

4.5.2.2	<i>Separador agua - aceite</i>	112
4.5.3	Monitoreo de calidad de agua	112
4.5.3.1	<i>Puntos de muestreo de agua</i>	112
4.5.3.2	<i>Parámetros medidos in situ</i>	113
4.5.3.3	<i>Resultados</i>	113
4.5.4	Planteamiento de mejoras en sistemas de drenaje	115
4.6	CENTRAL HIDROELÉCTRICA CHIMAY	118
4.6.1	Evaluación del sistema de drenaje	118
4.6.1.1	<i>Verificación de capacidad de cubeto de transformadores</i>	118
4.6.2	Cálculos y resultados	119
4.6.2.1	<i>Caudales de transformadores principales</i>	119
4.6.2.2	<i>Separador agua - aceite</i>	120
4.6.3	Monitoreo de calidad de agua	120
4.6.3.1	<i>Puntos de muestreo de agua</i>	120
4.6.3.2	<i>Parámetros medidos in situ</i>	121
4.6.3.3	<i>Resultados</i>	122
4.6.4	Planteamiento de mejoras en sistemas de drenaje	122
4.7	CENTRAL HIDROELÉCTRICA YANANGO	125
4.7.1	Evaluación del sistema de drenaje	125
4.7.1.1	<i>Verificación de capacidad de cubeto de transformadores</i>	125
4.7.2	Cálculos y resultados	126
4.7.2.1	<i>Caudales de transformadores principales</i>	126
4.7.2.2	<i>Separador agua - aceite</i>	128
4.7.3	Monitoreo de calidad de agua	128
4.7.3.1	<i>Puntos de muestreo de agua</i>	128
4.7.4	Planteamiento de mejoras en sistemas de drenaje	129
	CONCLUSIONES	132
	RECOMENDACIONES	134
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	135
	ANEXOS	A.1
A.1	CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS	A.1
A.2	HOJAS DE CAMPO	A.28
A.3	PLANOS DE CENTRALES HIDROELÉCTRICAS	A.39

RESUMEN

El presente informe está dividido en cuatro capítulos, concebidos con el propósito de mostrar los trabajos desarrollados en el proyecto: "Ingeniería de detalle para la independización de drenajes industriales", desarrollado en 7 centrales hidroeléctricas (Huinco, Callahuanca, Huampaní, Moyopampa, Matucana, Chimay y Yanango).

Las centrales hidroeléctricas mencionadas han sido modificadas a lo largo de los años, en post de lograr repotenciarlas, lo que ha ocasionado que los sistemas de drenajes no se encuentren independizados, además de no tener un punto común de recolección ni tratamiento de los mismos; ante este problema, las autoridades de fiscalización ambiental, instan a evaluar sus sistemas de drenaje e implementar soluciones que garanticen una adecuada recolección y monitoreo de estos.

El presente informe tiene como objetivo general la evaluación del funcionamiento de los sistemas de drenaje en las 7 centrales hidroeléctricas indicadas y plantear mejoras que permitan su correcto funcionamiento en concordancia con la normatividad ambiental.

La metodología empleada en el desarrollo del proyecto, incluye los procesos de recolección de información, a utilizarse para la evaluación de los sistemas de drenaje, partiendo de monumentación geodésica, identificación de dichos sistemas y levantamientos topográficos de cada central hidroeléctrica; así como también, incluye la verificación y evaluación de los diversos problemas encontrados, para luego brindar alternativas de solución y finalmente, detallar presupuestos de las mejoras planteadas.

Como resultados del informe, se detallan las mejoras plantadas para la independización de los sistemas de drenajes industriales en cada una de las centrales hidroeléctricas, con sus respectivos presupuestos, y se muestran también los resultados obtenidos en los monitores de calidad de agua realizados.

ABSTRACT

This report is divided into four chapters, conceived with the purpose of showing the works developed in the project: "Detailed engineering for the independence of industrial drains", developed in 7 hydropower plants (Huinco, Callahuanca, Huampaní, Moyopampa, Matucana, Chimay and Yanango).

The aforementioned hydropower plants have been modified over the years in order to repower them, which has meant that the drainage systems are not independent, in addition to not having a common collection and treatment point; in response to this problem, environmental enforcement authorities urge them to evaluate their drainage systems and implement solutions to ensure adequate drainage collection and monitoring.

The general objective of this report is to evaluate the operation of the drainage systems in the 7 hydropower plants indicated and to propose improvements that will allow them to operate correctly in accordance with environmental regulations.

The methodology used in the development of the project includes the information gathering processes to be used for the evaluation of the drainage systems, starting with geodetic monumentation, identification of these systems and topographic surveys of each hydropower station; it also includes the verification and evaluation of the various problems encountered, in order to then provide alternative solutions and finally detail budgets for the improvements proposed.

As results of the report, the improvements implemented for the independence of the industrial drainage systems in each of the hydropower plants are detailed, with their respective budgets, and the results obtained in the water quality monitors carried out are also shown.

PRÓLOGO

El presente informe se enfoca en la independización de drenajes industriales en centrales hidroeléctricas, a fin de disminuir el impacto ambiental producido por el vertimiento de contaminantes hacia las cuencas hidrográficas donde se encuentran albergados estos sistemas de generación eléctrica.

Las propuestas de independización de drenajes brindados constituyen soluciones adecuadas para controlar la contaminación ambiental, pues con diseños simples, son capaces de ponerse en práctica en centrales existentes, sin alterar su normal funcionamiento de las mismas, garantizando la contención de derrames, por más pequeños que estos sean.

El estudio realizado en 7 centrales hidroeléctricas representativas del país, muestra la problemática actual existente en ellas, la detallada metodología empleada en la ejecución del proyecto y las más apropiadas alternativas de solución a los problemas identificados, con presupuestos acordes, a ser tomados de referencia para la implementación de dichas soluciones.

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1	Clasificación de Estándares de Calidad Ambiental para agua.	35
Tabla 2.2	Niveles Máximo Permisibles de emisión de efluentes líquidos para las actividades de electricidad.	36
Tabla 2.3	Valores recomendados de factor de turbulencia.	44
Tabla 3.1	Coordenadas UTM WGS-84 de BM.	48
Tabla 3.2	Planos topográficos de centrales hidroeléctricas.	63
Tabla 3.3	Planos de diagramas de drenajes.	66
Tabla 3.4	Listado de requisitos para recepción de muestras de aguas residuales.	67
Tabla 4.1	Datos técnicos - C. H. Huinco.	69
Tabla 4.2	Volumen de cubetos - C. H. Huinco.	70
Tabla 4.3	Volumen de aceite de transformadores - C. H. Huinco.	70
Tabla 4.4	Caudales de transformadores - C. H. Huinco.	71
Tabla 4.5	Resultados obtenidos del separador agua - aceite - C. H. Huinco.	73
Tabla 4.6	Puntos de muestreo - C. H. Huinco.	73
Tabla 4.7	Parámetros medidos in situ - C. H. Huinco.	74
Tabla 4.8	Resultados de muestras de agua - C. H. Huinco.	75
Tabla 4.9	Presupuesto de mejoras - C. H. Huinco.	78
Tabla 4.10	Datos técnicos - C. H. Callahuanca.	80
Tabla 4.11	Volumen de cubetos - C. H. Callahuanca.	80
Tabla 4.12	Volumen de aceite de transformadores - C. H. Callahuanca.	81
Tabla 4.13	Caudales de transformadores internos y 60/220 kV - C. H. Callahuanca.	82
Tabla 4.14	Resultados obtenidos del separador agua - aceite - C. H. Callahuanca.	83
Tabla 4.15	Puntos de muestreo - C. H. Callahuanca.	84
Tabla 4.16	Parámetros medidos in situ - C. H. Callahuanca.	85
Tabla 4.17	Resultados de muestras de agua - C. H. Callahuanca.	85
Tabla 4.18	Presupuesto de mejoras - C. H. Callahuanca.	88
Tabla 4.19	Datos técnicos - C. H. Matucana.	90
Tabla 4.20	Volumen de cubetos - C. H. Matucana.	90

Tabla 4.21	Volumen de aceite de transformadores - C. H. Matucana.	91
Tabla 4.22	Caudales de transformadores principales - C. H. Matucana.	91
Tabla 4.23	Resultados obtenidos del separador agua - aceite - C. H. Matucana.	93
Tabla 4.24	Puntos de muestreo - C. H. Matucana.	94
Tabla 4.25	Parámetros medidos in situ - C. H. Matucana.	94
Tabla 4.26	Resultados de muestras de agua - C. H. Matucana.	95
Tabla 4.27	Presupuesto de mejoras - C. H. Matucana.	97
Tabla 4.28	Datos técnicos - C. H. Huampaní.	99
Tabla 4.29	Volumen de cubetos - C. H. Huampaní.	99
Tabla 4.30	Volumen de aceite de transformadores - C. H. Huampaní.	99
Tabla 4.31	Caudales de transformadores principales - C. H. Huampaní.	100
Tabla 4.32	Resultados obtenidos del separador agua - aceite - C. H. Huampaní.	102
Tabla 4.33	Puntos de muestreo - C. H. Huampaní.	102
Tabla 4.34	Parámetros medidos in situ - C. H. Huampaní.	103
Tabla 4.35	Resultados de muestras de agua - C. H. Huampaní.	103
Tabla 4.36	Presupuesto de mejoras - C. H. Huampaní.	106
Tabla 4.37	Datos técnicos - C. H. Moyopampa.	108
Tabla 4.38	Volumen de cubetos - C. H. Moyopampa.	109
Tabla 4.39	Volumen de aceite de transformadores - C. H. Moyopampa.	109
Tabla 4.40	Caudales de transformadores principales - C. H. Moyopampa.	110
Tabla 4.41	Resultados obtenidos del separador agua - aceite - C. H. Moyopampa	112
Tabla 4.42	Puntos de muestreo - C. H. Moyopampa.	112
Tabla 4.43	Parámetros medidos in situ - C. H. Moyopampa.	113
Tabla 4.44	Resultados de muestras de agua - C. H. Moyopampa.	114
Tabla 4.45	Presupuesto de mejoras - C. H. Moyopampa.	116
Tabla 4.46	Datos técnicos - C. H. Chimay.	118
Tabla 4.47	Volumen de cubetos - C. H. Chimay.	118
Tabla 4.48	Volumen de aceite de transformadores - C. H. Chimay.	119
Tabla 4.49	Caudales de transformadores principales - C. H. Chimay.	119
Tabla 4.50	Resultados obtenidos del separador agua - aceite - C. H. Chimay.	120
Tabla 4.51	Puntos de muestreo - C. H. Chimay.	121

Tabla 4.52	Parámetros medidos in situ - C. H. Chimay.	121
Tabla 4.53	Resultados de muestras de agua - C. H. Chimay.	122
Tabla 4.54	Presupuesto de mejoras - C. H. Chimay.	124
Tabla 4.55	Datos técnicos - C. H. Yanango.	125
Tabla 4.56	Volumen de cubetos - C. H. Yanango.	125
Tabla 4.57	Volumen de aceite de transformadores - C. H. Yanango.	126
Tabla 4.58	Caudales de transformadores principales - C. H. Yanango.	126
Tabla 4.59	Resultados obtenidos del separador agua - aceite - C. H. Yanango.	128
Tabla 4.60	Puntos de muestreo - C. H. Yanango.	128
Tabla 4.61	Presupuesto de mejoras - C. H. Yanango.	130
Tabla 5.1	Resumen de resultados de monitoreo de calidad de agua.	132
Tabla 5.2	Resumen de presupuesto de mejoras.	133

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	Represa de Huallamayo que abastece a la C. H. Yuncán II.	15
Figura 2.2	Vista panorámica de la C. H. Callahuanca.	21
Figura 2.3	Esquemas de turbinas Pelton, Francis y Kaplan.	23
Figura 2.4	Vista de un transformador de la C. H. Carhuaquero.	25
Figura 2.5	Sistemas funcionales del SNGA.	27
Figura 2.6	Caudal ecológico en la represa de Rules (España).	32
Figura 2.7	Kits de contención y limpieza para derrames.	38
Figura 2.8	Gráfica de los valores recomendados de factor de turbulencia.	45
Figura 2.9	Esquema de alturas de cubeto.	46
Figura 3.1	BM LI7007 en la C.H. Moyopampa.	49
Figura 3.2	Identificación de tuberías en la C.H. Huinco.	50
Figura 3.3	Levantamiento topográfico con estación total en sala de Máquinas.	52
Figura 3.4	Plano CA - 1. Sala de máquinas - CH Callahuanca.	65
Figura 3.5	Plano CA - D1. Diagramas de cubetos - CH Callahuanca.	66
Figura 3.6	Preparación de muestras de agua en la CH Huinco.	68
Figura 4.1	Tubería colectora - C. H. Huinco.	72
Figura 4.2	Tubería de descarga - C. H. Callahuanca.	82
Figura 4.3	Tubería de descarga - C. H. Matucana.	92
Figura 4.4	Tubería de descarga - C. H. Huampaní.	101
Figura 4.5	Tubería de descarga - C. H. Moyopampa.	111
Figura 4.6	Tubería de descarga - C. H. Yanango.	127

LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS

°	: Grados sexagesimales.
°C	: Grados centígrados.
”	: Pulgadas.
Ø	: Diámetro de la tubería (m).
A	: Área de la sección transversal del canal (m ²).
A%	: Porcentaje de área mojada (%).
a. C.	: Antes de Cristo.
AAA	: Autoridades Administrativas del Agua.
ACP	: Áreas de Conservación Privada.
ACR	: Áreas de Conservación Regional.
AEP	: Asociación Electrotécnica Peruana.
A _h	: Área horizontal mínima (ft ²).
ALA	: Administraciones Locales de Agua.
ANA	: Autoridad Nacional del Agua.
ANP	: áreas naturales protegidas.
API	: American Petroleum Institute.
A _t	: Área transversal vertical mínima (ft ²).
b	: Base de canal (m).
B	: Ancho del separador (m - ft).
BM	: Bench Mark.
C. H.	: Central hidroeléctrica.
cm	: Centímetro.
cm/s ²	: Centímetro por segundo al cuadrado.
C. T.	: Central térmica.
D	: Diámetro de la partícula de aceite removida (ft).
d	: Profundidad del canal (ft).
DGAA	: Dirección General de Asuntos Ambientales.
EAE	: Evaluación Ambiental Estratégica.
ECA	: Estándares de Calidad Ambiental.
EEA	: Empresas Eléctricas Asociadas.
EdG	: Empresa del Gas.
EIA	: Estudios de Impacto Ambiental.
etc.	: Etcétera.

ETFE	: Empresa Transmisora de Fuerza Eléctrica.
F	: Factor de diseño (adimensional).
F_c	: Factor de cortocircuito (adimensional).
Fig.	: Figura.
F_t	: Factor de turbulencia (adimensional).
ft	: Pies.
ft³/min	: Pies cúbicos por minuto.
ft²	: Pies cuadrados.
ft/min	: Pies por minuto.
g	: Aceleración de la gravedad (m/s ² - ft/min ²).
GNSS	: Global Navigation Satellite System.
GPS	: Global Positioning System.
gr/cm³	: Gramos por centímetros cúbicos.
GWh	: Gigavatios hora.
h	: Altura del flujo.
H_e	: Altura mínima de la tubería de entrada al separador (m).
H_o	: Altura del máximo nivel de aceite presente en el agua residual (m).
h_L	: Pérdidas de energía por fricción.
H_s	: Altura de la tubería de salida del separador (m).
hp	: Horse power.
H_w	: Altura mínima del nivel de agua (m).
IGN	: Instituto Geográfico Nacional.
INDECI	: Instituto Nacional de Defensa Civil.
kV	: Kilovoltios.
kW	: Kilovatios.
kWh/m³	: Kilovatios hora por metro cúbico.
L	: Longitud del canal (m - ft).
LMP	: Límites Máximos Permisibles.
m	: Metro.
m³	: Metros cúbicos.
m³/s	: Metros cúbicos por segundo.
m/s	: Metros por segundo.
mg/l	: Miligramos por litro.
MEM	: Ministerio de Energía y Minas.
MINAM	: Ministerio del Ambiente.

MMC	: Millones de metros cúbicos.
MW	: Megavatios.
n	: Número de canales separadores (und).
η	: Coeficiente de Manning.
OEFA	: Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental.
Osinergmin	: Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería.
PECSC	: Peruvian Electric Construction and Supply Company.
PNA	: Política Nacional del Ambiente.
p	: Presión del flujo.
P_m	: Perímetro mojado (m).
ρ_o	: Densidad del aceite a temperatura de diseño (gr/ft ³).
ρ_w	: Densidad del agua a temperatura de diseño (gr/ft ³).
Q	: Caudal del flujo (m ³ /s).
Q_d	: Caudal de diseño (ft ³ /min).
R	: Radio hidráulico del canal (m).
RRVV	: Reguladores de velocidad.
s	: Pendiente del canal (%).
S	: Gravedad específica del agua descargada del cubeto (adimensional).
S_a	: Peso específico del agua.
SAR	: Sistema de Agua de Refrigeración.
SAS	: Sistema de Agua de Servicio.
SEAL	: Sociedad Eléctrica de Arequipa.
SEIA	: Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental.
SEIN	: Sistema Eléctrico Interconectado Nacional.
SERFOR	: Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre.
SERNANP	: Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado.
SICN	: Sistema Interconectado Centro Norte.
SINACUI	: Sistema Nacional de Acuicultura.
SINAFOR	: Sistema Nacional de Gestión Forestal y de Fauna Silvestre.
SINAGERD	: Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres.
SINANPE	: Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado.
SINEFA	: Sistema Nacional de Evaluación y Fiscalización Ambiental.
SINIA	: Sistema Nacional de Información Ambiental.
SISE	: Sistema Interconectado Sureste.

SISO	: Sistema Interconectado Suroeste.
Sisur	: Sistema Interconectado del Sur.
SLGA	: Sistemas Locales de Gestión Ambiental.
SNGA	: Sistema Nacional de Gestión Ambiental.
SNGRH	: Sistema Nacional de Gestión de Recursos Hídricos.
S_o	: Gravedad específica del aceite presente en el agua residual (adimensional).
SRGA	: Sistemas Regionales de Gestión Ambiental.
SSAA	: Servicios Auxiliares.
S_w	: Gravedad específica del agua residual a temperatura de diseño (adimensional).
t	: Tiempo (s).
Tab.	: Tabla.
μ	: Viscosidad absoluta del agua residual a temperatura de diseño (poise).
und	: Unidad.
UTM	: Universal Transversal de Mercator.
V	: Velocidad media del flujo (m/s).
V_h	: Velocidad horizontal (ft/min).
V_o	: Volumen de aceite (m ³).
Vol	: Volumen (m ³).
V_t	: Velocidad vertical (ft/min).
y	: Tirante de canal (m).
ZR	: Zonas Reservadas.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 GENERALIDADES

Desde la antigüedad el ser humano ha usado diversas fuentes de energía para su beneficio, entre ellas la energía hidráulica, siendo el registro más antiguo el tratado Neumática de Filón de Bizancio (siglo III a. C.), donde se hace la primera descripción de un molino de agua de la historia.

En el siglo XIX, cuando las fuentes de carbón no eran suficientes para satisfacer las necesidades de las industrias, surge la producción de electricidad, aprovechando la energía del agua, construyéndose en Northumberland (Reino Unido) la primera central hidráulica en 1880.

A inicios del siglo XX, en el Perú se construyen las primeras centrales hidroeléctricas, siendo las más representativas las centrales de Callahuanca, Cañón del Pato y Huinco, las cuales ayudaron a iluminar las calles e impulsar los tranvías a través de ellas en las principales ciudades del país.

El auge de las centrales hidroeléctricas, conllevó al desarrollo de diversos trabajos de investigación, abordando temas relacionados con su diseño y construcción, operatividad y mantenimiento, aspectos ambientales y económicos, etc., dentro de las cuales, se enmarca el presente informe.

1.2 PROBLEMÁTICA

El grupo Enel es una de las principales compañías generadoras de energía eléctrica en el Perú, que actualmente opera 7 centrales hidroeléctricas (Huinco, Callahuanca, Matucana, Moyopampa, Huampaní, Chimay y Yanango), construidas en el siglo XX, las cuales han sido repotenciadas de acuerdo a la demanda creciente de energía en el país.

Las modificaciones en las centrales hidroeléctricas han ocasionado que los sistemas de drenajes no se encuentren independizados, dado que, en las instalaciones, existen sumideros que colectan las aguas generadas por

condensación, drenajes de los equipos, filtraciones, lluvias u otros, que actualmente no tienen un punto común de recolección ni tratamiento.

Además, los transformadores de energía cuentan con cubetos de contención como prevención de derrames masivos de aceites, los cuales en algunos casos se encuentran en exteriores, es por ello que el agua de lluvia se acumula en estos y actualmente son descargados directamente en el cuerpo de agua.

Ante este problema, las autoridades encargadas de la fiscalización ambiental en el Perú, instan a los operadores de centrales hidroeléctricas a evaluar sus sistemas de drenaje e implementar soluciones que garanticen una adecuada recolección y monitoreo de los mismos.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general del proyecto

Evaluar el funcionamiento de los sistemas de drenaje en las centrales hidroeléctricas: Huinco, Callahuanca, Matucana, Moyopampa, Huampaní, Chimay y Yanango; y plantear mejoras que permitan su correcto funcionamiento en concordancia con la normatividad ambiental.

1.3.2 Objetivos específicos del proyecto

- ✓ Identificar y recopilar información de equipos y sistemas de drenaje en las centrales hidroeléctricas.
- ✓ Evaluar la calidad del agua en los sistemas de drenaje mediante la toma de muestras.
- ✓ Brindar alternativas para independizar sistemas de drenaje en centrales hidroeléctricas.

CAPÍTULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1 CENTRALES HIDROELÉCTRICAS

Las centrales hidroeléctricas son plantas donde se produce electricidad mediante la transformación de energía, partiendo del aprovechamiento de un desnivel de agua, donde se acumula energía potencial gravitatoria, la cual es transformada en energía mecánica gracias a la fuerza que imprime el agua contra los álabes de la turbina; a su vez, la turbina hace girar el generador, que transforma la energía mecánica en energía eléctrica.

2.1.1 Clasificación de centrales hidroeléctricas

A continuación, se presentan los tipos de centrales hidroeléctricas, siendo las características del lugar de emplazamiento, lo que determina prioritariamente su diseño; estas clasificaciones han sido tomadas del libro de referencias de Reynaldo Rueda: Centrales Hidroeléctricas.

2.1.1.1 Según el discurrir del agua:

- *Centrales de embalses:* Se almacena grandes cantidades de agua en lagunas artificiales mediante la construcción de presas, estando el nivel de aguas por encima del nivel de turbinas. El almacenamiento se realiza principalmente en épocas de avenida, para ser utilizada durante todo el año, inclusive en épocas de estiaje; además, este mecanismo permite regular la cantidad de agua que pasa por las turbinas.

Dentro de este tipo existen dos variantes de centrales:

- *Centrales a pie de presa:* En lugares donde la orografía de un río presente un desnivel considerable, en un tramo determinado, se construye una presa de altura suficiente para formar un embalse (ver figura 2.1) y se sitúa la casa de máquinas aguas abajo de la presa.

- *Centrales por derivación:* Las aguas de un río son captadas mediante bocatomas, posteriormente son conducidas a través de canales o tuberías con pendientes mínimas, a fin de minimizar pérdidas de energía potencial gravitatoria, hasta una cámara de carga o taza para luego, mediante una tubería forzada, conducir el agua hasta la sala de máquinas; finalmente, el agua es devuelta a su cauce natural por medio de canales de descarga.



Fig. 2.1. Represa de Huallamayo que abastece a la C. H. Yuncán II.

Fuente: www.engie-energia.pe

- *Centrales de agua fluyente:* También conocidas como centrales de pasada. Al no tener un embalse, trabajan con el caudal disponible del río,

siendo este suficientemente constante durante el año para garantizar una potencia mínima. Estas centrales desarrollan su máxima potencia en épocas de avenida y disminuyen su potencial en función del caudal en épocas de estiaje.

- *Centrales de bombeo o reversibles:* Cuentan con dos embalses a distinto nivel; del embalse superior se conduce el agua hacia el embalse inferior a través de las turbinas, haciéndolas girar, y luego el agua queda almacenada en el embalse inferior, desde donde son bombeadas, durante las horas de menor demanda energética, al embalse superior para repetir el proceso, formando un circuito cerrado; de esta manera, se hace un uso más racional de los recursos hidráulicos.
- *Centrales marinas:* Utilizan la fuerza de las mareas, olas y corrientes submarinas para generar energía eléctrica. Requieren de condiciones adecuadas de la costa que permitan la construcción de presas que puedan regular la entrada y salida de las mareas. Se encuentran en desarrollo y construcción experimental, siendo los países como Gran Bretaña y Escocia los primeros en desarrollarlas.

2.1.1.2 Según la altura del salto de agua:

- *Centrales hidroeléctricas de alta presión (High head):* Caracterizadas por tener un salto hidráulico superior a 200 m de altura. Se alimentan con caudales de 20 m³/s para cada turbina. Utilizan principalmente turbinas Pelton y para saltos de menor altura, turbinas Francis lentas, manteniendo el rango establecido.
- *Centrales hidroeléctricas de media presión:* Presentan un salto hidráulico de 20 a 200 m de altura. Se alimentan con caudales de 200 m³/s para cada turbina. Utilizan preferiblemente turbinas Francis medias y rápidas y para saltos de mayor altura, turbinas Pelton, manteniendo el rango establecido.
- *Centrales hidroeléctricas de baja presión (Low head):* Cuentan con un salto hidráulico de 4 a 20 m de altura. Se alimentan con caudales de 300 m³/s

para cada turbina. Utilizan especialmente turbinas Kaplan y turbinas Francis extra rápidas.

- *Centrales hidroeléctricas de muy baja presión (Very low head)*: Tienen un salto hidráulico inferior a 4 m de altura. Requieren equipamiento especial, pues las turbinas Kaplan no son adecuadas para generar energía esta altura de desniveles.

2.1.2 Componentes de centrales hidroeléctricas

Dada la diversidad de tipos de centrales hidroeléctricas, cada uno de ellas adecuadas a la orografía de su emplazamiento y a las necesidades que buscan satisfacer, se va a abordar los principales componentes inherentes a todas ellas, dividiéndolos en dos grupos, obras civiles y equipos electromecánicos, tomando de referencia lo indicado en el libro de Reynaldo Rueda: Centrales Hidroeléctricas.

En el primer grupo se describirán las diversas estructuras que se encargan de almacenar y conducir el agua, desde la captación o embalse hasta la descarga del agua turbinada en el cauce natural; estas son las que demandan mayor inversión económica y tiempo en su construcción.

En el segundo grupo se abordarán los principales equipos electromecánicos que se encargan de transformar la energía potencial gravitatoria del agua en energía eléctrica, así como también equipos auxiliares y la transmisión final de la electricidad hacia los consumidores.

2.1.2.1 Obras civiles:

- *Presa*: Estructura que se construye sobre el lecho de un río, teniendo su eje perpendicular al eje del mismo, a fin de servir de barrera para el agua, logrando de esta manera formar una laguna artificial, conocida como embalse; además, se logra ganar altura en el nivel superior del agua, que posteriormente será aprovechado para generar energía eléctrica.

Las presas pueden clasificarse de las siguientes maneras:

- *Según el uso principal:* Presas de derivación, cuyo objetivo principal es levantar el nivel de agua, para garantizar la altura hidrostática necesaria para la generación de electricidad.

Presas de embalse, su función es almacenar agua en épocas de avenidas para usarla en época de estiaje a fin de obtener un caudal regular durante todo el año, así como también, elevar el nivel del agua.

- *Según el material de construcción:* Presas de concreto, son más estables y duraderas. En la actualidad es la forma más empleada para construir presas.

Presas de materiales sueltos, son más baratas que las presas de concreto. Se emplea en su construcción materiales como piedras, gravas, arenas, limos y arcillas.

Presas de enrocado, el agua es retenida por pantallas formadas por fragmentos de roca, a las cuales se les coloca una pantalla superior impermeable en el lado del embalse.

- *Según su configuración:* Presas de gravedad, el peso de la presa es el encargado de contrarrestar el momento de vuelco producido por el empuje del agua, así como también resistir al deslizamiento gracias al rozamiento (en función del peso) generado entre el cuerpo de la presa y el terreno de fundación.

Presas de arco, la forma de la presa es la encargada de resistir el empuje del agua, basado en el concepto del antifunicular (trabajo a compresión), transmitiendo los esfuerzos hacia los estribos, los cuales deben poseer una gran resistencia.

Presas aligeradas, también conocidas como contrafuertes, son similares a las presas de gravedad, siendo su diferencia la construcción de estructuras esbeltas aguas abajo de la presa, denominadas

contrafuertes, colas o cuñas, las cuales son las encargadas de sostener el cuerpo de la misma.

Presas de bóveda, también conocidas como de arco doble, pues presenta arcos verticales y horizontales, lo que contribuye a la transmisión de los esfuerzos generados por el empuje del agua hacia los estribos de la presa.

- *Vertederos*: Se construyen en la superficie, siendo su finalidad evacuar el exceso de agua contenido en el embalse, principalmente en época de avenidas, salvaguardando las estructuras de la presa y la central hidroeléctrica. Adicionalmente, al liberar el agua por el vertedero, se incrementa el contenido de oxígeno presente en la misma, lo cual puede generar beneficios para la flora y fauna local aguas abajo.

Cuentan con compuertas que se aperturan de acuerdo a la cantidad que se requiera liberar de agua, la cual cae en una zona de amortiguación, ubicada a pie de presa, donde se evitan los daños a la presa que pueda ocasionar el agua al caer.

- *Toma de agua*: Estructuras erigidas con el fin de facilitar la captación de agua, contenida en la presa de manera constante y derivarla luego hacia la tubería forzada. Poseen rejillas en la entrada, que impiden el ingreso de elementos sueltos que pueden dañar el resto de estructuras de la central. Cuentan además con compuertas que regulan la cantidad de agua captada.
- *Desarenador*: Los ríos transportan sedimentos, los cuales generan deterioro en las turbinas, por ende, se deben retirar del agua, para ello se construyen desarenadores, cuya función es disminuir la velocidad del agua captada, a fin de que los sedimentos caigan al fondo de este, de donde son limpiados periódicamente a través de cámaras de purga.
- *Sistemas de conducción*: Estructuras cuyo fin es conducir el agua desde la captación hasta las cámaras de carga; están integrados por canales,

túneles y galerías, los cuales se diseñan de tal manera que permitan el paso del agua, ocasionando la menor pérdida de energía potencial.

Así mismo, para evitar la erosión de las paredes del conducto y la sedimentación, se construyen teniendo como criterio de diseño a la velocidad máxima y mínima del agua respectivamente, acorde con el tipo de material y geometría del conducto. Los sistemas de conducción tienen vertederos, para controlar el exceso de caudal y evitar los daños que se puedan generar a los lados del conducto producto del rebosamiento.

- *Cámara de carga:* También conocida como taza o pulmón. Se encarga de recepcionar el agua proveniente de la toma y distribuirla, con una presión constante, en las tuberías forzadas, para lo cual requiere del ingreso continuo de agua, manteniendo el nivel máximo de la cámara; adicionalmente, se emplea como reservorio de regulación diaria, debiendo diseñarse con un volumen que satisfaga la demanda de caudal de agua durante un día por la casa de máquinas.

Además, por sus características, la cámara también se desempeña como un desarenador, por lo cual posee una válvula de purga y rejillas en las entradas de las tuberías forzadas.

- *Tubería forzada:* También conocidas como tuberías a presión. Son estructuras que se encargan de llevar el agua desde la cámara de carga hasta las turbinas (ver figura 2.2) para empezar la transformación de energía potencial a mecánica. Se caracterizan principalmente por su impermeabilidad, resistencia a la corrosión, resistencia a las sobrepresiones por golpe de ariete y facilidad de unión.

De acuerdo a las características del terreno donde se tiendan las tuberías, se determina el material de construcción de las mismas, siendo el concreto armado, concreto pre comprimido y metálicas las más resaltantes.

Las tuberías forzadas tienen estructuras secundarias como los apoyos o anclajes, que soportan el peso de las tuberías y permiten el

desplazamiento debido a la contracción o dilatación de las mismas, restringiendo el movimiento axial, transfiriendo cargas de tracción al terreno; las juntas de dilatación, permiten los desplazamientos de las tuberías y facilitan su montaje.

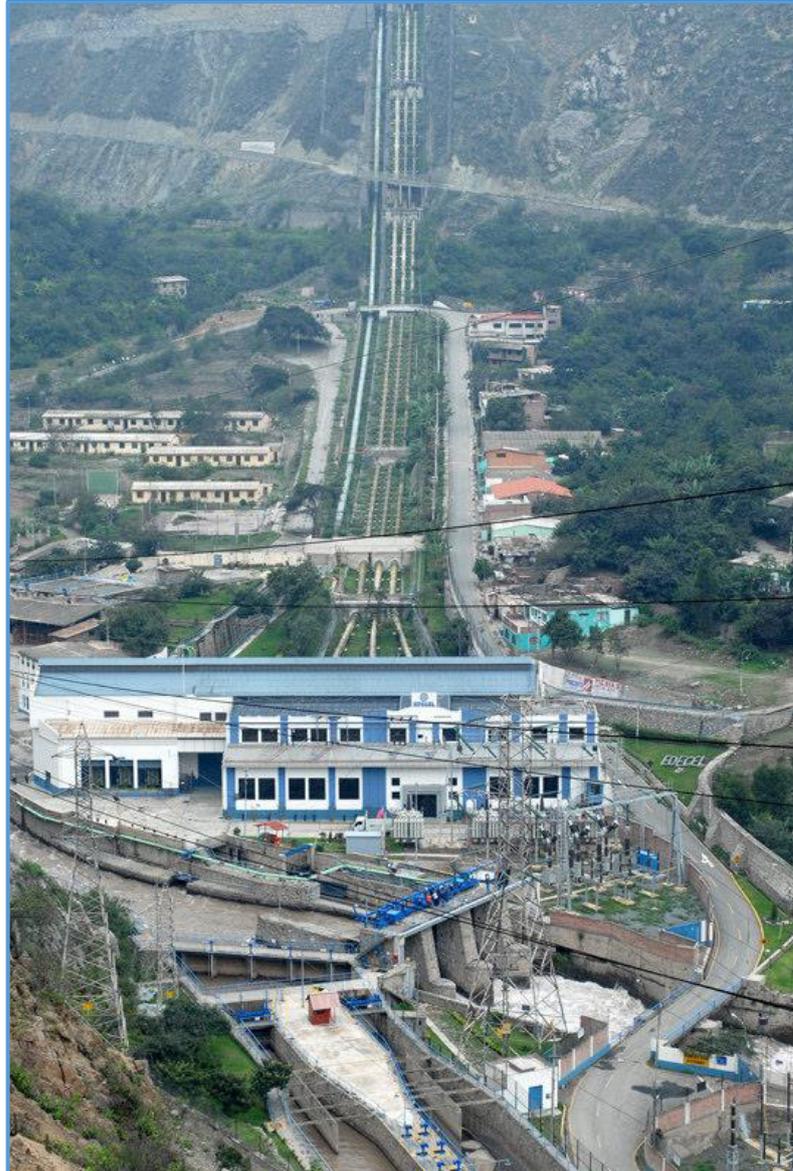


Fig. 2.2. Vista panorámica de la C. H. Callahuanca.

Fuente: www.hiveminer.com

- *Casa de máquinas:* Estructura principal (ver figura 2.2) que alberga los equipos electromecánicos que se detallaran en la siguiente sección, entre ellos tenemos a las turbinas, generadores, válvulas hidráulicas, reguladores de velocidad (RRVV), sistemas auxiliares, etc.

El tamaño de la casa de máquinas depende del número de grupos generadores (monofásicos o trifásicos) que tenga, en función a la potencia instalada que posea; la concepción arquitectónica está subordinada a la orografía del lugar de fundación, teniendo entonces casas de máquinas de eje vertical, dividida en niveles (nivel de generadores, de turbinas, de válvulas, etc.), y de eje horizontal, dividida en salas o pasadizos.

- *Canal de descarga:* Tras ser utilizada el agua para el movimiento de las turbinas, esta es devuelta al cauce del río por medio de canales de descarga, los cuales son diseñados para ser capaces de resistir la erosión en piso y paredes del canal, generada por el agua que sale a gran velocidad de las turbinas.

En algunas centrales hidroeléctricas, el canal de descarga abastece una toma de agua, que luego es derivada, mediante sistemas de conducción, a otras centrales que se encuentran aguas abajo, las cuales trabajan en serie o cascada; de esta manera es necesario solo la construcción de desarenadores y desripiadores en la toma de agua para abastecer la central que se ubique a mayor altitud.

2.1.2.2 Equipos electromecánicos:

Los equipos electromecánicos que se describirán a continuación, utilizan grasas y aceites (en diferentes medidas) para su adecuado funcionamiento, al igual que en los procesos de mantenimiento que reciben, con ello, pueden contaminar el agua utilizada dentro de las centrales hidroeléctricas, debido a desperfectos en ellos o derivados de errores humanos, al momento de operarlos.

- *Turbinas:* Son las encargadas de transformar la energía potencial del agua en energía mecánica. Están conformadas principalmente por un rodete, que es el cuerpo de la turbina, al cual van unidos los álabes, donde golpea el agua, que es expulsada a través de boquillas que reciben el nombre de toberas, las cuales están conectadas a un distribuidor, quien se encarga de repartir el agua proveniente de la tubería forzada.

Las turbinas se pueden clasificar de las siguientes maneras:

- *Según la dirección del agua:* Turbinas axiales, donde la dirección del agua al ingresar al rodete es paralela al eje de la turbina; turbinas radiales, donde es tangencialmente al rodete de la turbina.
- *Según la dirección de su eje:* Se clasifican en turbinas horizontales y turbinas verticales.
- *Según su reactividad:* Turbinas de acción, aprovechan la velocidad del flujo de agua, manteniendo la presión del agua, a la entrada y a la salida de la turbina; turbinas de reacción, aprovechan además de la velocidad, la pérdida de presión que se da al interior de la turbina.
- *Según su funcionalidad:* Turbinas Pelton (de acción, ver figura 2.3). Se utilizan en saltos de gran altura (mayores a 150 m) con caudales menores a $10 \text{ m}^3/\text{s}$; para caudales mayores se pueden instalar hasta 6 toberas alrededor del rodete, el cual presenta álabes en forma de cucharas, en cuya arista central cae el chorro de agua.

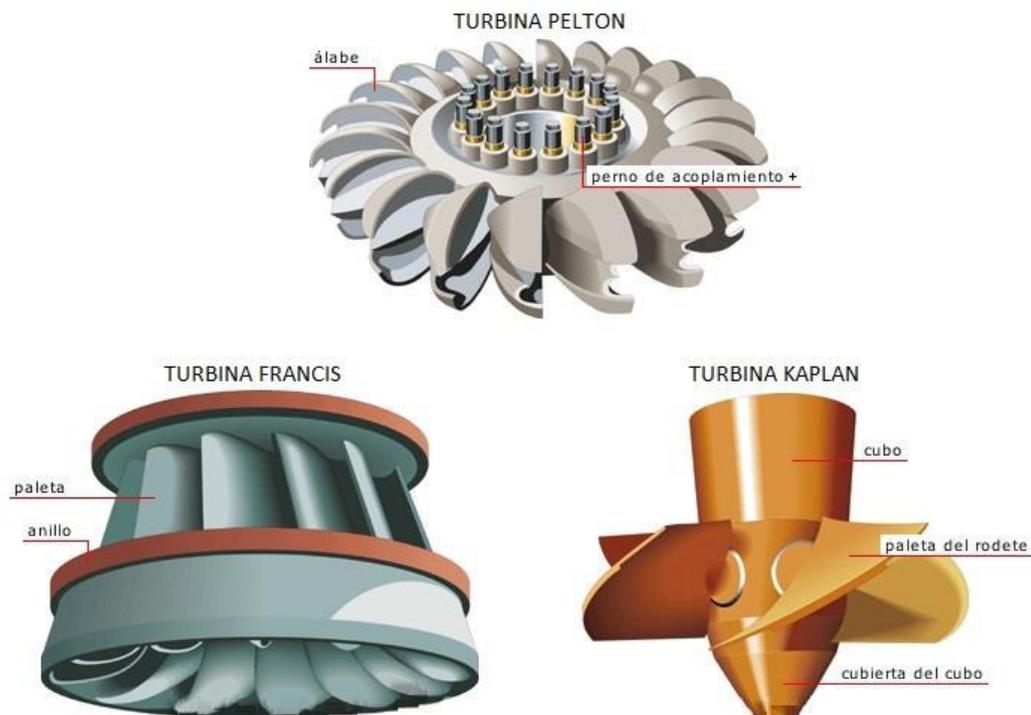


Fig. 2.3. Esquemas de turbinas Pelton, Francis y Kaplan.

Fuente: www.ikonet.com

Turbinas Francis (de reacción, ver figura 2.3). Presentan un rango de aplicación muy extenso, se utilizan con caudales que varían de 2 a 400 m³/s. Para saltos de gran altura (de 200 a 700 m) se emplean turbinas Francis lentas, para saltos intermedios (de 20 a 200 m), turbinas Francis normal y para saltos pequeños (menores a 20 m) se utilizan turbinas Francis rápidas y ultrarrápidas.

Turbinas Kaplan (de reacción, ver figura 2.3). Presenta características técnicas similares a las turbinas Francis, siendo su rango de aplicación, en saltos de pequeña altura (menores a 50 m) con caudales mayores a 15 m³/s. Están conformadas por hélices con pocos álabes de gran sección y espacio entre las mismas.

- *Generadores: (Alternadores)* Son los encargados de transformar la energía mecánica de la turbina en energía eléctrica, esto gracias al fenómeno de la inducción electromagnética. La corriente generada es de alta intensidad y baja tensión. Está conformado por 2 partes principales, el rotor (elemento móvil) y el estator (elemento estático).

El funcionamiento del generador se basa en el campo magnético originado por el rotor (actúa como inductor), cuyas líneas de fuerza al atravesar al estator (actúa como inducido), producen corriente alterna, que luego es derivada a los transformadores a través de barras de salida de corriente, las cuales están unidas al estator.

- *Reguladores de velocidad:* Equipos destinados a mantener constante la velocidad de sincronismo de la turbina, frente a las variaciones de carga que a su vez varían el número de revoluciones de la misma. Existen diversos tipos de reguladores como los mecánicos, hidráulicos, análogos, electrónicos digitales y mixtos.

Entre los principales componentes de los RRVV tenemos el sensor de velocidad, que se encarga de detectar los cambios en la velocidad de rotación de la turbina; el elemento de control, cuyo propósito es aperturar o cerrar el ingreso de agua a la turbina; el servomotor, es el responsable

de producir la fuerza necesaria para manipular los componentes de admisión del agua.

- *Válvulas hidráulicas:* Dispositivos que permiten regular la circulación del agua por las tuberías. Dentro de la casa de máquinas, las más importantes que se tienen son las válvulas de regulación de velocidad, que controlan el ingreso de agua a las turbinas; además, existen las válvulas de purga en las tuberías que conforman los diversos sistemas auxiliares y válvulas disipadoras de energía en las tuberías de conducción y presión.
- *Transformadores:* Equipos cuya función es variar el nivel de tensión de la corriente alterna, esto gracias al fenómeno de la inducción electromagnética. La electricidad producida en los generadores es de baja tensión por lo cual es enviada a los transformadores (ver figura 2.4) que se encargan de cambiarla a alta tensión, facilitando el transporte de energía eléctrica a grandes distancias, volviéndolo práctico y económico.



Fig. 2.4. Vista de un transformador de la C. H. Carhuaquero.

Fuente: www.abb.cl

Están conformados por un núcleo, que se encarga de conducir el flujo magnético y donde se enrollan hilos de cobre, que reciben el nombre de devanados, siendo el devano primario (actúa como inductor) quien recibe la electricidad y la transforma en energía magnética, para luego volver a transformarla en electricidad en el devanado secundario (actúa como inducido), en condiciones óptimas para su traslado y distribución.

- *Servicios auxiliares:* Existen sistemas menores, indispensables para el correcto funcionamiento de las centrales hidroeléctricas. Se dividen en 2 grupos, sistemas mecánicos auxiliares, entre los más resaltantes se tiene: sistema de agua de refrigeración, sistema de agua de servicio, sistema de ventilación, sistema contra incendios, sistemas oleo hidráulico, etc.

Sistemas eléctricos auxiliares, entre los que tenemos al sistema de iluminación, bancos de baterías y sus cargadores, sistemas de calefacción o aire acondicionado, sistemas de mando, sistema de señalización y alarma, etc. Además, existen sistemas de emergencia, generalmente grupos Diésel, con capacidad de alimentar a los servicios auxiliares.

2.2 NORMATIVIDAD AMBIENTAL

2.2.1 Sistema Nacional de Gestión Ambiental

El Sistema Nacional de Gestión Ambiental (SNGA) es el conjunto de políticas, principios, normas, procedimientos, técnicas e instrumentos, a través de la cual se organizan las funciones y competencias, de las entidades públicas, en materia ambiental y de recursos naturales del país, para permitir la implementación de la Política Nacional del Ambiente (PNA), creada en el año 2009.

De acuerdo a la Guía del SNGA (MINAM), este está conformado por instituciones estatales, órganos y oficinas de los distintos ministerios, organismos públicos descentralizados e instituciones públicas a nivel nacional, regional y local, que ejercen funciones en el sector ambiental. En la figura 2.5 se aprecian los 5 sistemas funcionales del SGNA.



Fig. 2.5. Sistemas funcionales del SNGA.

Fuente: Guía del SNGA - MINAM.

El ente rector del SNGA es el Ministerio del Ambiente (MINAM), quien es la máxima autoridad ambiental nacional, siendo de carácter obligatorio el cumplimiento de sus políticas y lineamientos. Entre sus funciones podemos destacar la formulación, planificación, dirección, coordinación, ejecución, supervisión y evaluación de la PNA, aplicable en todos los niveles de gobierno, quienes deben cumplir con las normas ambientales, siendo el MINAM quien fiscaliza que ocurra ello, caso contrario tiene poderes sancionadores.

Otras funciones a destacar son la elaboración de Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y Límites Máximos Permisibles (LMP) desarrollados intersectorialmente; promoción de una adecuada gestión de residuos sólidos, protección de la calidad del aire, control del ruido y de las radiaciones no ionizantes, al igual que la promoción de la participación del sector privado y la sociedad civil en dichos procesos, generando una cultura ambiental nacional.

En el SNGA se consideran dos dimensiones de integración en su funcionamiento; la primera es la dimensión sectorial, que se ampara en la integración de los sectores con competencia ambiental, como son agricultura, industria, pesquería, transportes, turismo, salud, defensa, energía y minas, vivienda, urbanismo, construcción y saneamiento.

La segunda es la dimensión territorial, que se fundamenta en la integración de los distintos niveles de gobierno, siendo estos los Sistemas Regionales de Gestión Ambiental (SRGA) y los Sistemas Locales de Gestión Ambiental (SLGA).

2.2.1.1 Sistemas funcionales del SNGA

El SNGA está conformado por sistemas funcionales, los cuales se detallan a continuación:

- *Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA)*: Realiza las tareas de identificación, evaluación, mitigación y corrección preventiva de los impactos ambientales negativos generados por el desarrollo de actividades humanas.

Los principales instrumentos del SEIA son las políticas, planes y programas que se manifiestan a través de la Evaluación Ambiental Estratégica (EAE) y proyectos de inversión (pública, privada o de capitales mixtos) a través de Estudios de Impacto Ambiental (EIA), poniéndose en práctica procesos participativos y de vigilancia, control, supervisión, fiscalización, sanciones e incentivos, bajo el amparo de la Ley del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental (Ley 27446).

- *Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado (SINANPE)*: Tiene como meta el contribuir al desarrollo sostenible del país, logrando la conservación de especies representativas de la diversidad biológica, por medio de sus diversas categorías de Áreas Naturales Protegidas (ANP), complementadas con las Áreas de Conservación Regional (ACR) y las Áreas de Conservación Privada (ACP).

Las ANP se clasifican bajo dos criterios: según su norma de creación (áreas de uso indirecto y directo) y según sus niveles de administración (nacional, regional y privada); además, existe una categoría transitoria, las zonas reservadas (ZR).

De acuerdo al listado oficial del SERNANP del año 2016, en el Perú se han establecido 77 ANP de administración nacional, 12 zonas reservadas, 17 ANP de administración regional y 97 áreas de conservación privadas.

- *Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA)*: Su fin es facilitar la sistematización, acceso y distribución de la información ambiental con la integración de una red tecnológica, institucional y humana, sirviendo de soporte en los procesos de gestión ambiental con el uso e intercambio de dicha información. El SINIA es la fuente principal de información ambiental de acceso público, concebida como herramienta de apoyo a la implementación del SNGA.

El SINIA lo conforman la red tecnológica (hardware y software), red de instituciones, red de integración humana y el conjunto seleccionado de datos e información. El SINIA muestra la información ambiental de forma ordenada y sistematizada, mediante el uso de sistemas web.

Desde el 2013 a la fecha, el portal web del SINIA recibió más de un millón de visitas, consolidándose como el principal mecanismo de información relacionado al ambiente y los recursos naturales a nivel nacional.

- *Sistema Nacional de Evaluación y Fiscalización Ambiental (SINEFA)*: Su objetivo es velar por el cumplimiento de la legislación ambiental, así como también supervisar o garantizar que las entidades del estado cumplan con efectuar sus funciones de fiscalización ambiental, de manera independiente, imparcial, ágil y eficiente.

El Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA) es el ente rector del SINEFA y desarrolla funciones de evaluación, supervisión, fiscalización, sanción y aplicación de incentivos, para lo cual dicta normas, directivas, y procedimientos, en búsqueda de un balance entre las actividades económicas y la protección ambiental.

- *Sistema Nacional de Gestión de Recursos Hídricos (SNGRH)*: Sistema encargado de estructurar la intervención del Estado, con el propósito de

guiar los procesos de gestión integrada y multisectorial del aprovechamiento sostenible, conservación, uso eficiente y el incremento de los recursos hídricos, manteniendo estándares de calidad en concordancia con sus usos, buscando la coordinación y concertación entre las partes involucradas, de la administración pública y actores privados.

El ente rector del SNGRH es la Autoridad Nacional del Agua (ANA), cuyos órganos descentralizados son las 14 Autoridades Administrativas del Agua (AAA), los cuales conducen la gestión de las 159 cuencas hidrográficas en todo el país, a través de las 72 Administraciones Locales de Agua (ALA).

- *Sistema Nacional de Gestión Forestal y de Fauna Silvestre (SINAFOR)*: Fue creado para garantizar el desarrollo y ejecución de políticas públicas, normas e instrumentos relacionados a la gestión del patrimonio forestal y de fauna silvestre, teniendo como principios la orientación, conducción, coordinación, implementación y supervisión de los instrumentos de gestión forestal y de fauna silvestre, relacionando al sector privado y público, en todos los niveles de gobierno.

El ente rector del SINAFOR es el Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR).

- *Sistema Nacional de Acuicultura (SINACUI)*: Tiene como objetivos la orientación, integración, coordinación, ejecución, supervisión, evaluación y validación de la aplicación y cumplimiento de la política pública, planes, programas y acciones concebidos para incentivar el desarrollo de la acuicultura en el país.
- *Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGERD)*: Su propósito es la identificación y reducción de los riesgos asociados a peligros o la atenuación de sus efectos, así como también la preparación y atención de desastres, logrados a través de la instauración de principios, lineamientos de política, componentes, procesos de origen natural e inducidos por el hombre.

2.2.2 Impacto ambiental en centrales hidroeléctricas

A continuación, se presentan los principales impactos ambientales generados por centrales hidroeléctricas, tomados de las referencias: Guía de impacto ambiental para centrales hidroeléctricas (UTP - Colombia. 2011) y Guía para la Evaluación de Impacto Ambiental de Centrales de Generación de Energía Hidroeléctrica de Potencia Menor a 20 MW (Servicio de Evaluación Ambiental - Chile. 2012).

2.2.2.1 Impactos ambientales negativos directos

Durante la construcción de todas las estructuras que integran un proyecto de central hidroeléctrica, se produce contaminación del aire y agua, como consecuencia de la generación y eliminación de residuos; se erosiona el suelo y se destruye la vegetación en el área de influencia; además, durante la construcción se instalan campamentos, los cuales ocasionan problemas de saneamiento y salubridad.

Como medidas de atenuación, tenemos el control de la contaminación del aire y agua, la planificación para instalar las edificaciones temporales y perennes en los lugares idóneos, al igual que para las excavaciones, canteras, depósitos de desperdicios, etc., a fin de disminuir la erosión del suelo y la deforestación.

Si existen viviendas en el área de influencia del embalse u otras estructuras, se reubican a las personas en zonas adecuadas, indemnizando a los afectados, brindándoles servicios básicos y oportunidades de desarrollo.

Así mismo, los terrenos destinados a actividades agrícolas y ganaderas, los bosques y humedales, se destruyen y/o alteran, por lo cual se debe construir las represas, en lugares donde ocasionen menores daños, o reducir la capacidad de los embalses, de lo contrario, se debieran crear áreas en compensación a las destruidas. Del mismo modo, estas medidas se aplican cuando se descubrieran monumentos históricos y/o culturales, teniendo como prioridad la recuperación y protección del patrimonio nacional.

Con la construcción de las centrales, se alteran los hábitats de la fauna, se pierden áreas silvestres, se cambian rutas de migración, etc., por lo cual se debe rescatar y reubicar a la fauna local, preferiblemente en áreas reservadas, instaurados para compensar los terrenos perdidos por el alcance del embalse.

La proliferación de plantas acuáticas en el reservorio, pueden impedir la libre descarga de la presa, dañar los sistemas de riego, disminuir la calidad de agua, dificultar la navegación y pesca, es por ello que, previo a su inundación, se debe eliminar la vegetación del reservorio, disponiendo la maleza para producir compost, forraje o biogás; además, la descarga del agua en el embalse debe ser manipulada, con el fin de paliar el crecimiento de maleza.

Para mantener la calidad del agua en la cuenca hidrográfica, se debe también disminuir el periodo de retención del agua en el reservorio y controlar las descargas de drenajes domésticos e industriales, de agua con bajos o nulos niveles de oxígeno, de sedimentos y sustancias agroindustriales.



Fig. 2.6. Caudal ecológico en la represa de Rules (España).

Fuente: www.otragranada.org

Para contrarrestar estos impactos, se debe prevenir la tala de bosques para controlar la emisión de sedimentos al cauce, y realizar reforestación donde se haya perdido vegetación natural; también al momento de operar el reservorio, esta actividad se debe planificar y ejecutar de tal manera que se minimice la sedimentación, y periódicamente, lavado de sedimentos.

Con la construcción de la presa, se altera el caudal natural de río, generando de esta forma, lavado del lecho del río y salinización de terrenos aluviales, lo cual se puede controlar con la regulación del caudal liberado, manteniendo un caudal ecológico (ver figura 2.6), que impida la intrusión de sales al terreno.

Existen otros impactos también relacionados con los embalses, como son la pérdida de áreas de cultivo en la zona inundada, y la reducción de la pesca, dada la interrupción de la migración de los peces, alteraciones en el flujo y calidad del agua dulce; siendo las medidas a tomar, la liberación de un caudal mínimo continuo durante todo el año, especialmente en épocas de estiaje, que garanticen el normal desarrollo de la agricultura y pesca, además de construir gradas para peces, que faciliten su migración y protegiendo las zonas de desove.

El estancamiento del agua en el embalse, disminuye la calidad del agua y ocasiona un aumento en las enfermedades en personas que la consumen, al igual que el incremento de humedad y neblina, propicia la proliferación de vectores insectos, es por ello que se debe controlar la proliferación de vectores, además de emplear profilaxis y tratar las enfermedades generadas.

El uso del agua es un problema que genera conflictos sociales y trae consigo disminución del nivel de vida de las comunidades circundantes a las centrales, por lo cual, se debe de planificar la operación de las represas siguiendo conjuntamente con los lineamientos de desarrollo regionales, distribuyendo equitativamente el agua entre todos los integrantes de las comunidades; de esta manera se trata de mantener las condiciones de vida, igual o mejor a antes de la construcción de las centrales.

2.2.2.2 Impactos ambientales negativos indirectos

La construcción de vías de acceso que interconectan las centrales con ciudades aledañas, genera una migración de personas, principalmente del ámbito rural, hacia las áreas alrededor de las centrales, al igual que el incremento de actividades industriales y agrícolas con riego, propiciadas por la represa; esto se controla limitando el acceso a las centrales, favoreciendo el desarrollo rural, previendo servicios sanitarios y sociales, planificando el uso óptimo de recursos acuáticos y terrestres.

2.2.3 Normatividad para efluentes líquidos

2.2.3.1 ECA para agua

El ECA se define como la medida de la concentración o grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, en el aire, agua o suelo en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni del ambiente (Decreto Supremo N° 015 - 2006 - EM).

En el año 2009, mediante el Decreto Supremo N° 023 - 2009 - MINAM, se aprobaron las disposiciones para la implementación de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua, contando con 4 categorías (poblacional y recreacional; actividades marino costeras; riego de vegetales y bebida de animales; conservación del ambiente acuático).

En función a las actividades a las que se destine el agua; si en un cuerpo de agua se identificaran 2 o más categorías, será la ANA quien definirá la categoría a la cual pertenece, siendo la protección de la salud humana, el criterio de selección prioritario.

En los lugares donde se viertan efluentes, potencialmente contaminantes, es potestad del ANA la verificación del cumplimiento de los ECA, estableciendo protocolos de monitoreo, así como también la metodología a emplear, la frecuencia de realización, las ubicaciones de las estaciones de monitoreo, etc.; además, son requisitos obligatorios para la entrega de las Autorizaciones de Vertimientos.

Quedan exceptuados de la aplicación del ECA para agua, los cuerpos de agua que presenten parámetros naturales superiores a los del ECA, debiendo quedar fundamentados con estudios técnicos, aprobados por la ANA. Así mismo, quedan exceptuados ante la ocurrencia de fenómenos naturales extremos, que alteren el ciclo natural del agua, generando inundaciones o sequías, o la ocurrencia de fenómenos bioquímicos debidos a causas naturales, que causen eutrofización por desbalance de nutrientes.

En caso los parámetros que evalúa el ECA (físicos, químicos, inorgánicos, orgánicos, microbiológicos, organolépticos, plaguicidas) para agua se vean superados, se ejecutarán Planes de Descontaminación y Rehabilitación de la Calidad del Agua, basados en criterios y procedimientos que el MINAM determine.

Tab. 2.1. Clasificación de Estándares de Calidad Ambiental para agua.

CATEGORÍA	SUBCATEGORÍA	
1. Poblacional y recreacional	A. Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable	A1. Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección
		A2. Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional.
		A3. Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado
	B. Aguas superficiales destinadas para recreación	B1. Contacto primario
		B2. Contacto secundario
2. Actividades de extracción y cultivo marino costeras y continentales	C1. Extracción y cultivo de moluscos bivalvos en aguas marino costeras	
	C2. Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas en aguas marino costeras	
	C3. Otras actividades en aguas marino costeras	
	C4. Extracción y cultivo de especies hidrobiológicas en lagos o lagunas	
3. Riego de vegetales y bebida de animales.	D1. Vegetales de tallo bajo y alto	
	D2. Bebida de animales	
4. Conservación del ambiente acuático	E1. Lagunas y lagos	
	E2. Ríos	Ríos de la costa y sierra
		Ríos de la selva
	E3. Ecosistemas marino costeros	Estuarios
Marinos		

Fuente: Decreto Supremo N° 023 - 2009 - MINAM.

En la tabla 2.1 se presentan las categorías y subcategorías de los Estándares de Calidad Ambiental para agua, extraídos del Decreto Supremo N° 002 - 2008 - MINAM y su modificación en el Decreto Supremo N° 015 - 2015 - MINAM.

2.2.3.2 Parámetros para efluentes líquidos

El LMP según la Ley General del Ambiente (Ley N° 28611), es la medida de la concentración o grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a un efluente o una emisión que, al ser excedida, causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente.

El MINAM es el ente encargado de determinar los LMP, así como velar por el cumplimiento de los mismos conjuntamente con las entidades que conforman el SNGA, además de establecer los criterios de supervisión y sanción ante el incumplimiento de los LMP.

En el año 1997, mediante la Resolución Directoral N° 008 - 97 - EM / DGAA se aprobaron los Niveles Máximos Permisibles para Efluentes Líquidos producto de las actividades de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica, los cuales se detallan a continuación:

Tab. 2.2. Niveles Máximos Permisibles de emisión de efluentes líquidos para las actividades de electricidad.

PARÁMETRO	VALOR EN CUALQUIER MOMENTO	VALOR PROMEDIO ANUAL
pH	Mayor que 6 y menor que 9	Mayor que 6 y menor que 9
Aceites y grasas	20 mg/l	10 mg/l
Sólidos suspendidos	50 mg/l	25 mg/l

Fuente: RD N° 008 - 97 - EM / DGAA.

Los monitoreos de calidad de agua del sector minero - energético se realizarán de manera mensual, en ningún caso los resultados obtenidos pueden exceder el nivel establecido para cada parámetro en la columna Valor en Cualquier Momento, al igual que el promedio anual en la columna Valor Promedio Anual, ambos de la tabla 2.2.

Los estudios estarán a cargo de las empresas responsables de las actividades de electricidad, quienes llevarán un registro según el formato establecido por la Dirección General de Asuntos Ambientales (DGAA).

Ante la presencia de parámetros fuera de los mencionados en la tabla 2.2, que se encuentren en los monitoreos, los responsables de las actividades de electricidad deberán velar por el cumplimiento de los ECA para agua o se demostrará técnicamente que el vertimiento del efluente líquido no ocasionará efectos negativos a la salud humana y al ambiente (RD N° 008 - 97 - EM / DGAA).

Cabe mencionar, que los puntos de descarga de efluentes líquidos en cuerpos de agua, no deberán alterar la temperatura de los mismos, en el caso de ríos, el máximo incremento permitido es 3 °C, en un área de radio igual a 5 veces el ancho del cauce del río; para mares y lagos, no se deberá superar en ningún momento la temperatura de 50 °C en el punto de descarga.

2.2.3.3 Contingencia ante derrames

Ante la eventualidad de un derrame de hidrocarburos en centrales hidroeléctricas, se debe ejecutar inmediatamente los planos de contingencia, los cuales son aprobados por Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (Osinergmin), previa opinión favorable de INDECI; esto de acuerdo a la Ley N° 28551: Ley que establece la obligación de elaborar y presentar planes de contingencia.

Se define a los planes de contingencia como aquellos instrumentos de gestión que definen las estrategias y programas de una institución, buscando la prevención, reducción de riesgos y atención de emergencia, ante la ocurrencia de eventos potencialmente dañinos durante la producción industrial.

El Reglamento de Seguridad para las Actividades de Hidrocarburos (aprobado mediante Decreto Supremo N° 043 - 2007 - EM) recomienda medidas para el control de derrames, a ser consideradas dentro de los planes de contingencia de centrales hidroeléctricas, dado que en ellas se encuentran equipos que operan con hidrocarburos (ver ítem 2.1.2.2); como son: tener las áreas de trabajo limpias

y ordenadas, cualquier derrame de hidrocarburos u otros productos derivados deben limpiarse inmediatamente y anotarse en el registro de la emergencia que corresponda.

Así mismo, en los lugares donde se almacenen hidrocarburos o productos químicos, y donde puedan producirse derrames o fugas, se recomienda contar con lampas, cilindros con arena y kits anti derrames (ver figura 2.7) para su control; igualmente para el caso de manipuleo, se deberá contar con los equipos antes mencionados, y con la Cartilla de Seguridad de Material Peligroso, para un adecuado manejo de un derrame o fuga de los productos almacenados.

Como medidas preventivas se debe contemplar la inspección de zonas de riesgo, verificando el correcto funcionamiento de los diversos equipos que trabajan con hidrocarburos o productos químicos, detectando posibles fugas. Así mismo, se debe constatar que las instalaciones cuenten con stock de materiales de limpieza para derrames en sus almacenes.



Fig. 2.7. Kits de contención y limpieza para derrames.

Fuente: www.enpac.com

Cuando se detecte un derrame, se deberá informar inmediatamente al jefe de la central u instalación, indicando las características del lugar y sustancia derramada, a fin de que este inicie la acción de parada de los equipos involucrados en el derrame, y el confinamiento del mismo por personal capacitado.

Después de ocurrido un derrame, se recomienda realizar la limpieza y descontaminación del área afectada, utilizando equipos de protección adecuados; los residuos generados deben ser colocados temporalmente en un ambiente seguro, ventilado y con piso impermeable, hasta que una empresa especializada en transporte de residuos peligrosos lo deseche en un botadero autorizado por DIGESA. Finalmente, el jefe de la central u instalación debe presentar a Osinergmin un informe completo del derrame.

2.3 FÓRMULAS HIDRÁULICAS

2.3.1 Caudales

La definición de caudal es la cantidad de fluido que circula a través de una sección del conducto (tubería, canal, río etc.) por unidad de tiempo, siendo sus unidades definidas en este sentido, volumen entre tiempo.

A continuación, se presentan las fórmulas utilizadas en el desarrollo del proyecto, las cuales fueron tomadas de la referencia bibliográfica: *Mecánica de Fluidos* (3ra edición) de Merle Potter y David Wigget.

2.3.1.1 Caudal en tuberías

El caudal en tuberías se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{V\pi\varnothing^2 A_{\%}}{4} \langle \rangle \frac{Vol}{t} \quad (2.1)$$

Donde:

Q = Caudal del flujo, en m³/s.

V = Velocidad media del flujo, en m/s.

Ø = Diámetro de la tubería, en m.

A_% = Porcentaje de área mojada, en %.

Vol = Volumen, en m³.

t = Tiempo, en s.

De la fórmula anterior, se puede estimar el diámetro de la tubería, según:

$$\emptyset = \sqrt{\frac{4Q}{V\pi A\%}} \quad (2.2)$$

Además, de la ecuación de Bernoulli, de las condiciones entre 2 puntos de una misma tubería, se tiene:

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{p_1}{s_a} + h_1 = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{p_2}{s_a} + h_2 + h_L \quad (2.3)$$

Donde:

V = Velocidad media del flujo en el punto 1 y punto 2.

p = Presión del flujo en el punto 1 y punto 2.

h = Altura del flujo en el punto 1 y punto 2.

g = Aceleración de la gravedad.

S_a = Peso específico del agua.

h_L = Pérdidas de energía por fricción.

Considerando una velocidad de llegada nula, condiciones de presión similares en ambos puntos de la tubería y pérdidas de energía por fricción despreciables, podemos obtener la velocidad del flujo, según:

$$V = \sqrt{2g(h_2 - h_1)} \quad (2.4)$$

Donde:

V = Velocidad media del flujo, en m/s.

g = Aceleración de la gravedad, en m/s².

h = Altura del flujo en el punto 1 y punto 2, en m.

2.3.1.2 Caudal en canales

El caudal en canales se calcula mediante la ecuación de Chezy - Manning:

$$Q = \frac{AR^{2/3}\sqrt{S}}{\eta} \quad (2.5)$$

Donde:

Q = Caudal del flujo, en m³/s.

A = Área de la sección transversal del canal, en m².

R = Radio hidráulico del canal, en m.

s = Pendiente del canal, en %.

η = Coeficiente de Manning.

Para un canal de sección rectangular de base “b”, tirante “y”, perímetro mojado “P_m”, los parámetros anteriores quedan definidos:

$$A = by \quad (2.6)$$

$$R = \frac{A}{P_m} = \frac{by}{b+2y} \quad (2.7)$$

2.3.2 Cubeto de contención

Los cubetos de contención son estructuras de concreto armado o metálicos, cuyo fin es evitar la diseminación de una sustancia; según el Decreto Supremo N° 015 - 2006 - EM, en el caso de centrales hidroeléctricas, el aceite que tienen los equipos como transformadores, RRVV, válvulas de regulación, etc., deben tener contenciones con un volumen mínimo del 110% del volumen total de aceite del equipo con mayor capacidad.

Con el propósito de mantener un circuito continuo del drenaje industrial, los cubetos se complementan con los principios de un separador agua - aceite, el cual se basa en el mecanismo de separación por gravedad, dependiendo de las diferencias en la gravedad específica de las partículas de aceite en una corriente de agua, formando una capa de este en la parte superior del agua, que posteriormente es eliminado por medios mecánicos.

A continuación, se presentan los principios de diseño y dimensionamiento de los cubetos de contención, cuyos fundamentos se basan en los siguientes documentos:

- API 421 - Design and operation of oil – water separators.

- DIN EN 858 - 1 - Separator systems for light liquids (e.g. oil and petrol) - Part 1: Principles of product design, performance and testing, marking and quality control.
- DIN EN 858 - 2 - Separator systems for light liquids (e.g. oil and petrol) - Part 2: Selection of nominal size, installation, operation and maintenance.

2.3.2.1 Principios de diseño

El mecanismo de separación de agua - aceite se basa en la velocidad vertical, con la cual las partículas de aceite se mueven hacia la superficie del cubeto, como resultado de la diferencia de densidades del aceite y agua, y su relación con la velocidad de carga superficial del cubeto, que es el caudal que ingresa a este, dividido entre el área superficial del mismo.

La velocidad vertical viene dada por la fórmula de la Ley de Stokes:

$$V_t = \frac{0.1094g(\rho_w - \rho_o)D^2}{\mu} \quad (2.8)$$

Donde:

V_t = Velocidad vertical, en ft/min.

g = Aceleración de la gravedad, en ft/min².

μ = Viscosidad absoluta del agua residual a temperatura de diseño, en Poise.

ρ_w = Densidad del agua a temperatura de diseño, en gr/ft³.

ρ_o = Densidad del aceite a temperatura de diseño, en gr/ft³.

D = Diámetro de la partícula de aceite removida, en ft.

En la ecuación 2.8, se considera el diámetro de una partícula de aceite 0.015 cm, siguiendo la recomendación del API, con lo cual se asegura la separación de partículas de aceite de un diámetro igual o mayor; obteniendo:

$$V_t = 0.0241 \left(\frac{S_w - S_o}{\mu} \right) \quad (2.9)$$

Donde:

S_w = Gravedad específica del agua residual a temperatura de diseño.

S_o = Gravedad específica del aceite presente en el agua residual.

A continuación, las fórmulas para obtener las dimensiones mínimas del cubeto:

- Velocidad horizontal

$$V_h = 15V_t \leq 3 \quad (2.10)$$

Donde:

V_h = Velocidad horizontal, en ft/min.

El límite de 3 ft/min para la velocidad horizontal, se basa en las experiencias del API, aunque existe cubetos que pueden operan con velocidades mayores, la mayoría trabaja en promedio con menos de 2 ft/min.

- Área transversal vertical mínima

$$A_t = \frac{Q_d}{V_h} \quad (2.11)$$

Donde:

A_t = Área transversal vertical mínima, en ft².

Q_d = Caudal de diseño en el cubeto, en ft³/min.

- Número de canales

$$n = \frac{A_t}{160} \quad (2.12)$$

Donde:

n = Número de canales, en unidades.

El valor 160 en el denominador de la ecuación 2.12 se obtiene asumiendo las máximas dimensiones recomendadas, ancho de 20 ft y profundidad de 8 ft, obteniendo un área de canal de 160 ft².

- Ancho y profundidad del cubeto

$$d = \frac{A_t}{nB} \quad (2.13)$$

Donde:

d = Profundidad del canal, en ft.

B = Ancho del cubeto, en ft.

La relación entre el ancho y la profundidad del cubeto varía típicamente entre 0.3 y 0.5 en la industria del petróleo, esto determinado por barredores de aceite - lodo, en el caso de centrales hidroeléctricas, no se requiere la instalación de estos elementos, por lo tanto, en la ecuación 2.14 se va a tomar como referencia para un pre dimensionamiento, siendo las definitivas, determinadas principalmente por las condiciones del lugar donde plantee implementar el cubeto.

$$0.3 \leq \frac{d}{B} \leq 0.5 \quad (2.14)$$

Teniendo los valores de ancho y profundidad del canal, se calcula nuevamente la velocidad horizontal con la siguiente expresión:

$$V_h = \frac{Q_d}{ndB} \leq 3 \quad (2.15)$$

➤ Factor de turbulencia

$$F_t = -0.0005 \left(\frac{V_h}{V_t} \right)^2 + 0.0355 \frac{V_h}{V_t} + 0.9617 \quad (2.16)$$

Donde:

F_t = Factor de turbulencia.

La ecuación 2.16 pertenece a un ajuste de curva de los datos presentados en la tabla 2.3, graficada en la figura 2.8:

Tab. 2.3. Valores recomendados de factor de turbulencia.

V _h /V _t	F _t
20	1.45
15	1.37
10	1.27
6	1.14
3	1.07

Fuente: Design and operation of oil – water separatos. API 421.

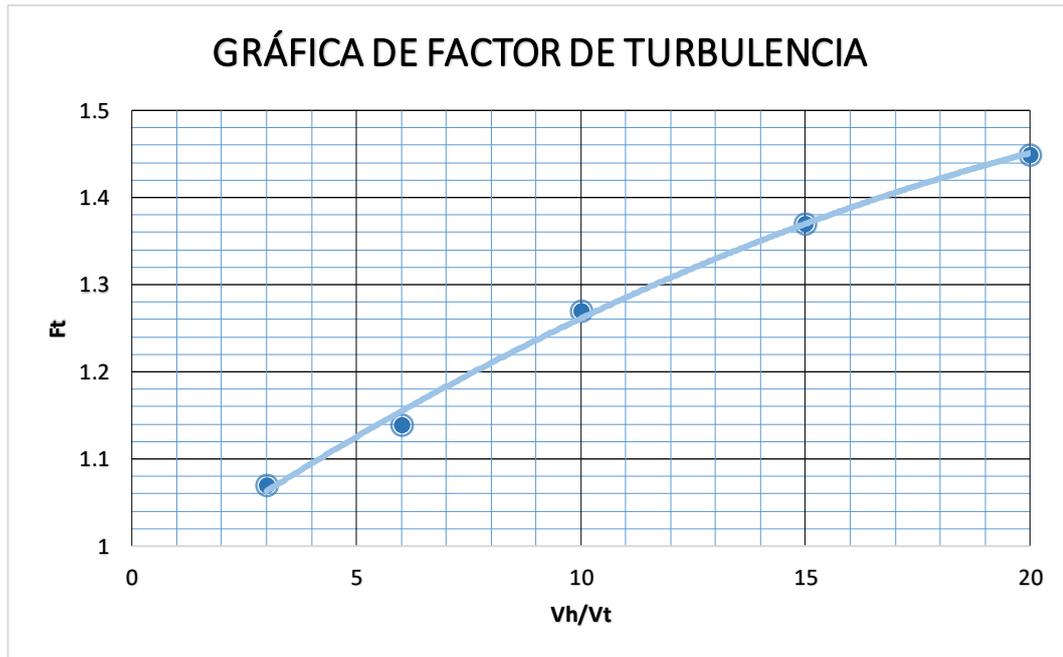


Fig. 2.8. Gráfica de los valores recomendados de factor de turbulencia.

Fuente: Design and operation of oil – water separators. API 421.

➤ Factor de diseño

$$F = F_t F_c \quad (2.17)$$

Donde:

F = Factor de diseño.

F_t = Factor de turbulencia.

F_c = Factor de cortocircuito de 1.21 determinado experimentalmente por API.

➤ Longitud del cubeto

$$L = F \frac{V_h}{V_t} d \quad (2.18)$$

Donde:

L = Longitud del canal, en ft.

Con el propósito de minimizar efectos de turbulencia en el cubeto y proporcionar una distribución más uniforme al fluido, API recomienda que la relación entre el largo y ancho del cubeto sea mayor a 5, por lo tanto, si con el resultado de la

ecuación 2.18 no se cumple la condición de la ecuación 2.19, el valor tomado como longitud será igual a 5 veces la base del cubeto ($L = 5B$).

$$\frac{L}{B} \geq 5 \quad (2.19)$$

➤ Área horizontal mínima

$$A_h = F \left(\frac{Q_d}{V_t} \right) \quad (2.20)$$

Donde:

A_h = Área horizontal mínima, en ft^2 .

2.3.2.2 Dimensionamiento del cubeto

En la figura 2.9, se puede apreciar las alturas del nivel de agua y aceite, al igual que las alturas de las tuberías que cargan y descargan el cubeto:

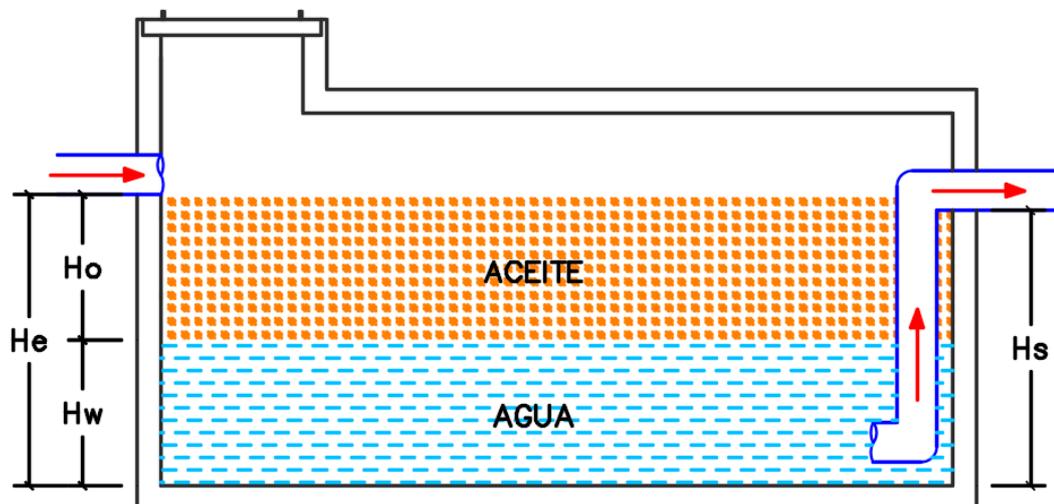


Fig. 2.9. Esquema de alturas de cubeto.

Fuente: Elaboración propia.

Donde:

H_o = Altura del máximo nivel de aceite presente en el agua residual, en m.

H_w = Altura mínima del nivel de agua, en m.

H_e = Altura mínima de la tubería de entrada, en m.

H_s = Altura de la tubería de salida, en m.

- Altura del máximo nivel de aceite

$$H_o = 1.1 \frac{V_o}{LBn} \quad (2.21)$$

Donde:

V_o = Volumen de aceite, en m^3 .

L = Longitud del canal, en m.

B = Ancho del canal, en m.

n = Número de canales, en unidades.

- Altura de la tubería de salida

$$H_s = \frac{S_w H_w + S_o H_o}{S} \quad (2.22)$$

Donde:

S_w = Gravedad específica del agua residual a temperatura de diseño.

S_o = Gravedad específica del aceite presente en el agua residual.

S = Gravedad específica del agua descargada del cubeto.

La ecuación 2.22 es obtenida aplicando equilibrio hidrostático en el nivel de la superficie de aceite en la figura 2.13. Dado que la altura del aceite es fija, la altura de la tubería de salida depende de la altura mínima del nivel de agua para evitar la salida del aceite del cubeto, por lo tanto, se recomienda para la estimación de dicha altura mínima, se incluya una altura de seguridad sobre el borde superior de la tubería de salida.

- Altura mínima de la tubería de entrada

$$H_e = H_o + H_w \quad (2.23)$$

CAPÍTULO III: IDENTIFICACIÓN Y LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN

3.1 MONUMENTACIÓN GEODÉSICA

Esta actividad se llevó a cabo con la finalidad de establecer las coordenadas absolutas del sistema UTM (Universal Transversal de Mercator), enlazadas a la Red Geodésica Nacional, del levantamiento topográfico del sistema de drenaje industrial existente que se realizó. El trabajo consistió en monumentar los BM (Bench Mark) y puntos de control referidos con la siguiente nomenclatura:

En la tabla 3.1 se presentan las coordenadas UTM y elevación de los 2 BM monumentados en cada una de las centrales hidroeléctricas comprendidas en el proyecto.

Tab. 3.1. Coordenadas UTM WGS-84 de BM.

CENTRAL HIDROELÉCTRICA	NOMENCLATURA	COORDENADAS UTM WGS-84		ELEVACIÓN m.s.n.m.
		NORTE	ESTE	
Huinco	LI7001	8699452.557	324058.744	1865.181
	LI7002	8699356.320	324044.753	1864.533
Callahuanca	LI7003	8690949.199	322951.707	1384.810
	LI7004	8690923.277	322846.100	1383.550
Matucana	LI7005	8685563.160	341431.314	1878.227
	LI7006	8685536.207	341468.343	1879.819
Moyopampa	LI7007	8680897.098	316089.701	879.345
	LI7008	8680847.385	316047.655	877.747
Huampaní	LI7009	8675964.756	306765.103	665.049
	LI7010	8675746.322	306758.353	668.778
Yanango	LI7011	8763308.970	449194.369	1454.750
	LI7012	8763295.695	449167.466	1456.116
Chimay	LI7013	8750005.644	466677.063	1111.308
	LI7014	8750047.765	466687.626	1109.389

Fuente: Elaboración propia.

La monumentación de los BM, se realizó mediante placas de bronce de 6 cm de diámetro (ver figura 3.1), ancladas con clavos de fijación, empotradas en hitos de concreto armado, de forma cúbica de 20 cm de lado, con varillas de fierro de ½” en el centro del bloque, de 50 cm de largo como mínimo, para anclarlos al suelo debajo de los mismos.

La nomenclatura de las placas está acorde con los requerimientos del Instituto Geográfico Nacional (IGN), teniendo los hitos un acabado final superficial con pintura color rojo, empotrados en el terreno natural, en lugares donde no se realice movimiento de tierras, para evitar que sufran daños o cambien sus lugares de fundación.



Fig. 3.1. BM LI7007 en la C.H. Moyopampa.

Fuente: Elaboración propia.

La georreferenciación de los BM, se realizó posterior a la monumentación, empleando un GPS diferencial, determinando las coordenadas de las placas de bronce, mediante el Sistema Global de Navegación por Satélite (Global Navigation Satellite System, GNSS), en el sistema UTM (Universal Transversal de Mercator), elipsoide WGS84.

El tiempo de ejecución de la georreferenciación dependió del lugar donde se ejecutó, para zonas llanas son 3 horas y para zonas encañonadas 5 horas aproximadamente, pues lo que se busca es eliminar al máximo los errores de medición y brindar unas coordenadas precisas; además es recomendable que esta actividad se realice entre las 10 am y 2 pm, donde se tiene menor presencia de nubes, que pudieran alterar las señales de los satélites

3.2 IDENTIFICACIÓN DEL SISTEMA DE DRENAJE

Se partió con una búsqueda de información existente en la planoteca de Enel, ubicada en las oficinas operativas: Taller Moyopampa (Chosica, Lima), encontrando poca información escrita de la construcción de las centrales, y la que fue hallada está deteriorada, dada la escasa voluntad de los propietarios en preservarlos o digitalizarlos, siendo esta una fuente de consulta necesaria para cualquier trabajo que se realice en las centrales.

Para el proyecto, se usó como base la información recabada, tanto escrita (planos, memorias de cálculo, esquemas, fotografías, etc.) como oral (incidentes, testimonios, anécdotas, etc.) proveniente de los trabajadores mismos de las centrales, con la cual se puede tener una idea inicial de las redes que integran los sistemas de drenaje.



Fig. 3.2. Identificación de tuberías en la C.H. Huinco.

Fuente: Elaboración propia.

Se realizó el recorrido por los diversos ambientes de cada central listadas en la tabla 3.1, para lo cual se contó con el apoyo de los operadores de turno, quienes son técnicos calificados, responsables de las instalaciones y todas las actividades

que se desarrollen en ellas, de esta forma se reconocieron los puntos del sistema de drenaje existentes para su posterior análisis.

La identificación consistió en ubicar el inicio y el punto de desfogue de los elementos del drenaje (tuberías, canales, sumideros, pozas de colección etc.), para lo cual se hizo uso de pasa cables, los cuales eran introducidos en los sumideros con el fin de determinar el recorrido de la conducción; del mismo modo se usó agua con pintura biodegradable natural (ver figura 3.2), para comprobar el punto final de desfogue de la tubería.

Dentro de las centrales se pueden encontrar 3 tipos de drenajes: drenaje doméstico, generado por las personas encargadas de la operación y mantenimiento de las centrales; drenaje pluvial, que busca disminuir los daños que las aguas de lluvia pueden ocasionar a las centrales; y drenaje industrial, proveniente de equipos o sistemas que funcionan dentro de las centrales.

En el Anexo A.2 se presentan hojas de campo, con algunos ejemplos de observaciones encontrados durante la etapa de identificación de los sistemas de drenaje en todas las centrales comprendidas en el proyecto.

3.3 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

Luego de instalado los puntos de control geodésicos con sus coordenadas determinadas en planimetría y altimetría, se realizó el levantamiento topográfico, mediante puntos de control topográfico auxiliares (referenciados de los BM), dichos puntos pueden ser marcas dejadas en el piso o paredes, debidamente codificadas para su posterior reconocimiento y replanteo.

El levantamiento topográfico se realizó con una estación total (ver figura 3.3) y sus respectivos prismas, desplazándose dentro de la central, guardando las distancias permitidas a fin de evitar formar arcos eléctricos entre los equipos y que tener consecuencias letales; no obstante, en los lugares con un alto riesgo eléctrico o espacios confinados, se usó el láser de la estación total para el levantamiento topográfico.

Para el desarrollo del levantamiento topográfico, se emplearon los siguientes métodos:

- *Altimetría o Control Vertical*: Tiene por objetivo determinar las diferencias de alturas entre puntos del terreno, las alturas de los puntos se han tomado sobre la cota m.s.n.m. (sobre el nivel medio del mar) con respecto a la Red Geodésica Nacional Oficial del IGN, de características y nomenclatura descritas anteriormente.



Fig. 3.3. Levantamiento topográfico con estación total en sala de máquinas.

Fuente: Elaboración propia.

- *Nivelación Trigonométrica*: Por este método, los desniveles se obtienen mediante la trigonometría, con los datos medidos de ángulos y distancias con la estación total. Este tipo de nivelación se realizó en posición directa y en inversa, en la poligonal de apoyo y puntos de control de posición geográfica.
- *Control Horizontal*: Se realizó una red en forma de triángulos, en la cual se realizó trilateraciones con mediciones electrónicas de distancia y ángulos, debiendo las mediciones internas del triángulo sumar 180° . Con los valores de los ángulos así ajustados, se procedió a calcular los ángulos internos del triángulo de apoyo.

Teniendo la información del levantamiento topográfico, se procedió a realizar los planos generales por niveles y planos de detalles por ambientes; además, se elaboró planos diagrámicos de las redes de drenajes, indicando datos como cotas, diámetros de tubería, capacidades, dimensiones, etc.

3.3.1 Desarrollo de levantamiento topográfico

A continuación, se presenta el desarrollo del levantamiento topográfico en los principales ambientes de las centrales hidroeléctricas comprendidas en el proyecto, tomados de las referencias (informes finales) incluidas en la bibliografía, para cada una de las centrales:

3.3.1.1 Levantamiento topográfico de la CH Huinco

➤ *Levantamiento topográfico de vía de acceso y túnel*

- Vía de acceso: Desde frente al puesto policial hasta la entrada del túnel, conjuntamente con el estacionamiento y los jardines frente al patio de llaves. Se logró identificar y levantar el sistema de canaletas al costado izquierdo de la vía, al igual que las rejillas y buzones ubicados a lo largo de la vía.
- Túnel de acceso: Desde su inicio hasta la entrada de la casa de máquinas. Se logró identificar y levantar los orificios al lado derecho del túnel que traen agua desde el túnel de cables primarios y desembocan (atravesando el túnel transversalmente mediante pequeños canales) en sumideros que están conectados con la canaleta del lado izquierdo del túnel. La canaleta, tiene su punto más bajo a 15 m de la entrada del túnel, a donde llega toda el agua transportada por dicha canaleta, para luego desaguar en la cámara ubicada al costado del lavadero de filtros mediante una tubería.

➤ *Levantamiento topográfico del piso 01*

- Sala de turbinas (8) y generadores (4): Ubicada frente a la entrada de la casa de máquinas. Se logró identificar y levantar el pequeño canal abierto

ubicado al costado de las turbinas que sirve de contención ante posibles derrames de fluidos.

- Transformadores (12 regulares, 1 de reserva, 3 de Servicios Auxiliares - SSAA): Ubicados al costado de las salas de máquinas. Se logró identificar y levantar el murete de contención alrededor del transformador, en cuyo centro se encuentra un sumidero que conduce hasta los cubetos, uno por cada transformador.
- Túnel ciego: Ubicado al costado del pasadizo de válvulas de regulación. Se logró identificar y levantar el canal que conduce agua de filtraciones de lluvia procedente del conducto de la tubería forzada y que descarga en un sumidero que conduce el fluido hasta el exterior de la caverna.

➤ *Levantamiento topográfico del piso 2*

- Sala de baterías: Se logró identificar y levantar los 3 sumideros que se encuentran dentro de las contenciones ante el derrame de las baterías. Estos sumideros luego descargan en el nivel inferior, siendo transportada el agua mediante una tubería de 2" de diámetro que se ubica en el pasadizo del espacio confinado al costado de la sala de baterías.
- Sala de bombas de agua fresca del sistema de climatización: Se logró identificar y levantar el canal que rodea el pedestal que soporta las bombas, el cual conduce el agua mediante un sumidero ubicado en la pared hacia el pasadizo del espacio confinado al costado de dicha sala, aquí se conecta con los canales a lo largo del pasadizo que conducen el agua hacia el nivel inferior mediante una tubería de 2" de diámetro.

➤ *Levantamiento topográfico del piso 03*

- Sala del sistema de ventilación: Se logró identificar y levantar un pequeño canal alrededor del equipo de aire enfriado la cual presenta una capa de sedimentos (2 cm) la cual dificulta el paso del agua e imposibilita la visibilidad del sumidero.
- Sala de bombas de agua caliente y fría: Se logró identificar y levantar un sumidero al costado del pedestal que alberga a las 4 bombas, que conduce las filtraciones hacia una tubería vertical que llega a la entrada de la casa

de máquinas y luego sale hacia afuera del túnel por la canaleta del lado izquierdo del mismo; dicha tubería vertical también recibe el desagüe de los servicios higiénicos del segundo nivel.

➤ *Levantamiento topográfico del sótano 1*

- Pasadizo 12.5 kV: Ubicado entre el pasadizo de los RRVV y los cubetos de transformadores. Se logró identificar y levantar los 4 sumideros que se encuentran a un lado del pasadizo y un sumidero localizado al costado de la entrada del pasadizo, cabe señalar que en dichos sumideros se encontró sedimentos que dificultan el paso de fluidos.
- Pasadizo de válvulas de regulación: Ubicado al lado derecho de la sala de generadores y turbinas. Se logró identificar y levantar las rejillas que conectan el pasadizo con el canal de descarga directamente.
- Pasadizo de cables primarios: Ubicado al lado izquierdo de la caverna de la casa de máquinas. Se logró identificar y levantar 6 sumideros localizados al lado izquierdo del pasadizo que recogen el agua procedente del pasadizo de espacio confinado ubicado al costado del mismo, que captan las filtraciones de las paredes de la caverna.

➤ *Levantamiento topográfico del sótano 2*

- Pasadizo de cubetos de transformadores: Ubicado entre los pasadizos 12.5 kV y cables primarios. Se logró identificar y levantar los 13 cubetos de los 4 grupos (3 cubetos cada grupo) más uno del transformador de reserva. Los 3 cubetos pertenecientes a un mismo grupo se conectan por medio de vasos comunicantes, estando el sumidero del grupo en el cubeto central.
- Sala del Sistema de Agua de Refrigeración (SAR): Ubicado debajo de los servicios higiénicos del primer nivel. Se logró identificar y levantar las 5 cámaras que conforman el sistema y la forma en la que están conectadas, para lo cual se tuvo que ingresar a las cámaras con arneses de seguridad debido a la gran profundidad que presentan (10 m la más profunda).
- Pasadizo de RRVV: Ubicado al costado de los pasadizos 12.5 kV. Se logró identificar y levantar todos los sumideros del pasadizo que conducen el agua hacia un canal ubicado dos niveles más debajo de dicho pasadizo

dividido en 4 ambientes correspondientes a cada grupo de generación. Se pudo apreciar en el nivel debajo del pasadizo, fugas de aceite que caen directamente al canal sin ninguna contención.

3.3.1.2 Levantamiento topográfico de la CH Callahuanca

➤ Levantamiento topográfico del piso 1

- Sala de turbinas (5) y generadores (4): Ubicada frente a la entrada lateral de la casa de máquinas. Se logró identificar y levantar el pequeño canal abierto ubicado al costado de las turbinas que sirve de contención ante posibles derrames de fluidos.
- Transformadores internos (6) y transformadores externos (3): Ubicados a los costados de la vía de acceso a la central. Se logró identificar y levantar el murete de contención alrededor del transformador en cuyo centro se encuentra un sumidero que conduce hasta los cubetos, uno por cada transformador.
- RRVV ubicados a los costados de los generadores. Se logró identificar y levantar todos los puntos de los equipos que presentan goteo y/o fugas hacia el piso y las bandejas, que en algunos casos están colocadas como contención.

➤ Levantamiento topográfico del sótano 1

- Válvulas de regulación: Ubicadas debajo de los generadores de cada grupo. Se logró identificar y levantar las canaletas al costado de las válvulas, así como el punto donde confluyen todas ellas y desde donde se van hacia el canal de descarga.
- Cubetos de transformadores: Ubicados al frente de la casa de máquinas. Se logró identificar y levantar el cubeto de los transformadores externos, conjuntamente con su cubeto de contingencia; además, el cubeto de los transformadores internos. Dichos cubetos cuentan con puntos de descarga, que conducen el canal de descarga de la central.
- Salas del SAR: Ubicados en dos ambientes, una bomba en la esquina de la casa de máquinas al costado del grupo 4 y el otro al costado de la salida

del canal de descarga. Se logró identificar y levantar los sumideros que se encuentran en dichos ambientes que conectan directamente al agua del sistema de refrigeración.

3.3.1.3 Levantamiento topográfico de la CH Matucana

➤ *Levantamiento topográfico del piso 01*

- Transformadores (3 regulares externos y 2 auxiliares internos): Ubicados frente de la casa de máquinas y frente de la sala de turbinas y generadores respectivamente. Se logró identificar y levantar los tres compartimientos debajo de los transformadores conectados mediante vasos comunicantes, estando el sumidero en el compartimiento central, el cual conduce hacia el cubeto.
- Exteriores de la casa de máquinas: Se logró identificar y levantar todos los buzones y rejillas que conforman un sistema de drenaje pluvial, las cuales llegan hasta un buzón colector que está en la entrada del patio de llaves, para posteriormente descargar al cauce del río.

➤ *Levantamiento topográfico del sótano 01*

- Sala de turbinas (4) y generadores (2): Ubicada al lado izquierdo de la entrada a la casa de máquinas. Se logró identificar y levantar el pequeño canal abierto ubicado al costado de las turbinas que sirve de contención ante posibles derrames de fluidos.
- Cubetos de transformadores: Ubicados, uno al costado del patio de llaves y otro al costado de la entrada al pasadizo de los RRVV. Se logró identificar y levantar los 2 cubetos, uno para los transformadores externos y otro pequeño para los transformadores auxiliares internos. Dichos cubetos no cuentan con ningún desagüe, razón por la cual, ante un derrame no contaminarían el canal de descarga si su capacidad permite retener todos los fluidos.

➤ *Levantamiento topográfico del sótano 02*

- Válvulas de regulación: Ubicadas al costado derecho de la sala de turbinas y generadores. Se logró identificar y levantar los diversos sumideros que desembocan todos en el inicio del canal de descarga al costado de la sala, donde llegan mediante 2 tuberías directamente.
- Pasadizo de RRVV: Ubicado debajo de la sala de turbinas y generadores. Se logró identificar y levantar todos los sumideros del pasadizo que conducen el agua hacia una tubería central que pasa debajo del eje del pasadizo, el cual tiene 2 buzones, uno al centro del pasadizo y otro al final, a donde descarga todos los fluidos para luego ir directamente al canal de purga.
- Sala del SAR: Ubicada al costado izquierdo del pasadizo de cables primarios. Se logró identificar y levantar las diversas cámaras que constituyen el sistema de refrigeración; presentando, la cámara de entrada al sistema, desechos orgánicos e inorgánicos, los cuales son retenidos mediante rejillas para no dañar las bombas del sistema, sin embargo, constituyen un foco de contaminación por los gases que emanan.

3.3.1.4 Levantamiento topográfico de la CH Moyopampa

➤ Levantamiento topográfico del piso 01

- Sala de turbinas, generadores y RRVV: Ubicada al frente de las entradas de la casa de máquinas. Se logró identificar y levantar el pequeño canal abierto ubicado al costado de las turbinas que sirve de contención ante posibles derrames de fluidos; además de los nuevos RRVV, instalados en el 2017, los cuales tienen cubetos de contención incorporados.
- Transformadores (9 regulares y 03 auxiliares): Ubicados al costado de la sala de máquinas. Se logró identificar y levantar los sumideros debajo de los transformadores los cuales llegan a una tubería colectora que descarga en un pozo ubicado en la entrada del pasadizo de transformadores, para luego descargar en el cubeto.
- Cubeto de transformadores: Ubicado al costado de la entrada principal de la casa de máquinas frente a los vestuarios. Se logró identificar y levantar las tuberías que llegan al cubeto procedente de los transformadores. Dicho

cupeto no cuenta con ningún desagüe, razón por la cual, cuando está lleno se tiene que proceder a descargarlo mediante bombeo.

➤ *Levantamiento topográfico del sótano 01*

- Pasadizo de válvulas de regulación: Ubicado debajo de la sala de turbinas y RRVV. Se logró identificar y levantar los cuatro buzones a donde descargan tuberías provenientes de la sala de máquinas y de las filtraciones de la sala de válvulas de regulación, para luego conducir todo en el canal de descarga. Del mismo modo, se logró identificar y levantar las rejillas que captan las filtraciones de las válvulas y las descargan directamente en el canal de descarga.
- Sala del SAR: Ubicada al costado de las válvulas de regulación. Se logró identificar y levantar las diversas cámaras que constituyen el sistema de refrigeración, las cuales presentan desechos orgánicos e inorgánicos, los cuales son un foco de contaminación por los gases que emanan. Cabe señalar que las 2 bombas del SAR están deterioradas y filtran mucha agua alrededor.

3.3.1.5 Levantamiento topográfico de la CH Huampaní

➤ *Levantamiento topográfico del piso 01*

- Sala de turbinas, generadores y RRVV: Ubicada al frente de la entrada principal de la casa de máquinas. Se logró identificar y levantar el pozo localizado en el centro de la sala, donde descargan los pozos del pasadizo de válvulas de los grupos 1 y 2 para posteriormente ir al canal de descarga.
- Transformadores (2 principales internos y 1 de reserva externo): Ubicados en la parte trasera de la casa de máquinas. Se logró identificar y levantar los compartimientos debajo de los transformadores, destinado a contener derrames, para luego ser conducidos mediante tuberías hacia el cupeto.

➤ *Levantamiento topográfico del sótano 01*

- Válvulas de regulación: Ubicadas debajo de la sala de turbinas y RRVV. Se logró identificar y levantar los dos canales del grupo 2 que descargan en la poza ubicada al centro del pasadizo de dicho grupo para posteriormente llegar al canal de descarga. Del mismo modo, se logró identificar y levantar la poza del grupo 1, a donde descarga un sumidero ubicado en la esquina del almacén, al costado del grupo 1.
- Transformadores de servicios auxiliares: Ubicados al costado de la sala de turbinas y generadores. Se logró identificar y levantar toda la sala que alberga los transformadores, la cual no presenta ningún sumidero que conduzca al cubeto algún derrame.

➤ *Levantamiento topográfico del sótano 02*

- Cubeto de transformadores: Ubicado atrás de la casa de máquinas, exterior a ella. Se logró identificar y levantar las tuberías que llegan al cubeto procedente de los transformadores. Dicho cubeto de sección rectangular, presenta un ducto de ventilación al final del mismo; cabe señalar también que no cuentan con ningún desagüe, razón por la cual, cuando está lleno se tiene que proceder a descargarlo mediante bombeo.

3.3.1.6 Levantamiento topográfico de la CH Chimay

➤ *Levantamiento topográfico del piso 1*

- Sala de baterías: Ubicada entre la sala de equipos eléctricos y las escaleras. Se logró identificar y levantar el sumidero ubicado en la esquina opuesta a la entrada de la sala, destinado a coleccionar fluidos en caso de derrame por parte de las baterías; sin embargo, no está conectado a ninguna tubería de descarga.
- Transformadores (3 regulares y 1 de reserva): Ubicados al costado de la casa de máquinas. Se logró identificar y levantar los compartimientos debajo de los transformadores, destinado a contener el aceite en caso de derrames, para luego ser conducidos mediante tuberías hacia el cubeto.

➤ *Levantamiento topográfico del sótano 1*

- Nivel de generadores: Se logró identificar y levantar los canales ubicados alrededor de la sala destinados a captar filtraciones, que tienen sumideros colectores por donde descargan fluidos hacia la cámara del nivel de válvulas, para posteriormente llegar al canal de descarga mediante bombeo.

➤ *Levantamiento topográfico del sótano 2*

- Nivel de turbinas: Se logró identificar y levantar los canales ubicados alrededor de la sala destinados a captar filtraciones, que tiene sumideros colectores por donde descargan fluidos hacia la cámara del nivel de válvulas, para posteriormente llegar al canal de descarga mediante bombeo.
- Sala del SAR: Se logró identificar y levantar las contenciones ubicadas alrededor de las bombas, las cuales descargan mediante tuberías hacia los canales descritos en el párrafo anterior. Del mismo modo, se logró identificar y levantar el lavadero para limpieza de filtros al costado de la turbina del grupo 2, el cual descarga mediante una tubería que se conecta a la tubería de los canales; cabe señalar que en el empalme de ambas tuberías se apreció una grieta, razón por la cual filtra cuando se hace uso del lavadero.

➤ *Levantamiento topográfico del sótano 3*

- Nivel de válvulas: Se logró identificar y levantar los canales ubicados alrededor de la sala destinados a captar filtraciones, que tienen sumideros colectores por donde descargan fluidos hacia la cámara que se encuentra en medio de los conos difusores de ambos grupos, para posteriormente llegar al canal de descarga mediante bombeo.
- Sala del Sistema de Agua de Servicio (SAS): Se logró identificar y levantar las canaletas ubicadas alrededor de las bombas, las cuales descargan mediante tuberías hacia los canales descritos en el párrafo anterior. Del mismo modo, se logró identificar y levantar la cámara final a donde descargan todas las tuberías para luego, mediante bombeo, sacar el agua hacia el canal de descarga.

3.3.1.7 Levantamiento topográfico de la CH Yanango

➤ *Levantamiento topográfico del piso 1*

- Transformador principal: Ubicado al costado de la casa de máquinas. Se logró identificar y levantar los compartimientos debajo del transformador, destinado a contener el aceite en caso de derrames, para luego ser descargar atravesando rejas hacia el cubeto.

➤ *Levantamiento topográfico del sótano 1*

- Nivel de generadores: Se logró identificar y levantar el sumidero ubicado en el área del sistema de aire comprimido del alternador, destinado a captar posibles filtraciones, que luego descarga hacia la cámara del nivel de válvulas, para posteriormente llegar al canal de descarga mediante bombeo.

➤ *Levantamiento topográfico del sótano 2*

- Nivel de turbinas: En la sala del filtro de agua, se logró identificar y levantar los sumideros y contenciones ubicadas alrededor de las bombas, las cuales descargan mediante tuberías hacia la cámara del nivel de válvulas, para posteriormente llegar al canal de descarga mediante bombeo.

➤ *Levantamiento topográfico del sótano 3*

- Nivel de válvulas: Se logró identificar y levantar los canales ubicados alrededor de la sala destinados a captar filtraciones, que tienen sumideros colectores por donde descargan fluidos hacia la cámara que se ubica frente al cono difusor, para posteriormente llegar al canal de descarga mediante bombeo.
- Sala del SAS y SAR: Se logró identificar y levantar las canaletas ubicadas alrededor de las bombas, las cuales descargan mediante tuberías hacia los canales descritos en el párrafo anterior. Del mismo modo, se logró

identificar y levantar la cámara final, a donde descargan todas las tuberías para luego, mediante bombeo sacar el agua hacia el canal de descarga.

3.3.2 Desarrollo de planos

3.3.2.1 Planos topográficos de centrales hidroeléctricas

A continuación, en la tabla 3.2 se presenta la relación de planos desarrollados en el proyecto (ver figura 3.4), correspondientes a los principales ambientes de las centrales hidroeléctricas, luego de realizar el levantamiento topográfico. En el Anexo A.3 se presentan los planos más representativos de cada central.

Tab. 3.2. Planos topográficos de centrales hidroeléctricas.

CH	CÓDIGO	NOMBRE	ALCANCE
Huinco	HC - 1	Sala de máquinas	Sala de máquinas, transformadores, almacén y sala de mando.
	HC - 2	Primer sótano	Pasadizo de RRVV, pasadizo de 12.5 kV, pasadizo de cables, cámaras de sistema de agua de refrigeración y taller.
	HC - 3	Pasadizo de válvulas	Pasadizo de válvulas de regulación y pasadizo de CO ₂ .
	HC - 4	Tercer nivel	Sala del sistema de ventilación y bombas de agua fría y caliente.
	HC - 5	Segundo sótano	Segundo sótano
	HC - 6	Espacio confinado 2° nivel	Sala de baterías, bombas de agua fresca del sistema de climatización y pasadizo de espacio confinado.
	HC - 7	Espacio confinado sótano	Sala de circuitos y pasadizo de espacio confinado.
	HC - 8	Túnel ciego	Túnel ciego.
	HC - 9	Túnel	Túnel de acceso a la casa de máquinas.
	HC - 10	Entrada a túnel	Oficinas EULEN, compuerta By Pass, lavadero de filtros y pozo séptico.
	HC - 11	Vía de acceso	Vía de acceso a la central desde la caseta de control hasta la entrada al túnel.
Callahuanca	CA - 1	Sala de maquinas	Sala de máquinas, transformadores, cubetos, pasadizo de 60 kV, almacén, sala de baterías, sala de reuniones y sala de servicios auxiliares.
	CA - 2	Sótanos	Sótanos de los grupos 1, 2, 3 y 4.

CH	CÓDIGO	NOMBRE	ALCANCE
	CA - 3	Sótano de pasadizo de cables	Sótano de pasadizo de cables y sala de baterías.
Matucana	MA - 1	Sala de máquinas	Sala de máquinas, transformadores de servicios auxiliares, taller, sala de baterías, sala de comunicaciones y SSHH.
	MA - 2	Sótano	Pasadizo de válvulas de regulación, pasadizo de RRVV y pasadizo del SAR.
	MA - 3	Exteriores	Transformadores regulares, patio de llaves, desarenador, estacionamiento y oficinas.
Moyopampa	MO - 1	Sala de máquinas	Sala de máquinas, transformadores, cubeto, sala de alta tensión, almacén, vestuarios, ascensor, sala de reuniones y sala de compresoras.
	MO - 2	Sótano	Pasadizo de válvulas, pasadizo de sótano de transformadores, sala de baterías y sala del SAR.
Huampaní	HP - 1	Sala de máquinas	Sala de máquinas, transformadores, cubeto, sala de alta tensión, almacén, vestuarios, ascensor, sala de comunicaciones y sala de compresoras.
	HP - 2	Primer sótano	Transformadores de servicios auxiliares, depósito mecánico, almacén, sala de baterías y sala de barras.
	HP - 3	Pasadizo de válvulas	Pasadizo de válvulas de los grupos 1 y 2.
	HP - 4	Segundo sótano	Puesto policial y pasadizos de sótanos de los grupos 1 y 2.
Chimay	CH - 1	Primer piso	Sala de mandos, sala de control, almacén, taller y sala de equipos eléctricos.
	CH - 2	Sótano de generadores	Alternadores, generadores, balones de CO ₂ , equipos de refrigeración y filtrado de aceite.
	CH - 3	Sótano de turbinas	Sala del SAR, turbinas, RRVV, lavadero de filtros y filtros multimedia.
	CH - 4	Sótano de válvulas	Sala del SAS, válvulas de regulación, conos difusores y almacén.
	CH - 5	Exteriores	Casa de máquinas, grupo diésel, pozo séptico, transformadores, cubeto de transformadores, patio de llaves y canal de descarga.
Yanango	YA - 1	Primer y segundo piso	Sala de comunicaciones, sala de mando, almacén, taller, sala de grupo Diésel, sala de reuniones, comedor y sala de baterías.

CH	CÓDIGO	NOMBRE	ALCANCE
	YA - 2	Sótano de generadores	Alternador, generador, balones de CO ₂ y equipos del sistema de aire comprimido del alternador.
	YA - 3	Sótano de turbinas	Sala de filtros de agua, turbina, equipos del sistema oleohidráulico y del sistema de aire comprimido de la turbina
	YA - 4	Sótano de válvulas	Cono de difusor, sala del SAS y sala del SAR.
	YA - 5	Exteriores	Casa de máquinas, pozo séptico, transformador, separador agua - aceite y patio de llaves.

Fuente: Elaboración propia.

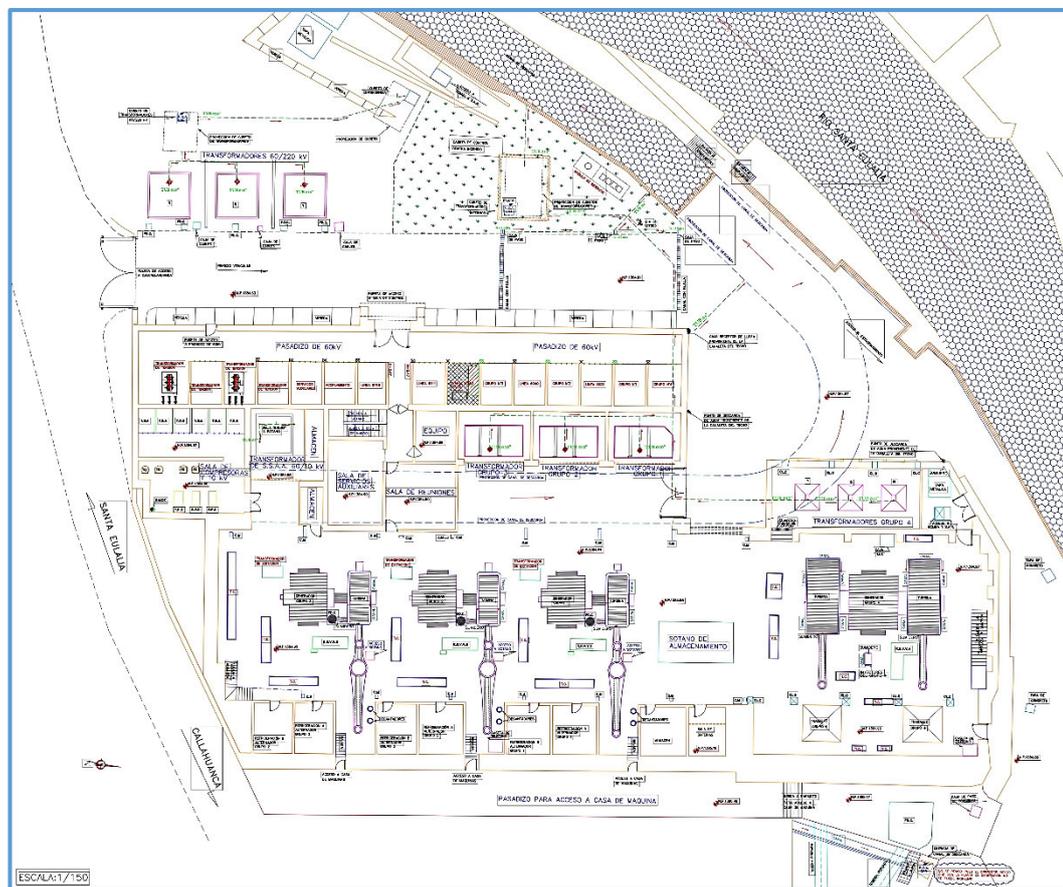


Fig. 3.4. Plano CA - 1. Sala de máquinas - CH Callahuana.

Fuente: Elaboración propia.

3.3.2.2 Planos de diagramas de drenaje

A continuación, en la tabla 3.3 se presenta la relación de planos de diagramas de drenajes desarrollados en el proyecto (ver figura 3.5), en donde se presentan

todos los sistemas de drenajes existentes de manera esquemática. En el Anexo A.3 se presentan los planos de diagramas más representativos de cada central.

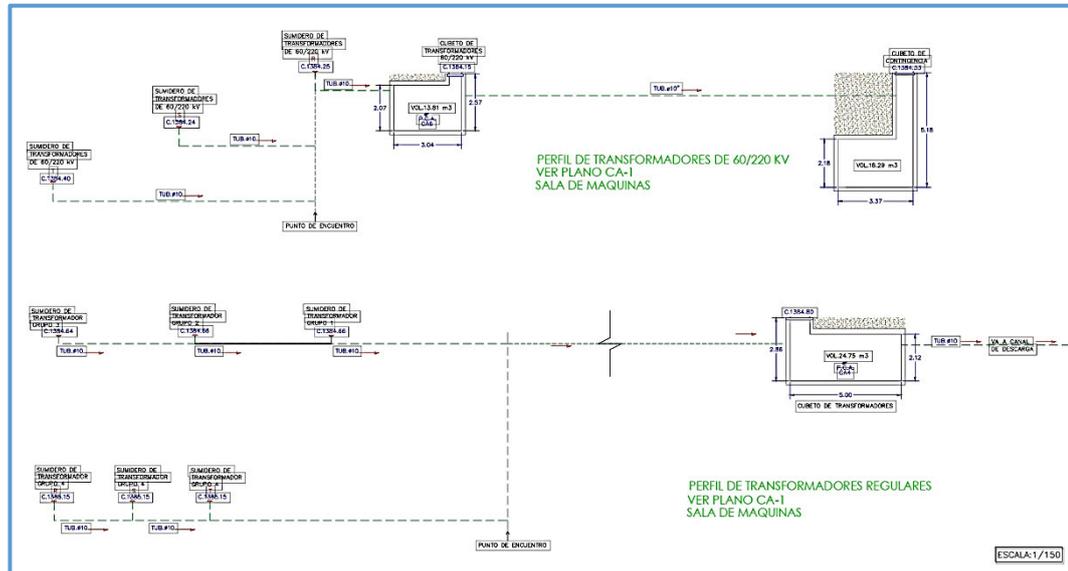


Fig. 3.5. Plano CA - D1. Diagramas de cubetos - CH Callahuanca.

Fuente: Elaboración propia.

Tab. 3.3. Planos de diagramas de drenajes.

CH	CÓDIGO	NOMBRE	PLANO REFERENCIAL
Huinco	HC - D1	Diagramas de cubetos	HC - 1, HC - 2
	HC - D2	Diagramas de pasadizo de válvulas	HC - 3
	HC - D3	Diagramas de pasadizo de RRVV	HC - 2
	HC - D4	Diagramas de exteriores de túnel	HC - 10
	HC - D5	Diagramas de piso 3 y sótano 2	HC - 4, HC - 5
	HC - D6	Diagramas de espacio confinado sótano	HC - 7
	HC - D7	Diagramas de túnel ciego	HC - 8
	HC - D8	Diagramas de espacio confinado 2º nivel	HC - 6
Callahuanca	CA - D1	Diagramas de cubetos	CA - 1
	CA - D2	Diagramas de exteriores	CA - 1, CA - 3
	CA - D3	Diagramas de sótanos	CA - 2
Matucana	MA - D1	Diagramas de cubetos	MA - 3
	MA - D2	Diagramas de sótano	MA - 1
	MA - D3	Diagramas de drenaje pluvial trasero	MA - 3
	MA - D4	Diagramas de drenaje pluvial frontal	MA - 3
Moyopampa	MO - D1	Diagramas de exteriores	MO - 1
	MO - D2	Diagramas de pasadizo de válvulas	MO - 2

CH	CÓDIGO	NOMBRE	PLANO REFERENCIAL
	MO - D3	Diagramas de sótano de transformadores	MO - 2
Huampaní	HP - D1	Diagramas de exteriores	HP - 1
	HP - D2	Diagramas de pasadizo de válvulas	HP - 3
Chimay	CH - D1	Diagramas de exteriores	CH - 5
	CH - D2	Diagramas de casa de máquinas	CH - 2, CH - 3, CH - 4
Yanango	YA - D1	Diagramas de central	YA - 2, YA -3, YA -4, YA -5

Fuente: Elaboración propia.

3.4 CONTROL DE CALIDAD DE AGUA

Dentro de los sistemas de drenaje en las centrales hidroeléctricas, se identificaron puntos críticos, como el caso de cámaras de paso o almacenamiento, superficies en donde hay presencia de filtraciones, canales colectores, canales de descarga, etc., existiendo posible contaminación de agua con sustancias como aceites, ácidos de baterías, desagües, etc.; en dichos puntos se realizó un análisis de la calidad del agua.

Para la realización de esta actividad, se extrajeron muestras de agua en los puntos a analizar; inmediatamente obtenidas las muestras, se les realizó mediciones in situ con la ayuda de un medidor electrónico portátil (Water Quality Meter AZ8603), para determinar la temperatura, conductividad eléctrica, pH y concentración de oxígeno disuelto.

Posteriormente las muestras se almacenaron en envases separados de acuerdo al número de parámetros a analizar (ver figura 3.6), colocándoles sus respectivos preservantes como se detalla en la tabla 3.4, además de mantenerlos refrigerados, a fin de que conserven sus propiedades fisicoquímicas hasta que sean analizadas en el laboratorio.

Tab. 3.4. Listado de requisitos para recepción de muestras de aguas residuales.

PARÁMETRO	PRESERVACIÓN DESDE LA TOMA DE MUESTRA	TIEMPO MÁXIMO PARA TRANSPORTE A LABORATORIO
pH		Medido en campo
Temperatura		Medido en campo
Conductividad eléctrica		Medido en campo
Oxígeno disuelto		Medido en campo

PARÁMETRO	PRESERVACIÓN DESDE LA TOMA DE MUESTRA	TIEMPO MÁXIMO PARA TRANSPORTE A LABORATORIO
Sólidos suspendidos	-	7 días
Aceites y grasas	Agregar H ₂ SO ₄	28 días

Fuente: Laboratorio de control ambiental. DIGESA.

Según DIGESA, la cantidad mínima de las muestras para los ensayos de sólidos suspendidos, aceites y grasas es de 1 litro, debiendo ser envasados en frascos de vidrio de borosilicato o frascos de plásticos de polietileno de alta densidad, con una boca ancha (solo para sólidos suspendidos), en ambos casos, refrigerados a una temperatura de 4 °C.

Los parámetros que exige la R.D. N° 008 - 97 - EM / DGAA (niveles máximos permisibles de emisión de efluentes líquidos para las actividades de electricidad) para validar la calidad del agua son el pH, sólidos suspendidos, aceites y grasas, de acuerdo a los valores de la tabla 2.3, basado en el estándar nacional ECA (Estándar de Calidad Ambiental), según los decretos supremos: N°002-2008-MINAM y N°015-2015 - MINAM.



Fig. 3.6. Preparación de muestras de agua en la CH Huinco.

Fuente: Elaboración propia.

Los parámetros indicados fueron cuantificados por el laboratorio AGQ Labs (acreditado por Inacal) y cuyos resultados obtenidos en los ensayos se presentan en el Capítulo IV, para cada una de las centrales.

CAPÍTULO IV: EVALUACIÓN Y PROPUESTAS DE MEJORAMIENTO

4.1 CENTRAL HIDROELÉCTRICA HUINCO

La central hidroeléctrica Huinco se encuentra ubicada en el kilómetro 27 de la Carretera Santa Eulalia, a 63.5 km al este de la ciudad de Lima, en el distrito de San Pedro de Casta, provincia de Huarochirí y región Lima. Entró en operaciones el año 1964.

El agua que usa para el funcionamiento de la central se trae desde la laguna de Marcapomacocha (Junín) mediante el túnel transandino, posteriormente a ser usada se descarga en el río Santa Eulalia una parte y la otra se transporta hasta la C. H. Callahuanca. La casa de máquinas se encuentra en una caverna semicircular de 108 m de largo, 31 m de ancho y 24 m de alto, a la cual se ingresa mediante una galería de acceso de 858 m de longitud. En base a la referencia Informe Final, de la C. H. Huinco, a continuación, se presentan informaciones, cálculos y resultados desarrolladas en el proyecto:

Tab. 4.1. Datos técnicos - C. H. Huinco.

CARACTERÍSTICAS	VALOR
Capacidad instalada	270 MW
Potencia efectiva	267.83 MW
Generación media anual	1158 GWh
Caudal de la central	25 m ³ /s
Altura bruta de caída	1293 m
Tipo de turbina	Pelton doble (eje horizontal)
Número de grupos generadores	4

Fuente: www.enel.pe.

4.1.1 Evaluación del sistema de drenaje

4.1.1.1 Verificación de capacidad de cubeto de transformadores

Los cubetos de los transformadores están conectados por vasos comunicantes en la parte superior y tuberías en la parte inferior, razón por la cual el volumen combinado neto de estos cubetos aumenta; teniendo como resultado que los

cubetos si están en posibilidad de contener derrames provenientes de los transformadores, como se aprecia en la tabla 4.2 y 4.3.

Tab. 4.2. Volumen de cubetos - C. H. Huinco.

CUBETO TRANSFORMADOR	ANCHO	LARGO	ALTURA MEDIA	VOLUMEN	VOLUMEN COMBINADO
De reserva y SSAA	1.35 m	5.67 m	2.14 m	16.36 m ³	60.24 m ³
1 - W	1.35 m	5.10 m	2.12 m	14.61 m ³	
1 - V	1.35 m	5.11 m	2.12 m	14.65 m ³	
1 - U	1.35 m	5.10 m	2.12 m	14.61 m ³	45.27 m ³
2 - W	1.35 m	5.09 m	2.19 m	15.01 m ³	
2 - V	1.35 m	5.17 m	2.18 m	15.20 m ³	
2 - U	1.35 m	5.10 m	2.19 m	15.06 m ³	45.29 m ³
3 - W	1.35 m	5.10 m	2.19 m	15.04 m ³	
3 - V	1.35 m	5.18 m	2.17 m	15.21 m ³	
3 - U	1.35 m	5.10 m	2.19 m	15.05 m ³	46.27 m ³
4 - W	1.35 m	5.15 m	2.19 m	15.20 m ³	
4 - V	1.35 m	5.17 m	2.13 m	14.87 m ³	
4 - U	1.35 m	5.50 m	2.18 m	16.20 m ³	

Fuente: Elaboración propia.

Tab. 4.3. Volumen de aceite de transformadores - C. H. Huinco.

TRANSFORMADOR	VOLUMEN DE ACEITE	110% VOLUMEN DE ACEITE	VOLUMEN DE CUBETO	DIFERENCIA
T1 - SSAA	1.77 m ³	1.94 m ³	60.24 m ³	58.30 m ³
T2 - SSAA	0.66 m ³	0.73 m ³		59.51 m ³
T6 - SSAA	1.77 m ³	1.94 m ³		58.30 m ³
T - Reserva	24.48 m ³	26.93 m ³		33.31 m ³
T1 - W	24.48 m ³	26.93 m ³		33.31 m ³
T1 - V	24.48 m ³	26.93 m ³		33.31 m ³
T1 - U	24.48 m ³	26.93 m ³		33.31 m ³
T2 - W	24.48 m ³	26.93 m ³	45.27 m ³	18.34 m ³
T2 - V	24.48 m ³	26.93 m ³		18.34 m ³
T2 - U	24.48 m ³	26.93 m ³		18.34 m ³
T3 - W	14.56 m ³	16.01 m ³	45.29 m ³	29.28 m ³
T3 - V	14.56 m ³	16.01 m ³		29.28 m ³
T3 - U	14.56 m ³	16.01 m ³		29.28 m ³
T4 - W	14.56 m ³	16.01 m ³	45.27 m ³	29.26 m ³
T4 - V	14.56 m ³	16.01 m ³		29.26 m ³
T4 - U	14.56 m ³	16.01 m ³		29.26 m ³

Fuente: Elaboración propia.

4.1.2 Cálculos y resultados

4.1.2.1 Caudales del pasadizo de cubetos

A continuación, se presentan los caudales por transformador, a fin de verificar los diámetros de las tuberías existentes.

Tab. 4.4. Caudales de transformadores - C. H. Huinco.

TRANSFORMADOR	VOLUMEN ACEITE	CAUDAL
T1 - SSAA	1.77 m ³	0.25 lt/s
T2 - SSAA	0.66 m ³	0.09 lt/s
T6 - SSAA	1.77 m ³	0.25 lt/s
T - Reserva	24.48 m ³	3.40 lt/s
T1 - W	24.48 m ³	3.40 lt/s
T1 - V	24.48 m ³	3.40 lt/s
T1 - U	24.48 m ³	3.40 lt/s
T2 - W	24.48 m ³	3.40 lt/s
T2 - V	24.48 m ³	3.40 lt/s
T2 - U	24.48 m ³	3.40 lt/s
T3 - W	14.56 m ³	2.02 lt/s
T3 - V	14.56 m ³	2.02 lt/s
T3 - U	14.56 m ³	2.02 lt/s
T4 - W	14.56 m ³	2.02 lt/s
T4 - V	14.56 m ³	2.02 lt/s
T4 - U	14.56 m ³	2.02 lt/s

Fuente: Elaboración propia.

Para la verificación del diámetro de las tuberías existentes, se emplea el mayor volumen que se podría derramar proveniente de algún transformador. La obtención de la velocidad y tirante normal, empleando la ecuación de Manning, se detalla en el Anexo A.1.1.1.

Datos:

Caudal T1 - W: 3.40 lt/s

Resultados:

Velocidad: 0.82 m/s

Tirante normal: 0.038 m

Diámetro de tubería: 0.073 m
 Diámetro comercial: 3"

Con la velocidad obtenida (Anexo A.1.1.1), se determina que el diámetro de la tubería necesario para transportar los fluidos en caso de algún derrame es de 3", valor que es sobrepasado por el existente de 8" para todos los cubetos.

Adicionalmente, dentro de las mejoras recomendadas, está la intercomunicación entre todos los cubetos de transformadores, mediante la instalación de tuberías (parte inferior) de PVC empotradas (a diferencia del existente, de acero), ya que estas son más económicas (instalación y mantenimiento) y pueden trasladar los fluidos de manera adecuada; para su diseño se consideran los volúmenes de la tabla 4.4, el diámetro obtenido en el cálculo anterior y la velocidad según el Anexo A.1.1.2.

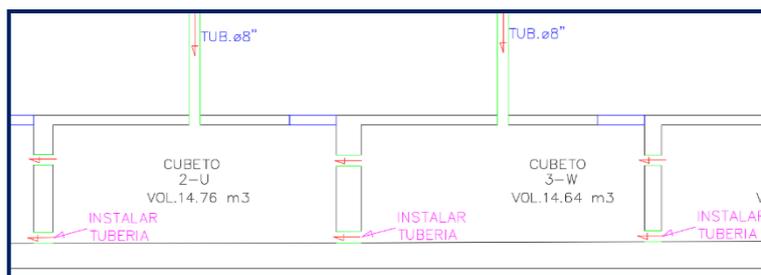


Fig. 4.1. Tubería colectora - C. H. Huinco.

Fuente: Elaboración propia.

Con la velocidad obtenida empleando la ecuación de Manning (Anexo A.1.1.2), se determina el diámetro de las tuberías a instalar, empleando el mayor volumen de aceite que se podría derramar, proveniente de algún transformador.

Datos:

Caudal T1 - W: 3.40 lt/s

Resultados:

Velocidad: 0.90 m/s
 Diámetro de tubería: 0.069 m
 Diámetro comercial: 3"

El mínimo diámetro de la tubería a instalar, necesario para transportar los fluidos en caso de algún derrame, es de 3”.

4.1.2.2 Separador agua - aceite

En el Anexo A.1.1.3, se presentan los cálculos para la implementación de un separador agua - aceite en el segundo sótano del grupo 01, ubicado en el pasadizo de RRVV, según los conceptos y ecuaciones plasmadas en el Capítulo 2 del presente trabajo. En la siguiente tabla se presentan los resultados obtenidos de las dimensiones del separador agua - aceite:

Tab. 4.5. Resultados obtenidos del separador agua - aceite - C. H. Huinco.

DIMENSIÓN	SÍMBOLO	VALOR
Largo del separador	L	25.23 m
Ancho del separador	B	0.35 m
Número de canales separadores	n	1 und
Altura del máximo nivel de aceite presente en el agua residual	H _o	0.25 m
Altura mínima del nivel de agua	H _w	0.25 m
Altura de la tubería de salida del separador	H _s	0.50 m
Altura mínima de la tubería de entrada al separador	H _e	0.50 m

Fuente: Elaboración propia.

4.1.3 Monitoreo de calidad de agua

4.1.3.1 Puntos de muestreo de agua

Los puntos de muestreo fueron identificados durante los trabajos realizados en campo, posteriormente aprobados por los representantes de Enel; además, adicionalmente realizaron mediciones de algunos parámetros in situ.

Tab. 4.6. Puntos de muestreo - C. H. Huinco.

PUNTO DE MUESTREO	UBICACIÓN	DESCRIPCIÓN
PCA - HC1	Sótano de cables	Cámara de paso a donde llega una tubería de $\varnothing 12''$ del pasadizo de cables para luego descargar al SAR mediante una tubería de $\varnothing 22''$.
PCA - HC2	Pasadizo de válvulas	Agua acumulada en espacios o rendijas de las válvulas de regulación de los 4 grupos.

PUNTO DE MUESTREO	UBICACIÓN	DESCRIPCIÓN
PCA – HC3	Pasadizo de cubetos	Cubeto 4-U en el pasadizo de cubetos donde descarga el transformador U del grupo 4. Se conecta con el cubeto 4-V por medio de un vaso comunicante.
PCA – HC4	Sótano de RRVV	2° sótano debajo del pasadizo de RRVV del grupo 01 a donde descargan tuberías procedentes de los RRVV, pasadizo de cables, pasadizo de cubetos y pasadizo 12.5 kV.
PCA – HC5	Entrada del túnel	Cámara ubicada al costado del lavadero de filtros, donde descarga la canaleta que va al lado de la vía de acceso y del túnel. Por acá se transporta agua de filtraciones de lluvia desde la casa de máquinas y desde la caseta de vigilancia.
PCA – HC6	Pozo séptico	Pozo séptico a donde descarga el agua tratada del PTAR para luego descargar por rebose al canal de agua turbinada que va a la C. H. Callahuanca.
PCA – HC7	Taller	Sumidero con trampas que captan los aceites del taller ubicado al terminar el pasadizo de RRVV para luego descargar al canal en el sótano de dicho pasadizo.
PCA – HC8	Sala del SAR	Cámara de ingreso al SAR donde llega el canal de agua turbinada. Presenta una compuerta para acceder al sistema.
PCA – HC9	Sótano de RRVV	2° sótano debajo del pasadizo de RRVV del grupo 04 a donde descargan tuberías procedentes de los RRVV, pasadizo de cables, pasadizo de cubetos y pasadizo 12.5 kV.

Fuente: Elaboración propia.

Durante el muestro, se encontró en el PCA – HC2 cantidad insuficiente de agua para tomar muestras; además, en el PCA – HC6 no se tomó muestras de agua, pues se consideró que este punto pertenece al drenaje doméstico.

4.1.3.2 Parámetros medidos in situ

Adicionalmente en los puntos de muestreo, se midió conductividad, temperatura, pH y oxígeno in situ, siendo los resultados los siguientes:

Tab. 4.7. Parámetros medidos in situ - C. H. Huinco.

PUNTO DE MUESTREO	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA $\mu\text{S}/\text{cm}$	TEMPERATURA $^{\circ}\text{C}$	pH	OXÍGENO mg/L
PCA - HC1	498	16.70	8.40	4.20

PUNTO DE MUESTREO	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA $\mu\text{S}/\text{cm}$	TEMPERATURA $^{\circ}\text{C}$	pH	OXÍGENO mg/L
PCA – HC3	354	24.90	8.10	4.39
PCA – HC4	296	20.60	7.02	7.07
PCA – HC5	491	21.70	7.02	6.94
PCA – HC7	0.1	29.00	7.73	1.50
PCA – HC8	217	11.80	7.04	8.94
PCA – HC9	366	22.20	7.01	6.92

Fuente: Elaboración propia.

4.1.3.3 Resultados

Las muestras fueron ingresadas y analizadas en el Laboratorio AGQ (Acreditado por INACAL e I.A.S.), bajo la asesoría especializada de la empresa “Control Global de Riesgos Perú”, tomando en cuenta los procedimientos normados para que los resultados del análisis de agua residual industrial sean debidamente trazables y certificados.

Tab. 4.8. Resultados de muestras de agua - C. H. Huinco.

PARÁMETROS	PCA-HC1	PCA-HC3	PCA-HC4	PCA-HC5	PCA-HC7	PCA-HC8	PCA-HC9
DBO	M	M	M	M	M	M	M
DQO	M	M	M	M	M	M	M
Sólidos totales en suspensión	E	M	E	M	E	E	E
Sólidos sedimentables	M	M	M	M	M	M	M
Aceites y grasas	E	M	M	M	E	M	M
Cianuro	M	M	M	M	M	M	M
Cromo hexavalente	M	M	M	M	M	M	M
Sulfatos	M	M	M	M	M	M	M
Sulfuros	M	M	M	M	M	M	M
Nitrógeno amoniacal	M	M	M	M	M	M	M
pH	M	M	M	M	M	M	M
Temperatura	M	M	M	M	M	M	M
Conductividad	M	M	M	M	M	M	M
Oxígeno	M	M	M	M	M	M	M
Metales totales	M	M	M	M	M	M	M
Bicarbonatos (mgHCO_3/L)	C	M	M	M	C	M	M

Fuente: Elaboración propia.

Donde:

E = Excede el LMP

M = Menor al LMP

C = Agua dura, cumple LMP

Comentarios:

- *Punto de muestreo PCA – HC1*: Valor de Aceites y grasas 57 mg/L, elevado, siendo el LMP 20 mg/L. Valor de Sólidos totales en suspensión (TSS) 370 mg/L, elevado, siendo el LMP 50 mg/L. Los demás valores dentro de los parámetros establecidos. Valor de CaCO_3 , nos indica que el agua es dura.
- *Punto de muestreo PCA – HC3*: Valores dentro de los parámetros establecidos. Valor de CaCO_3 , nos indica que el agua es moderadamente dura.
- *Punto de muestreo PCA – HC4*: Valor de Sólidos totales en suspensión (TSS) 2020 mg/L, elevado, siendo el LMP 50 mg/L. Los demás valores dentro de los parámetros establecidos. Valor de CaCO_3 , nos indica que el agua es moderadamente dura.
- *Punto de muestreo PCA – HC5*: Valores dentro de los parámetros establecidos. Valor de CaCO_3 , nos indica que el agua es moderadamente dura.
- *Punto de muestreo PCA – HC7*: Valor de Aceites y grasas >1000 mg/L, elevado, siendo el LMP 20 mg/L. Valor de Sólidos totales en suspensión (TSS) 1930 mg/L, elevado, siendo el LMP 50 mg/L. Los demás valores dentro de los parámetros establecidos. Valor de CaCO_3 , nos indica que el agua es dura.
- *Punto de muestreo PCA – HC8*: Valor de Sólidos totales en suspensión (TSS) 2020 mg/L, elevado, siendo el LMP 50 mg/L. Los demás valores dentro de los parámetros establecidos. Valor de CaCO_3 , nos indica que el agua es moderadamente dura.
- *Punto de muestreo PCA – HC9*: Valor de Sólidos totales en suspensión (TSS) 1785 mg/L, elevado, siendo el LMP 50 mg/L. Los demás valores dentro de los parámetros establecidos. Valor de CaCO_3 , nos indica que el agua es moderadamente dura.

4.1.4 Planteamiento de mejoras en sistemas de drenaje

A continuación, se presentarán las mejoras planteadas al sistema de drenaje, en base a los cálculos y resultados detallados en los ítems anteriores, además de las observaciones realizadas en campo.

- Limpiar la trampa de grasa ubicada en el taller (al final del pasadizo de RRVV), extraer los fluidos existentes, para luego proceder a clausurarla conjuntamente con los 2 sumideros ubicados a los costados de la misma. Rellenar con concreto ($f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$) hasta enraizar y nivelar.
- Uniformizar pendiente en los cubetos de transformadores, siendo el punto más bajo el cubeto de reserva; además, interconectar los cubetos instalando tuberías y ventanas comunicantes, a fin de conducir todas las filtraciones hacia el cubeto de reserva.
- Clausurar los 4 sumideros ubicados en los cubetos 1-V, 2-V, 3-V y 4-V para aislar el aceite en caso de derrame de los transformadores.
- Construir un muro que una la pared lateral del pasadizo de RRVV, con la columna al costado del equipo del sistema de lubricación forzada del grupo 1, a fin de evitar que las filtraciones lleguen a las cámaras del SAR.
- Construir un separador agua – aceite en el pasadizo de RRVV, según las dimensiones calculadas en la sección 4.3.1; además, limpiar la tubería de 30" de diámetro del segundo sótano del pasadizo.
- Cambiar los sumideros y sus respectivos accesorios ubicados en el pasadizo de 12.5 kV (05 sumideros), pasadizo de cables (06 sumideros), segundo sótano (01 sumidero) y espacio confinado (04 sumideros) del sótano al costado de la sala de circuitos.
- Clausurar los 3 sumideros que se encuentran en la sala de baterías, en el segundo piso de la casa de máquinas, rellenar con concreto ($f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$), colocar mayólica acorde con la superficie alrededor; además, construir un muro al costado del pedestal que soporta las baterías a fin de contener un posible derrame de alguna de ellas.
- Limpiar la cámara de paso ubicada en el segundo sótano, retirar los sedimentos acumulados en el fondo de la cámara y dar mantenimiento a las tuberías conectadas a dicha cámara.
- Limpiar los sedimentos del canal ubicado alrededor del soporte de equipo de válvulas de ventilación en el tercer piso; además, construir un muro

alrededor del equipo evaporador, a fin de impedir que posibles derrames de aceite lleguen al sumidero colector del mismo ambiente.

- Impermeabilizar las 4 rejillas ubicadas en el pasadizo de válvulas de regulación; de igual manera, los 26 huecos para pase de tuberías; así como también, clausurar el canal colector existente ubicado al costado de la rejilla del grupo 3.
- Construir un canal al costado del pasadizo de válvulas, ubicando los puntos más altos en los extremos del pasadizo (cota de piso 1865.40 msnm) y el punto más bajo frente a la rejilla del grupo 3 (cota 1865.35 msnm); además, instalar una válvula en el punto más bajo de dicho canal, para permitir el paso de las filtraciones acumuladas en el canal hacia el canal de descarga, mediante la instalación de una tubería.

De las mejoras plateadas, a continuación, se presenta el metrado y presupuesto correspondiente, a ser considerados como base para el proceso de licitación de la implementación de dichas mejoras.

Tab. 4.9. Presupuesto de mejoras - C. H. Huinco.

Nº ITEM	PARTIDA	UNIDAD	METRADO	PRECIO UNITARIO S/.	PRECIO PARCIAL S/.	TOTAL S/.
1.0	TRABAJO PRELIMINARES					10000.00
1.1	Traslado de personal, materiales y equipos	glb	1.00	10000.00	10000.00	
2.0	PASADIZO DE CUBETOS					42737.45
2.1	Demolición para uniformizar pendiente, con martillo neumático	m ³	6.76	251.59	1699.59	
2.2	Demolición de ventanas de comunicación, con martillo neumático	m ³	0.18	251.59	44.32	
2.3	Perforación para paso de tuberías	m ³	0.14	251.59	35.45	
2.4	Concreto f'c = 245 kg/cm ²	m ³	5.01	511.11	2,559.10	
2.5	Mantenimiento de muros existentes	m ²	366.17	19.39	7100.76	
2.6	Aplicación de pintura epóxica en cubeto	m ²	456.90	66.01	30160.15	
2.7	Tubo Ø8" PVC	ml	4.48	120.00	538.08	
2.8	Clausurar sumideros de cubeto 1-V, 2-V, 3-V, 4-V	und	4.00	150.00	600.00	
3.0	PASADIZO DE RRVV					5,541.43
3.1	Demolición de canal de sedimentación, con martillo neumático	m ³	0.18	251.59	45.79	
3.2	Concreto f'c = 245 kg/cm ²	m ³	0.35	511.11	178.43	
3.3	Muro 10x10 cm de concreto para aislar sistema de lubricación forzada	ml	2.50	3.92	9.80	
3.4	Encofrado para muro de concreto	m ²	1.48	47.45	69.99	

Nº ITEM	PARTIDA	UNIDAD	METRADO	PRECIO UNITARIO S/.	PRECIO PARCIAL S/.	TOTAL S/.
3.5	Mantenimiento de canal 30"	m ²	93.42	19.39	1811.57	
3.6	Aplicación de pintura epóxica en canal	m ²	50.22	66.01	3314.97	
3.7	Tubo Ø4" PVC	ml	1.35	75.00	101.25	
3.8	Codo Ø4" PVC	und	3.00	3.21	9.63	
4.0	PASADIZO DE VÁLVULAS					3439.52
4.1	Demolición de canal colector Grupo 3	m ³	0.04	251.59	9.62	
4.2	Concreto f'c = 175 kg/cm ² en canal colector Grupo 3	m ³	0.02	392.17	8.72	
4.3	Contención de concreto 1"x2" alrededor de rejillas	ml	32.67	50.00	1633.25	
4.4	Contención de concreto 1"x2" alrededor de huecos de paso de tuberías	ml	20.80	50.00	1040.00	
4.5	Demolición de concreto para canal colector y tubería Ø2" PVC	m ³	1.01	251.59	252.85	
4.6	Refine, nivelación y compactación de terreno con pisón manual	m ²	6.70	5.45	36.52	
4.7	Concreto f'c = 210 kg/cm ²	m ³	0.33	469.77	155.02	
4.8	Tubo Ø2" PVC	ml	0.95	50.00	47.50	
4.9	Codo Ø2" PVC	und	3.00	1.58	4.74	
4.10	Válvulas esféricas Ø2"	und	1.00	251.30	251.30	
5.0	OTROS					14088.07
5.1	Clausurar trampa de grasa en taller	und	1.00	225.00	225.00	
5.2	Clausurar sumideros en taller	und	2.00	150.00	300.00	
5.3	Muro concreto f'c = 175 kg/cm ² 25x10 cm para aislar baterías	ml	6.00	9.80	58.83	
5.4	Muro concreto f'c = 175 kg/cm ² 20x10 cm para aislar equipo evaporador	ml	11.30	7.84	88.63	
5.5	Encofrado para muro de concreto	m ²	7.52	47.45	356.82	
5.6	Clausurar sumideros de sala de baterías	und	3.00	150.00	450.00	
5.7	Cambiar sumideros en pasadizo de cables	und	6.00	150.00	900.00	
5.8	Cambiar sumideros en pasadizo 12.5 kV	und	5.00	150.00	750.00	
5.9	Cambiar sumideros en espacio confinado del sótano	und	4.00	150.00	600.00	
5.10	Cambiar sumidero en segundo sótano	und	1.00	150.00	150.00	
5.11	Mantenimiento de canal de sistema de ventilación	glb	1.00	23.27	23.27	
5.12	Mantenimiento de cámara de paso de segundo sótano	glb	1.00	185.52	185.52	
5.13	Inducciones, seguros y exámenes	glb	1.00	10000.00	10000.00	
COSTO DIRECTO					S/. 75806.47	
GASTOS GENERALES 15%					S/. 11370.97	
UTILIDAD 10%					S/. 7580.65	
COSTO TOTAL					S/. 94758.09	

Fuente: Elaboración propia. Fecha: 2017. Tipo de cambio: 3.26 soles.

4.2 CENTRAL HIDROELÉCTRICA CALLAHUANCA

La central hidroeléctrica Callahuanca se encuentra ubicada en el kilómetro 15 de la Carretera Santa Eulalia, a 52.5 km al este de la ciudad de Lima, en el distrito de Callahuanca, provincia de Huarochirí y región Lima. Entró en operaciones el año 1938.

El agua que usa para el funcionamiento de la central se trae desde la C. H. Huinco y la C. H. Matucana a través de canales, posteriormente a ser usada se descarga en el río Santa Eulalia una parte y la otra se transporta hasta la C. H. Moyopampa. En el 2005 se repotenció la central, cambiando 3 turbinas, logrando un aumento de más de 5 MW de la potencia efectiva. En base a la referencia Informe Final, de la C. H. Callahuanca, a continuación, se presentan informaciones, cálculos y resultados desarrolladas en el proyecto:

Tab. 4.10. Datos técnicos - C. H. Callahuanca.

CARACTERÍSTICAS	VALOR
Capacidad instalada	80 MW
Potencia efectiva	84.2 MW
Generación media anual	600 GWh
Caudal de la central	23 m ³ /s
Altura bruta de caída	435 m
Tipo de turbina	Pelton (eje horizontal)
Número de grupos generadores	4

Fuente: www.enel.pe.

4.2.1 Evaluación del sistema de drenaje

4.2.1.1 Verificación de capacidad de cubeto de transformadores

Tab. 4.11. Volumen de cubetos - C. H. Callahuanca.

CUBETO	ANCHO	LARGO	ALTURA MEDIA	VOLUMEN	VOL. COMBINADO
De transformadores internos	3.00 m	5.00 m	1.65 m	24.75 m ³	24.75 m ³
De transformadores de 60/220 kV	2.57 m	3.04 m	1.77 m	13.81 m ³	32.10 m ³

CUBETO	ANCHO	LARGO	ALTURA MEDIA	VOLUMEN	VOL. COMBINADO
De contingencia	2.49 m	3.37 m	2.18 m	18.29 m ³	
De SSAA 60/10 kV	0.98 m	2.38 m	1.18 m	2.75 m ³	2.75 m ³

Fuente: Elaboración propia.

El cubeto de los transformadores de 60/220 kV está conectado con un cubeto de contingencia, razón por la cual el volumen combinado total de estos cubetos aumenta; teniendo como resultado que los cubetos si están en posibilidad de contener derrames provenientes de los transformadores, como se aprecia en la tabla 4.11 y 4.12.

Tab. 4.12. Volumen de aceite de transformadores - C. H. Callahuanca.

TRANSFORMADOR	VOLUMEN DE ACEITE	110% VOLUMEN DE ACEITE	VOLUMEN DE CUBETO	DIFERENCIA
TR - 60/220 kV	18.09 m ³	19.90 m ³	32.10 m ³	12.20 m ³
TS - 60/220 kV	18.09 m ³	19.90 m ³		12.20 m ³
TT - 60/220 kV	18.09 m ³	19.90 m ³		12.20 m ³
T - G1	7.28 m ³	8.01 m ³	24.75 m ³	16.74 m ³
T - G2	7.28 m ³	8.01 m ³		16.74 m ³
T - G3	7.28 m ³	8.01 m ³		16.74 m ³
T1 - G4	3.75 m ³	4.13 m ³		20.62 m ³
T2 - G4	3.75 m ³	4.13 m ³		20.62 m ³
T3 - G4	3.75 m ³	4.13 m ³		20.62 m ³
T1 - SSAA	0.51 m ³	0.56 m ³	No tiene	-0.56 m ³
T2 - SSAA	0.51 m ³	0.56 m ³	No tiene	-0.56 m ³
T - SSAA 60/10 kV	2.87 m ³	3.15 m ³	2.75 m ³	-0.40 m ³

Fuente: Elaboración propia.

4.2.2 Cálculos y resultados

4.2.2.1 Caudales de transformadores internos y 60/220 kV

A continuación, se presentan los caudales por transformador, a fin de verificar los diámetros de las tuberías existentes.

Tab. 4.13. Caudales de transformadores internos y 60/220 kV - C. H. Callahuanca.

TRANSFORMADOR	VOLUMEN ACEITE	CAUDAL
T - G1	7.28 m ³	1.01 lt/s
T - G2	7.28 m ³	1.01 lt/s
T - G3	7.28 m ³	1.01 lt/s
T1 - G4	3.75 m ³	0.52 lt/s
T2 - G4	3.75 m ³	0.52 lt/s
T3 - G4	3.75 m ³	0.52 lt/s
TR - 60/220 kV	18.09 m ³	2.51 lt/s
TS - 60/220 kV	18.09 m ³	2.51 lt/s
TT - 60/220 kV	18.09 m ³	2.51 lt/s

Fuente: Elaboración propia.

Para la verificación del diámetro de las tuberías existentes, se emplea el mayor volumen que se podría derramar proveniente de algún transformador. La obtención de la velocidad y tirante normal, empleando la ecuación de Manning, se detalla en el Anexo A.1.2.1.

Datos:

Caudal T - 60/220 kV: 2.51 lt/s

Resultados:

Velocidad: 0.68 m/s

Tirante normal: 0.032 m

Diámetro de tubería: 0.069 m

Diámetro comercial: 3"

Con la velocidad obtenida (Anexo A.1.2.1), se determina que el diámetro de la tubería necesario para transportar los fluidos en caso de algún derrame es de 3", valor que es sobrepasado por el existente de 10" para todos los cubetos.



Fig. 4.2. Tubería de descarga - C. H. Callahuanca.

Fuente: Elaboración propia.

Adicionalmente, dentro de las mejoras recomendadas, está la instalación de una tubería que una los sumideros de los transformadores de 60/220 kV con el cubeto de los transformadores internos; dicha tubería será de PVC empotrada (a diferencia del existente, de acero), ya que esta es más económica (instalación y mantenimiento) y puede trasladar los fluidos de manera adecuada; para su diseño se consideran los volúmenes de la tabla 4.13 el diámetro obtenido en el cálculo anterior y la velocidad según el Anexo A.1.2.2.

Con la velocidad obtenida empleando la ecuación de Manning (Anexo A.1.2.2), se determina el diámetro de las tuberías a instalar, empleando el mayor volumen de aceite que se podría derramar proveniente de algún transformador interno.

Datos:

Caudal T - 60/220 kV: 2.51 lt/s

Resultados:

Velocidad: 0.86 m/s

Diámetro de tubería: 0.061 m

Diámetro comercial: 3"

El mínimo diámetro de la tubería a instalar necesario para descargar los transformadores de 60/220 kV hacia el cubeto es de 3".

4.2.2.2 Separador agua - aceite

En el Anexo A.1.2.3, se presentan los cálculos para la implementación de un separador agua - aceite en el cubeto de transformadores principales, según los conceptos y ecuaciones plasmadas en el Capítulo 2 del presente trabajo. En la siguiente tabla se presentan los resultados obtenidos de las dimensiones del separador agua - aceite:

Tab. 4.14. Resultados obtenidos del separador agua - aceite - C. H. Callahuanca.

DIMENSIÓN	SÍMBOLO	VALOR
Largo del separador	L	5.00 m
Ancho del separador	B	3.00 m
Número de canales separadores	n	1 und

DIMENSIÓN	SÍMBOLO	VALOR
Altura del máximo nivel de aceite presente en el agua residual	H_o	1.35 m
Altura mínima del nivel de agua	H_w	0.40 m
Altura de la tubería de salida del separador	H_s	1.55 m
Altura mínima de la tubería de entrada al separador	H_e	1.75 m

Fuente: Elaboración propia.

4.2.3 Monitoreo de calidad de agua

4.2.3.1 Puntos de muestreo de agua

Los puntos de muestreo fueron identificados durante los trabajos realizados en campo, posteriormente aprobados por los representantes de Enel; además, adicionalmente realizaron mediciones de algunos parámetros in situ.

Tab. 4.15. Puntos de muestreo - C. H. Callahuanca.

PUNTO DE MUESTREO	UBICACIÓN	DESCRIPCIÓN
PCA - CA1	Sótano del grupo 01	Pozos ubicados en los sótanos de los grupos 1, 2 y 3 donde se aprecia agua con aceite y no cuenta con ningún punto de descarga.
PCA - CA2	Sótano del grupo 04	Pozo donde descarga el canal de colección ubicado debajo de las válvulas del grupo 4 y tuberías procedentes del nivel superior. No se aprecia sumidero de descarga en el pozo ya que su conexión es directa con el canal de descarga.
PCA - CA3	Sótano del grupo 04	Canal de colección de agua y aceite en el pasadizo de válvulas de regulación del grupo 04, el cual tiene un sumidero con una válvula de inundación que descarga en el canal de descarga.
PCA - CA4	Cubeto de transformadores internos	Cubeto a donde descargan los 06 transformadores internos de la casa de máquinas. Se encuentra al debajo de la pileta ornamental.
PCA - CA5	Costado de baños	Entrada del canal de descarga que se encuentra entre los servicios higiénicos y la tubería forzada, atrás de la casa de máquinas.
PCA - CA6	Cubeto de contingencia	Cubeto a donde llega (por rebose) el agua y/o aceite, proveniente del cubeto de transformadores 60/220 kV.

Fuente: Elaboración propia.

Durante el muestro, se encontró en el PCA – CA2 cantidad insuficiente de agua para tomar muestras y enviarlas al laboratorio.

4.2.3.2 Parámetros medidos in situ

Adicionalmente en los puntos de muestreo, se midió conductividad, temperatura, pH y oxígeno in situ, siendo los resultados los siguientes:

Tab. 4.16. Parámetros medidos in situ - C. H. Callahuanca.

PUNTO DE MUESTREO	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA $\mu\text{S}/\text{cm}$	TEMPERATURA $^{\circ}\text{C}$	pH	OXÍGENO mg/L
PCA - CA1	556	17.10	7.02	4.16
PCA – CA3	544	16.70	12.43	4.85
PCA – CA4	996	19.40	12.25	4.29
PCA – CA5	354	14.60	12.42	8.70
PCA – CA6	593	21.40	12.30	4.36

Fuente: Elaboración propia.

4.2.3.3 Resultados

Las muestras fueron ingresadas y analizadas en el Laboratorio AGQ (Acreditado por INACAL e I.A.S.), bajo la asesoría especializada de la empresa “Control Global de Riesgos Perú”, tomando en cuenta los procedimientos normados para que los resultados del análisis de agua residual industrial sean debidamente trazables y certificados.

Tab. 4.17. Resultados de muestras de agua - C. H. Callahuanca.

PARÁMETROS	PCA-CA1	PCA-CA3	PCA-CA4	PCA-CA5	PCA-CA6
DBO	M	M	M	M	M
DQO	M	M	M	M	M
Sólidos totales en suspensión	M	E	E	E	M
Sólidos sedimentables	M	M	M	M	M
Aceites y grasas	M	E	E	M	M
Cianuro	M	M	M	M	M
Cromo hexavalente	M	M	M	M	M
Sulfatos	M	M	M	M	M
Sulfuros	M	M	M	M	M
Nitrógeno amoniacal	M	M	M	M	M

PARÁMETROS	PCA-CA1	PCA-CA3	PCA-CA4	PCA-CA5	PCA-CA6
pH	M	E	E	E	E
Temperatura	M	M	M	M	M
Conductividad	M	M	M	M	M
Oxígeno	E	M	E	M	E
Metales totales	M	M	M	M	M
Bicarbonatos (mgHCO ₃ /L)	M	M	M	M	M

Fuente: Elaboración propia.

Donde:

E = Excede el LMP

M = Menor al LMP

Comentarios:

- *Punto de muestreo PCA – CA1:* Valores dentro de los parámetros establecidos. Valor de CaCO₃, nos indica que el agua es moderadamente dura.
- *Punto de muestreo PCA – CA3:* Valor de Aceites y grasas es 509 mg/L, elevado, siendo el LMP 20 mg/L. Valor de Sólidos totales en suspensión (TSS) 149 mg/L, elevado, siendo el LMP 50 mg/L. Valor de pH 12.43, elevado, siendo el rango de LMP de 6 a 9 (Medición in situ). Valor de CaCO₃, nos indica que el agua es moderadamente dura.
- *Punto de muestreo PCA – CA4:* Valor de Aceites y grasas es 617mg/L, elevado, siendo el LMP 20 mg/L. Valor de Sólidos totales en suspensión (TSS) 2790 mg/L, elevado, siendo el LMP 50 mg/L. Valor de pH 12.25, elevado, siendo el rango de LMP de 6 a 9 (Medición in situ). Valor de CaCO₃, nos indica que el agua es moderadamente dura.
- *Punto de muestreo PCA – CA5:* Valor de Sólidos totales en suspensión (TSS) 75.5 mg/L, elevado, siendo el LMP 50 mg/L. Valor de pH 12.42, elevado, siendo el rango de LMP de 6 a 9 (Medición in situ). Valor de CaCO₃, nos indica que el agua es moderadamente dura.
- *Punto de muestreo PCA – CA6:* Valor de pH 12.30, elevado, siendo el rango de VMA de 6 a 9 (Medición in situ). Valor de CaCO₃, nos indica que el agua es moderadamente dura.

4.2.4 Planteamiento de mejoras en sistemas de drenaje

A continuación, se presentarán las mejoras planteadas al sistema de drenaje, en base a los cálculos y resultados detallados en los ítems anteriores, además de las observaciones realizadas en campo.

- Construir un muro en las entradas a la sala de los transformadores del grupo 4, a fin de contener posibles derrames de aceite.
- Clausurar el sumidero ubicado en la entrada de la sala de los transformadores del grupo 4 pues no está conectado a alguna tubería.
- Limpiar las pozas de los sótanos de los grupos 1, 2 y 3, al igual que las canaletas de los mismos ambientes.
- Instalar válvulas en los sumideros de las canaletas y los ubicados debajo de los inyectores en los sótanos de los grupos 1, 2 y 3, para evitar que derrames de aceite lleguen al canal de descarga.
- Instalar una válvula en la esquina del seminivel superior del sótano de grupo 4; además, limpiar el canal del pasadizo del sótano de grupo 4 cubierto con planchas metálicas e implementarle una pendiente, a fin de conducir todas las filtraciones hacia el sumidero de descarga de dicho ubicado frente a la escalera de acceso al sótano.
- Instalar sumideros en el centro de los 2 ambientes destinados a albergar a los transformadores de SSAA ubicados en la sala de compresoras y 10 kV (cota 1384.97 msnm); seguidamente instalar tuberías de 3" de diámetro que unan dichos sumideros con una tubería colectora a instalar y empalmar con la tubería que descarga en el cubeto del transformador de SSAA 60/10 kV en el sótano de pasadizo de cables (cota 1382.53 msnm).
- Conducir las tuberías de los transformadores de 60/220 kV (cota 1384.24 msnm) hacia el cubeto de transformadores internos (cota de tapa 1384.06 msnm).
- Ampliar el separador agua – aceite ubicado en el cubeto de transformadores internos, según las dimensiones calculadas en la sección 4.3.
- Limpiar los cubetos de transformadores de 60/220 kV y el de contingencia, luego proceder a impermeabilizar las tapas a fin de evitar infiltraciones de agua de lluvias; así mismo reparar los muros de contención que están alrededor de los transformadores de 60/220 kV.

- Instalar un cubeto para los transformadores de SSAA 60/10 kV (0.40 m³ de volumen) al costado del existente, conectarlos instalando una tubería para obtener un volumen combinado suficiente para contener el derrame de aceite de alguno de los transformadores de SSAA 60/10 kV.

De las mejoras plateadas, a continuación, se presenta el metrado y presupuesto correspondiente, a ser considerados como base para el proceso de licitación de la implementación de dichas mejoras.

Tab. 4.18. Presupuesto de mejoras - C. H. Callahuanca.

Nº ITEM	PARTIDA	UNIDAD	METRADO	PRECIO UNITARIO S/.	PRECIO PARCIAL S/.	TOTAL S/.
1.0	TRABAJO PRELIMINARES					11768.56
1.1	Traslado de personal materiales y equipos	glb	1.00	7000.00	7000.00	
1.2	Cerco perimétrico de madera h=2.40 m Triplay	ml	39.95	88.22	3524.39	
1.3	Oficina Almacén Caseta de Guardianía	m ²	11.25	79.60	895.50	
1.4	Limpieza manual de terreno	m ²	98.78	3.53	348.68	
2.0	CUBETO DE TRANSFORMADORES PRINCIPALES					12147.18
2.1	Trazo y Replanteo de Ejes y Niveles con equipo	m ²	15.00	2.09	31.35	
2.2	Demolición de piso de cubeto de concreto con martillo neumático	m ³	0.41	251.59	102.65	
2.3	Refine nivelación y compactación de terreno con pisón manual	m ²	15.75	5.45	85.84	
2.4	Mantenimiento de muros existentes	m ²	35.52	19.39	688.80	
2.5	Pintura epóxica en separador	m ²	50.52	66.01	3334.83	
2.6	Excavación manual en terreno natural para zanja para tubería	m ³	25.30	36.16	914.98	
2.7	Colocación de material granular 10 cm para cama de tubería	m ³	1.54	95.37	146.78	
2.8	Material de relleno compactado 95% PN	m ³	12.70	44.12	560.33	
2.9	Colocación de relleno no compactado	m ³	9.90	20.66	204.63	
2.10	Tubo Ø10" PVC	m	35.79	150.00	5368.50	
2.11	Codo PVC 10"X90°	und	6.00	75.00	450.00	
2.12	Cajas de paso de concreto 0.60x0.60 m	und	2.00	39.25	78.50	
2.13	Instalación de tapa de separador 0.75x0.75	glb	1.00	180.00	180.00	
3.0	CUBETO DE TRANSFORMADORES DE SSAA					15689.95
3.1	Perforación de piso de concreto para paso de tuberías	m ³	0.20	251.59	49.06	
3.2	Instalación de sumideros de acero de 3"	und	2.00	120.00	240.00	
3.3	Contención de concreto f _c = 175 kg/cm ² de 20x15 cm	ml	29.35	50.00	1467.30	
3.4	Encofrado para contención de concreto de 20x15 cm	m ²	17.61	47.45	835.48	

Nº ITEM	PARTIDA	UNIDAD	METRADO	PRECIO UNITARIO S/.	PRECIO PARCIAL S/.	TOTAL S/.
3.5	Tubo Ø3" PVC	ml	9.48	75.00	711.00	
3.6	Plancha de metal e = 1/4"	m ²	8.64	100.09	864.81	
3.7	Pernos de anclaje de 1"	und	7.00	60.00	420.00	
3.8	Tanque de acero 75x75x80cm	und	1.00	9900.00	9900.00	
3.9	Pintura epóxica en contenciones	m ²	2.07	66.01	136.88	
3.10	Pintura epóxica en muro de protección	m ²	16.14	66.01	1065.42	
4.0	SÓTANOS DE GRUPOS 1 2 3 y 4					8489.35
4.1	Limpieza de canal colector grupo 1 2 y 3	ml	9.66	20.00	193.20	
4.2	Limpieza de pozas de contención de grupo 1 2 y 3	glb	3.00	125.00	375.00	
4.3	Limpieza de canal colector grupo 4	ml	15.23	95.00	1,446.85	
4.4	Uniformización de pendiente	ml	15.23	326.10	4966.50	
4.5	Válvulas esféricas Ø2"	und	6.00	251.30	1,507.80	
4.6	Válvulas esféricas Ø4"	und	2.00	502.60	1,005.20	
5.0	OTROS					12128.70
5.1	Limpieza de cubetos de transformadores de 60/220 kV	glb	1.00	750.00	750.00	
5.2	Limpieza de cubetos de transformadores de contingencia	glb	1.00	1,000.00	1,000.00	
5.3	Contención de concreto f _c = 175 kg/cm ² de 10x10 cm	ml	11.44	20.00	228.70	
5.4	Clausura de sumidero de entrada a sala de transformadores del grupo 4	glb	1.00	150.00	150.00	
5.5	Inducciones seguros y exámenes	glb	1.00	10,000.00	10,000.00	
COSTO DIRECTO						S/.60223.75
GASTOS GENERALES 15%						S/.9033.56
UTILIDAD 10%						S/.6022.37
COSTO TOTAL						S/.75279.68

Fuente: Elaboración propia. Fecha: 2017. Tipo de cambio: 3.26 soles.

4.3 CENTRAL HIDROELÉCTRICA MATUCANA

La central hidroeléctrica Matucana se encuentra ubicada en el kilómetro 64.5 de la Carretera Central, al este de la ciudad de Lima, en el distrito de San Jerónimo de Surco, provincia de Huarochirí y región Lima. Entró en operaciones el año 1972.

El agua que usa para el funcionamiento de la central se trae desde el embalse Yuracmayo a través de un túnel de 20 km, posteriormente a ser usada se descarga en el río Rímac una parte y la otra se transporta hasta la C. H. Callahuanca. En

base a la referencia Informe Final, de la C. H. Matucana, a continuación, se presentan informaciones, cálculos y resultados desarrolladas en el proyecto:

Tab. 4.19. Datos técnicos - C. H. Matucana.

CARACTERÍSTICAS	VALOR
Producción específica	2.33 kWh/m ³
Capacidad instalada	140 MW
Potencia efectiva	137.02 MW
Generación media anual	867 GWh
Caudal de la central	15.8 m ³ /s
Altura bruta de caída	987 m
Tipo de turbina	Pelton doble (eje horizontal)
Número de grupos generadores	2

Fuente: www.enel.pe.

4.3.1 Evaluación del sistema de drenaje

4.3.1.1 Verificación de capacidad de cubeto de transformadores

Tab. 4.20. Volumen de cubetos - C. H. Matucana.

CUBETO	CARACTERÍSTICA	VALOR
De transformadores principales	Ancho	3.00 m
	Largo	25.00 m
	Altura	1.80 m
	Volumen	135.00 m ³
De transformadores de SSAA	Ancho	1.98 m
	Largo	3.09 m
	Altura	1.38 m
	Volumen	8.42 m ³

Fuente: Elaboración propia.

Como se aprecia en la tabla 4.20 y 4.21, el volumen de los cubetos es superior a los volúmenes de aceite de los transformadores que en ellos descargan, por lo tanto, si están en posibilidad de contener algún derrame de aceite proveniente de los transformadores.

Tab. 4.21. Volumen de aceite de transformadores - C. H. Matucana.

TRANSFORMADOR	VOLUMEN DE ACEITE	110% VOLUMEN DE ACEITE	VOLUMEN DE CUBETO	DIFERENCIA
T - R	21.57 m ³	23.73 m ³	135.00 m ³	111.27 m ³
T - S	21.57 m ³	23.73 m ³		111.27 m ³
T - T	21.57 m ³	23.73 m ³		111.27 m ³
T - Reserva	21.57 m ³	23.73 m ³		111.27 m ³
T1 - SSAA	2.43 m ³	2.67 m ³	8.42 m ³	5.75 m ³
T2 - SSAA	0.49 m ³	0.54 m ³		7.88 m ³

Fuente: Elaboración propia.

4.3.2 Cálculos y resultados

4.3.2.1 Caudales de transformadores principales

A continuación, se presentan los caudales por transformador a fin de verificar los diámetros de las tuberías existentes.

Tab. 4.22. Caudales de transformadores principales - C. H. Matucana.

TRANSFORMADOR	VOLUMEN ACEITE	CAUDAL
T - R	21.57 m ³	3.00 lt/s
T - S	21.57 m ³	3.00 lt/s
T - T	21.57 m ³	3.00 lt/s
T - Reserva	21.57 m ³	3.00 lt/s

Fuente: Elaboración propia.

Para la verificación del diámetro de las tuberías existentes, se emplea el mayor volumen que se podría derramar proveniente de algún transformador. La obtención de la velocidad y tirante normal, empleando la ecuación de Manning, se detalla en el Anexo A.1.3.1.

Datos:

Caudal T - R: 3.00 lt/s

Resultados:

Velocidad: 1.00 m/s

Tirante normal: 0.040 m

Diámetro de tubería: 0.062 m
 Diámetro comercial: 3"

Con la velocidad obtenida (Anexo A.1.3.1), se determina que el diámetro de la tubería necesario para transportar los fluidos en caso de algún derrame es de 3", valor que es sobrepasado por el existente de 4" para los transformadores principales.

Adicionalmente, dentro de las mejoras recomendadas está la construcción de un separador agua - aceite en el cubeto de transformadores principales; la descarga del mismo será mediante una tubería que será instalada; dicha tubería será de PVC empotrada (a diferencia del existente, de acero), ya que esta es más económica (instalación y mantenimiento) y puede trasladar los fluidos de manera adecuada; para su diseño se consideran los volúmenes de la tabla 4.22, el diámetro obtenido en el cálculo anterior y la velocidad según el Anexo A.1.3.2.

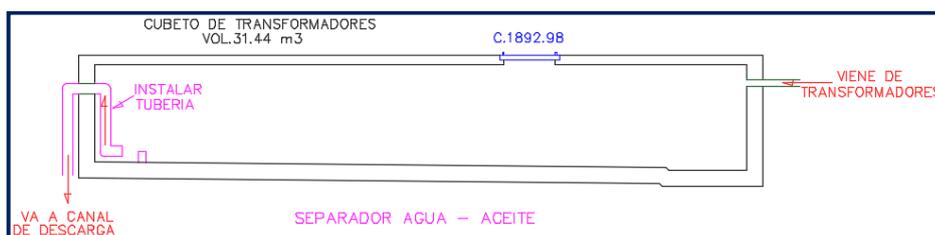


Fig. 4.3. Tubería de descarga - C. H. Matucana.

Fuente: Elaboración propia.

Con la velocidad obtenida empleando la ecuación de Manning (Anexo A.1.3.2), se determina el diámetro de las tuberías a instalar, empleando el mayor volumen de aceite que se podría derramar proveniente de algún transformador principal.

Datos:

Caudal T - R: 3.00 lt/s

Resultados:

Velocidad: 0.89 m/s

Diámetro de tubería: 0.066 m

Diámetro comercial: 3"

El mínimo diámetro de la tubería a instalar, necesario para transportar fluidos en caso de algún derrame, es de 3”.

4.3.2.2 Separador agua - aceite

En el Anexo A.1.3.3, se presentan los cálculos para la implementación de un separador agua - aceite en el cubeto de transformadores principales, según los conceptos y ecuaciones plasmadas en el Capítulo 2 del presente trabajo. En la siguiente tabla se presentan los resultados obtenidos de las dimensiones del separador agua - aceite:

Tab. 4.23. Resultados obtenidos del separador agua - aceite - C. H. Matucana.

DIMENSIÓN	SÍMBOLO	VALOR
Largo del separador	L	12.00 m
Ancho del separador	B	2.00 m
Número de canales separadores	n	1 und
Altura del máximo nivel de aceite presente en el agua residual	H _o	1.00 m
Altura mínima del nivel de agua	H _w	0.40 m
Altura de la tubería de salida del separador	H _s	1.25 m
Altura mínima de la tubería de entrada al separador	H _e	1.40 m

Fuente: Elaboración propia.

4.3.3 Monitoreo de calidad de agua

4.3.3.1 Puntos de muestreo de agua

Los puntos de muestreo fueron identificados durante los trabajos realizados en campo, posteriormente aprobados por los representantes de ENEL, quienes adicionalmente realizaron mediciones de algunos parámetros in situ.

Durante el muestro, en el PCA - MA2 y PCA - MA3 no se consideró necesario realizar control de calidad de agua.

Tab. 4.24. Puntos de muestreo - C. H. Matucana.

PUNTO DE MUESTREO	UBICACIÓN	DESCRIPCIÓN
PCA - MA1	Pasadizo de válvulas de regulación	Canal a donde descargan los sumideros del pasadizo de válvulas de regulación. Se observa presencia de residuos orgánicos e inorgánicos.
PCA – MA2	Pasadizo del SAR	Cámara localizada frente a las bombas del SAR. Aquí llega el canal del punto anterior. Se le retira los sólidos mediante un sistema de rejillas.
PCA – MA3	Canal de descarga	Ubicado en el canal de descarga frente a la bocatoma a Callahuanca; el rebose va directamente al cauce del río.
PCA – MA4	Pasadizo de RRVV	Poza de descarga de las turbinas de los grupos 01 y 02, ubicado en el centro del pasadizo de RRVV a donde descargan los sumideros ubicados a los alrededores de la cámara.
PCA – MA5	Pasadizo de RRVV	Buzón ubicado en el extremo del pasadizo de RRVV frente a la escalera de acceso. Aquí descargan todos los sumideros del pasadizo y posteriormente va al canal de descarga.
PCA – MA6	Pasadizo de RRVV	Buzón ubicado en el centro del pasadizo de RRVV frente al pozo de descarga de los 2 grupos. Buzón de paso de todos los sumideros del pasadizo y posteriormente va al canal de descarga.
PCA – MA7	Canal de purga	Buzón ubicado en el costado de la toma a la C. H. Callahuanca. A este canal descargan todos los sumideros de la casa de máquinas.

Fuente: Elaboración propia.

4.3.3.2 Parámetros medidos in situ

Adicionalmente en los puntos de muestreo, se midió conductividad, temperatura, pH y oxígeno, siendo los resultados los siguientes:

Tab. 4.25. Parámetros medidos in situ - C. H. Matucana.

PUNTO DE MUESTREO	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA $\mu\text{S/cm}$	TEMPERATURA $^{\circ}\text{C}$	pH	OXÍGENO mg/L
PCA - MA1	676	13.80	6.90	8.36
PCA – MA4	290	16.50	15.26	5.45
PCA – MA5	695	16.20	15.25	7.44
PCA – MA6	955	20.20	15.08	3.62
PCA – MA7	690	16.70	15.25	7.60

Fuente: Elaboración propia.

4.3.3.3 Resultados

Tab. 4.26. Resultados de muestras de agua - C. H. Matucana.

PARÁMETROS	PCA-MA1	PCA-MA4	PCA-MA5	PCA-MA6	PCA-MA7
Sólidos totales en suspensión	M	M	E	E	M
Aceites y grasas	M	M	M	E	M
pH	M	E	E	E	E
Temperatura (in situ)	M	M	M	M	M
Conductividad	M	M	M	M	M
Oxígeno	M	M	M	E	M
Metales totales	E	E	E	E	E

Fuente: Elaboración propia.

Las muestras fueron ingresadas y analizadas en el Laboratorio AGQ (Acreditado por INACAL e I.A.S.), bajo la asesoría especializada de Control Global de Riesgos Perú, tomando en cuenta todos los procedimientos normados para que los resultados del análisis de agua residual industrial sean debidamente trazables y certificados.

Donde:

E = Excede el LMP

M = Menor al LMP

Comentarios:

- *Punto de muestreo PCA – MA1:* Valores de Aceites, grasas, pH, y Sólidos totales en suspensión, están dentro de los parámetros establecidos. Valor de Conductividad, nos indica que el agua es dura.
- *Punto de muestreo PCA – MA4:* Valor de pH 15.26, elevado, siendo el rango de LMP de 6 a 9 (Medición in situ). Los valores de Aceites, grasas y Sólidos totales en suspensión, dentro de los parámetros establecidos. Valor de Conductividad, nos indica que el agua es blanda.
- *Punto de muestreo PCA – MA5:* Valor de pH 15.25, elevado, siendo el rango de LMP de 6 a 9 (Medición in situ). Valor de Sólidos totales en suspensión 84.5 mg/L, elevado, siendo el LMP 50 mg/L. Los valores de Aceites y grasas dentro de los parámetros establecidos. Valor de Conductividad, nos indica que el agua es dura.
- *Punto de muestreo PCA – MA6:* Valor de pH 15.08, elevado, siendo el rango de LMP de 6 a 9 (Medición in situ). Valor de Aceites y grasas 79

mg/L, elevado, siendo el LMP de 20 mg/L. Valor de Slidos totales en suspensión 826 mg/L, elevado, siendo el LMP 50 mg/L. Valor de Conductividad, nos indica que el agua es muy dura.

- *Punto de muestreo PCA – MA7*: Valor de pH 15.25, elevado, siendo el rango de LMP de 6 a 9 (Medición in situ). Los valores de Aceites, grasas y Sólidos totales en suspensión, dentro de los parámetros establecidos. Valor de Conductividad, nos indica que el agua es dura.

4.3.4 Planteamiento de mejoras en sistemas de drenaje

A continuación, se presentarán las mejoras planteadas al sistema de drenaje, en base a los cálculos y resultados detallados en los ítems anteriores, además de las observaciones realizadas en campo.

- Clausurar el sumidero que se encuentra en la sala de baterías, en el sótano de la casa de máquinas. Rellenar con concreto ($f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$), colocar mayólica acorde con la superficie alrededor.
- Clausurar los 4 sumideros que se encuentran al costado del cubeto de transformadores. Rellenar con concreto ($f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$), hasta enrazar y nivelar.
- Instalar una tubería que una todos los puntos de descarga, dentro del cubeto de transformadores, provenientes de los sumideros de las contenciones de los transformadores, para luego descargar todo en el separador agua – aceite que se construirá en el cubeto de transformadores principales, según las dimensiones calculadas en la sección 4.3.1; además, instalar una tubería que conecte la descarga del separador con el canal de descarga.
- Construir un separador agua – aceite en el canal de purga al costado de la bocatoma a la C. H. Callahuanca, según las dimensiones calculadas en la sección 4.4.1.
- Cambiar los 11 sumideros y sus respectivos accesorios ubicados en el pasadizo de RRVV.
- Instalar una cámara de contención metálica al final de la descarga de la tubería de 16" de diámetro, ubicada en el pasadizo de válvula de regulación, a donde también se debe conectar la tubería de 6" de diámetro

ubicada debajo de la tubería de presión, a fin de impedir que un posible derrame llegue al canal de descarga.

- Instalar una válvula en la cámara para permitir el paso de las filtraciones acumuladas hacia el canal.

De las mejoras plateadas, a continuación, se presenta el metrado y presupuesto correspondiente, a ser considerados como base para el proceso de licitación de la implementación de dichas mejoras.

Tab. 4.27. Presupuesto de mejoras - C. H. Matucana.

Nº ITEM	PARTIDA	UNIDAD	METRADO	PRECIO UNITARIO S/.	PRECIO PARCIAL S/.	TOTAL S/.
1.0	TRABAJO PRELIMINARES					10000.00
1.1	Traslado de personal, materiales y equipos	glb	1.00	10000.00	10000.00	
2.0	CUBETO DE TRANSFORMADORES					24726.67
2.1	Clausurar sumideros de sala de baterías	glb	4.00	150.00	600.00	
2.2	Perforación en concreto	m ³	4.72	251.59	1,187.66	
2.3	Concreto f'c = 245 kg/cm ² para piso de cubeto	m ³	1.53	511.11	782.00	
2.4	Concreto f'c = 245 kg/cm ² para muro de cubeto	m ³	9.55	511.11	4,880.28	
2.5	Contención de concreto f'c = 175 kg/cm ² de 20x15 cm	ml	1.85	50.00	92.40	
2.6	Encofrado para muro de cubeto	m ²	56.33	47.45	2,672.62	
2.7	Encofrado para contención de concreto de 20x15 cm	m ²	0.74	47.45	35.08	
2.8	Acero f'y= 4200 kg/cm ² para muro de cubeto	kg	568.29	3.73	2,119.72	
2.9	Tubo Ø8" PVC	ml	3.99	120.00	478.80	
2.10	Codo PVC 8"X90Ø	und	3.00	60.00	180.00	
2.11	Tubo Ø5" PVC	ml	24.86	100.00	2,486.00	
2.12	Codo 5"xØ90 PVC	und	3.00	28.50	85.50	
2.13	Tee Ø5" PVC	und	4.00	24.00	96.00	
2.14	Reducción de tubería de 5" a 4" PVC	und	4.00	20.08	80.32	
2.15	Abrazaderas para tubo de PVC	und	47.00	14.90	700.30	
2.16	Sensor continuo de aceite en agua	und	1.00	8250.00	8250.00	
3.0	CANAL DE PURGA					11223.46
3.1	Demolición de concreto, con martillo neumático	m ³	1.91	251.59	481.54	
3.2	Excavación de material suelto	m ³	7.28	57.86	421.22	
3.3	Refine, nivelación y compactación de terreno con pisón manual	m ²	9.28	5.45	50.58	
3.4	Solado concreto C:H 1:12 e=2"	m ²	9.28	24.24	224.95	

Nº ITEM	PARTIDA	UNIDAD	METRADO	PRECIO UNITARIO S/.	PRECIO PARCIAL S/.	TOTAL S/.
3.5	Concreto f'c = 245 kg/cm ² para separado agua - aceite	m ³	2.66	511.11	1,358.02	
3.6	Contención de concreto f'c = 175 kg/cm ²	m ³	0.07	455.40	30.73	
3.7	Encofrado para separado agua aceite	m ²	6.65	47.45	315.59	
3.8	Encofrado para contención de concreto	m ²	0.90	47.45	42.69	
3.9	Tubo de 4" PVC	ml	0.45	75.00	33.75	
3.10	Codo 4"xØ90 PVC	und	2.00	7.20	14.40	
3.11	Sensor continuo de aceite en agua	und	1.00	8250.00	8250.00	
4.0	PASADIZO DE VÁLVULAS DE REGULACIÓN					9735.00
4.1	Cámara de contención metálica e=3/8"	glb	1.00	783.20	783.20	
4.2	Tubo Ø6" PVC	ml	4.22	100.00	422.00	
4.3	Codo 6"xØ90 PVC	und	1.00	28.50	28.50	
4.4	Válvulas esféricas Ø2"	und	1.00	251.30	251.30	
4.5	Sensor continuo de aceite en agua	und	1.00	8250.00	8250.00	
5.0	OTROS					12800.00
5.1	Clausurar sumideros de sala de baterías	glb	4.00	150.00	600.00	
5.2	Cambiar sumideros de pasadizos de RRVV	glb	11.00	200.00	2200.00	
5.3	Inducciones, seguros y exámenes	glb	1.00	10000.00	10000.00	
COSTO DIRECTO						S/.68485.14
GASTOS GENERALES 15%						S/.10272.77
UTILIDAD 10%						S/.6848.51
COSTO TOTAL						S/.85606.42

Fuente: Elaboración propia. Fecha: 2017. Tipo de cambio: 3.26 soles.

4.4 CENTRAL HIDROELÉCTRICA HUAMPANÍ

La central hidroeléctrica Huampaní se encuentra ubicada en el kilómetro 26 de la Carretera Central, al este de la ciudad de Lima, en el distrito de Lurigancho, provincia y región de Lima. Entró en operaciones el año 1960.

El agua que usa para el funcionamiento de la central se trae desde la C. H. Moyopampa a través de un canal, para posteriormente a ser usada, descargarse en el río Rímac. En base a la referencia Informe Final, de la C. H. Huampaní, a continuación, se presentan informaciones, cálculos y resultados desarrolladas en el proyecto:

Tab. 4.28. Datos técnicos - C. H. Huampaní.

CARACTERÍSTICAS	VALOR
Producción específica	0.48 kWh/m ³
Capacidad instalada	30 MW
Potencia efectiva	30.9 MW
Generación media anual	235 GWh
Caudal de la central	21 m ³ /s
Altura bruta de caída	177 m
Tipo de turbina	Francis (eje horizontal)
Número de grupos generadores	2

Fuente: www.enel.pe.

4.4.1 Evaluación del sistema de drenaje

4.4.1.1 Verificación de capacidad de cubeto de transformadores

Tab. 4.29. Volumen de cubetos - C. H. Huampaní.

CUBETO	CARACTERÍSTICA	VALOR
De transformadores principales	Ancho	1.00 m
	Largo	5.20 m
	Altura	1.60 m
	Volumen	8.32 m ³

Fuente: Elaboración propia.

Tab. 4.30. Volumen de aceite de transformadores - C. H. Huampaní.

TRANSFORMADOR	VOLUMEN DE ACEITE	110% VOLUMEN DE ACEITE	VOLUMEN DE CUBETO	DIFERENCIA
T1 - SSAA	0.22 m ³	0.24 m ³	No Tiene	-0.24 m ³
T2 - SSAA	0.22 m ³	0.24 m ³	No Tiene	-0.24 m ³
T - 1	9.71 m ³	10.68 m ³	8.32 m ³	-2.36 m ³
T - 2	9.71 m ³	10.68 m ³		-2.36 m ³
T - 3	7.28 m ³	8.01 m ³		0.31 m ³

Fuente: Elaboración propia.

Como se aprecia en la tabla 4.29 y 4.30, el volumen del cubeto es 8.32 m³, y aquí descargan los drenajes de los transformadores principales (T - 1 y T - 2) y de reserva (T - 3), cuyos volúmenes de aceite superan la capacidad del cubeto, de acuerdo a la tabla 4.30, por lo tanto, no está en posibilidad de contener algún

derrame de aceite proveniente de los transformadores; así mismo, los transformadores de SSAA no cuentan con un cubeto.

4.4.2 Cálculos y resultados

4.4.2.1 Caudales de transformadores principales

A continuación, se presentan los caudales por transformador a fin de verificar los diámetros de las tuberías existentes.

Tab. 4.31. Caudales de transformadores principales - C. H. Huampaní.

TRANSFORMADOR	VOLUMEN ACEITE	CAUDAL
T - 1	9.71 m ³	1.35 lt/s
T - 2	9.71 m ³	1.35 lt/s
T - 3	7.28 m ³	1.01 lt/s

Fuente: Elaboración propia.

Para la verificación del diámetro de las tuberías existentes, se emplea el mayor volumen que se podría derramar proveniente de algún transformador. La obtención de la velocidad y tirante normal, empleando la ecuación de Manning, se detalla en el Anexo A.1.4.1.

Datos:

Caudal T1: 1.35 lt/s

Resultados:

Velocidad: 0.71 m/s

Tirante normal: 0.020 m

Diámetro de tubería: 0.049 m

Diámetro comercial: 2"

Con la velocidad obtenida (Anexo A.1.4.1), se determina que el diámetro de la tubería necesario para transportar los fluidos en caso de algún derrame es de 2", valor que es sobrepasado por el existente de 10" para todos los cubetos.

Adicionalmente, dentro de las mejoras recomendadas está la construcción de un separador agua - aceite en el cubeto de transformadores principales; la descarga del mismo será mediante una tubería que será instalada; dicha tubería será de PVC empotrada (a diferencia del existente, de acero), ya que esta es más económica (instalación y mantenimiento) y puede trasladar los fluidos de manera adecuada; para su diseño se consideran los volúmenes de la tabla 4.31, el diámetro obtenido en el cálculo anterior y la velocidad según el Anexo A.1.4.2.



Fig. 4.4. Tubería de descarga - C. H. Huampaní.

Fuente: Elaboración propia.

Con la velocidad obtenida empleando la ecuación de Manning (Anexo A.1.4.2), se determina el diámetro de las tuberías a instalar, empleando el mayor volumen de aceite que se podría derramar proveniente de algún transformador.

Datos:

Caudal T1: 1.35 lt/s

Resultados:

Velocidad: 0.68 m/s

Diámetro de tubería: 0.050 m

Diámetro comercial: 2"

El mínimo diámetro de la tubería a instalar necesario para transportar el aceite en caso de algún derrame es de 2".

4.4.2.2 Separador agua - aceite

En el Anexo A.1.4.3, se presentan los cálculos para la implementación de un separador agua - aceite en el cubeto de transformadores principales, según los conceptos y ecuaciones plasmadas en el Capítulo 2 del presente trabajo. En la siguiente tabla se presentan los resultados obtenidos de las dimensiones del separador agua - aceite:

Tab. 4.32. Resultados obtenidos del separador agua - aceite - C. H. Huampaní.

DIMENSIÓN	SÍMBOLO	VALOR
Largo del separador	L	11.20 m
Ancho del separador	B	1.00 m
Número de canales separadores	n	1 und
Altura del máximo nivel de aceite presente en el agua residual	H _o	0.95 m
Altura mínima del nivel de agua	H _w	0.40 m
Altura de la tubería de salida del separador	H _s	1.20 m
Altura mínima de la tubería de entrada al separador	H _e	1.35 m

Fuente: Elaboración propia.

4.4.3 Monitoreo de calidad de agua

4.4.3.1 Puntos de muestreo de agua

Los puntos de muestreo fueron identificados durante los trabajos realizados en campo, posteriormente aprobados por los representantes de Enel; además, adicionalmente realizaron mediciones de algunos parámetros in situ.

Tab. 4.33. Puntos de muestreo - C. H. Huampaní.

PUNTO DE MUESTREO	UBICACIÓN	DESCRIPCIÓN
PCA - HP1	Sala de máquinas	Pozo en medio de la sala de máquinas donde llega agua procedente del pasadizo de válvulas de los dos grupos.
PCA – HP2	Cubeto de transformadores	Cubeto de transformadores ubicado a espalda de la casa de máquinas. Aquí descargan los transformadores principales.
PCA – HP3	Pasadizo de válvulas de regulación	Cámara en el pasadizo de válvulas del grupo 1 donde llega agua del sumidero del almacén y de la válvula de regulación del mismo grupo.
PCA – HP4	Puente de canal de descarga	Canal de descarga a espaldas del puesto policial. Posteriormente descarga en el río Rímac.
PCA – HP5	Puesto Policial	Caja de paso donde llega el agua del SAR y de los sumideros de los sótanos de la casa de máquinas.

Fuente: Elaboración propia.

Durante el muestro, no se encontró en el PCA – HP2 cantidad suficiente de agua para tomar muestras; además, en el PCA – HP4 no se encontró cantidad suficiente de agua para tomar muestras pues la central no estaba operando.

4.4.3.2 Parámetros medidos in situ

Adicionalmente en los puntos de muestreo, se midió conductividad, temperatura, pH y oxígeno, siendo los resultados los siguientes:

Tab. 4.34. Parámetros medidos in situ - C. H. Huampaní.

PUNTO DE MUESTREO	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA $\mu\text{S}/\text{cm}$	TEMPERATURA $^{\circ}\text{C}$	pH	OXÍGENO mg/L
PCA – HP1	346	22.60	12.56	7.57
PCA – HP3	365	21.60	12.98	7.93
PCA – HP5	392	22.00	7.24	7.86

Fuente: Elaboración propia.

4.4.3.3 Resultados

Las muestras fueron ingresadas y analizadas en el Laboratorio AGQ (Acreditado por INACAL e I.A.S.), bajo la asesoría especializada de la empresa “Control Global de Riesgos Perú”, tomando en cuenta todos los procedimientos normados para que los resultados del análisis de agua residual industrial sean debidamente trazables y certificados.

Tab. 4.35. Resultados de muestras de agua - C. H. Huampaní.

PARÁMETROS	PCA-HP1	PCA-HP3	PCA-HP5
DBO	M	M	M
DQO	M	M	M
Sólidos totales en suspensión	E	E	E
Sólidos sedimentables	M	M	M
Aceites y grasas	M	M	M
Cianuro	M	M	M
Cromo hexavalente	M	M	M
Sulfatos	M	M	M
Sulfuros	M	M	M
Nitrógeno amoniacal	M	M	M
pH	E	E	M
Temperatura	M	M	M
Conductividad	M	M	M
Oxígeno	M	M	M
Metales totales	M	M	M
Bicarbonatos (mgHCO_3/L)	M	M	M

Fuente: Elaboración propia.

Donde:

E = Excede el LMP

M = Menor al LMP

Comentarios:

- *Punto de muestreo PCA – HP1*: Valor de pH 12.56, elevado, siendo el rango de LMP de 6 a 9 (Medición in situ). Valor de Sólidos totales en suspensión 474 mg/L, elevado, siendo el LMP 50 mg/L. Los demás valores dentro de los parámetros establecidos. Valor de CaCO_3 , nos indica que el agua es moderadamente dura.
- *Punto de muestreo PCA – HP3*: Valor de Sólidos totales en suspensión 506 mg/L, elevado, siendo el LMP 50 mg/L. Valor de pH 12.98, elevado, siendo el rango de LMP de 6 a 9 (Medición in situ). Los demás valores dentro de los parámetros establecidos. Valor de CaCO_3 , nos indica que el agua es moderadamente dura.
- *Punto de muestreo PCA – HP5*: Valor de Sólidos totales en suspensión 100 mg/L, elevado, siendo el LMP 50 mg/L. Valores dentro de los parámetros establecidos. Valor de CaCO_3 , nos indica que el agua es moderadamente dura.

4.4.4 Planteamiento de mejoras en sistemas de drenaje

A continuación, se presentarán las mejoras planteadas al sistema de drenaje, en base a los cálculos y resultados detallados en los ítems anteriores, además de las observaciones realizadas en campo.

- Limpiar las 3 cajas de recolección (0.40 m x 0.45 m) del segundo sótano y darles mantenimiento a las tapas de las mismas; aplicar pintura anticorrosiva a las superficies para evitar desgaste.
- Instalar un cubeto para los transformadores de SSAA (0.25 m³ de volumen) en el segundo sótano, para contener el derrame de aceite de alguno de los transformadores de SSAA Construir un muro de contención alrededor del cubeto de transformadores de SSAA para evitar filtraciones ante falla del cubeto; aplicar pintura epóxica a la superficie del muro. Ver detalles en el plano HP-D4.

- Instalar sumideros en el centro de los 2 ambientes destinados a albergar a los transformadores de SSAA ubicados en el primer sótano (cota 648.14 msnm); seguidamente instalar tuberías de 2" de diámetro que una a dichos sumideros con una tubería colectora a instalar en el segundo sótano (cota 645.21 msnm) y luego descargue en el cubeto de transformadores de SSAA a ubicar en dicho nivel. Ver detalles en el plano HP-D4.
- Construir un separador agua – aceite en el cubeto de transformadores principales, según las dimensiones calculadas en la sección 4.3.1; además, instalar una tubería que conecte la descarga del separador con el canal de descarga. Ver detalles en el plano HP-D1 y HP-D2.
- Impermeabilizar la cámara del sistema oleo hidráulico, ubicada al costado del generador del grupo 1, a fin de que sirva como contenedor ante algún derrame de aceite en la sala de máquinas. Aplicar pintura epóxica en las superficies de la cámara y sellar los conductos de tuberías y/o cables que salen de la misma.
- Impermeabilizar la tapa de la cámara de paso ubicada en el centro de la sala de máquinas, a fin de evitar que se contamine el agua que circula en su interior, proveniente del pasadizo de válvulas, con algún derrame de aceite en la sala de máquinas. Ver detalles en el plano HP-D3.
- Clausurar el sumidero que se encuentra en la esquina del almacén, al costado de la sala de válvulas de regulación del grupo 01. Rellenar con concreto ($f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$), hasta enrazar y nivelar.
- Construir un muro en el pozo de paso ubicado al costado de la entrada a la sala de válvulas de regulación del grupo 1, a fin de impedir que un posible derrame llegue al pozo. Instalar una válvula en el muro para permitir el paso de las filtraciones acumuladas en el pasadizo hacia el pozo de paso. Ver detalles en el plano HP-D5.
- Impermeabilizar los 4 canales del pasadizo de válvulas de regulación del grupo 2, a fin de evitar que algún derrame de aceite en la sala de máquinas llegue a filtrar a dichos canales. Instalar una válvula al costado del canal con rejilla, para permitir el paso de las filtraciones acumuladas en el pasadizo hacia el canal. Ver detalles en el plano HP-D7 y HP-D8.
- Impermeabilizar los 2 pozos de paso de las salas de válvulas de regulación de los 2 grupos, a fin de evitar que algún derrame de aceite en la sala de

máquinas llegue a filtrar a dichos pozos, y luego terminen en el canal de descarga. Ver detalles en el plano HP-D6.

De las mejoras plateadas, a continuación, se presenta el metrado y presupuesto correspondiente, a ser considerados como base para el proceso de licitación de la implementación de dichas mejoras.

Tab. 4.36. Presupuesto de mejoras - C. H. Huampaní.

Nº ITEM	PARTIDA	UNIDAD	METRADO	PRECIO UNITARIO S/.	PRECIO PARCIAL S/.	TOTAL S/.
1.0	TRABAJO PRELIMINARES					11250.29
1.1	Traslado de personal, materiales y equipos	glb	1.00	8000.00	8000.00	
1.2	Cerco perimétrico de madera, h=2.40 m Triplay	ml	23.60	88.22	2081.99	
1.3	Oficina, Almacén, Caseta de Guardianía	m ²	11.25	79.60	895.50	
1.4	Limpieza manual de terreno	m ²	77.28	3.53	272.80	
2.0	CUBETO DE TRANSFORMADORES PRINCIPALES					37779.84
2.1	Trazo y Replanteo de Ejes y Niveles con equipo	m ²	18.88	2.09	39.46	
2.2	Excavación de material suelto	m ³	21.44	57.86	1240.52	
2.3	Demolición de piso de cubeto de concreto, con martillo neumático	m ³	1.56	251.59	392.48	
2.4	Demolición manual de muro de concreto, con martillo neumático	m ³	1.03	251.59	259.64	
2.5	Refine, nivelación y compactación de terreno con pisón manual	m ²	15.28	5.45	83.28	
2.5	Solado concreto C:H 1:1:2 e=2"	m ²	15.28	24.24	370.39	
2.6	Concreto f'c = 245 kg/cm ²	m ³	15.12	511.11	7727.98	
2.7	Contención de concreto f'c = 175 kg/cm ²	m ³	0.03	392.17	12.35	
2.8	Encofrado para cubierta de cubeto	m ²	6.00	56.31	337.86	
2.9	Encofrado para muro de cubeto	m ²	50.94	47.45	2417.10	
2.10	Encofrado para contención de concreto	m ²	0.42	47.45	19.93	
2.11	Malla de acero Fy=4200kg/cm ² Ø1/2"	Kg	576.87	3.73	2151.74	
2.12	Mantenimiento de muros existentes	m ²	24.35	19.39	472.20	
2.13	Pintura epóxica en separador	m ²	63.00	66.01	4158.63	
2.14	Excavación manual en terreno natural para zanja para tubería	m ³	42.42	36.16	1533.91	
2.15	Colocación de material granular 10 cm para cama de tubería	m ³	5.16	95.37	492.12	
2.16	Material de relleno compactado 95% PN	m ³	24.00	44.12	1058.88	
2.17	Colocación de relleno no compactado	m ³	9.37	20.66	193.63	
2.18	Tubo Ø8" PVC	m	120.00	120.00	14400.00	
2.19	Codo PVC 8"X90Ø	und	2.00	60.00	120.00	
2.20	Cajas de paso de concreto 0.60x0.60 m	und	3.00	39.25	117.75	
2.21	Instalación de tapa de separador 0.75x0.75	glb	1.00	180.00	180.00	

Nº ITEM	PARTIDA	UNIDAD	METRADO	PRECIO UNITARIO S/.	PRECIO PARCIAL S/.	TOTAL S/.
3.0	CUBETO DE TRANSFORMADORES SECUNDARIOS					8006.77
3.1	Perforación de piso de concreto para paso de tuberías	m ³	0.01	251.59	1.38	
3.2	Instalación de sumideros de acero de 2"	und	2.00	80.00	160.00	
3.3	Contención de concreto de 1"x2" en canaleta de cables	ml	2.60	50.00	130.00	
3.4	Contención de concreto de 1"x2" en entrada a sala de transformadores	ml	2.00	50.00	100.00	
3.5	Contención de concreto f'c = 175 kg/cm ² e=2"	m ²	0.04	50.00	2.00	
3.6	Contención de concreto f'c = 175 kg/cm ² de 25x10 cm	ml	2.10	50.00	105.00	
3.7	Encofrado para contención de concreto e=2"	m ²	0.04	47.45	1.90	
3.8	Encofrado para contención de concreto de 25x10 cm	m ²	0.50	47.45	23.73	
3.9	Tubo Ø2" PVC	ml	9.52	50.00	475.85	
3.10	Abrazaderas para tubo de PVC	und	18.00	20.00	360.00	
3.11	Plancha de metal e = 1/4"	m ²	0.45	100.09	44.68	
3.12	Pernos de anclaje de 1"	und	3.00	60.00	180.00	
3.13	Tanque de acero 60x60x75cm	und	1.00	5940.00	5940.00	
3.14	Pintura epóxica en contenciones	m ²	5.21	66.01	344.15	
3.15	Pintura epóxica en canaleta	m ²	0.09	66.01	6.07	
3.16	Pintura epóxica en muro de protección	m ²	2.00	66.01	132.02	
4.0	PASADIZO DE VÁLVULAS					3152.78
4.1	Clausurar sumidero de almacén concreto	und	1.00	150.00	150.00	
4.2	Contención de concreto f'c = 175 kg/cm ² de 10x10 cm	ml	1.50	50.00	75.00	
4.3	Contención de concreto de 1"x2" alrededor de pozos	ml	6.30	50.00	315.00	
4.4	Contención de concreto de 1"x2" alrededor de canales	ml	9.30	50.00	465.00	
4.5	Canal colector Ø2" alrededor de pozos	ml	10.00	40.00	400.00	
4.6	Canal colector Ø2" alrededor de canales	ml	9.30	40.00	372.00	
4.7	Semi tubo Ø2" PVC en pozos	ml	2.10	18.46	38.76	
4.8	Semi tubo Ø2" PVC en canales	ml	12.70	18.46	234.42	
4.9	Abrazaderas para tubo de PVC	und	30.00	20.00	600.00	
4.10	Válvulas esféricas Ø2"	und	2.00	251.30	502.60	
5.0	OTROS					11389.68
5.1	Contención de concreto de 1"x2" alrededor de cámara central	ml	4.00	50.00	200.00	
5.2	Impermeabilización de cámara del sistema oleohidráulico	glb	1.00	499.68	499.68	
5.3	Limpieza de cajas colectoras en segundo sótano	glb	3.00	150.00	450.00	
5.4	Instalación de tapas de cajas colectoras en segundo sótano	glb	3.00	80.00	240.00	

Nº ITEM	PARTIDA	UNIDAD	METRADO	PRECIO UNITARIO S/.	PRECIO PARCIAL S/.	TOTAL S/.
5.5	Inducciones, seguros y exámenes	glb	1.00	10000.00	10000.00	
COSTO DIRECTO						S/.71579.36
GASTOS GENERALES 15%						S/.10736.90
UTILIDAD 10%						S/.7157.94
COSTO TOTAL						S/.89474.20

Fuente: Elaboración propia. Fecha: 2017. Tipo de cambio: 3.26 soles.

4.5 CENTRAL HIDROELÉCTRICA MOYOPAMPA

La central hidroeléctrica Moyopampa se encuentra ubicada en el kilómetro 35 de la Carretera Central, al este de la ciudad de Lima, en el distrito de Lurigancho, provincia y región de Lima. Entró en operaciones el año 1951.

El agua que usa para el funcionamiento de la central se trae desde la C. H. Callahuanca a través de un canal, para posteriormente a ser usada se descarga en el río Rímac una parte y la otra se transporta hasta la C. H. Huinco. En base a la referencia Informe Final, de la C. H. Moyopampa, a continuación, se presentan informaciones, cálculos y resultados desarrolladas en el proyecto:

Tab. 4.37. Datos técnicos - C. H. Moyopampa.

CARACTERÍSTICAS	VALOR
Capacidad instalada	69.15 MW
Potencia efectiva	69.2 MW
Generación media anual	468 GWh
Caudal de la central	17.5 m ³ /s
Altura bruta de caída	468 m
Tipo de turbina	Pelton (eje horizontal)
Número de grupos generadores	3

Fuente: www.enel.pe.

4.5.1 Evaluación del sistema de drenaje

4.5.1.1 Verificación de capacidad de cubeto de transformadores

Tab. 4.38. Volumen de cubetos - C. H. Moyopampa.

CUBETO	CARACTERÍSTICA	VALOR
De transformadores internos y SSAA	Ancho	1.89 m
	Largo	1.89 m
	Altura	5.59 m
	Volumen	19.97 m ³

Fuente: Elaboración propia.

Tab. 4.39. Volumen de aceite de transformadores - C. H. Moyopampa.

TRANSFORMADOR	VOLUMEN DE ACEITE	110% VOLUMEN DE ACEITE	VOLUMEN DE CUBETO	DIFERENCIA
TR - G1	4.80 m ³	5.28 m ³	19.97 m ³	14.69 m ³
TS - G1	2.00 m ³	2.20 m ³		17.77 m ³
TT - G1	2.00 m ³	2.20 m ³		17.77 m ³
TR - G2	2.00 m ³	2.20 m ³		17.77 m ³
TS - G2	2.00 m ³	2.20 m ³		17.77 m ³
TT - G2	2.00 m ³	2.20 m ³		17.77 m ³
TR - G3	2.00 m ³	2.20 m ³		17.77 m ³
TS - G3	2.00 m ³	2.20 m ³		17.77 m ³
TT - G3	2.00 m ³	2.20 m ³		17.77 m ³
T1 - SSAA	1.20 m ³	1.32 m ³		18.65 m ³
T2 - SSAA	1.20 m ³	1.32 m ³		18.65 m ³
T3 - SSAA	0.45 m ³	0.50 m ³		19.47 m ³

Fuente: Elaboración propia.

Como se aprecia en la tabla 4.39 y 4.39, en la central solo existe un cubeto de los transformadores; teniendo como resultado que este si está en posibilidad de contener derrames provenientes de los transformadores.

4.5.2 Cálculos y resultados

4.5.2.1 Caudales de transformadores principales

A continuación, se presentan los caudales por transformador a fin de verificar los diámetros de las tuberías existentes.

Tab. 4.40. Caudales de transformadores principales - C. H. Moyopampa.

TRANSFORMADOR	VOLUMEN ACEITE	CAUDAL
TR - G1	5.29 m ³	0.74 lt/s
TS - G1	2.20 m ³	0.31 lt/s
TT - G1	2.20 m ³	0.31 lt/s
TR - G2	2.20 m ³	0.31 lt/s
TS - G2	2.20 m ³	0.31 lt/s
TT - G2	2.20 m ³	0.31 lt/s
TR - G3	2.20 m ³	0.31 lt/s
TS - G3	2.20 m ³	0.31 lt/s
TT - G3	2.20 m ³	0.31 lt/s
T1 - SSAA	1.32 m ³	0.18 lt/s
T2 - SSAA	1.32 m ³	0.18 lt/s
T3 - SSAA	0.50 m ³	0.07 lt/s

Fuente: Elaboración propia.

Para la verificación del diámetro de las tuberías existentes, se emplea el mayor volumen que se podría derramar proveniente de algún transformador. La obtención de la velocidad y tirante normal, empleando la ecuación de Manning, se detalla en el Anexo A.1.5.1.

Datos:

Caudal TR - G1: 0.74 lt/s

Resultados:

Velocidad: 0.49 m/s

Tirante normal: 0.020 m

Diámetro de tubería: 0.044 m

Diámetro comercial: 2"

Con la velocidad obtenida (Anexo A.1.5.1), se determina que el diámetro de la tubería necesario para transportar los fluidos en caso de algún derrame es de 2", valor que es sobrepasado por el existente de 8" para todos los cubetos transformadores de SSAA.

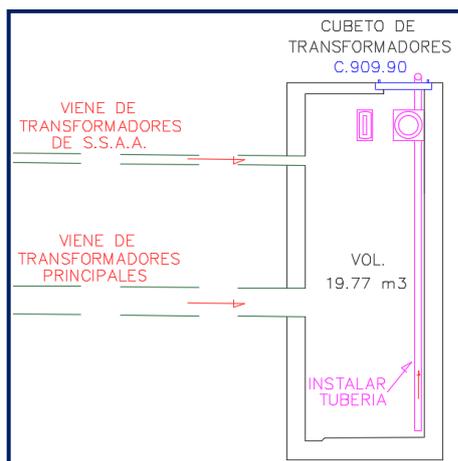


Fig. 4.5. Tubería de descarga - C. H. Moyopampa.

Fuente: Elaboración propia.

Adicionalmente, dentro de las mejoras recomendadas está la implementación de un separador agua - aceite en el cubeto de transformadores, la descarga del mismo será mediante una tubería que será instalada; dicha tubería será de PVC empotrada (a diferencia del existente, de acero), ya que esta es más económica (instalación y mantenimiento) y puede trasladar los fluidos de manera adecuada; para su diseño se consideran los volúmenes de la tabla 4.40, el diámetro obtenido en el cálculo anterior y la velocidad según el Anexo A.1.5.2.

Con la velocidad obtenida empleando la ecuación de Manning (Anexo A.1.5.2), se determina el diámetro de las tuberías a instalar, empleando el mayor volumen de aceite que se podría derramar proveniente de algún transformador.

Datos:

Caudal TR - G1: 0.74 lt/s

Resultados:

Velocidad: 0.62 m/s

Diámetro de tubería: 0.039 m

Diámetro comercial: 2"

El mínimo diámetro de la tubería a instalar necesario para descargar el separador agua - aceite es de 2".

4.5.2.2 Separador agua - aceite

En el Anexo A.1.5.3, se presentan los cálculos para la implementación de un separador agua - aceite en el cubeto de transformadores principales, según los conceptos y ecuaciones plasmadas en el Capítulo 2 del presente trabajo. En la siguiente tabla se presentan los resultados obtenidos de las dimensiones del separador agua - aceite:

Tab. 4.41. Resultados obtenidos del separador agua - aceite - C. H. Moyopampa.

DIMENSIÓN	SÍMBOLO	VALOR
Largo del separador	L	1.89 m
Ancho del separador	B	1.89 m
Número de canales separadores	n	1 und
Altura del máximo nivel de aceite presente en el agua residual	H _o	1.50 m
Altura mínima del nivel de agua	H _w	0.40 m
Altura de la tubería de salida del separador	H _s	1.70 m
Altura mínima de la tubería de entrada al separador	H _e	1.90 m

Fuente: Elaboración propia.

4.5.3 Monitoreo de calidad de agua

4.5.3.1 Puntos de muestreo de agua

Los puntos de muestreo fueron identificados durante los trabajos realizados en campo, posteriormente aprobados por los representantes de Enel; además, adicionalmente realizaron mediciones de algunos parámetros in situ.

Tab. 4.42. Puntos de muestreo - C. H. Moyopampa.

PUNTO DE MUESTREO	UBICACIÓN	DESCRIPCIÓN
PCA - MO1	Sala del SAR	Cámaras del SAR donde se apreció desperdicios orgánicos e inorgánicos. Ubicada al costado del pasadizo de válvulas de regulación.
PCA - MO2	Cubeto de transformadores	Cubeto de transformadores ubicado frente a la entrada lateral de la casa de máquinas.
PCA - MO3	Sótano de transformadores	Cámara central en el sótano de transformadores donde descargan tuberías procedentes de los transformadores para luego ir al canal de descarga.

PUNTO DE MUESTREO	UBICACIÓN	DESCRIPCIÓN
PCA – MO4	Pasadizo de válvulas de regulación	Buzón del grupo 02 a donde descargan tuberías de la sala de máquinas y filtraciones del pasadizo de válvulas de regulación. Todo luego va al canal de descarga.
PCA – MO5	Canal de descarga G-03	Canal de descarga del grupo 03 ubicado debajo del pasadizo de válvulas de regulación.
PCA – MO6	Costado de campo deportivo	Caja de paso a donde llega el desagüe doméstico de la central, además del agua de drenaje pluvial y filtraciones del pasadizo lateral de la casa de máquinas frente al campo deportivo.

Fuente: Elaboración propia.

Durante el muestro, no se encontró en el PCA – MO5 cantidad suficiente de agua para tomar muestras, pues el fuerte caudal del canal de descarga lo impedía; además, en el PCA – MO6 no se encontró cantidad suficiente de agua para tomar muestras pues la central no estaba operando.

4.5.3.2 Parámetros medidos in situ

Adicionalmente en los puntos de muestreo, se midió conductividad, temperatura, pH y oxígeno, siendo los resultados los siguientes:

Tab. 4.43. Parámetros medidos in situ - C. H. Moyopampa.

PUNTO DE MUESTREO	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA $\mu\text{S}/\text{cm}$	TEMPERATURA $^{\circ}\text{C}$	pH	OXÍGENO mg/L
PCA – MO1	300	14.40	11.80	9.61
PCA – MO2	575	24.30	11.40	3.42
PCA – MO3	291	17.50	11.95	8.80
PCA – MO4	301	19.10	11.84	8.88

Fuente: Elaboración propia.

4.5.3.3 Resultados

Las muestras fueron ingresadas y analizadas en el Laboratorio AGQ (Acreditado por INACAL e I.A.S.), bajo la asesoría especializada de la empresa “Control Global de Riesgos Perú”, tomando en cuenta todos los procedimientos normados para que los resultados del análisis de agua residual industrial sean debidamente trazables y certificados.

Tab. 4.44. Resultados de muestras de agua - C. H. Moyopampa.

PARÁMETROS	PCA-MO1	PCA-MO2	PCA-MO3	PCA-MO4
DBO	M	M	M	M
DQO	M	M	M	M
Sólidos totales en suspensión	E	M	E	E
Sólidos sedimentables	M	M	M	M
Aceites y grasas	M	M	M	M
Cianuro	M	M	M	M
Cromo hexavalente	M	M	M	M
Sulfatos	M	M	M	M
Sulfuros	M	M	M	M
Nitrógeno amoniacal	M	M	M	M
pH	E	E	E	E
Temperatura	M	M	M	M
Conductividad	M	M	M	M
Oxígeno	M	E	M	M
Metales totales	M	M	M	M
Bicarbonatos (mgHCO ₃ /L)	M	M	M	M

Fuente: Elaboración propia.

Donde:

E = Excede el LMP

M = Menor al LMP

Comentarios:

- *Punto de muestreo PCA – MO1:* Valor de pH, medido in situ, 11.80, fuera de rango del LMP. Valor de Sólidos totales en suspensión 96 mg/l, elevado, siendo el LMP 50 mg/L. Valores de los demás análisis físico químicos, dentro de los parámetros establecidos. Valor de CaCO₃, nos indica que el agua es moderadamente dura.
- *Punto de muestreo PCA – MO2:* Valor de pH, medido in situ, 11.40, fuera de rango del LMP. Valores de los demás análisis físico químicos, dentro de los parámetros establecidos. Valor de CaCO₃, nos indica que el agua es moderadamente dura.
- *Punto de muestreo PCA – MO3:* Valor de pH, medido in situ, 11.95, fuera de rango del LMP. Valor de Sólidos totales en suspensión 116 mg/l, elevado, siendo el LMP 50 mg/L. Valores de los demás análisis físico químicos, dentro de los parámetros establecidos. Valor de CaCO₃, nos indica que el agua es moderadamente dura.

- *Punto de muestreo PCA – MO4:* Valor de pH 12.42, elevado, siendo el rango de LMP de 6 a 9 (Medición in situ). Valor de CaCO_3 , nos indica que el agua es moderadamente dura. Valor de pH, medido in situ, 11.84, fuera de rango del LMP. Valor de Sólidos totales en suspensión 116 mg/l, elevado, siendo el LMP 50 mg/L. Valores de los demás análisis físico químicos, dentro de los parámetros establecidos. Valor de CaCO_3 , nos indica que el agua es moderadamente dura.

4.5.4 Planteamiento de mejoras en sistemas de drenaje

A continuación, se presentarán las mejoras planteadas al sistema de drenaje, en base a los cálculos y resultados detallados en los ítems anteriores, además de las observaciones realizadas en campo.

- Clausurar los 02 sumideros que se encuentran en la sala de baterías, en el sótano de la casa de máquinas. Rellenar con concreto ($f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$), colocar mayólica acorde con la superficie alrededor.
- Instalar un sensor de nivel en el cubeto de transformadores que envíe alarmas a la sala de mando, indicando la necesidad de bombear los fluidos contenidos en el cubeto, cuando estos alcancen una altura de 4.60 m sobre el nivel de fondo, según lo calculado en la sección 4.3.1.
- Instalar una bomba en el cubeto de transformadores, que conduzca los fluidos del cubeto a la ventana de inspección del canal de descarga, ubicado al costado de la puerta principal de la casa de máquinas, mediante la instalación de una tubería.
- Instalar una escalera tipo gato en el cubeto de transformadores; además, aplicar pintura epóxica en las superficies del cubeto.
- Construir un peldaño sobre las rejillas ubicadas en las entradas de los transformadores de SSAA, a fin de evitar que filtraciones provenientes de lluvias ingresen a las cámaras colectoras de dichos transformadores.
- Rellenar los pequeños canales que se encuentran en el pasadizo de válvulas de regulación, colocar concreto ($f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$), hasta enrazar y nivelar.
- Impermeabilizar las 06 tapas metálicas de las ventanas de inspección al canal de descarga ubicadas en el pasadizo de válvulas de regulación; de igual manera, impermeabilizar los 04 buzones, las 06 tapas metálicas

ubicadas al costado de los cubetos de los RRVV y los 06 huecos para pase de tuberías.

- Construir muros en las entradas a los 04 pasadizos, ubicados a ambos lados de los alternadores de cada grupo, a fin de impedir que un posible derrame llegue al canal de descarga.
- Construir un canal al costado del pasadizo de válvulas, ubicando los puntos más altos en los extremos del pasadizo (cota de piso 907.56 msnm) y el punto más bajo frente al cubeto del RRVV del grupo 2 (cota 907.51 msnm); además, instalar una válvula en el punto más bajo de dicho canal, para permitir el paso de las filtraciones acumuladas en el canal hacia el canal de descarga, mediante la instalación de una tubería.

De las mejoras plateadas, a continuación, se presenta el metrado y presupuesto correspondiente, a ser considerados como base para el proceso de licitación de la implementación de dichas mejoras.

Tab. 4.45. Presupuesto de mejoras - C. H. Moyopampa.

Nº ITEM	PARTIDA	UNIDAD	METRADO	PRECIO UNITARIO S/.	PRECIO PARCIAL S/.	TOTAL S/.
1.0	TRABAJO PRELIMINARES					8000.00
1.1	Traslado de personal materiales y equipos	glb	1.00	8000.00	8000.00	
2.0	CUBETO DE TRANSFORMADORES					178357.42
2.1	Trazo y Replanteo de Ejes y Niveles con equipo	m ²	8.135	2.09	17.00	
2.2	Perforación en concreto para tubería de 2"	m ³	0.01	251.59	2.52	
2.3	Demolición vereda	m ³	0.18	251.59	46.12	
2.4	Demolición de losa de concreto	m ³	0.39	251.59	98.12	
2.5	Excavación de zanja para tubería	m ³	1.33	57.86	76.91	
2.6	Colocación de material granular 5 cm para cama de tubería	m ³	0.20	95.37	19.07	
2.7	Material de relleno compactado 95% PN	m ³	0.64	44.12	28.42	
2.8	Colocación de relleno no compactado	m ³	0.25	20.66	5.07	
2.9	Concreto f'c = 245 kg/cm ² para piso de cubeto	m ³	0.18	511.11	89.84	
2.10	Concreto f'c = 245 kg/cm ² para piso y vereda	m ³	0.36	511.11	182.57	
2.11	Mantenimiento de muros existentes	m ²	45.83	19.39	888.78	
2.12	Instalación de tapa de cubeto 0.80x0.80	glb	1.00	250.99	250.99	
2.13	Cajas de paso de concreto 0.60x0.60 m	und	3.00	39.25	117.75	
2.14	Tubo Ø2" PVC	m	37.69	50.00	1884.50	

Nº ITEM	PARTIDA	UNIDAD	METRADO	PRECIO UNITARIO S/.	PRECIO PARCIAL S/.	TOTAL S/.
2.15	Codo Ø2" PVC	und	11.00	1.58	17.38	
2.16	Abrazadera para Tubo Ø2" PVC	und	10.00	20.00	200.00	
2.17	Aplicación de pintura epóxica en cubeto	m ²	45.83	66.01	3025.40	
2.18	Instalación de escalera tipo gato h = 5.59 m	glb	1.00	1188.00	1188.00	
2.19	Bomba hidráulica	und	1.00	2107.71	2107.71	
2.20	Sensor de nivel	und	1.00	11880.00	11880.00	
3.0	PASADIZO DE VÁLVULAS					3656.81
3.1	Trazo y Replanteo de Ejes y Niveles con equipo	m ²	3.80	2.09	7.93	
3.2	Demolición de losa de concreto	m ³	0.57	251.59	143.22	
3.3	Concreto para canal colector f'c = 210 kg/cm ²	m ³	0.40	406.54	162.62	
3.4	Rellenar canales con concreto	m ³	0.79	392.17	310.72	
3.5	Contención de concreto 1"x2" alrededor de tapas de buzones	m	8.00	50.00	399.99	
3.6	Contención de concreto 1"x2" alrededor de tapas de ventanas de inspección	m	21.20	50.00	1060.00	
3.7	Contención de concreto 1"x2" alrededor de tapas de RRVV	m	7.80	50.00	390.00	
3.8	Contención de concreto 1"x2" alrededor de huecos de paso de tuberías	m	2.40	50.00	120.00	
3.9	Contención de concreto 1"x2" en la entrada a los pasadizos	m	6.00	50.00	300.00	
3.10	Tubo Ø2" PVC	m	5.10	50.00	255.00	
3.11	Codo Ø2" PVC	und	3.00	1.58	4.74	
3.12	Válvulas esféricas Ø2"	und	2.00	251.30	502.60	
4.0	OTROS					11282.64
4.1	Peldaño para transformadores de SSAA Concreto f'c = 210 kg/cm ²	m ³	0.63	406.54	255.71	
4.2	Acero Ø1/2" en peldaño para transformadores de SSAA	kg	51.98	3.73	193.87	
4.3	Acero Ø3/8" en peldaño para transformadores de SSAA	kg	17.71	3.73	66.05	
4.4	Contención de concreto 1"x2" para proteger transformadores de SSAA	m	9.34	50.00	467.00	
4.5	Clausurar sumideros de sala de baterías	glb	2.00	150.00	300.00	
4.6	Inducciones seguros y exámenes	glb	1.00	10000.00	10000.00	
COSTO DIRECTO						S/. 45065.59
GASTOS GENERALES 15%						S/. 6759.84
UTILIDAD 10%						S/. 4506.56
COSTO TOTAL						S/. 56331.99

Fuente: Elaboración propia.

Fecha: 2017.

Tipo de cambio: 3.26 soles.

4.6 CENTRAL HIDROELÉCTRICA CHIMAY

La central hidroeléctrica Chimay se encuentra ubicada en el valle del río Tulumayo, a 45 kilómetros de la ciudad de San Ramón, provincia de Chanchamayo y región de Junín. Entró en operaciones el año 2000.

El agua que usa para el funcionamiento de la central se trae desde el embalse del Tulumayo a través de tuberías, para posteriormente a ser usada se descarga en el río del mismo nombre. En base a la referencia Informe Final, de la C. H. Chimay, a continuación, se presentan informaciones, cálculos y resultados desarrolladas en el proyecto:

Tab. 4.46. Datos técnicos - C. H. Chimay.

CARACTERÍSTICAS	VALOR
Capacidad instalada	152 MW
Capacidad efectiva	154.8 MW
Generación media anual	845 GWh
Caudal de la central	82 m ³ /s
Altura bruta de caída	190 m
Tipo de turbina	Francis (eje vertical)
Número de grupos generadores	2

Fuente: www.enel.pe.

4.6.1 Evaluación del sistema de drenaje

4.6.1.1 Verificación de capacidad de cubeto de transformadores

Tab. 4.47. Volumen de cubetos - C. H. Chimay.

CUBETO	CARACTERÍSTICA	VALOR
De transformadores	Ancho	2.50 m
	Largo	6.30 m
	Altura	2.16 m
	Volumen	33.97 m ³

Fuente: Elaboración propia.

Tab. 4.48. Volumen de aceite de transformadores - C. H. Chimay.

TRANSFORMADOR	VOLUMEN DE ACEITE	110% VOLUMEN DE ACEITE	VOLUMEN DE CUBETO	DIFERENCIA
T - R	17.65 m ³	19.42 m ³	33.97 m ³	14.55 m ³
T - S	17.65 m ³	19.42 m ³		14.55 m ³
T - T	17.65 m ³	19.42 m ³		14.55 m ³
T - Reserva	17.65 m ³	19.42 m ³		14.55 m ³

Fuente: Elaboración propia.

Como se aprecia en la tabla 4.47 y 4.48, en la central solo existe un cubeto de los transformadores; teniendo como resultado que este si está en posibilidad de contener derrames provenientes de los transformadores.

4.6.2 Cálculos y resultados

4.6.2.1 Caudales de transformadores principales

A continuación, se presentan los caudales por transformador a fin de verificar los diámetros de las tuberías existentes.

Tab. 4.49. Caudales de transformadores principales - C. H. Chimay.

TRANSFORMADOR	VOLUMEN ACEITE	CAUDAL
T - R	17.65 m ³	2.45 lt/s
T - S	17.65 m ³	2.45 lt/s
T - T	17.65 m ³	2.45 lt/s
T - Reserva	17.65 m ³	2.45 lt/s

Fuente: Elaboración propia.

Para la verificación del diámetro de las tuberías existentes, se emplea el mayor volumen que se podría derramar proveniente de algún transformador. La obtención de la velocidad y tirante normal, empleando la ecuación de Manning, se detalla en el Anexo A.1.6.1.

Datos:

Caudal T - R: 2.45 lt/s

Resultados:

Velocidad: 0.70 m/s

Tirante normal:	0.034 m
Diámetro de tubería:	0.067 m
Diámetro comercial:	3"

Con la velocidad obtenida (Anexo A.1.6.1), se determina que el diámetro de la tubería necesario para transportar los fluidos en caso de algún derrame es de 3", valor que es sobrepasado por el existente de 8" para todos los cubetos.

4.6.2.2 Separador agua - aceite

En el Anexo A.1.6.2, se presentan los cálculos de verificación del separador agua - aceite a fin de determinar si cuenta con la capacidad necesaria para retener al aceite ante algún derrame, según los conceptos y ecuaciones plasmadas en el Capítulo 2 del presente trabajo. En la siguiente tabla se presentan los resultados obtenidos de las dimensiones del separador agua - aceite, con lo cual se garantiza el funcionamiento del separador existente:

Tab. 4.50. Resultados obtenidos del separador agua - aceite - C. H. Chimay.

DIMENSIÓN	SÍMBOLO	VALOR
Largo del separador	L	6.30 m
Ancho del separador	B	2.50 m
Número de canales separadores	n	1 und
Altura del máximo nivel de aceite presente en el agua residual	H _o	1.25 m
Altura mínima del nivel de agua	H _w	0.40 m
Altura de la tubería de salida del separador	H _s	1.45 m
Altura mínima de la tubería de entrada al separador	H _e	1.65 m

Fuente: Elaboración propia.

4.6.3 Monitoreo de calidad de agua

4.6.3.1 Puntos de muestreo de agua

Los puntos de muestreo fueron identificados durante los trabajos realizados en campo, posteriormente aprobados por los representantes de Enel; además, adicionalmente realizaron mediciones de algunos parámetros in situ.

Tab. 4.51. Puntos de muestreo - C. H. Chimay.

PUNTO DE MUESTREO	UBICACIÓN	DESCRIPCIÓN
PCA - CH1	Nivel de válvulas	Canal ubicado alrededor del armario de herramientas mecánicas que descarga mediante sumideros a la cámara de bombeo. Posteriormente el agua es drenada hacia el canal de descarga mediante bombeo.
PCA - CH2	Nivel de válvulas	Canal ubicado alrededor de las bombas del SAS que descarga mediante sumideros a la cámara de bombeo. Posteriormente el agua es drenada hacia el canal de descarga mediante bombeo.
PCA - CH3	Nivel de válvulas	Cámara de bombeo en el nivel más bajo a donde descargan todas las tuberías y canales de filtraciones. Posteriormente el agua es drenada hacia el canal de descarga mediante bombeo.
PCA - CH4	Cubeto de transformadores	Cubeto de transformadores ubicado al costado del canal de descarga. Presenta tres cámaras cuya función es separar el agua del aceite.
PCA - CH5	Canal de descarga	Canal de descarga ubicado frente a la casa de máquinas. Toda el agua generada en la central descarga en este punto.

Fuente: Elaboración propia.

Durante el muestro, en el PCA - CH3, PCA - CH4 y PCA - CH5 no se consideró necesario realizar control de calidad de agua.

4.6.3.2 Parámetros medidos in situ

Adicionalmente en los puntos de muestreo, se midió conductividad, temperatura, pH y oxígeno, siendo los resultados los siguientes:

Tab. 4.52. Parámetros medidos in situ - C. H. Chimay.

PUNTO DE MUESTREO	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA $\mu\text{S/cm}$	TEMPERATURA $^{\circ}\text{C}$	pH	OXÍGENO mg/L
PCA - CH1	151	18.40	15.25	8.18
PCA - CH2	145	18.30	15.28	8.22

Fuente: Elaboración propia.

4.6.3.3 Resultados

Las muestras fueron ingresadas y analizadas en el Laboratorio AGQ (Acreditado por INACAL e I.A.S.), bajo la asesoría especializada de la empresa “Control Global de Riesgos Perú”, tomando en cuenta todos los procedimientos normados para que los resultados del análisis de agua residual industrial sean debidamente trazables y certificados.

Tab. 4.53. Resultados de muestras de agua - C. H. Chimay.

PARÁMETROS	PCA-CH1	PCA-CH2
Sólidos totales en suspensión	M	M
Aceites y grasas	M	M
pH	E	E
Temperatura	M	M
Conductividad	M	M
Oxígeno	M	M
Metales totales	M	M

Fuente: Elaboración propia.

Donde:

E = Excede el LMP

M = Menor al LMP

Comentarios:

- *Punto de muestreo PCA – CH1:* Valor de pH 15.25, elevado, siendo el rango de LMP de 6 a 9 (Medición in situ). Los demás valores están dentro de los parámetros establecidos. Valor de Conductividad, nos indica que el agua es blanda.
- *Punto de muestreo PCA – CH2:* Valor de pH 15.28, elevado, siendo el rango de LMP de 6 a 9 (Medición in situ). Los demás valores están dentro de los parámetros establecidos. Valor de Conductividad, nos indica que el agua es blanda.

4.6.4 Planteamiento de mejoras en sistemas de drenaje

A continuación, se presentarán las mejoras planteadas al sistema de drenaje, en base a los cálculos y resultados detallados en los ítems anteriores, además de las observaciones realizadas en campo.

- Instalar un sensor de nivel en el cubeto de transformadores que envíe alarmas a la sala de mando, indicando la necesidad de bombear los fluidos contenidos en el cubeto, cuando estos alcancen una altura de 1.10 m sobre el nivel de fondo, según lo calculado en la sección 4.3.1.
- Instalar 2 válvulas en los sumideros ubicados frente a las puertas del cono de difusor descarga turbina (nivel de válvulas), a fin de permitir el paso de las filtraciones acumuladas en el pasadizo de válvulas hacia el pozo de bombeo. Construir un muro en la entrada del pasadizo que conduce a la cámara de bombeo, de esta forma quedan contenidas todas las filtraciones en el pasadizo de válvulas.
- Limpiar los sedimentos de los canales ubicados alrededor de los almacenes de herramientas mecánicas y alrededor del pasadizo de válvulas (nivel de válvulas).
- Instalar una trampa de grasa en el drenaje del lavadero de filtros ubicado en el nivel 3 (nivel de turbinas), para contener el aceite o grasa que se pueda verter al drenaje durante la limpieza de los filtros; además, reparar la tubería de descarga del lavadero pues se encuentra rota.
- Instalar un muro metálico alrededor de las unidades hidráulicas de potencia en el nivel 3 (nivel de turbinas), a fin de contener posibles derrames de aceite, y que estos drenen hacia los recintos de las turbinas mediante las canaletas de cables al costado de cada RRVV. El muro debe estar conformado por una platina y un ángulo sujetos al piso, con un sello de jebe en medio para impermeabilizar el muro.
- Instalar un muro metálico alrededor de los cojinetes superiores - pivotes en el nivel 2 (nivel de generadores), para contener posibles derrames de aceite de estos equipos. El muro debe estar conformado por una platina y un ángulo sujetos al piso, con un sello de jebe en medio para impermeabilizar el muro.
- Clausurar el sumidero ubicado en la sala de baterías en el nivel 1, a fin de evitar que los derrames de alguna batería, llegue al nivel inferior; rellenar con concreto ($f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$), dar acabado acorde con la superficie alrededor.

De las mejoras plateadas, a continuación, se presenta el metrado y presupuesto correspondiente, a ser considerados como base para el proceso de licitación de la implementación de dichas mejoras.

Tab. 4.54. Presupuesto de mejoras - C. H. Chimay.

Nº ÍTEM	PARTIDA	UNIDAD	METRADO	PRECIO UNITARIO S/.	PRECIO PARCIAL S/.	TOTAL S/.
1.0	TRABAJO PRELIMINARES					6000.00
1.1	Traslado de personal, materiales y equipos	glb	1.00	6000.00	6000.00	
2.0	SÓTANO DE GENERADORES					594.20
2.1	Platina 4"x1/4" y ángulo metálico 2"x2"x1/4"	ml	10.00	59.42	594.20	
3.0	SÓTANO DE TURBINAS					2627.62
3.1	Tee PVC Agua C-10 2"	und	1.00	37.38	37.38	
3.2	Codo PVC Agua C-10 2"	und	2.00	32.09	64.18	
3.3	Trampa de grasa	und	1.00	1673.12	1673.12	
3.4	Soporte metálico para trampa de grasa	glb	1.00	234.97	234.97	
3.5	Platina 4"x1/4" y ángulo metálico 2"x2"x1/4"	ml	10.40	59.42	617.97	
4.0	SÓTANO DE VÁLVULAS					898.50
4.1	Contención de concreto 1"x2" en entrada de pasadizo a pozo de bombeo	ml	2.05	50.00	102.50	
4.2	Codo Ø2" PVC	und	2.00	1.58	3.16	
4.3	Válvulas esféricas Ø2"	und	2.00	251.30	502.60	
4.4	Clausurar sumidero	glb	1.00	150.00	150.00	
4.5	Limpieza de canal	m ²	19.86	7.06	140.24	
5.0	OTROS					22773.18
5.1	Clausurar sumidero en sala de baterías	glb	1.00	150.00	150.00	
5.2	Tapa de metal 0.70x0.70m en separador de aceite	und	3.00	247.73	743.18	
5.3	Sensor de nivel en separador de aceite	und	1.00	11880.00	11880.00	
5.4	Inducciones, seguros y exámenes	glb	1.00	10000.00	10000.00	
COSTO DIRECTO						S/. 32893.50
GASTOS GENERALES 15%						S/. 4934.02
UTILIDAD 10%						S/. 3289.35
COSTO TOTAL						S/. 41116.87

Fuente: Elaboración propia. Fecha: 2017. Tipo de cambio: 3.26 soles.

4.7 CENTRAL HIDROELÉCTRICA YANANGO

La central hidroeléctrica Yanango se encuentra ubicada en el valle del río Tarma, a 15 kilómetros de la ciudad de San Ramón, provincia de Chanchamayo y región de Junín. Entró en operaciones el año 2000.

El agua que usa para el funcionamiento de la central se trae desde la toma Tarma, del río del mismo nombre, a través de tuberías, para posteriormente a ser usada se descarga en el río Tarma. En base a la referencia Informe Final, de la C. H. Yanango, a continuación, se presentan informaciones, cálculos y resultados desarrolladas en el proyecto:

Tab. 4.55. Datos técnicos - C. H. Yanango.

CARACTERÍSTICAS	VALOR
Capacidad instalada	43 MW
Capacidad efectiva	43.1 MW
Generación media anual	228 GWh
Caudal de la central	20 m ³ /s
Altura bruta de caída	242 m
Tipo de turbina	Francis (eje vertical)
Número de grupos generadores	1

Fuente: www.enel.pe.

4.7.1 Evaluación del sistema de drenaje

4.7.1.1 Verificación de capacidad de cubeto de transformadores

Tab. 4.56. Volumen de cubetos - C. H. Yanango.

CUBETO	CARACTERÍSTICA	VALOR
De transformadores	Ancho	4.00 m
	Largo	13.43 m
	Altura	0.95 m
	Volumen	50.94 m ³

Fuente: Elaboración propia.

Tab. 4.57. Volumen de aceite de transformadores - C. H. Yanango.

TRANSFORMADOR	VOLUMEN DE ACEITE	110% VOLUMEN DE ACEITE	VOLUMEN DE CUBETO	DIFERENCIA
T - 1	26.91 m ³	29.60 m ³	50.94 m ³	21.34 m ³

Fuente: Elaboración propia.

Como se aprecia en la tabla 4.56 y 4.57, en la central solo existe un cubeto de los transformadores; teniendo como resultado que este si está en posibilidad de contener derrames provenientes de los transformadores.

4.7.2 Cálculos y resultados

4.7.2.1 Caudales de transformadores principales

A continuación, se presentan los caudales por transformador a fin de verificar los diámetros de las tuberías existentes.

Tab. 4.58. Caudales de transformadores principales - C. H. Yanango.

TRANSFORMADOR	VOLUMEN ACEITE	CAUDAL
T - 1	26.91 m ³	3.74 lt/s

Fuente: Elaboración propia.

Para la verificación del diámetro de las tuberías existentes, se emplea el mayor volumen que se podría derramar proveniente del transformador. La obtención de la velocidad y tirante normal, empleando la ecuación de Manning, se detalla en el Anexo A.1.7.1.

Datos:

Caudal T - 1: 3.74 lt/s

Resultados:

Velocidad: 1.02 m/s

Tirante normal: 0.035 m

Diámetro de tubería: 0.068 m

Diámetro comercial: 3"

Con la velocidad obtenida (Anexo A.1.7.1), se determina que el diámetro de la tubería necesario para transportar los fluidos en caso de algún derrame es de 3", valor que es sobrepasado por el existente de 8" para el cubeto.

Adicionalmente, dentro de las mejoras recomendadas está modernizar el separador agua - aceite existente en el cubeto del transformador principal; la descarga del mismo será mediante una tubería que será instalada; dicha tubería será de PVC empotrada (a diferencia del existente, de acero), ya que esta es más económica (instalación y mantenimiento) y puede trasladar los fluidos de manera adecuada; para su diseño se consideran los volúmenes de la tabla 4.58, el diámetro obtenido en el cálculo anterior y la velocidad según el Anexo A.1.7.2.

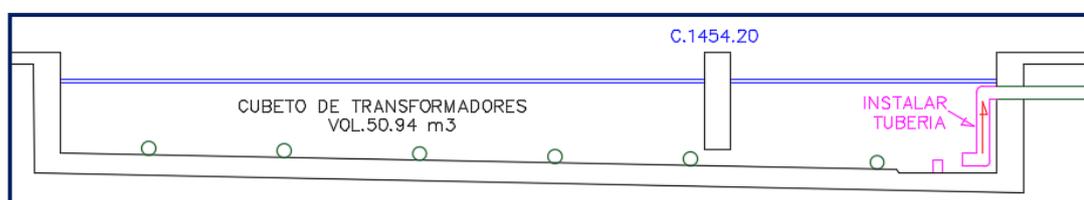


Fig. 4.6. Tubería de descarga - C. H. Yanango.

Fuente: Elaboración propia.

Con la velocidad obtenida empleando la ecuación de Manning (Anexo A.1.7.2), se determina el diámetro de las tuberías a instalar, empleando el mayor volumen de aceite que se podría derramar proveniente del transformador.

Datos:

Caudal T - 1: 3.74 lt/s

Resultados:

Velocidad: 0.90 m/s

Diámetro de tubería: 0.073 m

Diámetro comercial: 3"

El mínimo diámetro de la tubería a instalar necesario para descargar el separador agua - aceite es de 3".

4.7.2.2 Separador agua - aceite

En el Anexo A.1.7.3, se presentan los cálculos de verificación del separador agua - aceite a fin de determinar si cuenta con la capacidad necesaria para retener al aceite ante algún derrame, según los conceptos y ecuaciones plasmadas en el Capítulo 2 del presente trabajo. En la siguiente tabla se presentan los resultados obtenidos de las dimensiones del separador agua - aceite, con lo cual se garantiza el funcionamiento del separador existente:

Tab. 4.59. Resultados obtenidos del separador agua - aceite - C. H. Yanango.

DIMENSIÓN	SÍMBOLO	VALOR
Largo del separador	L	13.43 m
Ancho del separador	B	1.95 m
Número de canales separadores	n	2 und
Altura del máximo nivel de aceite presente en el agua residual	H _o	0.60 m
Altura mínima del nivel de agua	H _w	0.40 m
Altura de la tubería de salida del separador	H _s	0.90 m
Altura mínima de la tubería de entrada al separador	H _e	1.00 m

Fuente: Elaboración propia.

4.7.3 Monitoreo de calidad de agua

4.7.3.1 Puntos de muestreo de agua

Tab. 4.60. Puntos de muestreo - C. H. Yanango.

PUNTO DE MUESTREO	UBICACIÓN	DESCRIPCIÓN
PCA - YA1	Nivel de válvulas	Cámara de bombeo en el nivel más bajo a donde descargan todas las tuberías y canales de filtraciones. Posteriormente el agua es drenada hacia el canal de descarga mediante bombeo.
PCA - YA2	Cubeto de transformadores	Cubeto del transformador ubicado al costado del mismo. Presenta una capa de grava de 20 cm sobre el cubeto.
PCA - YA3	Canal de descarga	Canal de descarga ubicado frente a la casa de máquinas. Toda el agua generada en la central descarga en este punto.

Fuente: Elaboración propia.

Los puntos de muestreo fueron identificados durante los trabajos realizados en campo, posteriormente aprobados por los representantes de Enel; además, adicionalmente realizaron mediciones de algunos parámetros in situ.

Durante el muestro, en el PCA - YA1, PCA - YA2 y PCA - YA3 no se consideró necesario realizar control de calidad de agua.

4.7.4 Planteamiento de mejoras en sistemas de drenaje

A continuación, se presentarán las mejoras planteadas al sistema de drenaje, en base a los cálculos y resultados detallados en los ítems anteriores, además de las observaciones realizadas en campo.

- Instalar tuberías en las cámaras del separador de aceite al cual descarga el transformador, con la captación cerca al fondo del separador a fin de evitar que derrames de aceite lleguen al canal de drenaje pluvial ubicado al costado del separador y posteriormente al cauce del río, según las dimensiones calculadas en la sección 4.3.1.
- Impermeabilizar las 4 rejas ubicadas en el nivel 4 (nivel de válvulas), para evitar que las filtraciones lleguen directamente a las cámaras de bombeo; además, instalar válvulas en los 4 sumideros del mismo nivel, que se abrirán para drenar las filtraciones hacia las cámaras inferiores.
- Limpiar los sedimentos de los canales ubicados alrededor del pasadizo de válvulas (nivel de válvulas).
- Instalar un muro metálico alrededor de los equipos del sistema oleohidráulico y del sistema de aire comprimido de la turbina en el nivel 3 (nivel de turbinas); a fin de contener posibles derrames de aceite, y que estos drenen hacia el nivel inferior mediante las canaletas de cables al costado de los equipos. El muro debe estar conformado por una platina y un ángulo sujetos al piso, con un sello de jebe en medio para impermeabilizar el muro.
- Instalar un muro metálico alrededor de los equipos del sistema de aire comprimido del alternador en el nivel 2 (nivel de generadores), para contener posibles derrames de aceite; el muro debe estar conformado por una platina y un ángulo sujetos al piso, con un sello de jebe en medio para

impermeabilizar el muro. Además, instalar una válvula en el sumidero ubicado al costado de dichos equipos, que se abrirá para drenar las filtraciones almacenadas hacia el nivel de válvulas.

De las mejoras plateadas, a continuación, se presenta el metrado y presupuesto correspondiente, a ser considerados como base para el proceso de licitación de la implementación de dichas mejoras.

Tab. 4.61. Presupuesto de mejoras - C. H. Yanango.

Nº ÍTEM	PARTIDA	UNIDAD	METRADO	PRECIO UNITARIO S/.	PRECIO PARCIAL S/.	TOTAL S/.
1.0	TRABAJO PRELIMINARES					4000.00
1.1	Traslado de personal, materiales y equipos	glb	1.00	4000.00	4000.00	
2.0	SOTANO DE GENERADORES					762.11
2.1	Platina 4"x1/4" y ángulo metálico 2"x2"x1/4"	ml	8.57	59.42	509.23	
2.2	Válvulas esféricas Ø2"	und	1.00	251.30	251.30	
2.3	Codo Ø2" PVC	und	1.00	1.58	1.58	
3.0	SOTANO DE TURBINAS					686.30
3.1	Platina 4"x1/4" y ángulo metálico 2"x2"x1/4"	ml	11.55	59.42	686.30	
4.0	SOTANO DE VALVULAS					1869.66
4.1	Contención de concreto 1"x2" alrededor de tapas	ml	16.00	50.00	800.00	
4.2	Limpieza de canal	m ²	4.65	7.06	32.83	
4.3	Mantenimiento canal	m ²	1.31	19.39	25.31	
4.4	Válvulas esféricas Ø2"	und	4.00	251.30	1005.20	
4.5	Codo Ø2" PVC	und	4.00	1.58	6.32	
5.0	SEPARADOR DE ACEITE					1158.13
5.1	Tubo Ø8" PVC	ml	3.00	120.00	360.00	
5.2	Codo PVC 8"X90Ø	und	6.00	60.00	360.00	
5.3	Muro 15x20 cm de concreto f'c =175 kg/cm2	ml	4.76	11.77	56.00	
5.4	Encofrado para muro 15x20 cm	m ²	1.90	47.45	90.34	
5.5	Demolición de piso de cubeto de concreto, con martillo neumático	m ³	0.53	251.59	133.34	
5.6	Piso de concreto h=5cm f'c 210kg/cm ²	m ³	0.31	511.11	158.44	
6.0	OTROS					10000.00
6.1	Inducciones, seguros y exámenes	glb	1.00	10000.00	10000.00	

Nº ÍTEM	PARTIDA	UNIDAD	METRADO	PRECIO UNITARIO S/.	PRECIO PARCIAL S/.	TOTAL S/.
COSTO DIRECTO						S/. 18476.20
GASTOS GENERALES 15%						S/. 2771.43
UTILIDAD 10%						S/. 1847.62
COSTO TOTAL						S/. 23095.25

Fuente: Elaboración propia. Fecha: 2017. Tipo de cambio: 3.26 soles.

CONCLUSIONES

- ✓ Se evaluaron los sistemas de drenaje en 7 centrales hidroeléctricas representativas del país (Huinco, Callahuanca, Matucana, Moyopampa, Huampaní, Chimay y Yanango), donde se analizaron las características y necesidades de cada una de ellas, a fin de determinar las soluciones correspondientes, con el desarrollo de ingeniería de detalle.
- ✓ Se realizaron los trabajos de levantamiento y recolección de información en campo, con la coordinación permanente de los operadores de turno de cada central hidroeléctrica y cumpliendo con todos los procedimientos de seguridad establecidos, principalmente en ambientes con un alto riesgo eléctrico y espacios confinados.
- ✓ Se tomaron muestras de agua en diversos puntos estratégicos de los sistemas de drenajes en las centrales hidroeléctricas, con las cuales se evalúalo la calidad del agua, obteniendo un 74% de puntos cumplen los LMP, según:

Tab. 5.1. Resumen de resultados de monitoreo de calidad de agua.

PARÁMETROS	Huinco		Callahuanca		Matucana		Huampaní		Moyopampa		Chimay		Cumplimiento	
	M	E	M	E	M	E	M	E	M	E	M	E	M	E
Sólidos en suspensión	2	5	2	3	3	2	0	3	1	3	2	0	38%	62%
Aceites y grasas	5	2	3	2	4	1	3	0	4	0	2	0	81%	19%
pH	7	0	1	4	1	4	1	2	0	4	0	2	38%	62%
Temperatura	7	0	5	0	5	0	3	0	4	0	2	0	100%	0%
Conductividad	7	0	5	0	5	0	3	0	4	0	2	0	100%	0%
Metales totales	7	0	5	0	0	5	3	0	4	0	2	0	81%	19%
Oxígeno	7	0	2	3	4	1	3	0	3	1	2	0	81%	19%
Total	42	7	23	12	22	13	16	5	20	8	12	2	135	47
Cumplimiento	86%	14%	66%	34%	63%	37%	76%	24%	71%	29%	86%	14%	74%	26%

Fuente: Elaboración propia

Donde:

E = Excede el LMP

M = Menor al LMP

- ✓ Se brindaron propuestas para la independización de drenajes industriales en las centrales hidroeléctricas, citadas en el presente proyecto, que buscan contrarrestar los problemas existentes, ocasionados debido a las deficiencias en sus estructuras y / o en los protocolos de operatividad y mantenimiento de las mismas.
- ✓ Se lograron realizar presupuestos de todas las mejoras planteadas, a ser usados de base para licitación y posterior ejecución de trabajos. Se evidenció, además, que las centrales de mayor antigüedad requieren un mayor presupuesto, según:

Tab. 5.2. Resumen de presupuesto de mejoras.

CENTRAL HIDROELÉCTRICA	PRESUPUESTO		INICIO	ANTIGÜEDAD (años)	CAPACIDAD (MW)
	(S/.)	(kS/.)			
Huinco	75806.47	76	1964	57	267.83
Huampaní	71579.36	72	1960	61	30.90
Matucana	68485.14	68	1972	49	137.02
Callahuanca	60223.75	60	1938	83	84.17
Moyopampa	45065.59	45	1951	70	69.20
Chimay	32893.50	33	2000	21	154.80
Yanango	18476.20	18	2000	21	43.10

Fuente: Elaboración propia

RECOMENDACIONES

- ✓ Se debe realizar verificaciones de las instalaciones, equipos y estructuras, que conforman los sistemas de drenajes, de manera constante, a fin de garantizar el normal funcionamiento de los mismos y corregir de forma oportuna, las observaciones que pudiesen detectarse.
- ✓ Se debe preservar la información existente (escrita, icónica y oral) de las estructuras y sistemas dentro de cada central hidroeléctrica, a fin de disponer de dicha información, para el desarrollo de proyectos futuros de mejoramiento o remodelación.
- ✓ Se debe realizar monitoreos de calidad de agua, en los puntos comprendidos en este proyecto, posterior a la implementación de las mejoras plantadas, a fin de verificar que el porcentaje de puntos que exceden el LMP disminuya.
- ✓ Ante la instalación de equipos nuevos, que contengan sustancias contaminantes como aceites, grasas o ácidos, se debe acondicionar conexiones a los sistemas de drenaje industrial existentes, para contener posibles derrames, sin interactuar con otros tipos de drenajes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. Design and operation of oil – water separators (API - 421). IHS. Washington. 1990.

ARRISUEÑO G. MARÍA. Memoria anual e informe de sostenibilidad 2016. Enel Generación Perú S.A.A. Lima. 2016.

BANCO MUNDIAL. Libro de consulta para evaluación ambiental volumen III: Lineamientos para evaluación ambiental de los proyectos energéticos e industriales. BM. Washington. 1992.

CARDOZO F. CARLOS. Centrales hidroeléctricas: componentes básicos de un proyecto hidroeléctrico. OLADE - ITAIPU Binacional. Paraguay. 2011.

DIRECCIÓN GENERAL DE SALUD AMBIENTAL. Listado de requisitos para recepción de muestras de aguas superficiales, aguas de consumo, aguas residuales y aguas de mar. Laboratorio de control ambiental - DIGESA. Lima. 2011.

EMPRESA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA DEL SUR S.A. Plan de contingencias operativos C. H. Aricota 2017 - 2018. EGESUR. Lima. 2017.

EMPRESA NACIONAL DE ELECTRICIDAD S.A. Endesa educa. www.endesaeduca.com. ENDESA.

ENERGÍA Y CONSTRUCCIONES MODERNAS S.A.C. Informe Final Central Hidroeléctrica Callahuanca. Lima. Diciembre 2017

ENERGÍA Y CONSTRUCCIONES MODERNAS S.A.C. Informe Final Central Hidroeléctrica Chimay. Lima. Diciembre 2017

ENERGÍA Y CONSTRUCCIONES MODERNAS S.A.C. Informe Final Central Hidroeléctrica Huampaní. Lima. Diciembre 2017

ENERGÍA Y CONSTRUCCIONES MODERNAS S.A.C. Informe Final Central Hidroeléctrica Huinco. Lima. Diciembre 2017

ENERGÍA Y CONSTRUCCIONES MODERNAS S.A.C. Informe Final Central Hidroeléctrica Matucana. Lima. Diciembre 2017

ENERGÍA Y CONSTRUCCIONES MODERNAS S.A.C. Informe Final Central Hidroeléctrica Moyopampa. Lima. Diciembre 2017

ENERGÍA Y CONSTRUCCIONES MODERNAS S.A.C. Informe Final Central Hidroeléctrica Yanango. Lima. Diciembre 2017

GRUPO ENEL. Quienes somos / Generación. www.enel.pe. ENEL.

IGLESIAS CARVAJAL, SANTIAGO. Guía de impacto ambiental para centrales hidroeléctricas. UTP - Facultad de Tecnología. Colombia. 2011.

MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS. D.S. N° 015 - 2006 - EM. Reglamento para la protección ambiental en las actividades de hidrocarburos. MEM. Lima. 2006.

MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS. D.S. N° 043 - 2007 - EM. Aprueban el reglamento de seguridad para las actividades de hidrocarburos y modifican diversas disposiciones. MEM. Lima. 2006.

MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS. R.D. N° 008 - 97 - EM/DGAA. Aprueban niveles máximos permisibles para efluentes líquidos producto de actividades de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica. MEM. Lima. 1997.

MINISTERIO DEL AMBIENTE. D.S. N° 002 - 2008 MINAM. Aprueban los estándares nacionales de calidad ambiental para agua. MINAM. Lima. 2008.

MINISTERIO DEL AMBIENTE. D.S. N° 015 - 2015 MINAM. Modifican los estándares nacionales de calidad ambiental para agua y establecen disposiciones complementarias para su aplicación. El Peruano. Lima. 2015.

MINISTERIO DEL AMBIENTE. Guía del sistema nacional de gestión ambiental. MINAM. Lima. 2016.

MINISTERIO DEL AMBIENTE. Ley general del ambiente. Ley N° 28611. MINAM. Lima. 2005.

OSINERGMIN. La industria de la electricidad en el Perú: 25 años de aportes al crecimiento económico del país. Osinergmin. Lima. 2016.

POTTER MERLE C., WIGGERT DAVID C. Mecánica de fluidos. 3ra Ed. Thomson Learning. México. 2002.

SARAVIA TORRES, KATERY. Tratamiento de aguas residuales industriales - utilizando piletas API - aplicación planta de gas Malvinas. Tesis de grado FIC - UNI. Lima. 2013.

SERRANO COSIO, MIGUEL. Automatización y centralización del sistema de engrase de la central hidroeléctrica Huinco. Tesis de grado FIM - UNI. Lima. 2006.

MINISTERIO DE ENERGÍA. Guía para la Evaluación de Impacto Ambiental de Centrales de Generación de Energía Hidroeléctrica de Potencia Menor a 20 MW. Servicio de Evaluación Ambiental. Chile. 2012.

VILLANUEVA URE, REYNALDO. Centrales hidroeléctricas. EDUNI. Lima. 2010.

VOITH SIEMENS HYDRO POWER GENERATION. Transformador de poder - foso de separación agua / aceite. Memoria de cálculo. Brasil 2005.

ANEXOS

A.1 CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS

A continuación, se presentan los cálculos justificativos de los valores de velocidad utilizados en los cálculos del capítulo IV, obtenidos empleando el programa H-Canales.

A.1.1.1 Velocidad para verificación de tubería existente - C. H. Huinco

PARÁMETROS	VALOR	UNIDAD
Cota de salida	1867.16	msnm
Cota de ingreso	1867.01	msnm
Longitud de tubería	12.06	m
Pendiente	1.24	%

PARÁMETROS	VALOR	UNIDAD
Caudal T1 - W	3.40	lt/s
Diámetro de tubería	8	pulg
Rugosidad (η)	0.011	-
Velocidad	0.82	m/s

Datos:

Caudal (Q):	<input type="text" value="0.0034"/>	m ³ /s
Diámetro (d):	<input type="text" value="0.2032"/>	m
Rugosidad (n):	<input type="text" value="0.011"/>	
Pendiente (S):	<input type="text" value="0.0124"/>	m/m



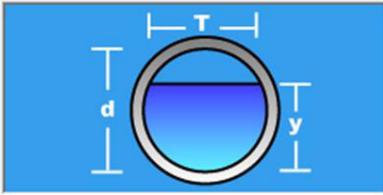
Resultados:

Tirante normal (y):	<input type="text" value="0.0378"/>	m	Perímetro mojado (p):	<input type="text" value="0.1812"/>	m
Área hidráulica (A):	<input type="text" value="0.0042"/>	m ²	Radio hidráulico (R):	<input type="text" value="0.0230"/>	m
Espejo de agua (T):	<input type="text" value="0.1581"/>	m	Velocidad (v):	<input type="text" value="0.8176"/>	m/s
Número de Froude (F):	<input type="text" value="1.6096"/>		Energía específica (E):	<input type="text" value="0.0719"/>	m·Kg/Kg
Tipo de flujo:	<input type="text" value="Supercrítico"/>				

A.1.1.2 Velocidad para verificación de tubería nueva - C. H. Huinco

PARÁMETROS	VALOR	UNIDAD
Caudal T1 - W	3.40	lt/s
Diámetro tubería	3	pulg
Rugosidad (η)	0.009	-
Pendiente	1	%
Velocidad	0.90	m/s

Datos:	
Caudal (Q):	<input type="text" value="0.0034"/> m3/s
Diámetro (d):	<input type="text" value="0.0762"/> m
Rugosidad (n):	<input type="text" value="0.009"/>
Pendiente (S):	<input type="text" value="0.01"/> m/m



Resultados:			
Tirante normal (y):	<input type="text" value="0.0588"/> m	Perímetro mojado (p):	<input type="text" value="0.1633"/> m
Area hidráulica (A):	<input type="text" value="0.0038"/> m2	Radio hidráulico (R):	<input type="text" value="0.0231"/> m
Espejo de agua (T):	<input type="text" value="0.0640"/> m	Velocidad (v):	<input type="text" value="0.9012"/> m/s
Número de Froude (F):	<input type="text" value="1.1854"/>	Energía específica (E):	<input type="text" value="0.1001"/> m-Kg/Kg
Tipo de flujo:	<input type="text" value="Supercrítico"/>		

A.1.1.3 Dimensionamiento de separador agua - aceite - C. H. Huinco

- Velocidad vertical:

$$V_t = 0.0241 \left(\frac{S_w - S_o}{\mu} \right) = 0.0241 \left(\frac{0.991 - 0.835}{0.01} \right) = 0.36 \frac{\text{ft}}{\text{min}}$$

- Velocidad horizontal:

$$V_h = 15V_t = 15 * 0.36 = 5.47 \frac{\text{ft}}{\text{min}}$$

Se considera $V_h = 3 \text{ ft/min}$, por ser el máximo valor permitido.

- Área transversal vertical mínima:

$$A_t = \frac{Q_d}{V_h} = \frac{4.71}{3} = 1.57 \text{ ft}^2$$

El valor del caudal es calculado a partir de la división entre el máximo volumen de aceite (V_o) a derramar igual a 2 m^3 y el tiempo de escurrimiento del aceite de 30 minutos, periodo conservador tomado según la velocidad horizontal calculada y basado en experiencias de siniestros ocurridos.

- Número de canales separadores:

$$n = \frac{A_t}{160} = \frac{1.57}{160} = 0.01$$

Se considera $n = 1$.

- Profundidad del canal:

$$d = \frac{A_t}{nB} = \frac{1.57}{1 * 2.4} = 0.65 \text{ ft}$$

Obtenemos $d = 0.65$ ft, considerando un ancho de canal $B = 2.4$ ft, de acuerdo a las dimensiones del canal, con lo cual no se satisface la siguiente ecuación, por lo que consideraremos $d = 0.96$ ft.

$$0.3 \leq \frac{d}{B} \leq 0.5$$

Con los valores determinados se calcula nuevamente la velocidad horizontal según:

$$V_h = \frac{Q_d}{ndB} = \frac{4.71}{1 * 0.96 * 2.4} = 2.04 \frac{\text{ft}}{\text{min}}$$

- Factor de turbulencia:

$$F_t = -0.0005 \left(\frac{V_h}{V_t} \right)^2 + 0.0355 \left(\frac{V_h}{V_t} \right) + 0.9617$$
$$F_t = -0.0005 \left(\frac{2.04}{0.36} \right)^2 + 0.0355 \left(\frac{2.04}{0.36} \right) + 0.9617 = 1.14$$

- Factor de diseño:

$$F = F_t F_c = 1.14 * 1.21 = 1.39$$

El factor de cortocircuito (F_c) es determinado experimentalmente por la API.

- Longitud del separador:

$$L = F \left(\frac{V_h}{V_t} \right) d = 1.39 \left(\frac{2.04}{0.36} \right) 0.96 = 7.46 \text{ ft}$$

Con el valor obtenido de L no se satisface la ecuación la siguiente ecuación, por lo que consideraremos $L = 12 \text{ ft}$.

$$\frac{L}{B} \geq 5$$

- Área horizontal mínima:

$$A_h = F \left(\frac{Q_d}{V_t} \right) = 1.39 \left(\frac{4.71}{0.36} \right) = 18.18 \text{ ft}^2$$

El ambiente donde se va implementar el separador, satisface el 110% de volumen requerido para contener derrames provenientes de algún equipo del pasadizo de RRVV, por lo tanto, considerando las dimensiones existentes y amparados en los resultados obtenidos en la sección anterior, tenemos:

- Dimensiones recomendadas para el separador:

Considerando las dimensiones existentes, se toma longitud = 25.23 m, ancho = 0.35 m; con lo cual se satisface ecuación de área horizontal mínima; además de tener 1 canal separador.

- Altura del máximo nivel de aceite con capacidad de almacenar:

$$H_o = 1.1 \left(\frac{V_o}{LBn} \right) = 1.1 \left(\frac{2}{25.23 * 0.35 * 1} \right) = 0.25 \text{ m}$$

- *Altura de la tubería de salida del separador:*

$$H_s = \frac{S_w H_w + S_o H_o}{S} = \frac{0.991 * 0.25 + 0.835 * 0.25}{0.998} = 0.5 \text{ m}$$

El valor de la altura mínima del nivel de agua (H_w) es considerado para garantizar que el aceite no se drene por la tubería de salida.

- Altura mínima de la tubería de entrada del separador:

$$H_e = H_o + H_w = 0.25 + 0.25 = 0.5 \text{ m}$$

A.1.2.1 Velocidad para verificación de tubería existente - C. H. Callahuanca

PARÁMETROS	VALOR	UNIDAD
Cota de salida	1384.09	msnm
Cota de ingreso	1383.83	msnm
Longitud de tubería	25.24	m
Pendiente	1.03	%

PARÁMETROS	VALOR	UNIDAD
Caudal T - 60/220 kV	2.51	lt/s
Diámetro de tubería	10	pulg
Rugosidad (η)	0.011	-
Velocidad	0.68	m/s

Datos:

Caudal (Q):	<input type="text" value="0.0025"/>	m ³ /s
Diámetro (d):	<input type="text" value="0.254"/>	m
Rugosidad (η):	<input type="text" value="0.011"/>	
Pendiente (S):	<input type="text" value="0.0103"/>	m/m



Resultados:

Tirante normal (y):	<input type="text" value="0.0319"/>	m	Perímetro mojado (p):	<input type="text" value="0.1840"/>	m
Área hidráulica (A):	<input type="text" value="0.0037"/>	m ²	Radio hidráulico (R):	<input type="text" value="0.0200"/>	m
Espejo de agua (T):	<input type="text" value="0.1683"/>	m	Velocidad (v):	<input type="text" value="0.6796"/>	m/s
Número de Froude (F):	<input type="text" value="1.4678"/>		Energía específica (E):	<input type="text" value="0.0554"/>	m-Kg/Kg
Tipo de flujo:	<input type="text" value="Supercrítico"/>				

A.1.2.2 Velocidad para verificación de tubería nueva - C. H. Callahuanca

PARÁMETROS	VALOR	UNIDAD
Caudal T - 60/220 kV	2.51	lt/s
Diámetro de tubería	3	pulg
Rugosidad (η)	0.009	-
Pendiente	1	%
Velocidad	0.86	m/s

Datos:	
Caudal (Q):	<input type="text" value="0.0025"/> m ³ /s
Diámetro (d):	<input type="text" value="0.0762"/> m
Rugosidad (n):	<input type="text" value="0.009"/>
Pendiente (S):	<input type="text" value="0.01"/> m/m



Resultados:			
Tirante normal (y):	<input type="text" value="0.0466"/> m	Perímetro mojado (p):	<input type="text" value="0.1368"/> m
Área hidráulica (A):	<input type="text" value="0.0029"/> m ²	Radio hidráulico (R):	<input type="text" value="0.0214"/> m
Espejo de agua (T):	<input type="text" value="0.0743"/> m	Velocidad (v):	<input type="text" value="0.8553"/> m/s
Número de Froude (F):	<input type="text" value="1.3766"/>	Energía específica (E):	<input type="text" value="0.0839"/> m-Kg/Kg
Tipo de flujo:	<input type="text" value="Supercrítico"/>		

A.1.2.3 Dimensionamiento de separador agua - aceite - C. H. Callahuanca

- Velocidad vertical:

$$V_t = 0.0241 \left(\frac{S_w - S_o}{\mu} \right) = 0.0241 \left(\frac{0.991 - 0.835}{0.01} \right) = 0.36 \frac{\text{ft}}{\text{min}}$$

- Velocidad horizontal:

$$V_h = 15V_t = 15 * 0.36 = 5.47 \frac{\text{ft}}{\text{min}}$$

Se considera $V_h = 3 \text{ ft/min}$, por ser el máximo valor permitido.

- Área transversal vertical mínima:

$$A_t = \frac{Q_d}{V_h} = \frac{5.32}{3} = 1.77 \text{ ft}^2$$

El valor del caudal es calculado a partir de la división entre el máximo volumen de aceite (V_o) a derramar igual a 18.09 m^3 (ver tabla 4.12) y el tiempo de escurrimiento del aceite de 2 horas, periodo conservador tomado según la velocidad horizontal calculada y basado en experiencias de siniestros ocurridos.

- Número de canales separadores:

$$n = \frac{A_t}{160} = \frac{1.77}{160} = 0.01$$

Se considera $n = 1$.

- Profundidad del canal:

$$d = \frac{A_t}{nB} = \frac{1.77}{1 * 3} = 0.59 \text{ ft}$$

Obtenemos $d = 0.59$ ft, considerando un ancho de canal $B = 3$ ft, de acuerdo a las dimensiones del cubeto (ver tabla 4.11), con lo cual no se satisface la siguiente ecuación, por lo que consideraremos $d = 1.2$ ft.

$$0.3 \leq \frac{d}{B} \leq 0.5$$

Con los valores determinados se calcula nuevamente la velocidad horizontal según:

$$V_h = \frac{Q_d}{ndB} = \frac{5.32}{1 * 1.2 * 3} = 1.48 \frac{\text{ft}}{\text{min}}$$

- Factor de turbulencia:

$$F_t = -0.0005 \left(\frac{V_h}{V_t} \right)^2 + 0.0355 \left(\frac{V_h}{V_t} \right) + 0.9617$$

$$F_t = -0.0005 \left(\frac{1.48}{0.36} \right)^2 + 0.0355 \left(\frac{1.48}{0.36} \right) + 0.9617 = 1.1$$

- Factor de diseño:

$$F = F_t F_c = 1.1 * 1.21 = 1.33$$

El factor de cortocircuito (F_c) es determinado experimentalmente por la API.

- Longitud del separador:

$$L = F \left(\frac{V_h}{V_t} \right) d = 1.33 \left(\frac{1.48}{0.36} \right) 1.2 = 6.46 \text{ ft}$$

Con el valor obtenido de L no se satisface la ecuación la siguiente ecuación, por lo que consideraremos $L = 15 \text{ ft}$.

$$\frac{L}{B} \geq 5$$

- Área horizontal mínima:

$$A_h = F \left(\frac{Q_d}{V_t} \right) = 1.33 \left(\frac{5.32}{0.36} \right) = 19.65 \text{ ft}^2$$

El cubeto de transformadores principales, donde se va implementar el separador, satisface el 110% de volumen requerido para contener el derrame de aceite proveniente de algún transformador, por lo tanto, considerando las dimensiones existentes de los mismos y amparados en los resultados obtenidos en la sección anterior, tenemos:

- Dimensiones recomendadas para el separador:

Considerando las dimensiones existentes, se toma longitud = 5 m, ancho = 3 m; con lo cual se satisface ecuación de área horizontal mínima; además de tener 1 canal separador.

- Altura del máximo nivel de aceite con capacidad de almacenar:

$$H_o = 1.1 \left(\frac{V_o}{LBn} \right) = 1.1 \left(\frac{18.09}{5 * 3 * 1} \right) = 1.35 \text{ m}$$

- *Altura de la tubería de salida del separador:*

$$H_s = \frac{S_w H_w + S_o H_o}{S} = \frac{0.991 * 0.4 + 0.835 * 1.35}{0.998} = 1.55 \text{ m}$$

El valor de la altura mínima del nivel de agua (H_w) es considerado para garantizar que el aceite no se drene por la tubería de salida.

- Altura mínima de la tubería de entrada del separador:

$$H_e = H_o + H_w = 1.35 + 0.4 = 1.75 \text{ m}$$

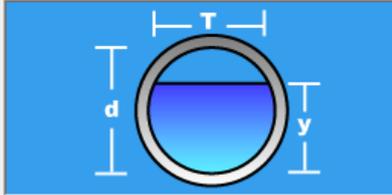
A.1.3.1 Velocidad para verificación de tubería existente - C. H. Matucana

PARÁMETROS	VALOR	UNIDAD
Cota de salida	1892.08	msnm
Cota de ingreso	1891.90	msnm
Longitud de tubería	8.96	m
Pendiente	2.01	%

PARÁMETROS	VALOR	UNIDAD
Caudal T - R	3.00	lt/s
Diámetro de tubería	4	pulg
Rugosidad (η)	0.011	-
Velocidad	1.00	m/s

Datos:

Caudal (Q):	<input type="text" value="0.003"/>	m ³ /s
Diámetro (d):	<input type="text" value="0.1016"/>	m
Rugosidad (η):	<input type="text" value="0.011"/>	
Pendiente (S):	<input type="text" value="0.0201"/>	m/m



Resultados:

Tirante normal (y):	<input type="text" value="0.0403"/>	m	Perímetro mojado (p):	<input type="text" value="0.1385"/>	m
Área hidráulica (A):	<input type="text" value="0.0030"/>	m ²	Radio hidráulico (R):	<input type="text" value="0.0216"/>	m
Espejo de agua (T):	<input type="text" value="0.0994"/>	m	Velocidad (v):	<input type="text" value="1.0009"/>	m/s
Número de Froude (F):	<input type="text" value="1.8405"/>		Energía específica (E):	<input type="text" value="0.0914"/>	m·Kg/Kg
Tipo de flujo:	<input type="text" value="Supercrítico"/>				

A.1.3.2 Velocidad para verificación de tubería nueva - C. H. Matucana

PARÁMETROS	VALOR	UNIDAD
Caudal T - R	2.51	lt/s
Diámetro de tubería	3	pulg
Rugosidad (η)	0.009	-
Pendiente	1	%
Velocidad	0.89	m/s

Datos:	
Caudal (Q):	<input type="text" value="0.003"/> m ³ /s
Diámetro (d):	<input type="text" value="0.0762"/> m
Rugosidad (n):	<input type="text" value="0.009"/> m/m
Pendiente (S):	<input type="text" value="0.01"/> m/m



Resultados:			
Tirante normal (y):	<input type="text" value="0.0530"/> m	Perímetro mojado (p):	<input type="text" value="0.1503"/> m
Área hidráulica (A):	<input type="text" value="0.0034"/> m ²	Radio hidráulico (R):	<input type="text" value="0.0225"/> m
Espejo de agua (T):	<input type="text" value="0.0701"/> m	Velocidad (v):	<input type="text" value="0.8862"/> m/s
Número de Froude (F):	<input type="text" value="1.2879"/>	Energía específica (E):	<input type="text" value="0.0930"/> m-Kg/Kg
Tipo de flujo:	<input type="text" value="Supercrítico"/>		

A.1.3.3 Dimensionamiento de separador agua - aceite - C. H. Matucana

- Velocidad vertical:

$$V_t = 0.0241 \left(\frac{S_w - S_o}{\mu} \right) = 0.0241 \left(\frac{0.991 - 0.835}{0.01} \right) = 0.36 \frac{\text{ft}}{\text{min}}$$

- Velocidad horizontal:

$$V_h = 15V_t = 15 * 0.36 = 5.47 \frac{\text{ft}}{\text{min}}$$

Se considera $V_h = 3 \text{ ft/min}$, por ser el máximo valor permitido.

- Área transversal vertical mínima:

$$A_t = \frac{Q_d}{V_h} = \frac{6.35}{3} = 2.12 \text{ ft}^2$$

El valor del caudal es calculado a partir de la división entre el máximo volumen de aceite (V_o) a derramar igual a 21.57 m^3 (ver tabla 4.21) y el tiempo de escurrimiento del aceite de 2 horas, periodo conservador tomado según la velocidad horizontal calculada y basado en experiencias de siniestros ocurridos.

- Número de canales separadores:

$$n = \frac{A_t}{160} = \frac{2.12}{160} = 0.01$$

Se considera $n = 1$.

- Profundidad del canal:

$$d = \frac{A_t}{nB} = \frac{2.12}{1 * 6.5} = 0.33 \text{ ft}$$

Obtenemos $d = 0.33$ ft, considerando un ancho de canal $B = 6.5$ ft, de acuerdo a las dimensiones del cubeto (ver tabla 4.20), con lo cual no se satisface la siguiente ecuación, por lo que consideraremos $d = 2.6$ ft.

$$0.3 \leq \frac{d}{B} \leq 0.5$$

Con los valores determinados se calcula nuevamente la velocidad horizontal según:

$$V_h = \frac{Q_d}{ndB} = \frac{6.35}{1 * 2.6 * 6.5} = 0.38 \frac{\text{ft}}{\text{min}}$$

- Factor de turbulencia:

$$F_t = -0.0005 \left(\frac{V_h}{V_t} \right)^2 + 0.0355 \left(\frac{V_h}{V_t} \right) + 0.9617$$
$$F_t = -0.0005 \left(\frac{0.38}{0.36} \right)^2 + 0.0355 \left(\frac{0.38}{0.36} \right) + 0.9617 = 1$$

- Factor de diseño:

$$F = F_t F_c = 1 * 1.21 = 1.21$$

El factor de cortocircuito (F_c) es determinado experimentalmente por la API.

- Longitud del separador:

$$L = F \left(\frac{V_h}{V_t} \right) d = 1.21 \left(\frac{0.38}{0.36} \right) 2.6 = 3.23 \text{ ft}$$

Con el valor obtenido de L no se satisface la ecuación la siguiente ecuación, por lo que consideraremos $L = 32.5 \text{ ft}$.

$$\frac{L}{B} \geq 5$$

- Área horizontal mínima:

$$A_h = F \left(\frac{Q_d}{V_t} \right) = 1.21 \left(\frac{6.35}{0.36} \right) = 21.34 \text{ ft}^2$$

El cubeto de transformadores principales, donde se va implementar el separador, satisface el 110% de volumen requerido para contener el derrame de aceite proveniente de algún transformador, por lo tanto, considerando las dimensiones existentes de los mismos y amparados en los resultados obtenidos en la sección anterior, tenemos:

- Dimensiones recomendadas para el separador:

Considerando las dimensiones existentes, se toma longitud = 12 m, ancho = 2 m; con lo cual se satisface ecuación de área horizontal mínima; además de tener 1 canal separador.

- Altura del máximo nivel de aceite con capacidad de almacenar:

$$H_o = 1.1 \left(\frac{V_o}{LBn} \right) = 1.1 \left(\frac{21.57}{12 * 2 * 1} \right) = 1 \text{ m}$$

- *Altura de la tubería de salida del separador:*

$$H_s = \frac{S_w H_w + S_o H_o}{S} = \frac{0.991 * 0.4 + 0.835 * 1}{0.998} = 1.25 \text{ m}$$

El valor de la altura mínima del nivel de agua (H_w) es considerado para garantizar que el aceite no se drene por la tubería de salida.

- Altura mínima de la tubería de entrada del separador:

$$H_e = H_o + H_w = 1 + 0.4 = 1.4 \text{ m}$$

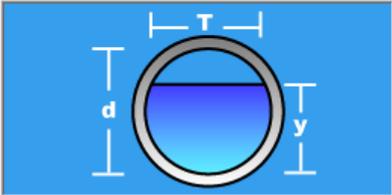
A.1.4.1 Velocidad para verificación de tubería existente - C. H. Huampaní

PARÁMETROS	VALOR	UNIDAD
Cota de salida	649.49	msnm
Cota de ingreso	649.27	msnm
Longitud de tubería	10.86	m
Pendiente	2.03	%

PARÁMETROS	VALOR	UNIDAD
Caudal T1	1.35	lt/s
Diámetro de tubería	10	pulg
Rugosidad (η)	0.011	-
Velocidad	0.71	m/s

Datos:

Caudal (Q):	<input type="text" value="0.0013"/>	m ³ /s
Diámetro (d):	<input type="text" value="0.254"/>	m
Rugosidad (η):	<input type="text" value="0.011"/>	
Pendiente (S):	<input type="text" value="0.0203"/>	m/m



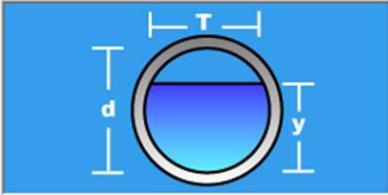
Resultados:

Tirante normal (y):	<input type="text" value="0.0199"/>	m	Perímetro mojado (p):	<input type="text" value="0.1440"/>	m
Área hidráulica (A):	<input type="text" value="0.0018"/>	m ²	Radio hidráulico (R):	<input type="text" value="0.0128"/>	m
Espejo de agua (T):	<input type="text" value="0.1364"/>	m	Velocidad (v):	<input type="text" value="0.7073"/>	m/s
Número de Froude (F):	<input type="text" value="1.9457"/>		Energía específica (E):	<input type="text" value="0.0454"/>	m-Kg/Kg
Tipo de flujo:	<input type="text" value="Supercrítico"/>				

A.1.4.2 Velocidad para verificación de tubería nueva - C. H. Huampaní

PARÁMETROS	VALOR	UNIDAD
Caudal T1	1.35	lt/s
Diámetro de tubería	2	pulg
Rugosidad (η)	0.009	-
Pendiente	1	%
Velocidad	0.68	m/s

Datos:	
Caudal (Q):	0.0013 m ³ /s
Diámetro (d):	0.0508 m
Rugosidad (n):	0.009 m/m
Pendiente (S):	0.01 m/m



Resultados:			
Tirante normal (y):	0.0452 m	Perímetro mojado (p):	0.1252 m
Área hidráulica (A):	0.0019 m ²	Radio hidráulico (R):	0.0152 m
Espejo de agua (T):	0.0318 m	Velocidad (v):	0.6822 m/s
Número de Froude (F):	0.8897	Energía específica (E):	0.0689 m-Kg/Kg
Tipo de flujo:	Subcrítico		

A.1.4.3 Dimensionamiento de separador agua - aceite - C. H. Huampaní

- Velocidad vertical:

$$V_t = 0.0241 \left(\frac{S_w - S_o}{\mu} \right) = 0.0241 \left(\frac{0.991 - 0.835}{0.01} \right) = 0.36 \frac{\text{ft}}{\text{min}}$$

- Velocidad horizontal:

$$V_h = 15V_t = 15 * 0.36 = 5.47 \frac{\text{ft}}{\text{min}}$$

Se considera $V_h = 3 \text{ ft/min}$, por ser el máximo valor permitido.

- Área transversal vertical mínima:

$$A_t = \frac{Q_d}{V_h} = \frac{2.86}{3} = 0.95 \text{ ft}^2$$

El valor del caudal es calculado a partir de la división entre el máximo volumen de aceite (V_o) a derramar igual a 9.71 m^3 (ver tabla 4.30) y el tiempo de escurrimiento del aceite de 2 horas, periodo conservador tomado según la velocidad horizontal calculada y basado en experiencias de siniestros ocurridos.

- Número de canales separadores:

$$n = \frac{A_t}{160} = \frac{0.95}{160} = 0.01$$

Se considera $n = 1$.

- Profundidad del canal:

$$d = \frac{A_t}{nB} = \frac{0.95}{1 * 3} = 0.32 \text{ ft}$$

Obtenemos $d = 0.33$ ft, considerando un ancho de canal $B = 3$ ft, de acuerdo a las dimensiones del cubeto (ver tabla 4.29), con lo cual no se satisface la siguiente ecuación, por lo que consideraremos $d = 1.2$ ft.

$$0.3 \leq \frac{d}{B} \leq 0.5$$

Con los valores determinados se calcula nuevamente la velocidad horizontal según:

$$V_h = \frac{Q_d}{ndB} = \frac{2.86}{1 * 1.2 * 3} = 0.79 \frac{\text{ft}}{\text{min}}$$

- Factor de turbulencia:

$$F_t = -0.0005 \left(\frac{V_h}{V_t} \right)^2 + 0.0355 \left(\frac{V_h}{V_t} \right) + 0.9617$$
$$F_t = -0.0005 \left(\frac{0.79}{0.36} \right)^2 + 0.0355 \left(\frac{0.79}{0.36} \right) + 0.9617 = 1.04$$

- Factor de diseño:

$$F = F_t F_c = 1.04 * 1.21 = 1.25$$

El factor de cortocircuito (F_c) es determinado experimentalmente por la API.

- Longitud del separador:

$$L = F \left(\frac{V_h}{V_t} \right) d = 1.25 \left(\frac{0.79}{0.36} \right) 1.2 = 3.28 \text{ ft}$$

Con el valor obtenido de L no se satisface la ecuación la siguiente ecuación, por lo que consideraremos $L = 15 \text{ ft}$.

$$\frac{L}{B} \geq 5$$

- Área horizontal mínima:

$$A_h = F \left(\frac{Q_d}{V_t} \right) = 1.25 \left(\frac{2.86}{0.36} \right) = 9.93 \text{ ft}^2$$

Dado que el cubeto de transformadores principales, donde se va implementar el separador, no satisface el 110% de volumen requerido para contener el derrame de aceite proveniente de algún transformador, es imperativo ampliar la capacidad del cubeto, por lo tanto, considerando las dimensiones nuevas del mismo y amparados en los resultados obtenidos en la sección anterior, tenemos:

- Dimensiones recomendadas para el separador:

Considerando las dimensiones de la ampliación, se toma longitud = 11.2 m, ancho = 1 m; con lo cual se satisface ecuación de área horizontal mínima; además de tener 1 canal separador.

- Altura del máximo nivel de aceite con capacidad de almacenar:

$$H_o = 1.1 \left(\frac{V_o}{LBn} \right) = 1.1 \left(\frac{9.71}{11.2 * 1 * 1} \right) = 0.95 \text{ m}$$

- Altura de la tubería de salida del separador:

$$H_s = \frac{S_w H_w + S_o H_o}{S} = \frac{0.991 * 0.4 + 0.835 * 0.95}{0.998} = 1.2 \text{ m}$$

El valor de la altura mínima del nivel de agua (H_w) es considerado para garantizar que el aceite no se drene por la tubería de salida.

- Altura mínima de la tubería de entrada del separador:

$$H_e = H_o + H_w = 0.95 + 0.4 = 1.35 \text{ m}$$

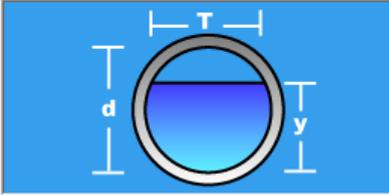
A.1.5.1 Velocidad para verificación de tubería existente - C. H. Moyopampa

PARÁMETROS	VALOR	UNIDAD
Cota de salida	906.79	msnm
Cota de ingreso	906.63	msnm
Longitud de tubería	15.84	m
Pendiente	1.01	%

PARÁMETROS	VALOR	UNIDAD
Caudal TR - G1	0.74	lt/s
Diámetro de tubería	6	pulg
Rugosidad (η)	0.011	-
Velocidad	0.49	m/s

Datos:

Caudal (Q):	<input type="text" value="0.0007"/>	m ³ /s
Diámetro (d):	<input type="text" value="0.1524"/>	m
Rugosidad (η):	<input type="text" value="0.011"/>	
Pendiente (S):	<input type="text" value="0.0101"/>	m/m



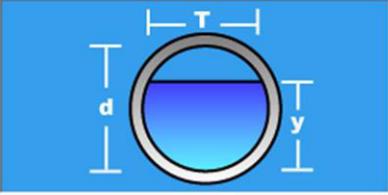
Resultados:

Tirante normal (y):	<input type="text" value="0.0201"/>	m	Perímetro mojado (p):	<input type="text" value="0.1132"/>	m
Área hidráulica (A):	<input type="text" value="0.0014"/>	m ²	Radio hidráulico (R):	<input type="text" value="0.0125"/>	m
Espejo de agua (T):	<input type="text" value="0.1031"/>	m	Velocidad (v):	<input type="text" value="0.4932"/>	m/s
Número de Froude (F):	<input type="text" value="1.3417"/>		Energía específica (E):	<input type="text" value="0.0325"/>	m·Kg/Kg
Tipo de flujo:	<input type="text" value="Supercrítico"/>				

A.1.5.2 Velocidad para verificación de tubería nueva - C. H. Moyopampa

PARÁMETROS	VALOR	UNIDAD
Caudal TR - G1	0.74	lt/s
Diámetro de tubería	2	pulg
Rugosidad (η)	0.009	-
Pendiente	1	%
Velocidad	0.62	m/s

Datos:	
Caudal (Q):	0.0007 m ³ /s
Diámetro (d):	0.0508 m
Rugosidad (n):	0.009
Pendiente (S):	0.01 m/m



Resultados:			
Tirante normal (y):	0.0275 m	Perímetro mojado (p):	0.0840 m
Área hidráulica (A):	0.0011 m ²	Radio hidráulico (R):	0.0133 m
Espejo de agua (T):	0.0506 m	Velocidad (v):	0.6248 m/s
Número de Froude (F):	1.3410	Energía específica (E):	0.0474 m-Kg/Kg
Tipo de flujo:	Supercrítico		

A.1.5.3 Dimensionamiento de separador agua - aceite - C. H. Moyopampa

- Velocidad vertical:

$$V_t = 0.0241 \left(\frac{S_w - S_o}{\mu} \right) = 0.0241 \left(\frac{0.991 - 0.835}{0.01} \right) = 0.36 \frac{\text{ft}}{\text{min}}$$

- Velocidad horizontal:

$$V_h = 15V_t = 15 * 0.36 = 5.47 \frac{\text{ft}}{\text{min}}$$

Se considera $V_h = 3 \text{ ft/min}$, por ser el máximo valor permitido.

- Área transversal vertical mínima:

$$A_t = \frac{Q_d}{V_h} = \frac{1.41}{3} = 0.47 \text{ ft}^2$$

El valor del caudal es calculado a partir de la división entre el máximo volumen de aceite (V_o) a derramar igual a 4.8 m^3 (ver tabla 4.39) y el tiempo de escurrimiento del aceite de 2 horas, periodo conservador tomado según la velocidad horizontal calculada y basado en experiencias de siniestros ocurridos.

- Número de canales separadores:

$$n = \frac{A_t}{160} = \frac{0.47}{160} = 0.01$$

Se considera $n = 1$.

- Profundidad del canal:

$$d = \frac{A_t}{nB} = \frac{0.47}{1 * 1.2} = 0.39 \text{ ft}$$

Obtenemos $d = 0.39$ ft, considerando un ancho de canal $B = 1.2$ ft, de acuerdo a las dimensiones del cubeto (ver tabla 4.38), con lo cual no se satisface la siguiente ecuación, por lo que consideraremos $d = 0.48$ ft.

$$0.3 \leq \frac{d}{B} \leq 0.5$$

Con los valores determinados se calcula nuevamente la velocidad horizontal según:

$$V_h = \frac{Q_d}{ndB} = \frac{1.41}{1 * 0.48 * 1.2} = 2.45 \frac{\text{ft}}{\text{min}}$$

- Factor de turbulencia:

$$F_t = -0.0005 \left(\frac{V_h}{V_t} \right)^2 + 0.0355 \left(\frac{V_h}{V_t} \right) + 0.9617$$

$$F_t = -0.0005 \left(\frac{2.45}{0.36} \right)^2 + 0.0355 \left(\frac{2.45}{0.36} \right) + 0.9617 = 1.18$$

- Factor de diseño:

$$F = F_t F_c = 1.18 * 1.21 = 1.43$$

El factor de cortocircuito (F_c) es determinado experimentalmente por la API.

- Longitud del separador:

$$L = F \left(\frac{V_h}{V_t} \right) d = 1.43 \left(\frac{2.45}{0.36} \right) 0.48 = 4.6 \text{ ft}$$

Con el valor obtenido de L no se satisface la ecuación la siguiente ecuación, por lo que consideraremos $L = 6 \text{ ft}$.

$$\frac{L}{B} \geq 5$$

- Área horizontal mínima:

$$A_h = F \left(\frac{Q_d}{V_t} \right) = 1.43 \left(\frac{1.41}{0.36} \right) = 5.6 \text{ ft}^2$$

El cubeto de transformadores principales, donde se va implementar el separador, satisface el 110% de volumen requerido para contener el derrame de aceite proveniente de algún transformador, por lo tanto, considerando las dimensiones existentes de los mismos y amparados en los resultados obtenidos en la sección anterior, tenemos:

- Dimensiones recomendadas para el separador:

Considerando las dimensiones existentes, se toma longitud = 1.89 m, ancho = 1.89 m; con lo cual se satisface ecuación de área horizontal mínima; además de tener 1 canal separador

- Altura del máximo nivel de aceite con capacidad de almacenar:

$$H_o = 1.1 \left(\frac{V_o}{LBn} \right) = 1.1 \left(\frac{4.8}{1.89 * 1.89 * 1} \right) = 1.5 \text{ m}$$

- *Altura de la tubería de salida del separador:*

$$H_s = \frac{S_w H_w + S_o H_o}{S} = \frac{0.991 * 0.4 + 0.835 * 1.5}{0.998} = 1.7 \text{ m}$$

El valor de la altura mínima del nivel de agua (H_w) es considerado para garantizar que el aceite no se drene por la tubería de salida.

- Altura mínima de la tubería de entrada del separador:

$$H_e = H_o + H_w = 1.5 + 0.4 = 1.9 \text{ m}$$

A.1.6.1 Velocidad para verificación de tubería existente - C. H. Chimay

PARÁMETROS	VALOR	UNIDAD
Cota de salida	1107.70	msnm
Cota de ingreso	1107.48	msnm
Longitud de tubería	21.57	m
Pendiente	1.02	%

PARÁMETROS	VALOR	UNIDAD
Caudal T - R	2.45	lt/s
Diámetro de tubería	8	pulg
Rugosidad (η)	0.011	-
Velocidad	0.70	m/s

Datos:

Caudal (Q):	<input type="text" value="0.0025"/>	m ³ /s
Diámetro (d):	<input type="text" value="0.2032"/>	m
Rugosidad (η):	<input type="text" value="0.011"/>	
Pendiente (S):	<input type="text" value="0.0102"/>	m/m

Resultados:

Tirante normal (y):	<input type="text" value="0.0341"/>	m	Perímetro mojado (p):	<input type="text" value="0.1715"/>	m
Área hidráulica (A):	<input type="text" value="0.0036"/>	m ²	Radio hidráulico (R):	<input type="text" value="0.0209"/>	m
Espejo de agua (T):	<input type="text" value="0.1519"/>	m	Velocidad (v):	<input type="text" value="0.6969"/>	m/s
Número de Froude (F):	<input type="text" value="1.4478"/>		Energía específica (E):	<input type="text" value="0.0589"/>	m-Kg/Kg
Tipo de flujo:	<input type="text" value="Supercrítico"/>				

A.1.6.2 Dimensionamiento de separador agua - aceite - C. H. Chimay

- Velocidad vertical:

$$V_t = 0.0241 \left(\frac{S_w - S_o}{\mu} \right) = 0.0241 \left(\frac{0.991 - 0.835}{0.01} \right) = 0.36 \frac{\text{ft}}{\text{min}}$$

- Velocidad horizontal:

$$V_h = 15V_t = 15 * 0.36 = 5.47 \frac{\text{ft}}{\text{min}}$$

Se considera $V_h = 3 \text{ ft/min}$, por ser el máximo valor permitido.

- Área transversal vertical mínima:

$$A_t = \frac{Q_d}{V_h} = \frac{5.19}{3} = 1.73 \text{ ft}^2$$

El valor del caudal es calculado a partir de la división entre el máximo volumen de aceite (V_o) a derramar igual a 17.65 m^3 (ver tabla 4.48) y el tiempo de escurrimiento del aceite de 2 horas, periodo conservador tomado según la velocidad horizontal calculada y basado en experiencias de siniestros ocurridos.

- Número de canales separadores:

$$n = \frac{A_t}{160} = \frac{1.73}{160} = 0.01$$

Se considera $n = 1$.

- Profundidad del canal:

$$d = \frac{A_t}{nB} = \frac{1.73}{1 * 4} = 0.43 \text{ ft}$$

Obtenemos $d = 0.43 \text{ ft}$, considerando un ancho de canal $B = 4 \text{ ft}$, de acuerdo a las dimensiones del cubeto (ver tabla 4.47), con lo cual no se satisface la siguiente ecuación, por lo que consideraremos $d = 1.6 \text{ ft}$.

$$0.3 \leq \frac{d}{B} \leq 0.5$$

Con los valores determinados se calcula nuevamente la velocidad horizontal según:

$$V_h = \frac{Q_d}{ndB} = \frac{5.19}{1 * 1.6 * 4} = 0.81 \frac{\text{ft}}{\text{min}}$$

- Factor de turbulencia:

$$F_t = -0.0005 \left(\frac{V_h}{V_t} \right)^2 + 0.0355 \left(\frac{V_h}{V_t} \right) + 0.9617$$

$$F_t = -0.0005 \left(\frac{0.81}{0.36} \right)^2 + 0.0355 \left(\frac{0.81}{0.36} \right) + 0.9617 = 1.04$$

- Factor de diseño:

$$F = F_t F_c = 1.04 * 1.21 = 1.26$$

El factor de cortocircuito (F_c) es determinado experimentalmente por la API.

- Longitud del separador:

$$L = F \left(\frac{V_h}{V_t} \right) d = 1.26 \left(\frac{0.81}{0.36} \right) 0.48 = 4.47 \text{ ft}$$

Con el valor obtenido de L no se satisface la ecuación la siguiente ecuación, por lo que consideraremos $L = 20 \text{ ft}$.

$$\frac{L}{B} \geq 5$$

- Área horizontal mínima:

$$A_h = F \left(\frac{Q_d}{V_t} \right) = 1.26 \left(\frac{5.19}{0.36} \right) = 18.17 \text{ ft}^2$$

El separador, satisface el 110% de volumen requerido para contener el derrame de aceite proveniente de algún transformador, por lo tanto, considerando las dimensiones existentes del mismo y amparados en los resultados obtenidos en la sección anterior, tenemos:

- Dimensiones recomendadas para el separador:

Considerando las dimensiones existentes, se toma longitud = 6.3 m, ancho = 2.5 m; con lo cual se satisface ecuación de área horizontal mínima; además de tener 1 canal separador

- Altura del máximo nivel de aceite con capacidad de almacenar:

$$H_o = 1.1 \left(\frac{V_o}{LBn} \right) = 1.1 \left(\frac{17.65}{6.3 * 2.5 * 1} \right) = 1.25 \text{ m}$$

- *Altura de la tubería de salida del separador:*

$$H_s = \frac{S_w H_w + S_o H_o}{S} = \frac{0.991 * 0.4 + 0.835 * 1.25}{0.998} = 1.45 \text{ m}$$

El valor de la altura mínima del nivel de agua (H_w) es considerado para garantizar que el aceite no se drene por la tubería de salida.

- Altura mínima de la tubería de entrada del separador:

$$H_e = H_o + H_w = 1.25 + 0.4 = 1.65 \text{ m}$$

A.1.7.1 Velocidad para verificación de tubería existente - C. H. Yanango

PARÁMETROS	VALOR	UNIDAD
Cota de salida	1453.50	msnm
Cota de ingreso	1453.44	msnm
Longitud de tubería	2.81	m
Pendiente	2.14	%

PARÁMETROS	VALOR	UNIDAD
Caudal T - 1	3.74	lt/s
Diámetro de tubería	8	pulg
Rugosidad (η)	0.011	-
Velocidad	1.02	m/s

Datos:	
Caudal (Q):	<input type="text" value="0.0037"/> m ³ /s
Diámetro (d):	<input type="text" value="0.2032"/> m
Rugosidad (n):	<input type="text" value="0.011"/> m/m
Pendiente (S):	<input type="text" value="0.0214"/> m/m



Resultados:			
Tirante normal (y):	<input type="text" value="0.0345"/> m	Perímetro mojado (p):	<input type="text" value="0.1725"/> m
Área hidráulica (A):	<input type="text" value="0.0036"/> m ²	Radio hidráulico (R):	<input type="text" value="0.0211"/> m
Espejo de agua (T):	<input type="text" value="0.1525"/> m	Velocidad (v):	<input type="text" value="1.0160"/> m/s
Número de Froude (F):	<input type="text" value="2.0990"/>	Energía específica (E):	<input type="text" value="0.0871"/> m-Kg/Kg
Tipo de flujo:	Supercrítico		

A.1.7.2 Velocidad para verificación de tubería nueva - C. H. Yanango

PARÁMETROS	VALOR	UNIDAD
Caudal T - 1	3.74	lt/s
Diámetro de tubería	3	pulg
Rugosidad (η)	0.009	-
Pendiente	1	%
Velocidad	0.90	m/s

Datos:	
Caudal (Q):	<input type="text" value="0.0037"/> m ³ /s
Diámetro (d):	<input type="text" value="0.0762"/> m
Rugosidad (n):	<input type="text" value="0.009"/> m/m
Pendiente (S):	<input type="text" value="0.01"/> m/m



Resultados:			
Tirante normal (y):	<input type="text" value="0.0642"/> m	Perímetro mojado (p):	<input type="text" value="0.1772"/> m
Área hidráulica (A):	<input type="text" value="0.0041"/> m ²	Radio hidráulico (R):	<input type="text" value="0.0231"/> m
Espejo de agua (T):	<input type="text" value="0.0555"/> m	Velocidad (v):	<input type="text" value="0.9022"/> m/s
Número de Froude (F):	<input type="text" value="1.0594"/>	Energía específica (E):	<input type="text" value="0.1057"/> m-Kg/Kg
Tipo de flujo:	Supercrítico		

A.1.7.3 Dimensionamiento de separador agua - aceite - C. H. Yanango

- Velocidad vertical:

$$V_t = 0.0241 \left(\frac{S_w - S_o}{\mu} \right) = 0.0241 \left(\frac{0.991 - 0.835}{0.01} \right) = 0.36 \frac{\text{ft}}{\text{min}}$$

- Velocidad horizontal:

$$V_h = 15V_t = 15 * 0.36 = 5.47 \frac{\text{ft}}{\text{min}}$$

Se considera $V_h = 3 \text{ ft/min}$, por ser el máximo valor permitido.

- Área transversal vertical mínima:

$$A_t = \frac{Q_d}{V_h} = \frac{7.92}{3} = 2.64 \text{ ft}^2$$

El valor del caudal es calculado a partir de la división entre el máximo volumen de aceite (V_o) a derramar igual a 26.91 m^3 (ver tabla 4.57) y el tiempo de escurrimiento del aceite de 2 horas, periodo conservador tomado según la velocidad horizontal calculada y basado en experiencias de siniestros ocurridos.

- Número de canales separadores:

$$n = \frac{A_t}{160} = \frac{2.64}{160} = 0.02$$

Se considera $n = 1$.

- Profundidad del canal:

$$d = \frac{A_t}{nB} = \frac{2.64}{1 * 5} = 0.53 \text{ ft}$$

Obtenemos $d = 0.53 \text{ ft}$, considerando un ancho de canal $B = 5 \text{ ft}$, de acuerdo a las dimensiones del cubeto (ver tabla 4.56), con lo cual no se satisface la siguiente ecuación, por lo que consideraremos $d = 2 \text{ ft}$.

$$0.3 \leq \frac{d}{B} \leq 0.5$$

Con los valores determinados se calcula nuevamente la velocidad horizontal según:

$$V_h = \frac{Q_d}{ndB} = \frac{7.92}{1 * 2 * 5} = 0.79 \frac{\text{ft}}{\text{min}}$$

- Factor de turbulencia:

$$F_t = -0.0005 \left(\frac{V_h}{V_t} \right)^2 + 0.0355 \left(\frac{V_h}{V_t} \right) + 0.9617$$

$$F_t = -0.0005 \left(\frac{0.79}{0.36} \right)^2 + 0.0355 \left(\frac{0.79}{0.36} \right) + 0.9617 = 1.04$$

- Factor de diseño:

$$F = F_t F_c = 1.04 * 1.21 = 1.25$$

El factor de cortocircuito (F_c) es determinado experimentalmente por la API.

- Longitud del separador:

$$L = F \left(\frac{V_h}{V_t} \right) d = 1.25 \left(\frac{0.79}{0.36} \right) 2 = 5.45 \text{ ft}$$

Con el valor obtenido de L no se satisface la ecuación la siguiente ecuación, por lo que consideraremos $L = 25 \text{ ft}$.

$$\frac{L}{B} \geq 5$$

- Área horizontal mínima:

$$A_h = F \left(\frac{Q_d}{V_t} \right) = 1.25 \left(\frac{7.92}{0.36} \right) = 27.5 \text{ ft}^2$$

El separador, satisface el 110% de volumen requerido para contener el derrame de aceite proveniente de algún transformador, por lo tanto, considerando las dimensiones existentes del mismo y amparados en los resultados obtenidos en la sección anterior, tenemos:

- Dimensiones recomendadas para el separador:

Considerando las dimensiones existentes, se toma longitud = 13.43 m, ancho = 1.95 m; con lo cual se satisface ecuación de área horizontal mínima; además de tener 2 canales separadores.

- Altura del máximo nivel de aceite con capacidad de almacenar:

$$H_o = 1.1 \left(\frac{V_o}{L B n} \right) = 1.1 \left(\frac{26.91}{13.43 * 1.95 * 2} \right) = 0.6 \text{ m}$$

- *Altura de la tubería de salida del separador:*

$$H_s = \frac{S_w H_w + S_o H_o}{S} = \frac{0.991 * 0.4 + 0.835 * 0.6}{0.998} = 0.9 \text{ m}$$

El valor de la altura mínima del nivel de agua (H_w) es considerado para garantizar que el aceite no se drene por la tubería de salida.

- Altura mínima de la tubería de entrada del separador:

$$H_e = H_o + H_w = 0.6 + 0.4 = 1 \text{ m}$$

A.2 HOJAS DE CAMPO

A continuación, se presentan hojas de campo, con algunas observaciones tomadas en los trabajos desarrollados en el proyecto:

HOJA DE CAMPO N° 1	
Figura:	Interior de cubeto de respaldo de transformadores 60/220 kV - C. H. Callahuanca.

HOJA DE CAMPO N° 1	
Ubicación:	Interior de cubeto de respaldo de transformadores 60/220 kV en los exteriores de la casa de máquinas de la C. H. Callahuanca.
Problema identificado:	Las paredes del cubeto no presentan un adecuado acabado superficial frente a infiltraciones de líquidos contenidos en su interior.
Causas del problema:	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Inadecuado proceso constructivo. ✓ Falta de mantenimiento constante. ✓ Desconocimiento de normatividad vigente (D.S. 015 - 2006 EM).
Soluciones planteadas:	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Colocar material impermeabilizante en las paredes. ✓ Implementar procedimientos de mantenimiento periódico.
	

HOJA DE CAMPO N° 2	
Figura:	Vista panorámica de los transformadores 60/220 kV de la C. H. Callahuanca.
Ubicación:	Transformadores 60/220 kV en los exteriores de la casa de máquinas de la C. H. Callahuanca.
Problema identificado:	Los sumideros ubicados debajo de los transformadores, están expuestos a captar agua proveniente de lluvias.
Causas del problema:	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Falta de vaciado de cubetos con mayor frecuencia en época de avenidas. ✓ Falta de mantenimiento a las estructuras existentes de contención.
Soluciones planteadas:	Implementar un separador agua - aceite, para evacuar el agua de lluvias, sin riesgo de que sea vertida con aceites.

HOJA DE CAMPO N° 2



HOJA DE CAMPO N° 3



Figura:	Sumidero cubierto de sedimentos en el sótano de válvulas - C. H. Yanango.
Ubicación:	Sótano N° 4 (nivel de válvulas) de la casa de máquinas de la C. H. Yanango.
Problema identificado:	Obstrucción por sedimentación sobre sumidero colector de filtraciones.
Causas del problema:	✓ Falta de limpieza de sedimentos acumulados.

HOJA DE CAMPO N° 3	
	Falta de mantenimiento del sumidero.
Soluciones planteadas:	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Cambio del sumidero deteriorado. ✓ Limpieza de los sedimentos en el área. Implementar procedimientos de mantenimiento periódico.

HOJA DE CAMPO N° 4	
	
Figura:	Caja de paso de agua del SAR - C. H. Huampaní.
Ubicación:	Entre el canal de descarga y la parte posterior del puesto policial de la C. H. Huampaní.
Problema identificado:	El agua de lluvia ingresa a la caja de paso destinada al drenaje industrial de la casa de máquinas.
Causas del problema:	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Inadecuado sellado de la tapa de la caja de paso. ✓ Falta de mantenimiento de la caja de paso.
Soluciones planteadas:	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Cambio de tapa de caja con sello impermeabilizante. ✓ Implementar procedimientos de mantenimiento periódico.

HOJA DE CAMPO N° 5	
Figura:	Cubeto de transformadores - C. H. Huampaní.
Ubicación:	Parte posterior de la casa de máquinas de la C. H. Huampaní.
Problema identificado:	El cubeto contiene agua y residuos sólidos.
Causas del problema:	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Los mecanismos de captación de los transformadores están expuestos a lluvias. ✓ Falta de mantenimiento constante. ✓ La tapa de acceso al cubeto permite filtraciones de lluvia.

HOJA DE CAMPO N° 5

Soluciones planteadas:

- ✓ Impermeabilizar la tapa de acceso al cubeto.
- ✓ Aislar a los transformadores del drenaje pluvial.
- ✓ Programar limpieza de residuos y bombeo del agua dentro del cubeto.



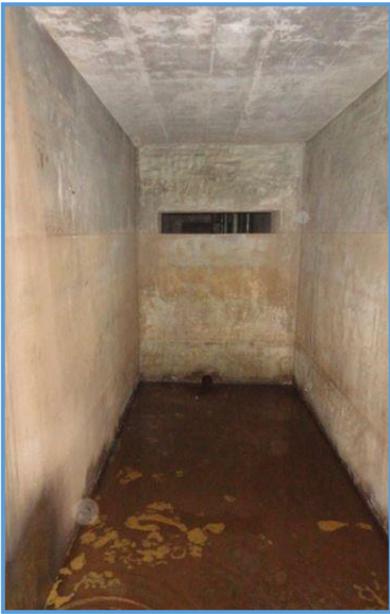
HOJA DE CAMPO N° 6



Figura:

Trasformadores de SSAA - C. H. Huampaní.

HOJA DE CAMPO N° 6	
Ubicación:	Sala de transformadores de SSAA en casa de máquinas de la C. H. Huampaní.
Problema identificado:	Los transformadores de SSAA no cuentan con un sistema de contención anti derrames.
Causa del problema:	Desconocimiento de normatividad vigente (D.S. 015 - 2006 EM).
Soluciones planteadas:	Instalación de sumideros en la sala de transformadores que descarguen a un cubeto de contención a instalar, con un volumen igual al 110% del volumen de aceite del transformador con mayor capacidad.

HOJA DE CAMPO N° 7	
	
Figura:	Cubeto del transformador 4-W - C. H. Huinco.
Ubicación:	Interior del cubeto del transformador 4-W en el pasadizo de cubetos en el sótano de la caverna de la C. H. Huinco.
Problema identificado:	Cubetos con presencia de agua y sedimentos.
Causa del problema:	Falta de mantenimiento constante.
Soluciones planteadas:	Programar limpieza de sedimentos y bombeo del agua dentro de los cubetos.

HOJA DE CAMPO N° 8	
Figura:	Sumidero del cubeto del transformador 4-V - C. H. Huinco.
Ubicación:	Interior del cubeto del transformador 4-V en el pasadizo de cubetos en el sótano de la caverna de la C. H. Huinco.
Problema identificado:	Sumidero abierto en el cubeto central del grupo 4.
Causas del problema:	✓ Inadecuada válvula de control de descargas en el cubeto.

HOJA DE CAMPO N° 8

	✓ Falta de mantenimiento constante.
Soluciones planteadas:	✓ Cambio de válvula de control de descargas en el cubeto. ✓ Implementar procedimientos de mantenimiento periódico.
	

HOJA DE CAMPO N° 9

	
Figura:	Canal colector del pasadizo de RRVV - C. H. Huinco.
Ubicación:	Interior de canal colector del pasadizo de RRVV en el sótano de la C. H. Huinco.

HOJA DE CAMPO N° 9	
Problema identificado:	Sedimentación en el fondo del canal colector.
Causas del problema:	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Combinación inadecuada de drenaje industrial y pluvial de filtraciones de la caverna. ✓ Falta de mantenimiento constante.
Soluciones planteadas:	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Aislar el drenaje industrial del pluvial. ✓ Implementar procedimientos de mantenimiento periódico.

HOJA DE CAMPO N° 10	
	
Figura:	Inicio de canal de descarga en pasadizo de válvulas - C. H. Matucana.
Ubicación:	Inicio de canal de descarga en pasadizo de válvulas de la C. H. Matucana.
Problema identificado:	El canal de descarga contiene residuos sólidos.
Causas del problema:	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Falta de limpieza de residuos en canal de descarga. ✓ Mal mantenimiento de mecanismos de purga.
Soluciones planteadas:	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Implementar procedimientos de mantenimiento periódico. ✓ Programar limpieza de residuos en el canal de descarga.

HOJA DE CAMPO N° 11	
Figura:	Tubería de descarga del pasadizo de válvulas al canal de descarga - C. H. Matucana.
Ubicación:	Inicio de canal de descarga en pasadizo de válvulas de la C. H. Matucana.
Problema identificado:	Descarga directa de tubería colectora de filtraciones a canal de descarga.

HOJA DE CAMPO N° 11

Causa del problema:	Inadecuado control de vertimientos a canal de descarga.
Soluciones planteadas:	Instalar contención metálica con una válvula de cierre para descargas controladas a canal de descarga.



HOJA DE CAMPO N° 12



Figura: Bandejas de captación y sumideros en el pasadizo de RRVV - C. H. Matucana.

HOJA DE CAMPO N° 12	
Ubicación:	Pasadizo de RRVV en sótano de casa de máquinas de la C. H. Matucana.
Problema identificado:	Sistema colector de filtraciones deteriorado.
Causa del problema:	Falta de mantenimiento de sumideros y trampas metálicas.
Soluciones planteadas:	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Reemplazo de sumideros y sus respectivos accesorios. ✓ Implementar procedimientos de mantenimiento periódico.

HOJA DE CAMPO N° 13	
	
Figura:	Cámara de contención del sótano del grupo generador 1 - C. H. Callahuanca.
Ubicación:	Sótano del grupo generador 1 de la C. H. Callahuanca.
Problema identificado:	Cámara de contención contiene agua y residuos sólidos.
Causas del problema:	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Falta de limpieza de cámara de contención. ✓ Falta de bombeo de agua dentro de cámara de contención.
Soluciones planteadas:	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Programar limpieza de residuos y bombeo del agua dentro del cubeto. ✓ Implementar procedimientos de mantenimiento periódico.

HOJA DE CAMPO N° 14	
Figura:	Trasformadores de SSAA - C. H. Callahuanca.
Ubicación:	Sala de trasformadores de SSAA de la casa de máquinas de la C. H. Callahuanca.
Problema identificado:	Los trasformadores de SSAA no cuentan con un sistema de contención anti derrames.

HOJA DE CAMPO N° 14

Causa del problema:	Desconocimiento de normatividad vigente (D.S. 015 - 2006 EM).
Soluciones planteadas:	Instalación de sumideros en la sala de transformadores que descarguen al cubeto de trasformadores de S.S.A.A. 60/10 kV.



HOJA DE CAMPO N° 15



Figura:	Cubeto de trasformadores de S.S.A.A. 60/10 kV - C. H. Callahuanca.
Ubicación:	Sótano de cables de la casa de máquinas de la C. H. Callahuanca.
Problema identificado:	Cubeto posee volumen menor al requerido (ver tabla 4.27).

HOJA DE CAMPO N° 15	
Causa del problema:	Desconocimiento de normatividad vigente (D.S. 015 - 2006 EM).
Soluciones planteadas:	Instalar un cubeto metálico con el volumen requerido, que se conecte al existente y trabajen en paralelo.

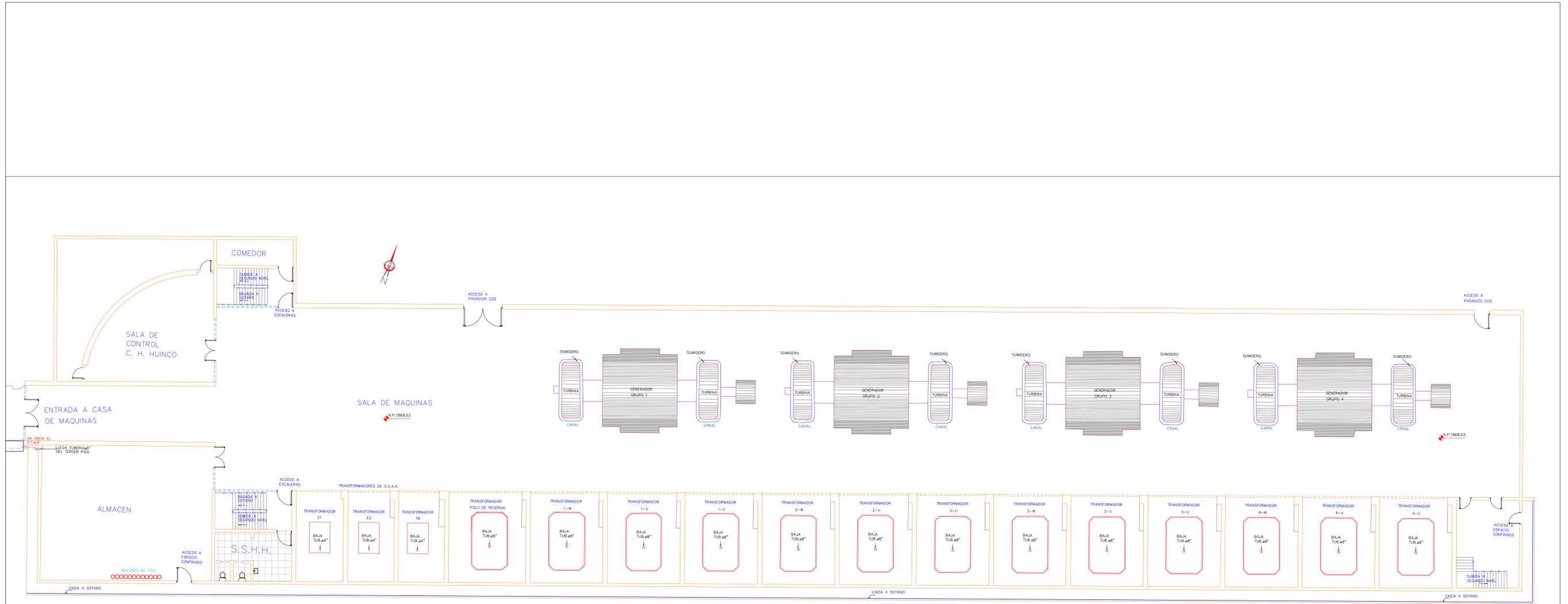
A.3 PLANOS DE CENTRALES HIDROELÉCTRICAS

A continuación, se presentan los principales Planos de Centrales Hidroeléctricas, desarrollados en el proyecto:

- ✓ Lámina P01: CH Huinco - Sala de máquinas.
- ✓ Lámina P02: CH Callahuanca - Sala de máquinas.
- ✓ Lámina P03: CH Matucana - Exteriores.
- ✓ Lámina P04: CH Moyopampa - Sala de máquinas.
- ✓ Lámina P05: CH Huampaní - Sala de máquinas.
- ✓ Lámina P06: CH Chimay - Exteriores.
- ✓ Lámina P07: CH Yanango - Exteriores.

Adicionalmente, se presentan los principales Planos de Diagramas de Drenajes, desarrollados en el proyecto:

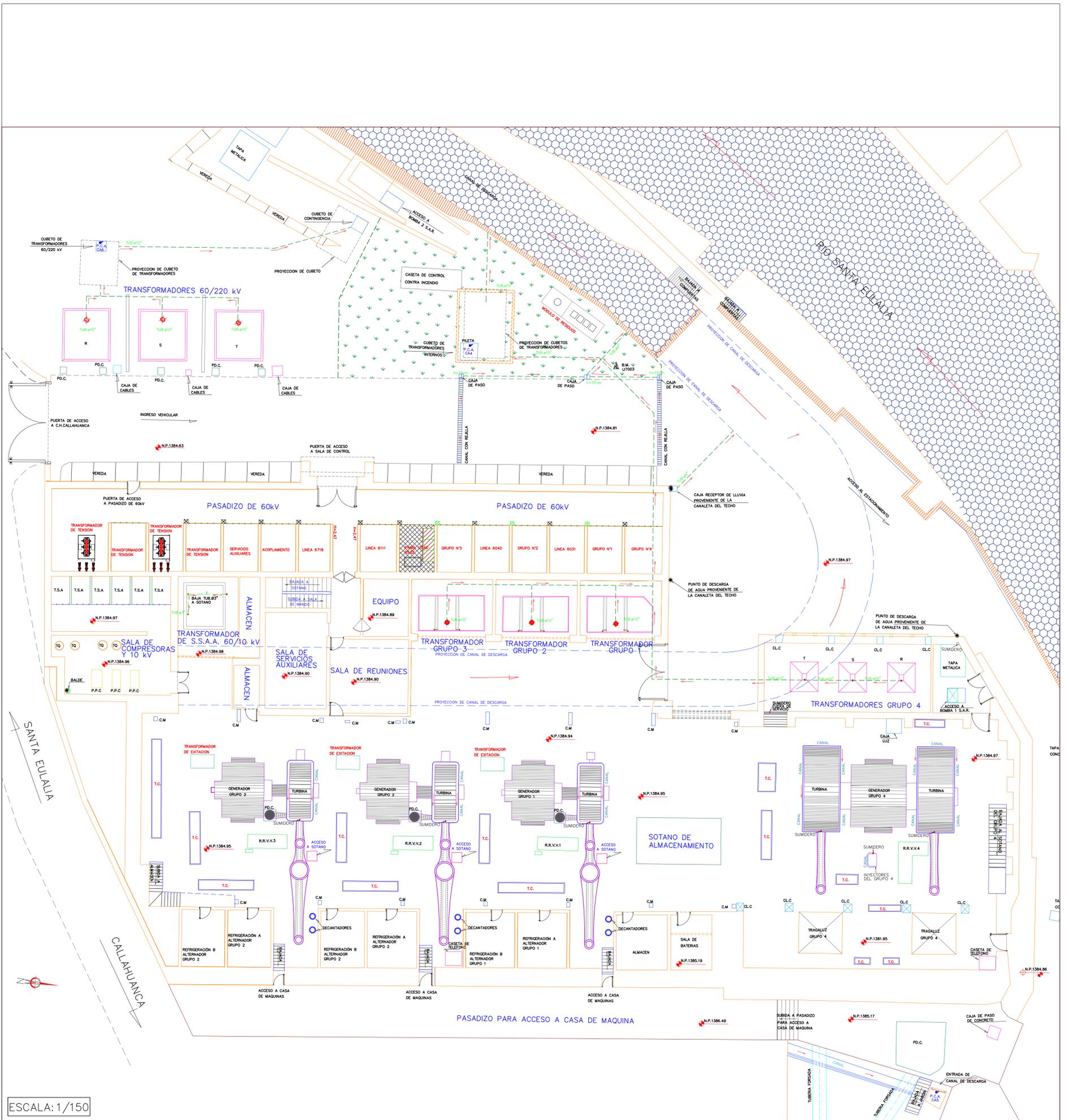
- ✓ Lámina P08: CH Huinco - Diagramas de cubetos.
- ✓ Lámina P09: CH Callahuanca - Diagramas de cubetos.
- ✓ Lámina P10: CH Matucana - Diagramas de cubetos.
- ✓ Lámina P11: CH Moyopampa - Diagramas de exteriores.
- ✓ Lámina P12: CH Huampaní - Diagramas de exteriores.
- ✓ Lámina P13: CH Chimay - Diagramas de exteriores.
- ✓ Lámina P14: CH Yanango - Diagramas de central.



ESCALA: 1/150

LEYENDA	
	PERIMETRO
	TRAFOS
	BAJADA DE TUBERIA
	TRANSFORMADOR
	PARED DE VIDRIO

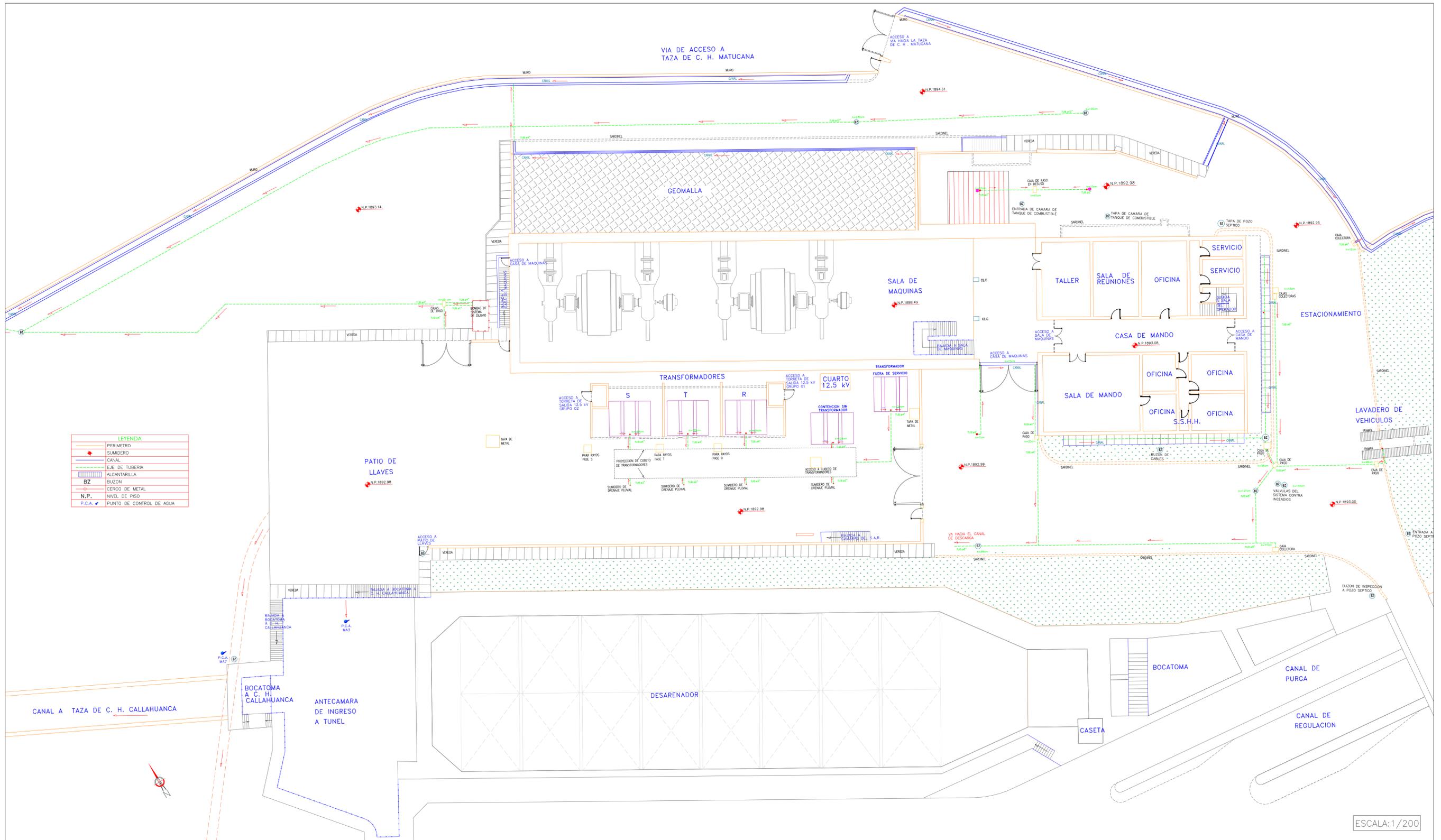
TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL: EVALUACION Y PROPUESTAS DE INDEPENDIZACION DE DRENAJES EN CENTRALES HIDROELECTRICAS		ANEXO: A.3
PLANO: CH HUINCO - SALA DE MAQUINAS	FACULTAD: FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL - UNI	BACHILLER: OLIVERA MONTENEGRO, RICHARD MANUEL
		LAMINA: P01



ESCALA: 1/150

LEYENDA	
	PERIMETRO
	SARDINEL
	CANAL
	PROYECCION DE CANAL DE DESCARGA
	EJE DE TUBERIA
	TUBERIA DE DRENAJE
	R.R.V.V. REGULADOR DE VELOCIDAD
	TANQUE
	PEDESTAL PARA COMPRESORA
	PEDESTAL DE CONCRETO
	COLUMNA METALICO
	COLUMNA DE CONCRETO
	TABLERO DE CONTROL
	TRANSFORMADORES DE SERVICIOS AUXILIARES
	PUNTO DE CONTROL DE AGUA
	NIVEL DE PISO

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL:		ANEXO:	
EVALUACION Y PROPUESTAS DE INDEPENDIZACION DE DRENAJES EN CENTRALES HIDROELECTRICAS		A.3	
PLANO:	FACULTAD:	BACHILLER:	LAMINA:
CH CALLAHUANCA - SALA DE MAQUINAS	FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL - UNI	OLIVERA MONTENEGRO, RICHARD MANUEL	P02



LEYENDA	
	PERIMETRO
	SUMIDERO
	CANAL
	EJE DE TUBERIA
	ALCANTARILLA
	BZ
	BUZON
	CERCO DE METAL
	N.P.
	PUNTO DE CONTROL DE AGUA

ESCALA: 1/200

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL:			ANEXO:
EVALUACION Y PROPUESTAS DE INDEPENDIZACION DE DRENAJES EN CENTRALES HIDROELECTRICAS			A.3
PLANO:	FACULTAD:	BACHILLER:	LAMINA:
CH MATUCANA - EXTERIORES	FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL - UNI	OLIVERA MONTENEGRO, RICHARD MANUEL	P03

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL:
EVALUACION Y PROPUESTAS DE
INDEPENDIZACION DE DRENAJES
EN CENTRALES HIDROELECTRICAS

PLANO:
CH MOYOPAMPA - SALA DE MAQUINAS

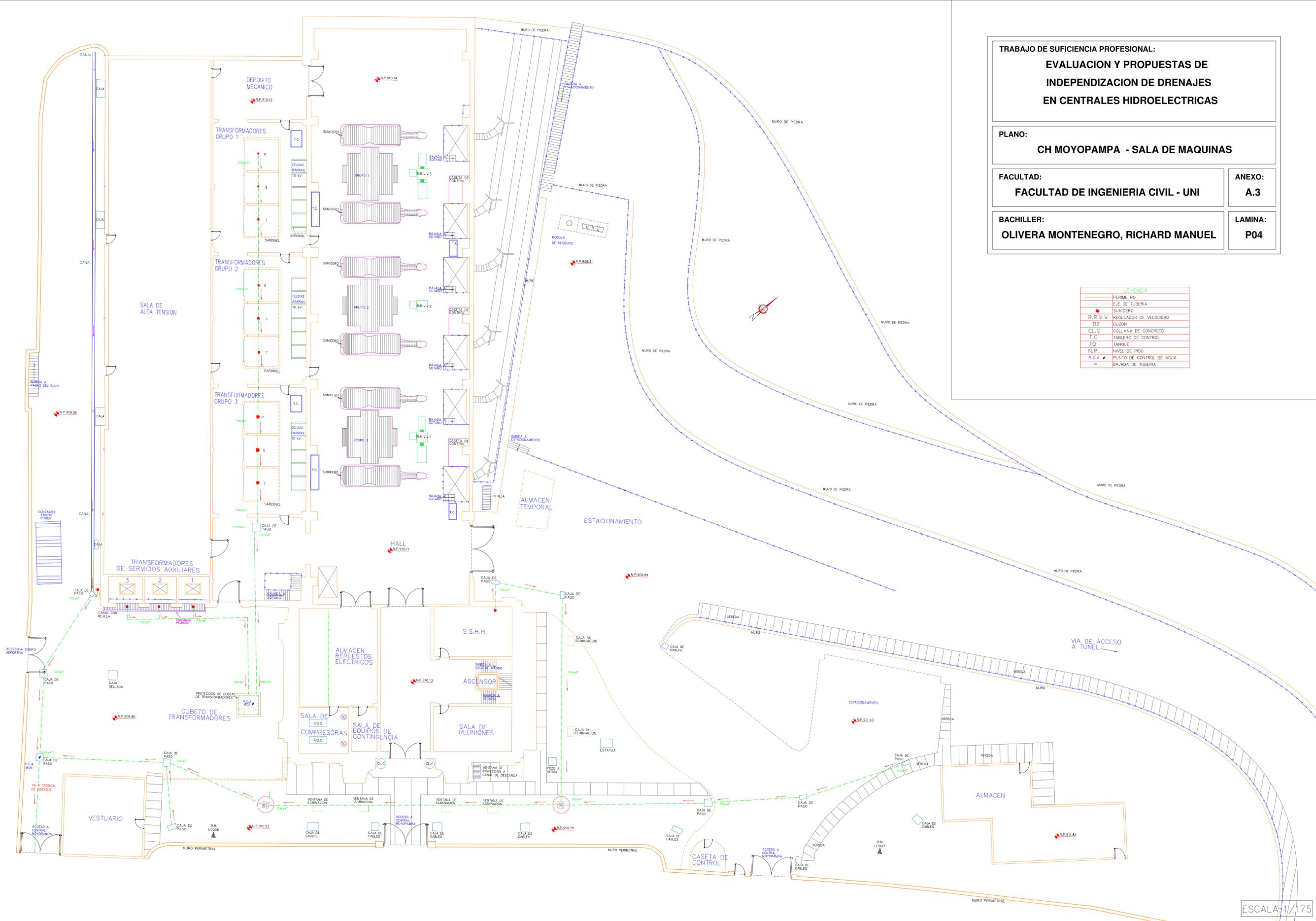
FACULTAD:
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL - UNI

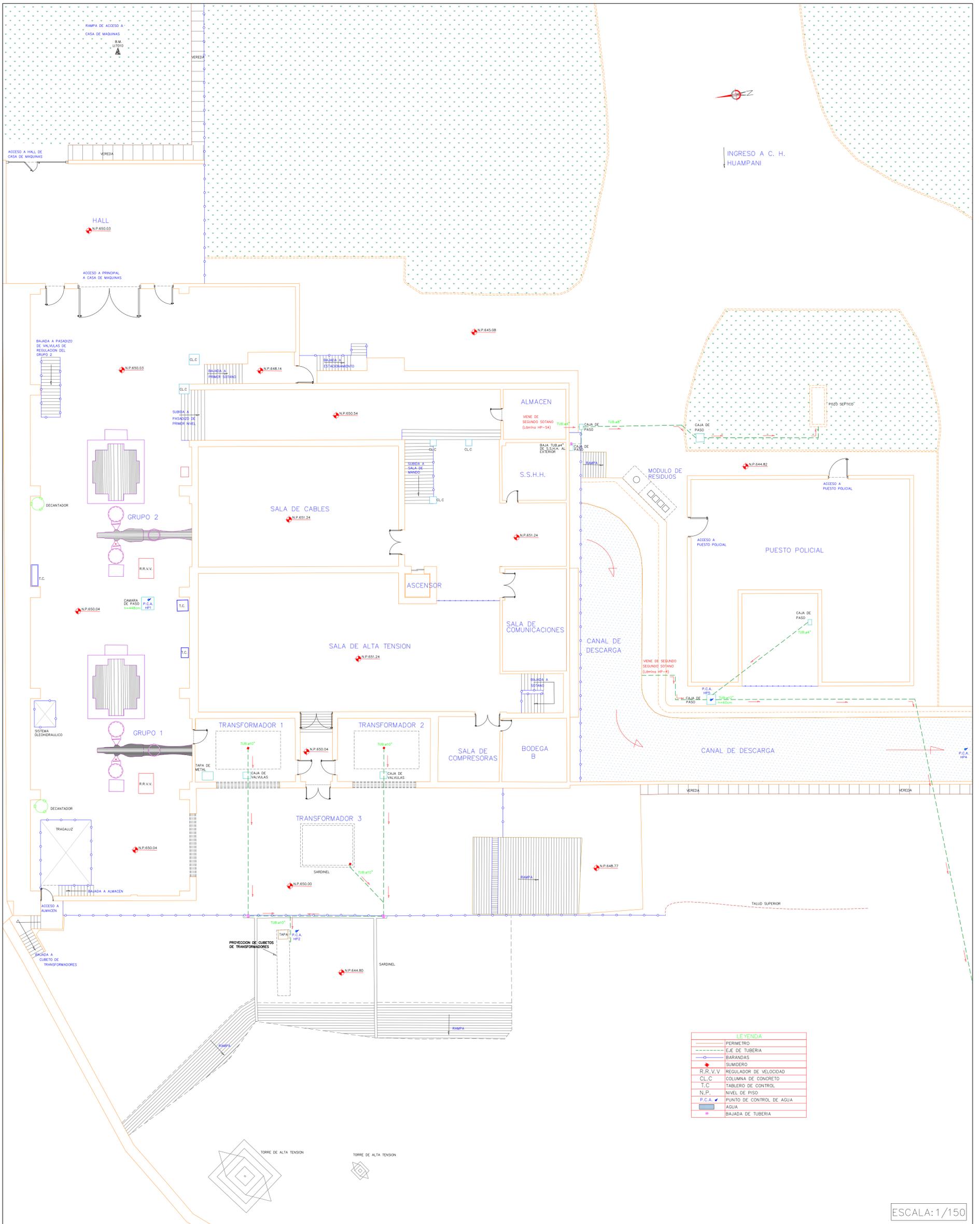
ANEXO:
A.3

BACHILLER:
OLIVERA MONTENEGRO, RICHARD MANUEL

LAMINA:
P04

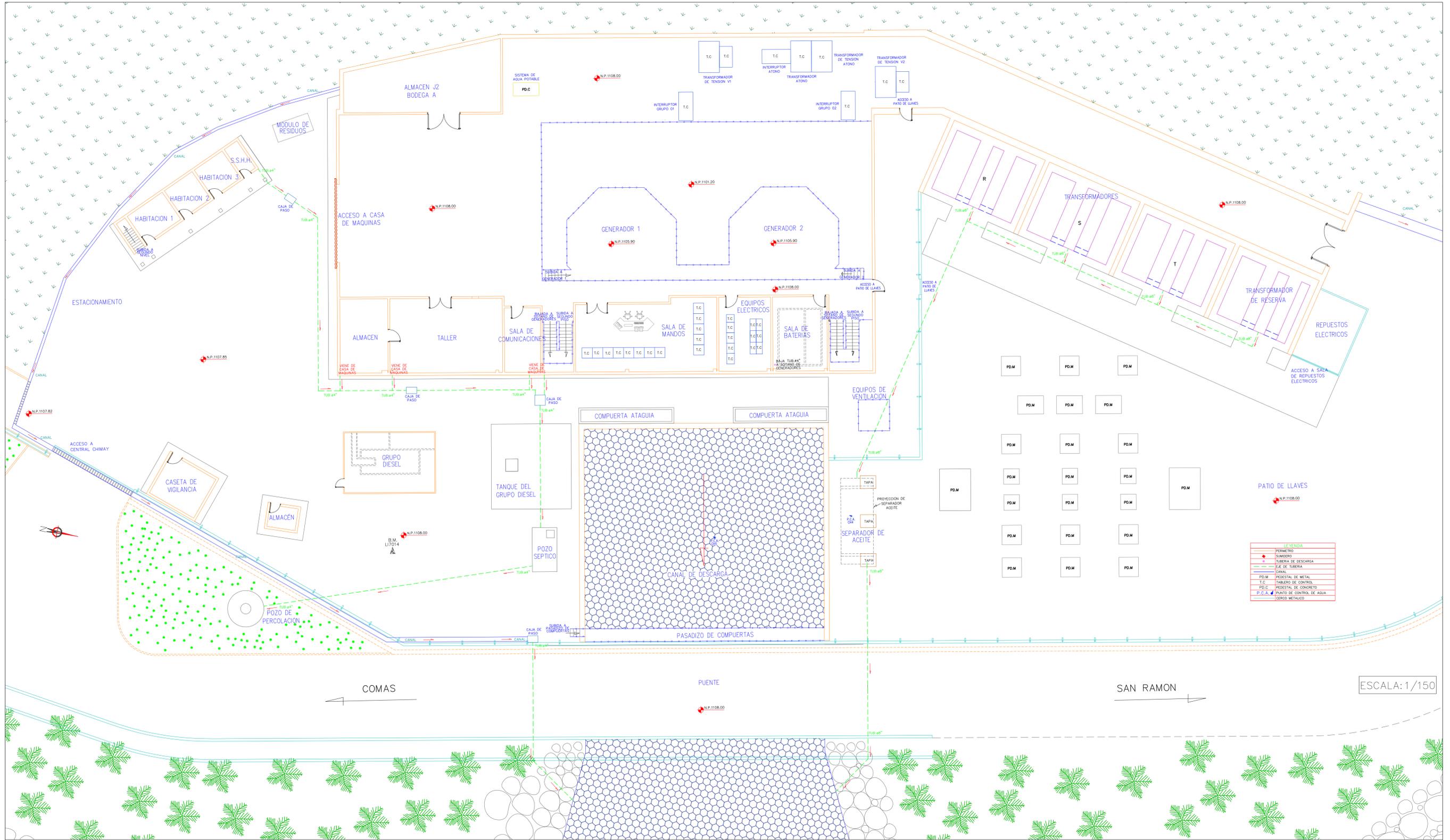
LEYENDA	
---	PERIMETRO
---	EJE DE TUBERIA
●	SUMIDERO
R.R.V.V	REGULADOR DE VELOCIDAD
B.Z	BUZON
CL.C	COLUMNA DE CONCRETO
T.C	TABLERO DE CONTROL
TQ	TANQUE
N.P.	NIVEL DE PISO
P.C.A.	PIUNTO DE CONTROL DE AGUA
■	BAJADA DE TUBERIA





ESCALA: 1/150

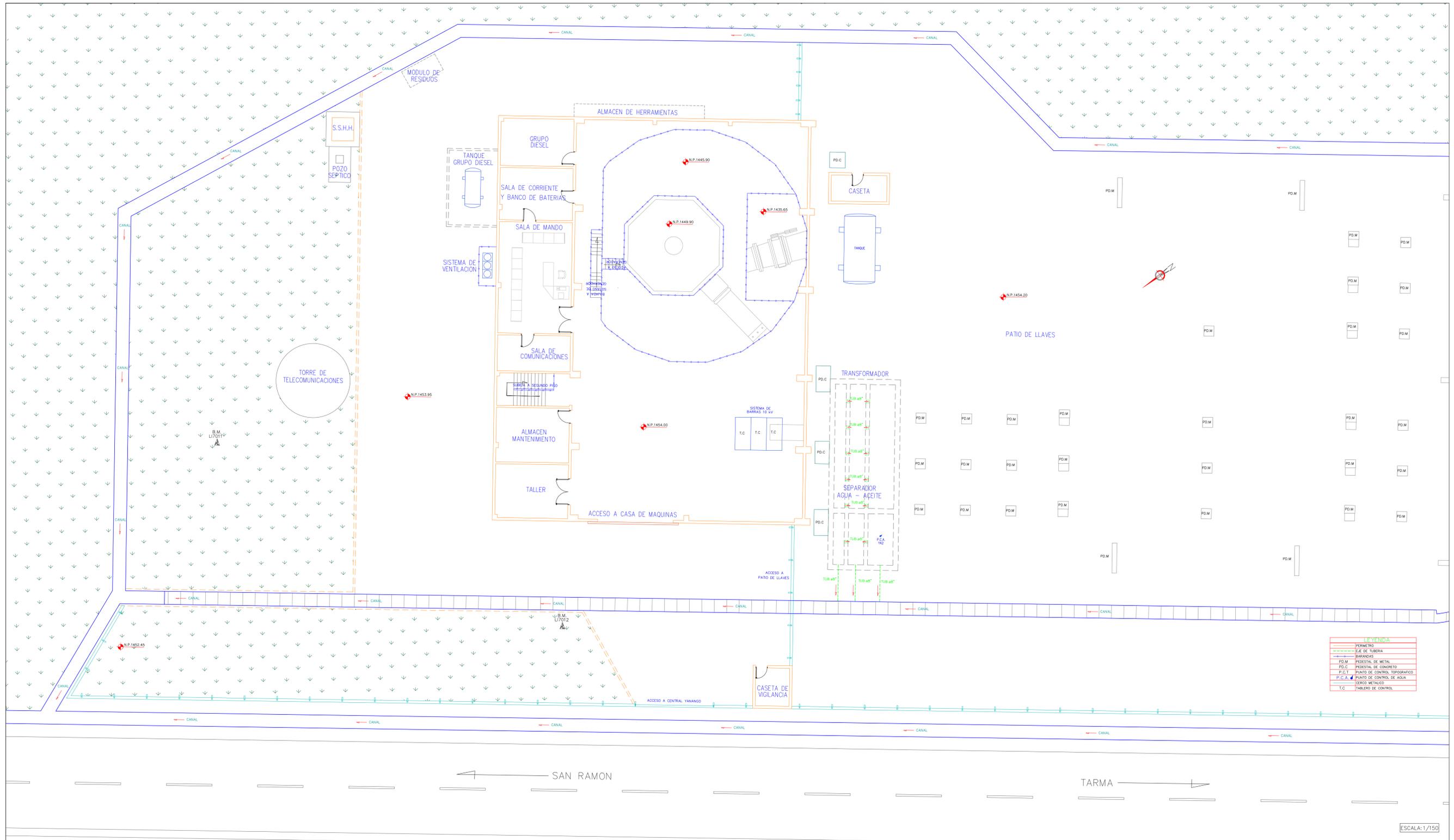
TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL: EVALUACION Y PROPUESTAS DE INDEPENDIZACION DE DRENAJES EN CENTRALES HIDROELECTRICAS		ANEXO: A.3
PLANO: CH HUAMPANI - SALA DE MAQUINAS	FACULTAD: FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL - UNI	BACHILLER: OLIVERA MONTENEGRO, RICHARD MANUEL
		LAMINA: P05



LEYENDA	
	FINIENDO
	SUMIDERO
	TUBERIA DE DESCARGA
	L.I.E. DE TUBERIA
	CANAL
	P.D.M. PEDESTAL DE METAL
	T.C. TABLERO DE CONTROL
	P.D.C. PEDESTAL DE CONCRETO
	F.C.A. PUNTO DE CONTROL DE AGUA
	CERCO METALICO

ESCALA: 1/150

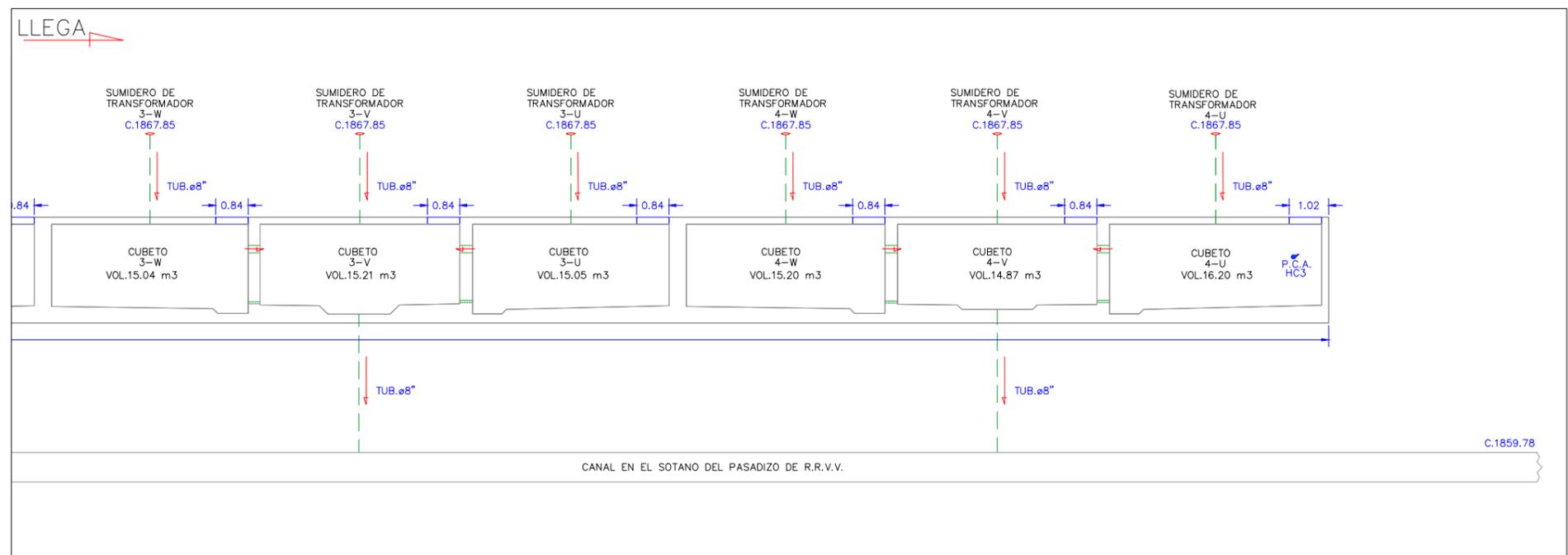
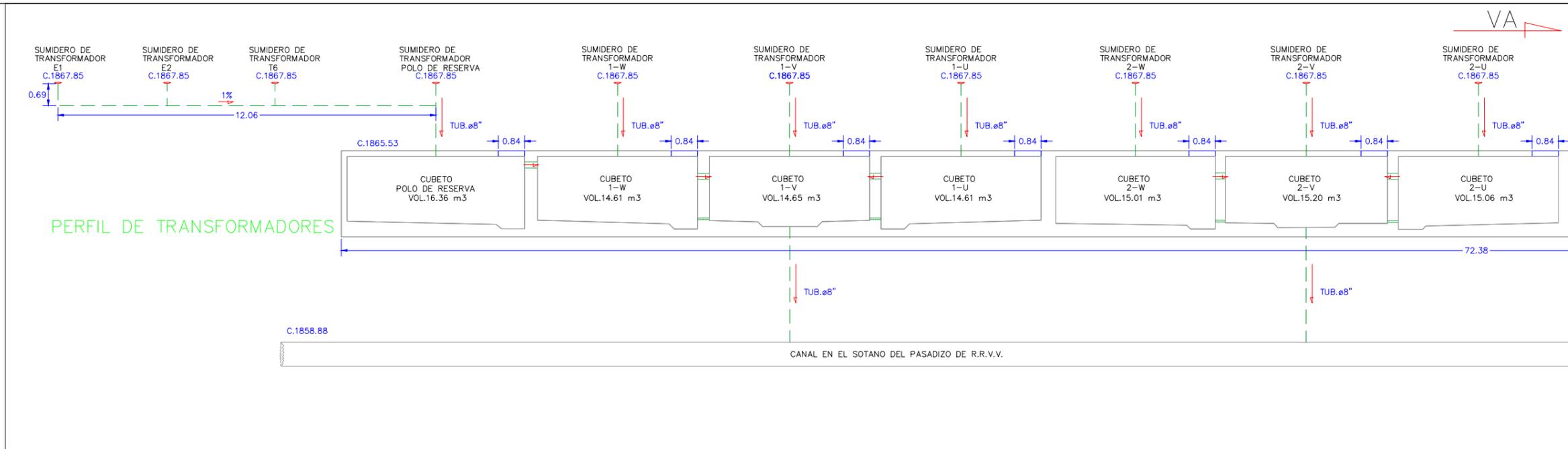
TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL: EVALUACION Y PROPUESTAS DE INDEPENDIZACION DE DRENAJES EN CENTRALES HIDROELECTRICAS			ANEXO: A.3
PLANO: CH CHIMAY - EXTERIORES	FACULTAD: FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL - UNI	BACHILLER: OLIVERA MONTENEGRO, RICHARD MANUEL	LAMINA: P06



LEYENDA	
[Solid line]	PERIMETRO
[Dashed line]	L.I.E. DE TUBERIA
[Dotted line]	BARRANDAS
[Square symbol]	P.D.M. PRESEÑA DE METAL
[Circle symbol]	P.D.C. PRESEÑA DE CONCRETO
[Star symbol]	P.C.T. PUNTO DE CONTROL TOPOGRAFICO
[Triangle symbol]	P.C.A. PUNTO DE CONTROL DE AGUA
[Circle with cross symbol]	SEÑAL METANOL
[Square with cross symbol]	T.C. TABLERO DE CONTROL

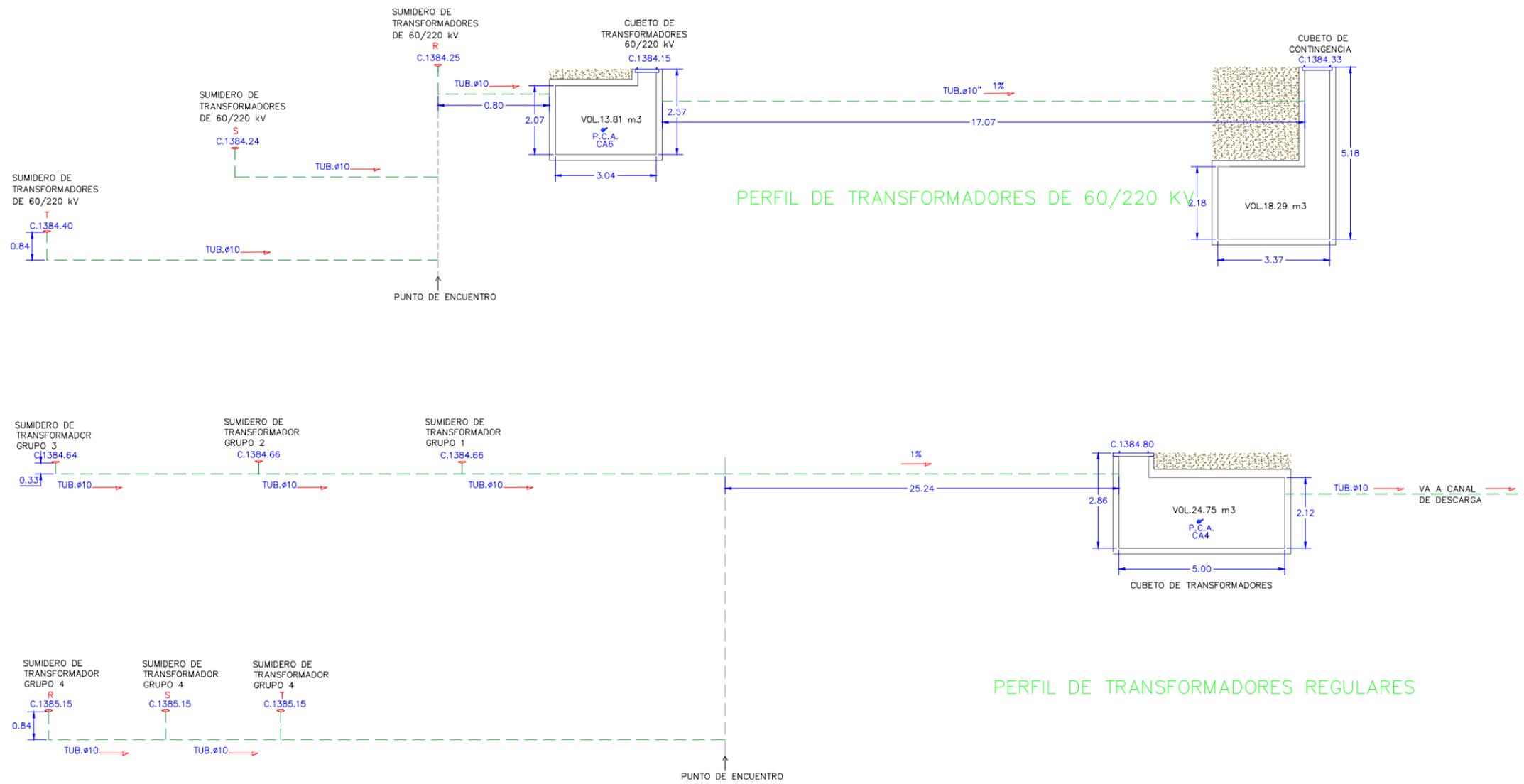
TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL: EVALUACION Y PROPUESTAS DE INDEPENDIZACION DE DRENAJES EN CENTRALES HIDROELECTRICAS		ANEXO: A.3	
PLANO: CH YANANGO - EXTERIORES	FACULTAD: FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL - UNI	BACHILLER: OLIVERA MONTENEGRO, RICHARD MANUEL	LAMINA: P07

ESCALA: 1/150



LEYENDA	
-----	EJE DE TUBERIA
P.C.A. ✓	PUNTO DE CONTROL DE AGUA

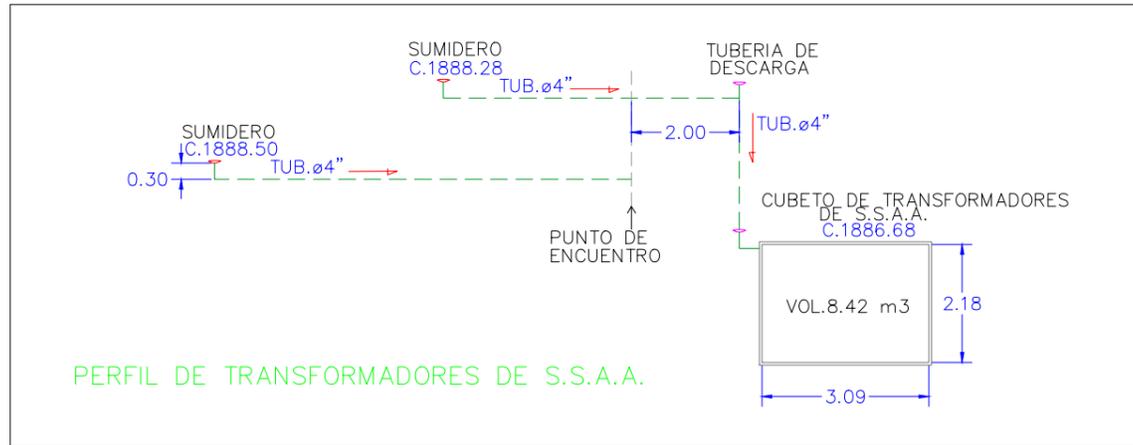
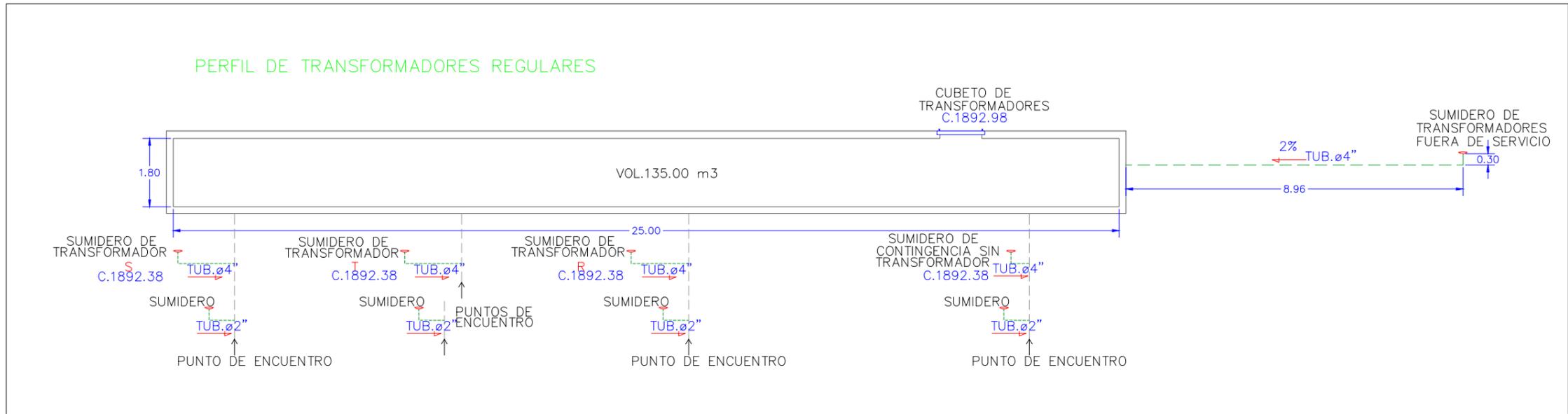
TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL: EVALUACION Y PROPUESTAS DE INDEPENDIZACION DE DRENAJES EN CENTRALES HIDROELECTRICAS		ANEXO: A.3
PLANO: CH HUINCO - DIAGRAMAS DE CUBETOS	FACULTAD: FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL - UNI	BACHILLER: OLIVERA MONTENEGRO, RICHARD MANUEL
		LAMINA: P08



LEYENDA	
	EJE DE TUBERIA
	MATERIAL DE RELLENO
	PUNTO DE CONTROL DE AGUA

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL: EVALUACION Y PROPUESTAS DE INDEPENDIZACION DE DRENAJES EN CENTRALES HIDROELECTRICAS			ANEXO: A.3
PLANO: CH CALLAHUANCA - DIAGRAMAS DE CUBETOS	FACULTAD: FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL - UNI	BACHILLER: OLIVERA MONTENEGRO, RICHARD MANUEL	LAMINA: P09

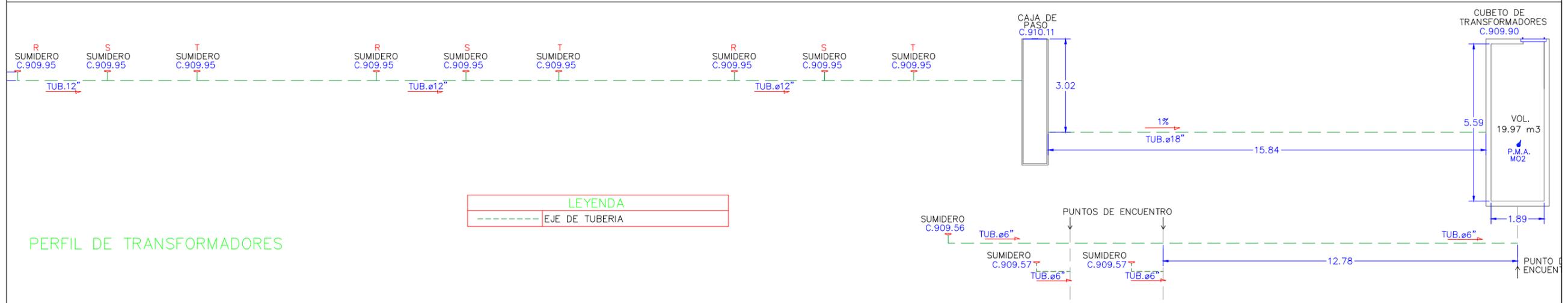
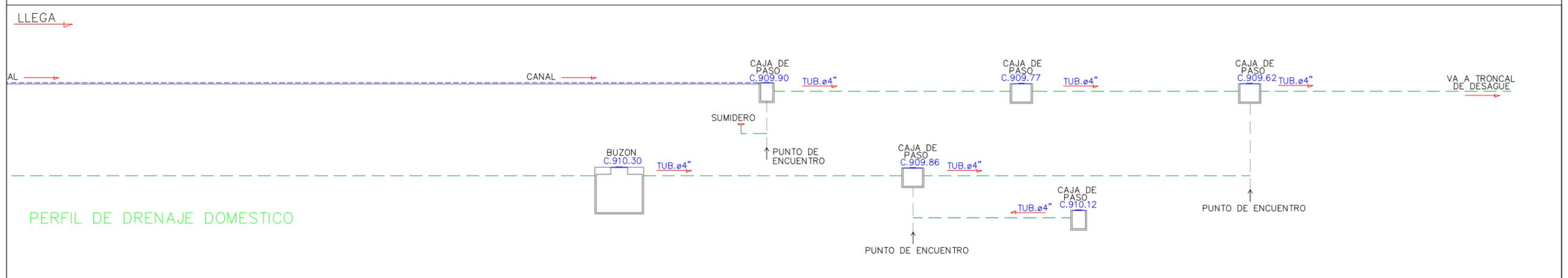
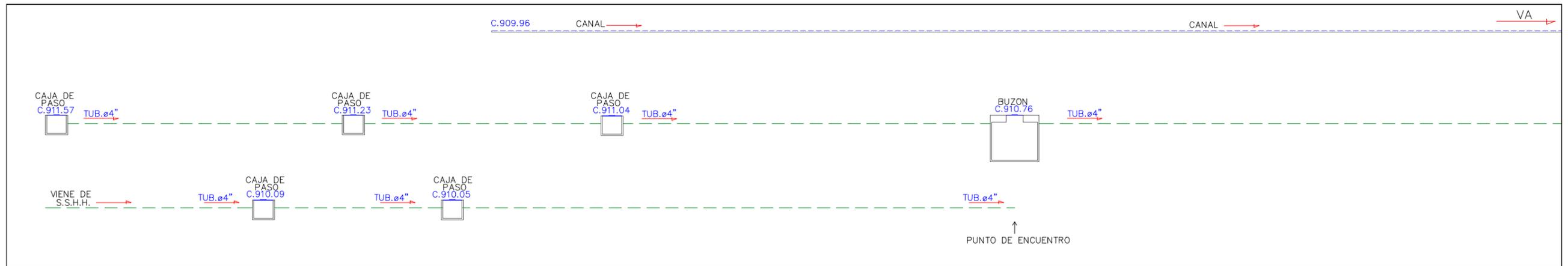
PERFIL DE TRANSFORMADORES REGULARES



PERFIL DE TRANSFORMADORES DE S.S.A.A.

LEYENDA	
	EJE DE TUBERIA
	EJE DE CANAL

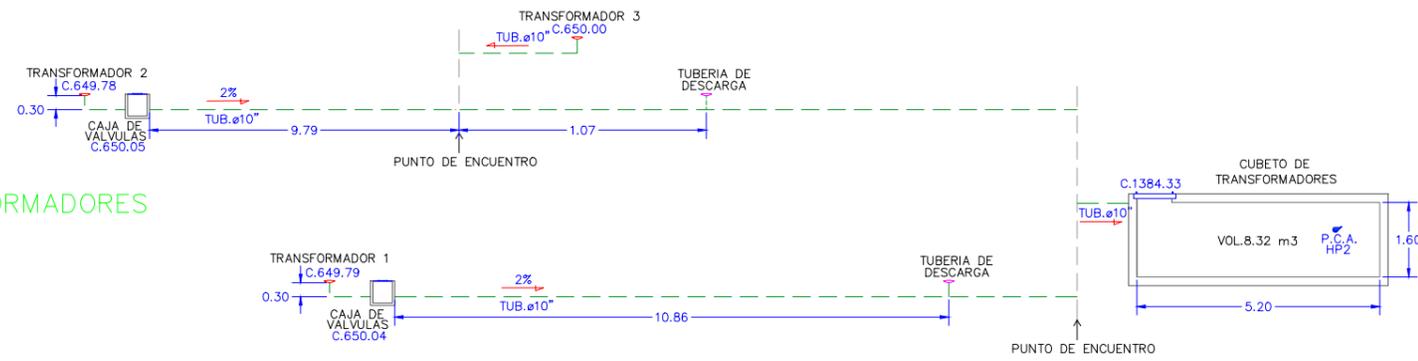
TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL: EVALUACION Y PROPUESTAS DE INDEPENDIZACION DE DRENAJES EN CENTRALES HIDROELECTRICAS			ANEXO: A.3
PLANO: CH MATUCANA - DIAGRAMAS DE CUBETOS	FACULTAD: FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL - UNI	BACHILLER: OLIVERA MONTENEGRO, RICHARD MANUEL	LAMINA: P10



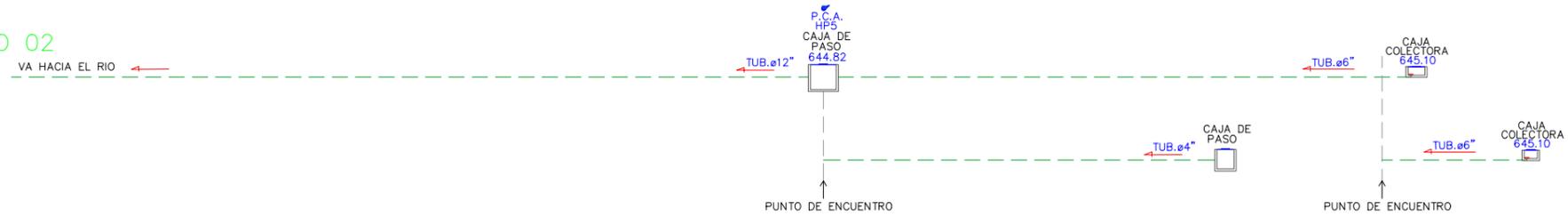
LEYENDA	
---	EJE DE TUBERIA

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL:			ANEXO:
EVALUACION Y PROPUESTAS DE INDEPENDIZACION DE DRENAJES EN CENTRALES HIDROELECTRICAS			A.3
PLANO:	FACULTAD:	BACHILLER:	LAMINA:
CH MOYOPAMPA - DIAGRAMAS EXTERIORES	FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL - UNI	OLIVERA MONTENEGRO, RICHARD MANUEL	P11

PERFIL DE TRANSFORMADORES

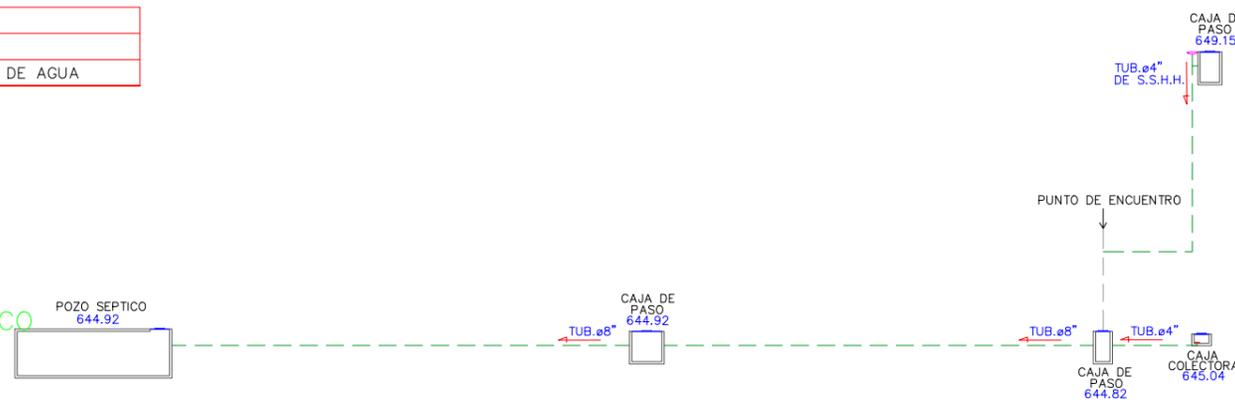


PERFIL DE SOTANO 02

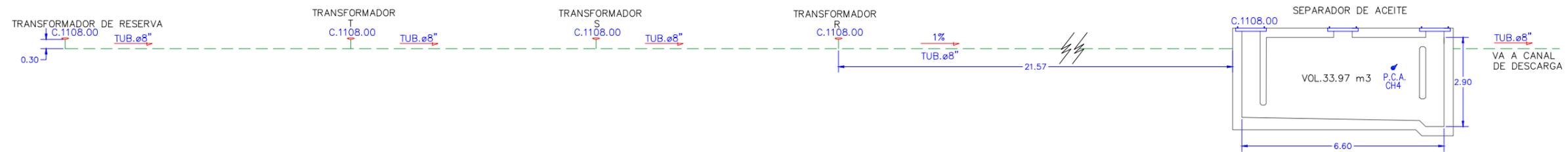


LEYENDA	
-----	EJE DE TUBERIA
P.C.A. ✓	PUNTO DE CONTROL DE AGUA

PERFIL A POZO SEPTICO

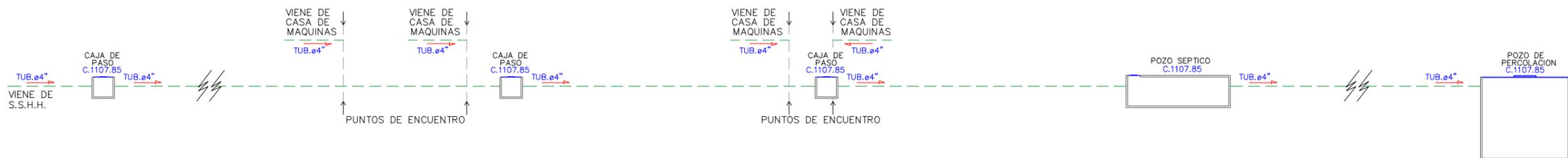
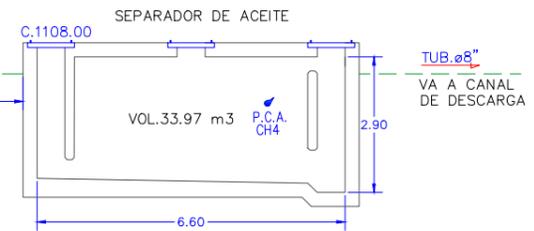


TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL: EVALUACION Y PROPUESTAS DE INDEPENDIZACION DE DRENAJES EN CENTRALES HIDROELECTRICAS			ANEXO: A.3
PLANO: CH HUAMPANI - DIAGRAMAS DE EXTERIORES	FACULTAD: FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL - UNI	BACHILLER: OLIVERA MONTENEGRO, RICHARD MANUEL	LAMINA: P12



PERFIL DE TRANSFORMADORES

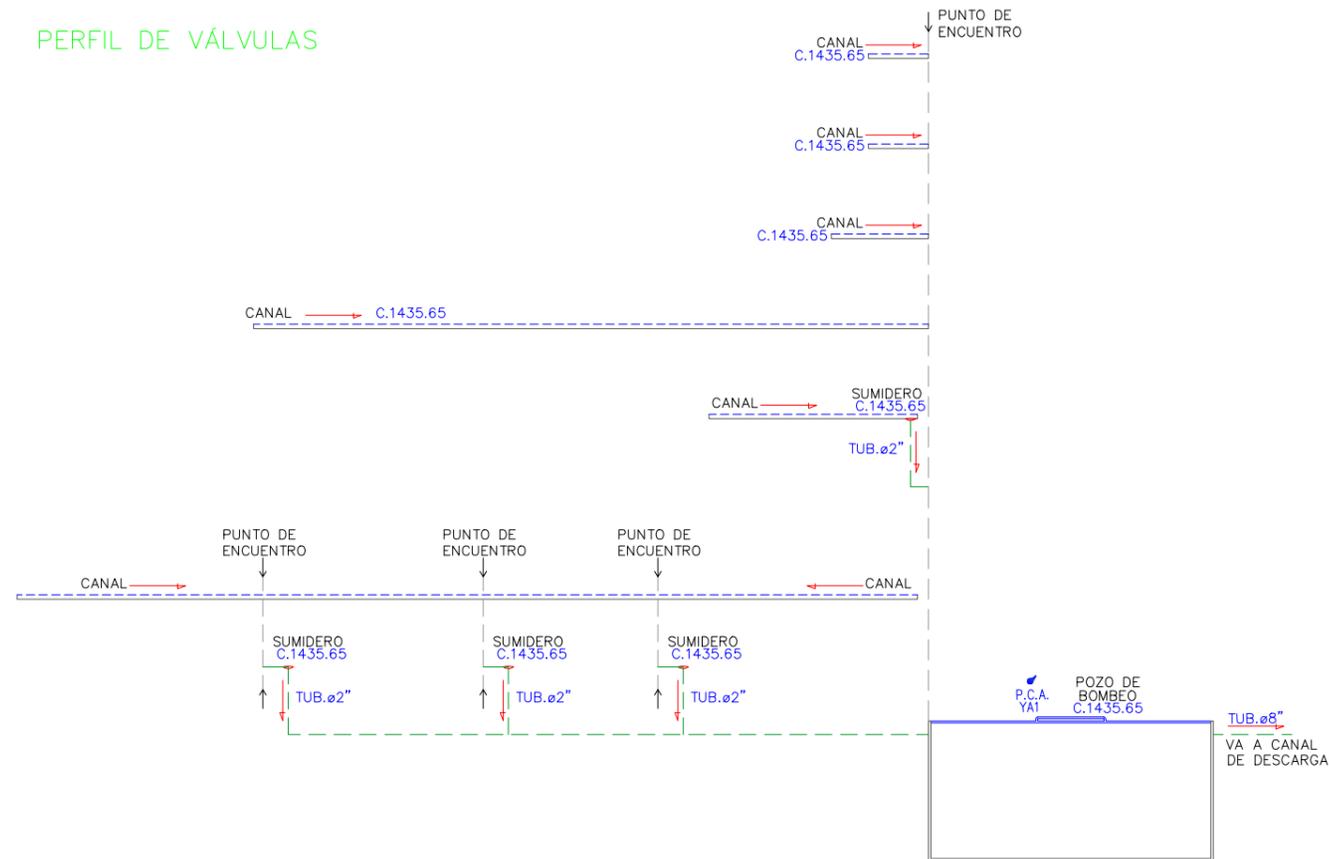
LEYENDA	
-----	EJE DE TUBERIA
-----	CIMA DE CANAL
P.C.A. ✓	PUNTO DE CONTROL DE AGUA



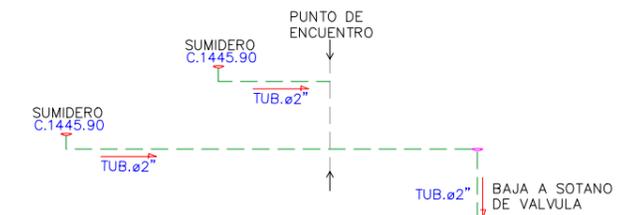
PERFIL A POZO SEPTICO

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL: EVALUACION Y PROPUESTAS DE INDEPENDIZACION DE DRENAJES EN CENTRALES HIDROELECTRICAS			ANEXO: A.3
PLANO: CH CHIMAY - DIAGRAMAS DE EXTERIORES	FACULTAD: FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL - UNI	BACHILLER: OLIVERA MONTENEGRO, RICHARD MANUEL	LAMINA: P13

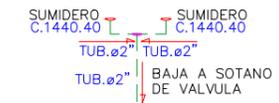
PERFIL DE VÁLVULAS



PERFIL DE GENERADOR

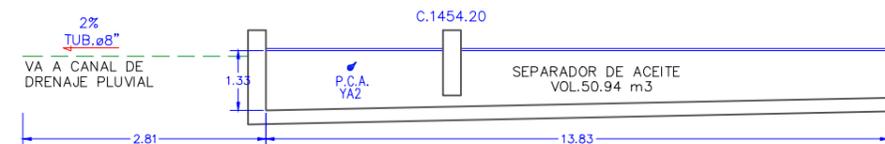


PERFIL DE TURBINA



LEYENDA	
	EJE DE TUBERIA
	CIMA DE CANAL
	PUNTO DE CONTROL DE AGUA

PERFIL DE SEPARADOR DE ACEITE



TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL:		ANEXO:	
EVALUACION Y PROPUESTAS DE INDEPENDIZACION DE DRENAJES EN CENTRALES HIDROELECTRICAS		A.3	
PLANO:	FACULTAD:	BACHILLER:	LAMINA:
CH YANANGO - DIAGRAMAS DE EXTERIORES	FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL - UNI	OLIVERA MONTENEGRO, RICHARD MANUEL	P14