

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional De Ingeniería Civil



**“COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DEL SUBSISTEMA DE DISPOSICIÓN
DE RELAVES: ROUGHER SCAVENGER TAILINGS, TRAMO: PLANTA
CONCENTRADORA – RELAVERA LADO NORTE, DEL PROYECTO CERRO
CORONA”**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

AUTOR

Bach. Ing. Víctor Franz, Alcántara Portal.

ASESOR

Dr. Ing. Gaspar Virilo, Méndez Cruz.

Cajamarca, junio 2021

COPYRIGHT©2021

ALCÁNTARA PORTAL, Víctor Franz

Todos los derechos reservados.

AGRADECIMIENTO

A:

Mi familia, por ayudarme a ser quien soy, por la forma en que cambiaron mi vida cuando más lo necesitaba.

A:

Mi Asesor el Dr. Ing. Gaspar Virilo, Méndez Cruz, por todo el apoyo moral, logístico y el conocimiento impartido durante esta larga travesía.

A:

Al Dr. Ing. William Quiroz Gonzáles, por el soporte brindado en aquellos momentos caóticos.

A:

Todos y cada uno de mis docentes, por el conocimiento impartido y el apoyo incondicional brindado, para lograr dar luz a esta pequeña investigación.

A:

Gold Fields La Cima S.A.A., por darme más que una escuela durante mi formación profesional.

DEDICATORIA

A:

Mis padres: José Leoncio, Alcántara Mantilla y Aurora Valentina, Portal de Alcántara, por ser el soporte de mi pasado, presente y futuro.

A:

Mis hermanos: Ruth, Freddie y Dante, por aquellas enseñanzas académicas y de vida brindadas.

A:

Mis sobrinos, Christian, Ariadna y Fabrizio, motivo de mil delirios en un mar de sonrisas.

A:

Todos aquellos estudiantes, profesionales y público en general, náufragos de conocimientos, sedientos de superación, que luchan día a día en pro de un mejor futuro para la humanidad, para nuestro planeta, para la vida entera, batallando bajo cielos pálidos; bajo aquel firmamento que se vuelve cada día menos estrellado, que dilata sus pupilas apagadas en un torbellino entrópico de emociones irreales, pero que despierta un aire de nostalgia al amanecer, con la fe de embelesar un universo más verde, más azul, más infinito...

Franz

CONTENIDO

COPYRIGHT©2021.....	ii
AGRADECIMIENTO	iii
DEDICATORIA	iv
RESUMEN	x
ABSTRACT	x
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	1
1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	2
1.4. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	2
1.5. LIMITACIONES.....	2
1.6. OBJETIVOS	3
OBJETIVO GENERAL.....	3
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
1.7. HIPÓTESIS.....	3
1.7.1. HIPÓTESIS GENERAL.....	3
1.7.2. DEFINICIÓN DE VARIABLES.....	3
1.7.3. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	3
1.7.4. MATRIZ DE CONSISTENCIA.....	5
1.8. DESCRIPCIÓN DEL CONTENIDO DE LOS CAPÍTULOS	6
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	7
2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS	7
INTERNACIONALES.....	7
NACIONALES.....	8
LOCALES.....	10
2.2. BASES TEÓRICAS.....	10
2.2.1. MANEJO DE RELAVES	10
2.2.1.1. TIPOS Y CARACTERÍSTICAS DE LOS RELAVES	10
2.2.1.2. DISPOSICIÓN DE RELAVES	14
2.2.2. CIRCUITOS DE FLOTACIÓN E HIDRÁULICA DE RELAVES.....	16
2.2.2.1. CIRCUITOS DE FLOTACIÓN	16
2.2.2.2. TRANSPORTE HIDRÁULICO DE RELAVES	18
2.2.2.3. RANGOS OPERACIONALES Y ACCESORIOS.....	65
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	66
CAPITULO III. MATERIALES Y MÉTODOS	69

3.1.	UBICACIÓN GEOGRÁFICA.....	69
3.2.	TIEMPO DE INVESTIGACIÓN.....	70
3.3.	MATERIALES.....	70
a.	PROCEDIMIENTO.....	71
a.1.	VERIFICACIÓN DE LA OPERATIVIDAD DE LA DISPOSICIÓN DE RELAVES CST Y RST.....	71
a.2.	LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO.....	72
a.3.	CARACTERIZACIÓN DE LA UNIDAD MINERA CERRO CORONA.....	73
a.3.1.	INTRODUCCIÓN.....	73
a.3.2.	SECUENCIA OPERATIVA.....	73
a.4.	MANEJO DE RELAVES.....	75
a.4.1.	TIPOS Y CARACTERIZACIÓN DE LOS RELAVES.....	75
a.4.2.	DISPOSICIÓN DE RELAVES.....	78
a.5.	CIRCUITOS DE FLOTACIÓN E HIDRÁULICA DE RELAVES.....	103
a.6.	TRANSPORTE HIDRÁULICO DE RELAVES.....	108
a.7.	ESTADO ACTUAL DE LOS SUBSISTEMAS CST, RST, AUXILIAR DE DESCARGA DIRECTA Y DE AGUA RECUPERADA.....	109
a.7.1.	GENERALIDADES.....	109
a.7.2.	SUBSISTEMA DE DISPOSICIÓN DE RELAVES CLEANER SCAVENGER TAILINGS.....	111
a.7.3.	SUBSISTEMA DE DISPOSICIÓN DE RELAVES ROUGHER SCAVENGER TAILINGS.....	113
a.7.4.	SUB-SISTEMA DE DISPOSICIÓN AUXILIAR DE DESCARGA DIRECTA 116	116
a.7.5.	SUBSISTEMA DE RECUPERACIÓN DE AGUA.....	119
b.	TRATAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS 122	122
b.1.	GENERALIDADES.....	122
b.2.	EVALUACIÓN DEL SUBSISTEMA DE DISPOSICIÓN DE RELAVES ROUGHER SCAVENGER TAILINGS.....	124
b.3.	VERIFICACIÓN DE LA ADECUADA CONFIGURACIÓN DEL SUBSISTEMA CLEANER SCAVENGER TAILINGS.....	153
b.4.	VERIFICACIÓN DE LA ADECUADA CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA DE EMERGENCIA DE DESCARGA DIRECTA.....	155
b.5.	VERIFICACIÓN DEL SUBSISTEMA DE RECUPERACIÓN DE AGUA.....	157
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....		159
4.1.	CARACTERIZACIÓN DE LA UNIDAD MINERA CERRO CORONA.....	159
4.2.	CICLO DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN GENERAL.....	159
4.3.	CARACTERIZACIÓN DE LA PRESA DE RELAVES.....	159
4.4.	CIRCUITOS DE FLOTACIÓN:.....	160
4.5.	EVALUACIÓN HIDRÁULICA Y FUNCIONAL DEL SUB-SISTEMA ROUGHER SCAVENGER TAILINGS.....	161

4.6. EVALUACIÓN DE LA CONFIGURACIÓN DE LOS SUB-SISTEMAS CLEANER SCAVENGER TAILINGS, AUXILIAR DE DESCARGA DIRECTA Y RECUPERACIÓN DE AGUA.....	163
4.6.1. SUB-SISTEMA DE DISPOSICIÓN DE RELAVES CLEANER SCAVENGER TAILINGS.....	163
4.6.2. SUB-SISTEMA DE DISPOSICIÓN AUXILIAR DE DESCARGA DIRECTA.	164
4.6.3. SUB-SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE AGUA.....	164
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	165
BIBLIOGRAFÍA	168
ANEXOS	171
Anexo N° 1: PANEL FOTOGRÁFICO	171
Anexo N° 2: CERTIFICADO DE ORIGINALIDAD.....	177
APÉNDICES	178

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA N° 1: OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	3
TABLA N° 2: MATRIZ DE CONSISTENCIA.....	5
TABLA N° 3: CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE RELAVES.....	11
TABLA N° 4: ESQUEMA GENERAL DE LA TIPOLOGÍA DE LOS DEPÓSITOS DE RELAVES.....	15
TABLA N° 5: DENSIDADES SECAS VS ELEVACIÓN FINAL DEL DEPÓSITO DE RELAVES.....	87
TABLA N° 6: CRONOGRAMA DE LAS ETAPAS DEL DEPÓSITO DE RELAVES.....	103
TABLA N° 7: DATOS DE FLUJO CLEANER SCAVENGER TAILINGS ACTUALES.....	111
TABLA N° 8: DATOS DE FLUJO CLEANER SCAVENGER TAILINGS FINALES.....	111
TABLA N° 9: DATOS DEL SISTEMA DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA CST.....	112
TABLA N° 10: DATOS DE FLUJO ROUGHER SCAVENGER TAILINGS ACTUALES.....	113
TABLA N° 11: DATOS DE FLUJO ROUGHER SCAVENGER TAILINGS FINALES:.....	114
TABLA N° 12: DATOS DEL SISTEMA DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA RST.....	116
TABLA N° 13: CARACTERÍSTICAS DE LOS RELAVES DE DESCARGA DIRECTA ACTUALES:.....	117
TABLA N° 14: CARACTERÍSTICAS DE LOS RELAVES DE DESCARGA DIRECTA FINALES:.....	117
TABLA N° 15: DATOS DEL SISTEMA DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA DE DESCARGA DIRECTA.....	119
TABLA N° 16: RANGO OPERATIVO DEL SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE AGUA.....	120
TABLA N° 17: NIVELES OPERATIVOS DE BOMBEO.....	122
TABLA N° 18: NUMERO DE BOMBAS ACTIVAS.....	122
TABLA N° 19: CONDICIONES OPERACIONALES FINALES DE LA DISPOSICIÓN DE RELAVES.....	123
TABLA N° 20: CONDICIONES AMBIENTALES DE LA ZONA.....	126
TABLA N° 21: REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA CLEANER SCAVENGER TAILINGS.....	126
TABLA N° 22: CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO EN CONDICIONES MÍNIMAS (RST-NO ESPESADO).....	127
TABLA N° 23: CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO EN CONDICIONES NORMALES (RST-NO ESPESADO).....	127
TABLA N° 24: CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO EN CONDICIONES MÁXIMAS (RST-NO ESPESADO).....	127
TABLA N° 25: CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO EN CONDICIONES MÍNIMAS (RST ESPESADO).....	127
TABLA N° 26: CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO EN CONDICIONES NORMALES (RST ESPESADO).....	127
TABLA N° 27: CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO EN CONDICIONES MÁXIMAS (RST ESPESADO).....	127
TABLA N° 28: TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS SÓLIDAS DE LOS RELAVE EN DIFERENTES CONDICIONES....	128
TABLA N° 29: PARÁMETROS REOLÓGICOS PARA UN TIPO DE FLUJO BINGHAM (RST ESPESADO).....	129
TABLA N° 30: PARÁMETROS REOLÓGICOS PARA UN TIPO DE FLUJO BINGHAM (RST-NO ESPESADO).....	130
TABLA N° 31: VERIFICACIÓN DEL DIÁMETRO CON EL RELAVE RST - ESPESADO.....	131

TABLA N° 32: VERIFICACIÓN DEL DIÁMETRO CON EL RELAVE RST – NO ESPESADO.....	131
TABLA N° 33: TIPO DE RÉGIMEN DE FLUJO CON EL DIÁMETRO DE DISEÑO Ø 16”.....	132
TABLA N° 34: TIPO DE RÉGIMEN DE FLUJO CON EL DIÁMETRO DE DISEÑO Y EXISTENTE Ø 18”.....	133
TABLA N° 35: VELOCIDAD DE DEPOSICIÓN (VD) Y FACTORES DE SEGURIDAD DE DEPOSICIÓN PARA UN DIÁMETRO DE DISEÑO Ø 16”.....	133
TABLA N° 36: VELOCIDAD DE DEPOSICIÓN (VD) Y FACTORES DE SEGURIDAD DE DEPOSICIÓN PARA UN DIÁMETRO DE DISEÑO Y EXISTENTE Ø 18”.....	134
TABLA N° 37: NÚMEROS DE HEDSTROM PARA DIFERENTES ESCENARIOS Y CONDICIONES DE DISEÑO Ø 16”.....	135
TABLA N° 38: NÚMEROS DE HEDSTROM PARA DIFERENTES ESCENARIOS Y CONDICIONES DE DISEÑO Y EXISTENTE Ø 18”.....	135
TABLA N° 39: FACTOR DE FRICCIÓN PARA FLUIDOS DE BINGHAM PARA Ø 16”.....	136
TABLA N° 40: FACTOR DE FRICCIÓN PARA FLUIDOS DE BINGHAM PARA Ø 18”.....	136
TABLA N° 41: GRADIENTE DE PÉRDIDAS PARA LOS ESCENARIOS DE DISEÑO Ø 16”.....	136
TABLA N° 42: GRADIENTE DE PÉRDIDAS PARA LOS ESCENARIOS DE DISEÑO Y EXISTENTE Ø 18”.....	137
TABLA N° 43: PÉRDIDAS DE PRESIÓN TOTAL FRICCIONAL DE DISEÑO PARA UN DIÁMETRO DE DISEÑO Ø 16” (RST - ESPESADO).	140
TABLA N° 44: PÉRDIDAS DE PRESIÓN TOTAL FRICCIONAL DE DISEÑO PARA UN DIÁMETRO DE DISEÑO Ø 16” (RST - NO ESPESADO).	141
TABLA N° 45: PÉRDIDAS DE PRESIÓN TOTAL FRICCIONAL DE DISEÑO PARA UN DIÁMETRO DE DISEÑO Y EXISTENTE Ø 18” (RST - ESPESADO).	142
TABLA N° 46: PÉRDIDAS DE PRESIÓN TOTAL FRICCIONAL DE DISEÑO PARA UN DIÁMETRO DE DISEÑO Y EXISTENTE Ø 18” (RST - NO ESPESADO).	143
TABLA N° 47: PRESIÓN TOTAL DE OPERACIÓN DE DISEÑO Ø 16” (RST – ESPESADO).....	144
TABLA N° 48: PRESIÓN TOTAL DE OPERACIÓN DE DISEÑO Ø 16” (RST - NO ESPESADO).....	145
TABLA N° 49: PRESIÓN TOTAL DE OPERACIÓN DE DISEÑO Y EXISTENTE Ø 18” (RST – ESPESADO).	146
TABLA N° 50: PRESIÓN TOTAL DE OPERACIÓN DE DISEÑO Ø 18” (RST - NO ESPESADO).....	147
TABLA N° 51: DEFORMACIÓN POR EFECTO TÉRMICO EN LA TUBERÍA EXISTENTE	152

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA N° 1: ESQUEMA DEL BALANCE DE AGUA EN UN DEPÓSITO DE RELAVES.	16
FIGURA N° 2: TRANSPORTE GRAVITACIONAL DE SUSPENSIONES.....	21
FIGURA N° 3: TRANSPORTE POR BOMBEO DE SUSPENSIONES.....	21
FIGURA N° 4: MODELO DE VISCOSIDAD EN ESTADO ESTACIONARIO.....	24
FIGURA N° 5: VISCOSIDAD APARENTE Y EFECTIVA.....	25
FIGURA N° 6: CLASIFICACIÓN DE LAS PULPAS.....	27
FIGURA N° 7: CURVAS TEÓRICAS DE ESFUERZO DE CORTE Y VELOCIDAD DE CORTE PARA PULPAS.....	28
FIGURA N° 8: CURVAS TEÓRICAS DE VISCOSIDAD APARENTE Y VELOCIDAD DE CORTE PARA PULPAS.	29
FIGURA N° 9: CURVA DE ESFUERZO DE CORTE Y VELOCIDAD DE CORTE PARA FLUIDOS NO NEWTONIANOS DEPENDIENTES DEL TIEMPO.....	31
FIGURA N° 10: CLASES DE PULPAS.....	33
FIGURA N° 11: FLUJO DE SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN HOMOGÉNEA.....	34
FIGURA N° 12: FLUJO DE SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN HETEROGÉNEA	35
FIGURA N° 13: FLUJO DE SÓLIDOS CON ARRASTRE DE FONDO.....	36
FIGURA N° 14: FLUJO DE SÓLIDOS CON DEPÓSITO DE FONDO.....	38
FIGURA N° 15: PÉRDIDA DE PRESIÓN Y VELOCIDAD DE FLUJO.....	41
FIGURA N° 16: VELOCIDADES CRÍTICAS.....	49
FIGURA N° 17: FACTOR DE INTERRUPCIÓN EN LA VELOCIDAD TERMINAL DE UNA PARTÍCULA EN FUNCIÓN DEL NÚMERO DE REYNOLDS DE LA PARTÍCULA.....	53
FIGURA N° 18: GRÁFICO DE DURAND PARA FL.....	55
FIGURA N° 19: GRÁFICO DE MC ELVAIN Y CAVE.....	56
FIGURA N° 20: FACTOR DE CORRECCIÓN POR DISIPACIÓN DE ENERGÍA TURBULENTO EN FUNCIÓN DE LA RELACIÓN DE LA VELOCIDAD TERMINAL CON INTERRUPCIÓN Y LA VELOCIDAD CRÍTICA DE DEPOSICIÓN.....	58
FIGURA N° 21: VELOCIDAD CRÍTICA DE TRANSICIÓN VISCOSA.....	60

FIGURA N° 22: ESQUEMA DE UN FLUJO QUE ATRAVIESA UN CODO.	62
FIGURA N° 23: DCL DE UN FLUJO QUE ATRAVIESA UN CODO.....	63
FIGURA N° 24: CONFIGURACIÓN DE LA DISPOSICIÓN DE RELAVES Y LA PRESA DE RELAVES.....	69
FIGURA N° 25A – 25B: SECUENCIA OPERATIVA GENERAL DEL PROYECTO CERRO CORONA.....	74
FIGURA N° 26: UBICACIÓN DE LA PRESA DE RELAVES.....	80
FIGURA N° 27: CONFIGURACIÓN DE LA DISPOSICIÓN DE RELAVES Y LA PRESA DE RELAVES.....	83
FIGURA N° 28: CURVA DE LLENADO DEL DEPÓSITO DE RELAVES CON LA PRESA POR ETAPAS.	89
FIGURA N° 29: ACCESOS Y RUTAS DE LAS TUBERÍAS PARA LOS AÑOS 01 Y 02.	98
FIGURA N° 30: ACCESOS Y RUTAS DE LAS TUBERÍAS PARA EL AÑO 03.....	99
FIGURA N° 31: DIAGRAMA DE OPERACIONES DE LA DISPOSICIÓN DE RELAVES.	109
FIGURA N° 32: PERFIL LONGITUDINAL DE SUPERFICIE Y EJE DE TUBERÍA LÍNEA ROUGHER SCAVENGER TAILINGS	125
FIGURA N° 33: CLASIFICACIÓN DEL TIPO DE FLUJO RST ESPESADO.....	128
FIGURA N° 34: CLASIFICACIÓN DEL TIPO DE FLUJO RST-NO ESPESADO	129
FIGURA N° 35: DIAGRAMA DE PRESIONES DE OPERACIÓN DE DISEÑO Ø 16", PARA DIFERENTES CONDICIONES DE OPERACIÓN (RST - ESPESADO).....	148
FIGURA N° 36: DIAGRAMA DE PRESIONES DE OPERACIÓN DE DISEÑO Ø 16", PARA DIFERENTES CONDICIONES DE OPERACIÓN (RST – NO ESPESADO).....	149
FIGURA N° 37: DIAGRAMA DE PRESIONES DE OPERACIÓN DE DISEÑO Y EXISTENTE Ø 18", PARA DIFERENTES CONDICIONES DE OPERACIÓN (RST - ESPESADO).....	150
FIGURA N° 38: DIAGRAMA DE PRESIONES DE OPERACIÓN DE DISEÑO Y EXISTENTE Ø 18", PARA DIFERENTES CONDICIONES DE OPERACIÓN (RST – NO ESPESADO).....	151
FIGURA N° 39: PERFIL LONGITUDINAL DE SUPERFICIE Y EJE DE TUBERÍA DE DISPOSICIÓN DE RELAVES CLEANER SCAVENGER TAILINGS.	154
FIGURA N° 40: PERFIL LONGITUDINAL DE SUPERFICIE Y EJE DE TUBERÍA DEL SISTEMA DE EMERGENCIA DE DESCARGA DIRECTA.....	156
FIGURA N° 41: PERFIL LONGITUDINAL DE SUPERFICIE Y EJE DE TUBERÍA DEL SUBSISTEMA DE RECUPERACIÓN DE AGUA.....	158

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

FOTOGRAFÍA N° 1: CAMINO DE ACCESO INFERIOR A LAS LÍNEAS DE RELAVES RST Y CST.	171
FOTOGRAFÍA N° 2: ESTADO ACTUAL DE LOS DISIPADORES DE ENERGÍA HIDRÁULICA RST Y CST.	171
FOTOGRAFÍA N° 3: RELAVES RST DISGREGADOS POR MAL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA.	172
FOTOGRAFÍA N° 4: DE IZQUIERDA A DERECHA: SUBSISTEMA AUXILIAR DE DESCARGA DIRECTA, RST Y CST.....	172
FOTOGRAFÍA N° 5: BARCAZA DE RECUPERACIÓN DE AGUA.	173
FOTOGRAFÍA N° 6: ÁREA DE FLOTACIÓN DE MINERALES.....	173
FOTOGRAFÍA N° 7: ESTRUCTURA DE COLECCIÓN Y DIVISIÓN DE RELAVES RST ESPESADOS / No ESPESADOS.....	174
FOTOGRAFÍA N° 8: CAJÓN DE INICIO DE RECOLECCIÓN DE RELAVES.....	174
FOTOGRAFÍA N° 9: LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO EN LA ZONA DE INICIO DEL TRANSPORTE DE RELAVES RST, CST Y SUBSISTEMA DE EMERGENCIA (ESPESADOR DE RELAVES).....	175
FOTOGRAFÍA N° 10: LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO DE LAS LÍNEAS DE DISPOSICIÓN CST Y RST.....	175
FOTOGRAFÍA N° 11: ZONA DE DESCARGA DEL SUBSISTEMA RST A LO LARGO DE LA CORONACIÓN DE LA PRESA.....	176
FOTOGRAFÍA N° 12: LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO COMPLEMENTARIO Y EVALUACIÓN DE UNA POSIBLE RUTA DE DISPOSICIÓN DE RELAVES RST POR EL FLANCO DERECHO Y ZONA NORTE DE LA PRESA DE RELAVES.	176

RESUMEN

La presente investigación analiza la problemática de la inadecuada disposición de relaves del Proyecto Cerro Corona, especialmente del Subsistema Rougher Scavenger Tailings, el mismo, que actualmente, viene operando con cierta dificultad, por lo que, se han establecido los criterios técnicos necesarios para evaluar su operatividad y funcionalidad; así como, recomendar algunas propuestas de mejora, que sean capaces de asimilar los diferentes escenarios operativos del proyecto a corto, mediano y largo plazo, y en función de las demandas de producción diaria mínima, normal y máxima de toneladas secas de relaves, provenientes de los diferentes procesos para la explotación y producción de minerales, y su incidencia directa en el crecimiento de la presa de relaves; y cuya metodología, puede ser usada para la verificación hidráulica del Subsistemas Cleaner Scavenger Tailings, y de los Sistemas Auxiliar de Descarga Directa y de Recuperación de Agua, para futuras investigaciones.

Palabras Claves: Relave, Rougher, Cleaner, Minería, Disposición, Relavera, Flotación.

ABSTRACT

This research analyzes the problem of the inadequate tailings disposal of the Cerro Corona Project, especially the Rougher Scavenger Tailings Subsystem, which is currently operating with some difficulty, therefore, the necessary technical criteria have been established to evaluate its operability and functionality; as well as, recommend some improvement proposals that are capable of assimilating the different operating scenarios of the project in the short, medium and long term, and depending on the demands of minimum, normal and maximum daily production of dry tons of tailings, from the different processes for the exploitation and production of minerals, and their direct impact on the growth of the tailings dam; and whose methodology can be used for the hydraulic verification of the Cleaner Scavenger Tailings Subsystems, and the Auxiliary Direct Discharge and Water Recovery Systems, for future research.

Key Words: Tailings, Rougher, Cleaner, Mining, Disposal, Dam Tailings, Flotation.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Gold Fields La Cima S.A.A. explota en la Provincia de Hualgayoc, Departamento de Cajamarca, una mina (Proyecto Cerro Corona) a tajo abierto, que extrae principalmente oro y cobre, comprendiendo la extracción de millones de toneladas métricas de mineral metálico antes de su producto final, el cual genera a su vez metales tóxicos; dicho proceso de beneficio genera un volumen inmenso de desechos llamados “relaves”.

Uno de los puntos clave que se desarrolla en la presente tesis, es la adecuada Disposición de Relaves del Proyecto, el mismo, que cuenta con dos subsistemas: El Subsistema RST (Rougher Scavenger Tailings), que es donde la mezcla (relave) se filtra para producir una secreción espesa y su vez recupera el agua del proceso; a continuación, los flujos de lodo espesado van a través de la línea de evacuación RST a la presa de relaves y el agua recuperada se recicla de nuevo a la Planta de Procesos; así mismo, también se cuenta con el Subsistema CST (Cleaner Scavenger Tailings), cuya mezcla fluye directamente a la presa de relaves, y ésta se deposita debajo del espejo de agua para evitar que los sólidos CST reaccionen con el aire y produzcan ácidos.

Actualmente, el Subsistema RST, necesita ser verificado hidráulica y funcionalmente, previendo los diferentes escenarios de operaciones de la Mina, acorde con el crecimiento de la presa de relaves.

En tal sentido, en este trabajo de investigación se pretende conocer el actual comportamiento hidráulico de la disposición de los relaves del Subsistema Rougher Scavenger Tailings del Proyecto Cerro Corona, comprendido entre la Planta Concentradora y su respectiva entrega en la Presa de Relaves, teniendo como alcance plantear algunas recomendaciones de mejora de su conceptualización y disposición final.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Teniendo en cuenta el ciclo operativo del Proyecto Cerro Corona y las necesidades de producción de la mina, ¿Cuál es el Comportamiento Hidráulico del actual Subsistema de disposición de relaves Rougher Scavenger Tailings?

1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Es preciso reconceptualizar un posterior mejoramiento del Subsistema de Disposición de Relaves RST, que ayude a evacuar de manera acertada, los relaves RST hacia la Presa de Relaves, acorde con los distintos escenarios de operaciones de la mina, asegurando así, no solo el proceso de recirculación del agua, sino también, una reducción de impactos medioambientales.

1.4. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Como primer punto, se analizó de manera general el Ciclo de Operaciones de la Mina y su incidencia directa en la generación de Relaves, reconociendo distintos escenarios para diferentes etapas de operaciones.

Luego, se trató de conocer la funcionalidad hidráulica del actual Subsistema de Disposición de Relaves Rougher Scavenger Tailings (RST), teniendo en cuenta las necesidades de Producción, Operación y de Descarga del mismo, utilizando las características Geológicas, Hidrológicas e Hidráulicas de la zona, y las principales propiedades reológicas de la mezcla que se conduce desde la Planta Concentradora, hasta la Presa de Relaves.

Finalmente, a modo de complemento, para el caso del Subsistema Cleaner Scavenger Tailings (CST), el Sistema Auxiliar de Descarga Directa y el Sistema de Bombeo que devuelve el agua a la Planta de Procesos, se verificó que las actuales configuraciones de los sistemas sean adecuadas.

1.5. LIMITACIONES

Las principales limitaciones, están dadas por los siguientes puntos:

La primera, viene representando por la topografía del proyecto, ya que ésta se encuentra en constante cambio, debido a los grandes movimientos de tierras que se hacen a diario, por lo que, la topografía para la presente tesis es referencial.

La segunda limitación está dada por la caracterización Química y Reológica de los relaves que se presentan, por lo que, los mismos pertenecen a una preevaluación realizada en el proyecto, así como, a los diferentes Estudios de Impacto Ambientales aprobados y sus respectivas modificaciones, no pudiéndose obtener una muestra directa que garantice la calidad de los datos suministrados, debido a las altas políticas protocolares que maneja Gold Fields La Cima S.A.A.

1.6. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar el Comportamiento Hidráulico del actual Subsistema de Disposición de Relaves RST del Proyecto Cerro Corona.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Describir el Ciclo General y Operativo del Sistema de Disposición de Relaves del Proyecto Cerro Corona de Gold Fields La Cima S.A.A.
- Analizar la funcionabilidad del actual Subsistema de Disposición de Relaves RST.
- Verificar la configuración del Subsistema CST, Sistema Auxiliar de Descarga Directa y del Sistema de Recuperación de Agua.

1.7. HIPÓTESIS

1.7.1. HIPÓTESIS GENERAL

El Comportamiento Hidráulico del actual Subsistema de Disposición de Relaves RST del Proyecto Cerro Corona no es óptimo.

1.7.2. DEFINICIÓN DE VARIABLES

- Independiente : Disposición de Relaves.
- Dependiente : Comportamiento Hidráulico del Subsistema Rougher Scavenger Tailings.

1.7.3. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Tabla N° 1: Operacionalización de Variables

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL		
		DIMENSIONES	INDICADORES	ÍNDICES
Disposición de Relaves.	La disposición de relaves depende de las características propias del emplazamiento de desarrollo de la mina (Yacimiento), del tipo de explotación, así como del tipo de relave producido y su implicancia en la producción de residuos mineros	Caracterización y Producción de Relaves.	Propiedades Físicoquímicas, Reológicas y Producción de Toneladas Secas.	Cuantificable.
		Conducción.	Caracterización del Tipo de Conducción.	
		Disposición.	Tipo de Descarga y Control.	Conceptual.

	contaminantes los cuales deben tener un buen almacenamiento y adecuada descarga en el depósito de relaves, para su correcto tratamiento.			
Comportamiento Hidráulico del Subsistema Rougher Scavenger Tailings.	La evaluación del comportamiento hidráulico dependerá del análisis operacional y funcional del subsistema, acorde con las demandas de producción de la mina.	Velocidad crítica de disposición	Rangos de Producción.	Cuantificable.
		Presiones de operación.	Modelamiento Hidráulico.	

1.7.4. MATRIZ DE CONSISTENCIA

Tabla N° 2: Matriz de consistencia.

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	MUESTRA	DISEÑO	POBLACIÓN DE ESTUDIO
Teniendo en cuenta el ciclo operativo del Proyecto Cerro Corona y las necesidades de producción de la mina, ¿Cuál es el Comportamiento Hidráulico del actual Subsistema de disposición de relaves Rougher Scavenger Tailings?	Evaluar el Comportamiento Hidráulico del actual Subsistema de Disposición de Relaves RST del Proyecto Cerro Corona.	El Comportamiento Hidráulico del actual Subsistema de Disposición de Relaves RST del Proyecto Cerro Corona no es óptimo.	Disposición de Relaves.	Identificación del sólido a transportar (Tipo de Fluido y Caracterización), dependiendo de su disposición y del tipo de mezcla, acorde a la producción de sólidos a transportar y de los medios usados para su Conducción, Descarga y Procesos de Recuperación.	No Experimental y Utilizando Método Científico Descriptivo.	Proyecto Cerro Corona.
	Describir el Ciclo General y Operativo del Sistema de Disposición de Relaves del Proyecto Cerro Corona de Gold Fields La Cima S.A.A.		Comportamiento Hidráulico del Subsistema Rougher Scavenger Tailings.	Verificación de los rangos operacionales, teniendo en cuenta la velocidad, pérdidas de carga, singularidades y diferentes aspectos operacionales, acorde a los puntos de descarga en la Presa de Relaves y al Cronograma de Crecimiento de la misma.		
	Analizar la funcionalidad del actual Subsistema de Disposición de Relaves RST.					
	Verificar la configuración del Subsistema CST, Sistema Auxiliar de Descarga Directa y del Sistema de Recuperación de Agua.					

1.8. DESCRIPCIÓN DEL CONTENIDO DE LOS CAPÍTULOS

La tesis se ha desarrollado en cinco capítulos como se describe a continuación:

El capítulo I: Introducción, contiene el planteamiento, la formulación, la justificación, la delimitación de la investigación, así como, las principales limitaciones, objetivos e hipótesis de la investigación.

El capítulo II: Marco Teórico, muestra los antecedentes teóricos de la investigación, bases teóricas y la definición de términos básicos.

El capítulo III: Materiales y Métodos, conteniendo la ubicación geográfica de la investigación, así mismo, se describen los procesos realizados, se indica el tratamiento y análisis de datos con su respectiva presentación de resultados.

El capítulo IV: Análisis y Discusión de Resultados, se presenta la verificación hidráulica y funcional del Subsistema RST y se analiza la actual configuración de la disposición de relaves del Subsistema CST, Sistema Auxiliar de Descarga Directa y del Sistema de Bombeo para la recuperación del agua de procesos.

El capítulo V: Conclusiones y Recomendaciones, muestra las conclusiones obtenidas durante toda la investigación y las recomendaciones acorde a los objetivos planteados.

Por último, se enumera las referencias bibliográficas que se tomaron en cuenta durante todo el proceso de investigación.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS

INTERNACIONALES

Marquez (2002) señala que el problema de la disposición de los relaves no siempre fue enfrentado por las empresas mineras con la importancia que éste requiere, debido principalmente a la tendencia natural a gastar la menor cantidad de recursos en la ubicación de estos residuos minerales, que no aportan retornos económicos.

Sin embargo, la experiencia práctica e histórica ha demostrado que los desechos minerales provenientes de los procesos de concentración no pueden ser almacenados en cualquier lugar y sin un control adecuado.

Cooke (2015) manifiesta, que, desde el punto de vista de la depositación se produce que para tonelajes altos se requiere cubrir longitudes muy importantes con varias descargas de relaves operando de manera simultánea (de modo de reducir los flujos unitarios). La gran longitud a cubrir y el número importante de descargas en operación obligan a conocer muy bien el modo en que la pulpa se comportará a lo largo de la conducción desde el punto de vista fluidodinámico.

El diseño hidráulico de sistemas de transporte de gran longitud, por tanto, conlleva desafíos muy relevantes para efectos de garantizar la estabilidad de los flujos descargados y para lograr una distribución lo más uniforme posible a lo largo de las múltiples descargas en operación.

En términos de diseño, la línea de distribución deberá ser de tipo telescópica, de modo de evitar tener tramos operando en régimen laminar y así manteniendo controladas y bien determinadas las pérdidas de energía y la estabilidad del sistema. Por otra parte, el diseño de una línea de distribución de gran longitud implica que las descargas ubicadas en la zona de inicio de la tubería presentarán presiones de entrada mucho más altas que las que se ubiquen en la zona extrema final de la línea de distribución. Esta situación obliga a disponer de un sistema de control o manejo de esas presiones, de modo de que efectivamente se logre la distribución uniforme de flujos. Esto se

puede lograr con mucha confiabilidad por medio del uso de placas orificio en cada descarga.

Bueno (2017) dice que: el transporte del relave a los depósitos es generalmente de forma de fluido, pues es la forma más económica, variando principalmente la concentración de sólidos en peso (C_p), mientras que su descarga sobre el depósito tiene el objetivo que el agua que se libere del relave se pueda juntar en una sola poza (laguna) y opuesta al muro de arena si aplicase, para maximizar su recuperación.

Ante una desviación del diseño en cualquiera de estos procesos, menciona que la operación y el diseño deberían considerar sistemas de contingencias que permitan administrar y minimizar las consecuencias (operacionales y ambientales alrededor del sistema de transporte), lo que puede implicar multas y hasta paralización de la mina completa.

Entre el 90% al 95% de las pérdidas de aguas de una minera se producen en el depósito de relaves, por lo tanto, toda la gestión de reducción de pérdidas aporta a optimizar el agua recuperada. Sumado a eso, el manejo de lagunas, minimizar playas húmedas, el uso de membranas en el suelo en la zona de la laguna aporta significativamente.

NACIONALES

Rojas (2007) dice, que uno de los inconvenientes que hace que el manejo de relaves sea difícil, es que los asentos mineros están ubicados en geografías de difícil acceso y complicadas. Ya que estas se ubican por lo general en partes altas, como es el caso de la mayoría de los asentos mineros, por lo que no es fácil encontrar un área apropiada para almacenar grandes volúmenes de este relave, usándose en la mayoría de los casos depresiones naturales.

Además, menciona que, la disposición subacuática de relaves, en la laguna Cabalcocha (Motivo de Estudio), puede retomar a su estado ecológico productivo, una vez que las operaciones mineras hayan cesado, aunque el ecosistema final puede diferir en algo del original.

La tasa de difusión del oxígeno a través del agua, o poros llenos de agua en los relaves, es cerca de 10 000 veces menor que en el aire. Como

consecuencia, se reduce enormemente la tasa de oxidación de sulfuro y la liberación de metales mediante la saturación o inundación de los relaves.

La mejor manera de proteger los recursos acuáticos aguas abajo y receptores del drenaje es evitar la exposición atmosférica de los metales sulfurosos (en relaves y desmonte). Una manera efectiva de alcanzar esto es disponerlos y mantenerlos bajo agua, donde se inhibe la oxidación.

López (2014) en su tesis, manifiesta que el diseño hidráulico ha sido conceptualizado como recepción, acondicionamiento, transporte y evacuación.

La recepción y acondicionamiento del relave se logra con el sistema de recepción, el transporte se realiza a tubería llena presurizada y finalmente se evacúa el relave hacia el sistema de descarga a la presa de relaves con una presión requerida.

Al tratarse de un fluido con partículas suspendidas, es importante analizar la velocidad crítica de deposición, es decir, la velocidad a la cual las partículas empiezan a depositarse.

Huaña (2015) en sus tesis concluye que: “La co-disposición de relaves y roca estéril o desmonte es cada vez más aceptada en países como el Perú, donde los volúmenes de desmonte de mina de operaciones a tajo abierto son mayores que el mineral en proporciones de 4:1 (desmonte: mineral).”

Las características geotécnicas y geoquímicas de ambos materiales podrían ser ventajosas para la eliminación conjunta, sobre todo cuando la roca estéril tiene un alto potencial de neutralización y los relaves no son generadores de acidez.

Aguirre (2017) manifiesta que, para asegurar la estabilidad física del depósito de relaves N° 5 (estudio del caso) es necesario realizar lo siguiente:

- Asegurar la formación de una playa de relaves pegada al talud aguas arriba del dique de contención del depósito de relaves N° 5, asimismo se deberá controlar la formación de cuerpos de agua pegados al talud aguas arriba, ya que se prevé la formación de aguas en el vaso por la disposición de relaves en pulpa.

- Como medida de contingencia ante el posible colapso del dique de contención por desbordamiento se deberá respetar el borde libre de 1 metro para esto se deberá controlar el asentamiento de la corona del dique de contención, asimismo en caso de avenidas máximas se instalará una balsa flotante en el espejo de agua con dos bombas (una en stand by), las cuales derivarán dichas aguas hacia la planta de beneficio para su uso.

LOCALES

En la revisión hecha, no se ha encontrado antecedentes locales.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. MANEJO DE RELAVES

2.2.1.1. TIPOS Y CARACTERÍSTICAS DE LOS RELAVES

Los relaves son generalmente los desechos provenientes del tratamiento metalúrgico que se da a los minerales con contenido metálico, y estos pueden ser (los minerales) con contenido de metales preciosos como Au, Ag, y metales básicos como Cu, Pb, Zn entre otros, ya que son estos los que predominan en el sector minero peruano.

Los relaves generalmente son producto de:

- Flotación
- Cianuración
- Carbón de pulpa
- Desmonte de mina
- Residuos de pilas de lixiviación
- Escorias
- Placeres o lavaderos de oro
- JIG, preconcentración, concentración gravimétrica, entre otros.

Los tipos de relaves cubren una variedad ancha de características físicas de manera que su generalización es difícil. Dicha situación se complica si se considera que los relaves de cualquier tipo de mineral pueden diferir

sustancialmente, de acuerdo con el proceso de la planta y la naturaleza de la roca mineralizada, sin embargo, trataremos de efectuar algunas generalizaciones para prever un resumen útil. Es necesario un comentario relacionado con un problema químico que afecta los depósitos de relaves de la minería polimetálica, la oxidación de sulfuros especialmente la pirita cuando estas están presentes en la roca mineralizada. La pirita se oxida con la presencia de oxígeno libre, produciendo condiciones de acidez, el mecanismo básico de esta reacción es la combinación de metal sulfuroso con agua y oxígeno para producir un hidróxido de metal y ácido sulfúrico.

La siguiente tabla divide varios tipos de relaves en cuatro categorías generales de acuerdo con la granulometría y la plasticidad.

Tabla N° 3: Características Físicas de Relaves

CATEGORÍA		CARACTERÍSTICA GENERAL
I	Relave de Roca Blanca. <ul style="list-style-type: none"> ▲ Desecho de Carbón Fino. ▲ Potasa. 	Contiene fracciones de arena y lama, pero las lamas pueden dominar todas las propiedades por la presencia de arcilla.
II	Relave de Roca Dura. <ul style="list-style-type: none"> ▲ Plomo. ▲ Cobre. ▲ Oro y Plata. ▲ Molibdeno. ▲ Níquel. 	Pueden contener fracciones de arena y lama; pero las lamas son usualmente de baja plasticidad. Las arenas usualmente controlan las propiedades totales para propósitos de ingeniería.
III	Relaves Finos. <ul style="list-style-type: none"> ▲ Arcillas fosfáticas. ▲ Limos rojos de bauxita. ▲ Taconita fina. ▲ Lamas de arena. 	La fracción de arena es pequeña o nula. La respuesta del material, particularmente las características de sedimentación-consolidación son dominadas por las partículas de tamaño de limo o arcilla y pueden dar problemas de volumen de disposición.
IV	Relaves Gruesos. <ul style="list-style-type: none"> ▲ Arenas alquitranosas. ▲ Relaves de uranio. ▲ Relaves de taconita. ▲ Arenas fosfatadas. 	Contienen principalmente partículas de arenas o tamaños de limos no plásticos, exhibiendo comportamientos como la arena y generalmente características favorables de ingeniería.

Fuente: Tomado de Villanueva 2007.

Como consecuencia de que los relaves en cualquier categoría comparten las mismas características físicas, los problemas de disposición son algo similares. (Rojas 2007).

A. PROPIEDADES FÍSICAS Y ESTRUCTURALES

A.1. CARACTERÍSTICAS DE LA DEPOSITACIÓN

Los relaves son casi siempre transportados desde la concentradora a través de una tubería, en la forma de pulpa (mezcla de agua y sólidos), en concentraciones que van de 20 a 50% de sólidos en peso. En los depósitos superficiales la pulpa es descargada desde la cresta del dique, sea a través de grifos en la línea de relaves espaciados más o menos de 10 a 50 m. o por una reubicación periódica del extremo de la tubería de descarga.

Conforme los sólidos se asientan a partir de la pulpa descargada, se forma una playa de leve inclinación que se extiende desde el punto de descarga hasta la poza de decantación donde el agua remanente de la pulpa se acumula para ser recirculada a la concentradora. En teoría, el material más grueso se asienta inicialmente a partir de la pulpa, las partículas más finas se asientan más lejos de la playa, y las mucho más finas, del tamaño de arcillas y limos, se asientan en la poza de decantación dando lugar al modelo altamente idealizado de segregación por tamaño y permeabilidad relativa. Esto crea zonas de relaves dentro del depósito que están segregadas por el tamaño del grano y que son conocidas por la siguiente terminología: Arenas, arenas de relaves, o relaves arenosos, son materiales predominantemente más grandes que 0.074 mm lo que significa que menos del 50% son más finos que ese tamaño. Lamas, son predominantemente materiales del tamaño del limo, más del 50% menor de 0.074 mm. (Ministerio de Energía y Minas, Perú 1997).

A.2. PROPIEDADES ESTRUCTURALES

Las propiedades estructurales son aquellas características geotécnicas de los depósitos de relave que gobiernan su comportamiento frente a la estabilidad, infiltración y deformación.

Las propiedades estructurales básicas, incluyen resistencia, permeabilidad y compresibilidad, y en el caso de los depósitos de relaves estas propiedades dependen notablemente de si predominan las arenas

o las lamas, y del grado de interestratificación. Valores típicos de la densidad «in situ», resistencia, permeabilidad, índice de compresión, y coeficiente de consolidación, han sido reportados (Vick 1990) y sólo se ofrecen aquí algunas generalidades. La resistencia de los relaves arenosos está mejor representada por el ángulo de fricción interna el cual es mayor que el de la mayoría de los suelos naturales debido a la angularidad de las partículas del relave que la molienda produce. Las lamas, sin embargo, son débiles y compresibles, y la baja resistencia al corte del material sin drenaje, determina su comportamiento (Ladd 1991 y Vick 1992).

La permeabilidad de los relaves arenosos varía aproximadamente entre: 10^{-3} a 10^{-4} cm por segundo, mientras que las lamas oscilan en el rango de: 10^{-5} a 10^{-6} cm por segundo, dependiendo de la presión total efectiva a que estén sometidos; una relación muy útil está dada por la fórmula de Hazen's: $k = (d_{10})^2$, donde k es la permeabilidad en centímetros por segundo y d_{10} es el tamaño de abertura en milímetros por el que pasa el 10% del material. Esta relación ha probado ser muy exacta para relaves de metales básicos y metales preciosos de todos los tipos. Proporciona la permeabilidad de los estratos individuales mas no, necesariamente, del relave como un todo pues este depende de la interestratificación.

La permeabilidad de los depósitos interestratificados de arenas y lodos es gobernada por aquella de las arenas, debido a la interconexión de los estratos más permeables y las zonas que proporcionan vías que controlan la infiltración. Los relaves arenosos drenan por gravedad después que el agua empozada es extraída de la superficie de un depósito y si están sobre un material razonablemente permeable, su humedad gravimétrica residual disminuye aproximadamente 5% a 15%. Las lamas, sin embargo, no responden al drenaje por gravedad debido a las altas fuerzas de capilaridad asociadas con el pequeño tamaño de las partículas. Las evidencias de campo muestran que, por debajo de la zona de desecación superficial, los lodos originalmente depositados bajo agua retienen su contenido original de agua (25% a 35%) y permanecen virtualmente saturados en su totalidad por períodos de hasta 90 años,

aún en climas secos. Esta conducta de la saturación ha sido confirmada aún en los desiertos peruanos (Arequipa) en donde estratos de lamas saturadas permanecen a solamente 1.60 metros por debajo de la superficie de un depósito de relaves inactivo por más de 35 años (Villachica y Sinche 1984).

La deposición hidráulica ordinaria de arenas y lamas produce bajas densidades “in-situ” y condiciones sueltas y blandas, tal como lo indican los resultados de la Prueba Estándar de Penetración (Seed y asociados, 1985) con promedios típicos entre 5 a 10 para playas de arenas recientemente depositadas y entre 1 y 3 para lamas. Bajo condiciones de total saturación esto indica que ambos tipos de relaves son susceptibles de perder resistencia durante licuefacción sísmica, y este factor tiene la máxima importancia con relación a casi todos los aspectos del manejo de relaves en el Perú. (Ministerio de Energía y Minas, Perú 1997).

B. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS

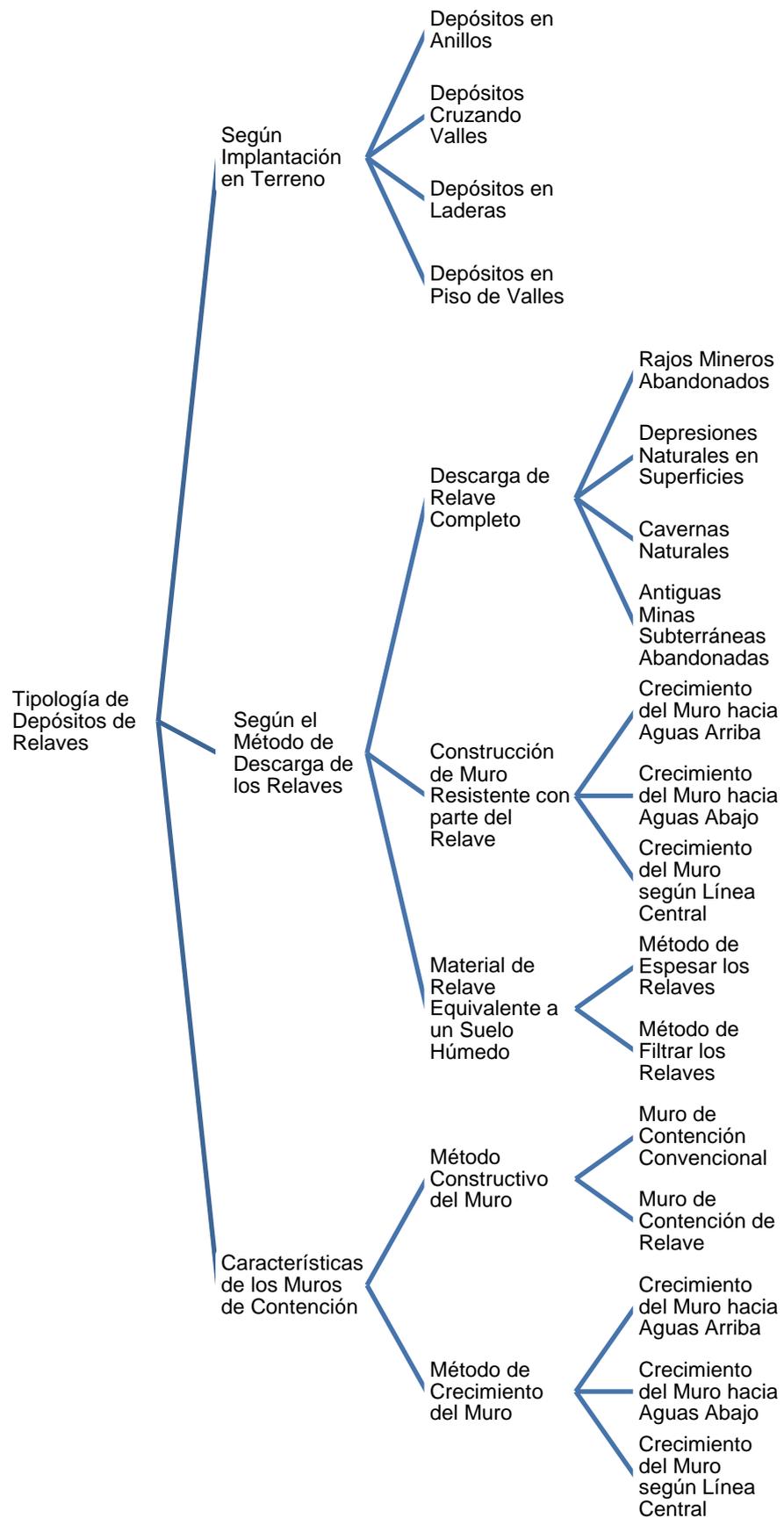
Es aparente, desde un punto de vista físico que los relaves son un material manufacturado y la naturaleza básica del proceso admite algunas generalizaciones razonables sobre el asunto. Esto no es así, con respecto a las características químicas que pueden variar ampliamente de un yacimiento a otro. A este respecto, es importante anotar que varios depósitos de características diferentes, cada uno con distinta geoquímica, pueden ser explotados a lo largo de la vida de la mina, ocasionando las variaciones correspondientes en las características químicas de los relaves producidos. (Ministerio de Energía y Minas, Perú 1997).

2.2.1.2. DISPOSICIÓN DE RELAVES

A. TIPOLOGÍA DE DEPÓSITOS DE RELAVES

Los depósitos de relaves se pueden distinguir de acuerdo con elementos característicos, clasificándolos en forma general, según el lugar de localización y la forma de disposición del material, logrando con ello, establecer un marco general como se observa a continuación. (Márquez 2002).

Tabla N° 4: Esquema General de la Tipología de los Depósitos de Relaves



Fuente: Tomado de Márquez 2002.

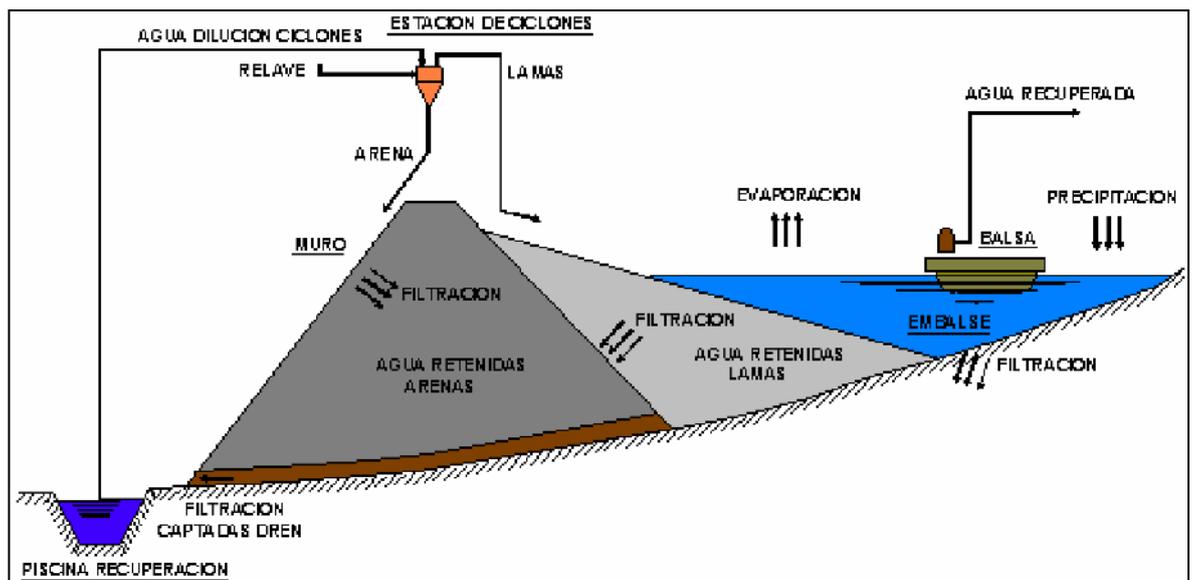
B. MANEJO GENERAL DE UN DEPÓSITO DE RELAVES

El manejo general de un depósito requiere de un control de los volúmenes de arena, relave y lamas producidas y los volúmenes de aguas acumuladas, recibidas, infiltradas y recirculadas. En realidad, la operación de un depósito estará guiada en gran parte por los balances de materiales (relave y agua) que inciden en el proceso de crecimiento de dichos lugares.

Elementos indispensables para el buen manejo de un depósito de relaves son los diagramas de flujos y el esquema de balance de aguas que ocurran en estos.

Por otra parte, es importante destacar que la producción de arenas debe ser tal que permita una velocidad de crecimiento del muro respetando las revanchas mínimas necesarias. (Márquez 2002).

Figura N° 1: Esquema del Balance de Agua en un Depósito de Relaves.



Fuente: Tomado de Márquez 2002.

2.2.2. CIRCUITOS DE FLOTACIÓN E HIDRÁULICA DE RELAVES

2.2.2.1. CIRCUITOS DE FLOTACIÓN

A. INTRODUCCIÓN

Los circuitos de flotación constan de varias etapas, en general, en la flotación de minerales de cobre se utilizan las etapas **Rougher, Cleaner, Cleaner-Scavenger y Recleaner**. Sin embargo, en la flotación de otros

minerales podrían encontrarse etapas Rougher, Scavenger, Cleaner y Recleaner.

La etapa primaria de flotación (Etapa Rougher) se alimenta con el rebalse de los hidrociclones de un circuito cerrado molienda/clasificación. Por otra parte, es común que el concentrado de la etapa Rougher se someta a una remolienda antes de ingresar a la etapa Cleaner.

En relación con las celdas de flotación utilizadas en los circuitos, las celdas mecánicas son utilizadas en las etapas Rougher, Scavenger y Cleaner-Scavenger, mientras que, columnas de flotación se aplican a las etapas Cleaner y Recleaner. Sin embargo, existen algunas concentradoras que usan celdas mecánicas en la etapa Cleaner y celdas columnares en la etapa Recleaner.

En la actualidad, la tendencia es aumentar el tamaño de los equipos hacia celdas mecánicas de volumen superior a los 4000 pies³, originada por la disminución de los costos de operación (energía, mantención, etc.) de estas celdas de gran volumen. (Pávez 2009).

B. ETAPAS DE FLOTACIÓN

La flotación de minerales se realiza en etapas (también llamados circuitos), cuyos objetivos involucran una alta recuperación de las especies útiles con la mayor selectividad posible. Para cumplir con estos objetivos los circuitos estar divididos en etapas destinadas a que se consigan esos propósitos, y en estas etapas las celdas de flotación están ordenadas en bancos de celdas y en columnas de flotación. Así, en las plantas concentradoras existe el banco de celdas Rougher, las celdas columnares de la etapa Cleaner, el banco de celdas Cleaner-Scavenger, etc.

La etapa Rougher es la etapa primaria, en ella se logran altas recuperaciones y se elimina gran parte de la ganga. Debido a que esta etapa se opera con la mayor granulometría posible, el concentrado Rougher está constituido por materiales medios o middlings, por lo cual las leyes de este concentrado son de bajas y requieren una etapa de limpieza que seleccione el concentrado. Al circuito Rougher llega la alimentación del proceso de flotación, y en algunas oportunidades, concentrados de la etapa

Scavenger o colas de la etapa Cleaner. Las colas de la etapa Rougher pueden ser colas finales del proceso, o bien, alimentación a un circuito Scavenger.

La etapa Scavenger o de barrido tiene como objetivo aumentar la recuperación de las especies útiles desde las colas de la etapa Rougher. Producen colas finales del proceso y un concentrado de baja ley que puede juntarse a la alimentación del proceso de flotación, o a una etapa de remolienda y su posterior tratamiento.

Los circuitos Cleaner o de limpieza, junto a los circuitos Recleaner, tienen como objetivo aumentar la ley de los concentrados Rougher, a fin de alcanzar un producto que cumpla con las exigencias del mercado, o bien, de la etapa del proceso siguiente a que será sometido el concentrado. Dado que la etapa Cleaner es selectiva, normalmente el concentrado Rougher es sometido a una etapa de remolienda previa, para alcanzar la mayor liberación posible de las especies útiles antes de alimentarse al circuito Cleaner.

En las plantas concentradoras de cobre se utilizan circuitos Cleaner-Scavenger, los cuales se alimentan con las colas de la etapa Cleaner. En general, el concentrado de la etapa Cleaner-Scavenger se junta a los concentrados Rougher y alimentan la etapa Cleaner. Las colas de los circuitos Cleaner-Scavenger, dependiendo de la ley que posea se juntan a las colas finales. (Pávez 2009).

2.2.2.2. TRANSPORTE HIDRÁULICO DE RELAVES

A. GENERALIDADES

El transporte hidráulico de sólidos, a través de cañerías, constituye una operación ampliamente utilizada desde hace varios años en numerosas industrias y especialmente en el campo de la minería. El agua es el fluido más común para transportar sólidos, y si la instalación opera en forma continua, el proceso es capaz de transportar grandes cantidades de sólidos. El movimiento de materiales finos dentro de una faena minera, como puede ser, el transporte de mineral desde la planta de molienda a la planta de flotación, los flujos en el interior de la planta de flotación, el

transporte de concentrados desde la concentradora a la fundición o el transporte de relaves desde la concentradora al tranque de relaves, constituye un factor determinante dentro del esquema de operación de una industria minera. Este problema se ve agravado en nuestros países, por la localización cordillerana de nuestros principales yacimientos, obligando a construir los sistemas para efectuar el transporte antes señalado sobre una topografía desventajosa y capacitarlos para soportar factores climáticos adversos.

Por otra parte, en nuestro país la ubicación de los yacimientos crea condiciones de pendientes y balances hidrológicos favorables que hacen pensar de inmediato en el transporte mediante un sistema hidráulico, consistente en el movimiento gravitacional y/o forzado de suspensiones sólido – líquido ya sea en tuberías o canales.

La explicación del creciente interés por esta alternativa para transportar materiales de tamaño reducido, es principalmente de índole económico, y son dos factores los más destacados:

- Bajo costo y economía de escala, y
- Puesta en marcha de la explotación de yacimientos mineros, cuya localización hace que tal actividad no sea económica por medio del transporte tradicional.

Algunos antecedentes indican que los costos de transportes son más bajos, dentro de ciertos límites de producción, y le siguen el transporte por ferrocarril, por camión y por correas transportadoras.

Si se toma como patrón de medida el costo de transporte interoceánico (c.t.i.) de materiales finos, en barcos de alto tonelaje, se tienen los siguientes índices, que demuestran lo favorable que es el transporte hidráulico de sólidos por tubería.

- Por tubería o canales : 3 a 20 veces c.t.i.
- Por barco fluvial : 4 a 8 veces c.t.i.
- Por tren : 8 a 30 veces c.t.i.
- Por camión : 80 a 100 veces c.t.i.

Estos datos son válidos para distancias cercanas a mayores a 161 Kilómetros. Las ventajas más significativas que presenta el transporte hidráulico de sólidos son:

- Simplicidad de la instalación.
- Facilidad para vencer obstáculos naturales o artificiales. No hay impedimentos, el transporte puede ser en dirección horizontal, vertical o inclinada.
- No requiere de gran despliegue de maniobras de instalación, ni de operación. El factor operacional es ventajoso, por cuanto es bajo el número de operarios requeridos para hacer funcionar el sistema.
- Proporciona un flujo continuo de sólidos y fácil implementación de control automático.
- Bajo consumo de energía.
- Posibilidad de transportar varios productos.
- No se produce daño, ni se altera el medio ambiente.
- Permitir la elección de la vía más corta entre dos puntos al atacar cualquier tipo de pendientes, para las tuberías en presión, y evitar la construcción de las complejas obras civiles necesarias para implementar un camino o una vía férrea.
- Elimina la influencia de factores climáticos como temporales, rodeados de nieve, neblina, etc.
- Poder alcanzar ritmos de transportes imposibles de realizar con otro tipo de sistema. (Tapia 2006).

B. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROCESO

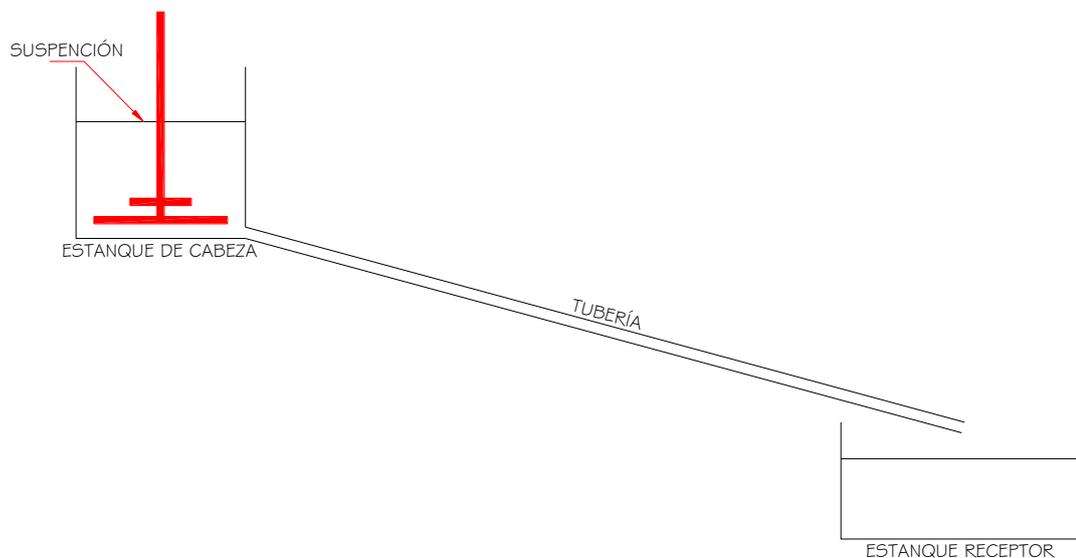
Para que el transporte de mezclas sólido-líquido a través de cañerías sea técnicamente factible, se deben cumplir las siguientes condiciones:

- El sólido debe poder mezclarse y separarse fácilmente.
- No deben existir riesgos, como por ejemplo taponamiento de la cañería debido a interacciones entre las partículas, trayendo como consecuencia aglomeración de ellas.

- El sólido por transportar no debe reaccionar ni con el fluido transportante, ni con la tubería.
- El desgaste y ruptura que sufren las partículas durante el transporte no deben tener efectos adversos para el proceso posterior de ellas.
- La cantidad de fluido transportante debe ser adecuada.

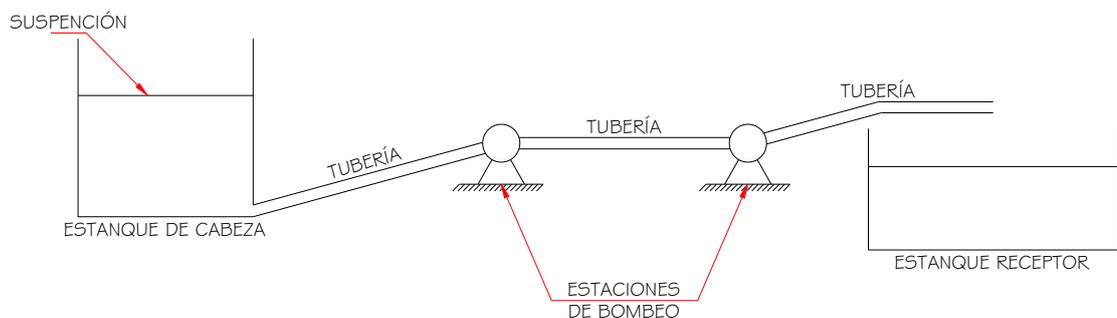
Dependiendo de la topografía, y específicamente al desnivel entre el punto de alimentación y el de descarga de la tubería, se pueden utilizar dos tipos de fuerza impulsora para mover la mezcla, con lo cual el transporte hidráulico de sólidos por cañerías se clasifica en transporte gravitacional y transporte por bombeo. Estos dos tipos se muestran en las figuras 2 y 3. (Tapia 2006).

Figura N° 2: Transporte Gravitacional de Suspensiones



Fuente: Adaptado de Tapia 2006.

Figura N° 3: Transporte por Bombeo de Suspensiones



Fuente: Adaptado de Tapia 2006.

C. VARIABLES DEL SISTEMA Y FÍSICA DE LAS PULPAS

El flujo de mezclas sólido-líquido por cañerías depende de una gran cantidad de variables y parámetros, no estando aún evaluada con exactitud la influencia de algunas de ellas estas variables se pueden sintetizar de la siguiente manera:

- Dependiente del sólido a transportar
 - ↳ Granulometría
 - ↳ Densidad
 - ↳ Forma
 - ↳ Dureza
- Dependiente del fluido transportante
 - ↳ Densidad
 - ↳ Viscosidad
- Dependiente de la instalación
 - ↳ Diámetro interno de la cañería
 - ↳ Longitud
 - ↳ Desnivel
 - ↳ Rugosidad Interna
 - ↳ Ángulos de inclinación de la tubería
 - ↳ Singularidades (estrechamiento, codos, etc.)
- Dependientes de la mezcla
 - ↳ Concentración de sólidos en volumen (C_V) y en peso (C_W)
 - ↳ Densidad de la mezcla
- Dependientes del sistema
 - ↳ Tonelaje de sólidos a transportar
 - ↳ Velocidad de flujo
 - ↳ Perdida de carga

C.1. Concentración en Peso (C_W).

Es la relación que existe entre el peso de la fase sólida con respecto a toda la mezcla.

$$C_W = \frac{C_V \cdot \rho_S}{\rho_m} = \frac{C_V \cdot \rho_S}{C_V \cdot \rho_S + (100 - C_V)} \quad (\text{Ec. 01})$$

C.2. Concentración en Volumen (C_V).

Análogamente al concepto anterior, es la relación entre el volumen de sólidos con respecto al volumen total de la mezcla.

$$C_V = \frac{C_W \cdot \rho_m}{\rho_S} = \frac{C_W / \rho_S}{C_W / \rho_S + (1 - C_W) / \rho_L} \quad (\text{Ec. 02})$$

C.3. Densidad de la pulpa (ρ_m).

El concepto de densidad en una pulpa se entiende como la masa de pulpa sobre volumen de pulpa existente. La medida de este parámetro se debe realizar cuando la pulpa se encuentra perfectamente mezclada, sin embargo, muchas veces se prefiere relacionarlo con otros parámetros como la concentración en peso, concentración en volumen y la densidad de las fases.

$$\rho_m = \frac{C_V \cdot \rho_S}{C_W} = \frac{1}{C_W / \rho_S + (1 - C_W) / \rho_L} \quad (\text{Ec. 03})$$

Es usual expresar este parámetro como densidad específica que se obtiene de dividir la densidad del lodo con la densidad del agua. Así, se podría plantear una nueva ecuación: (WEIR GROUP PLC. 2002).

$$S_m = \frac{\rho_m}{\rho_W} = \frac{C_V \cdot S_S}{C_W} \quad (\text{Ec. 04})$$

Donde:

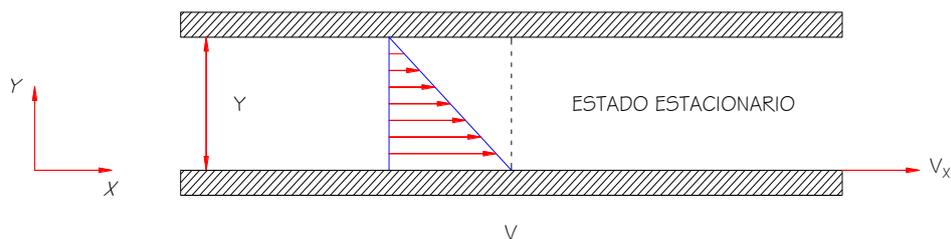
- ρ_S : Densidad de los sólidos (kg/m^3)
- ρ_L : Densidad del medio líquido (kg/m^3)
- ρ_m : Densidad de la pulpa (kg/m^3)
- ρ_W : Densidad del agua (kg/m^3)
- S_S : Densidad específica de los sólidos.

- S_L : Densidad específica del líquido.
 S_m : Densidad específica de la pulpa.
 C_w : Concentración de sólidos en peso (%)
 C_v : Concentración de sólidos en volumen (%)

D. REOLOGIA DE LAS PULPAS

La reología es una disciplina que estudia los principios físicos que regulan el movimiento de los fluidos y su deformación. Estos principios están ligados al comportamiento que tiene los fluidos en movimiento, con respecto al gradiente de velocidad, al esfuerzo de corte aplicado y a la viscosidad. Para entender cómo se relacionan estos parámetros, se puede imaginar un fluido entre dos grandes láminas y suponer que se le aplica movimiento a la lámina inferior, como muestra la Figura N° 4.

Figura N° 4: Modelo de viscosidad en estado estacionario.



Fuente: Adaptado de Fernández 2002.

La fuerza de cizallamiento aplicada generará una deformación, mientras que el flujo de cantidad de movimiento se transmitirá capa por capa en estado estacionario y será dependiente del gradiente de velocidad. Así, la viscosidad será determinada por la dependencia existente entre el esfuerzo de corte y el gradiente de velocidad. Esta dependencia genera una clasificación entre pulpas que obedecen la ley de viscosidad de Newton o Pulpas Newtonianas y las que no la obedecen o Pulpas No Newtonianas. (López 2014).

D.1. VISCOSIDAD APARENTE Y EFECTIVA

La viscosidad aparente es la que se genera de la interacción entre el esfuerzo de corte y el gradiente de velocidad y se define:

$$\mu_a = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} \quad (\text{Ec. 05})$$

Donde:

τ : Esfuerzo cortante aplicado a una determinada altura (Pa)

\hat{Y} : Gradiente de velocidad o Ratio de corte (1/seg)

Como se ha visto líneas arriba, μ_a es constante para fluidos newtonianos, sin embargo, para fluidos no newtonianos esta dependerá del gradiente de velocidad. La viscosidad efectiva o local, tiene el mismo sustento que la aparente, pero discretizado en un diferencial de esfuerzo aplicado. Entonces, se define como:

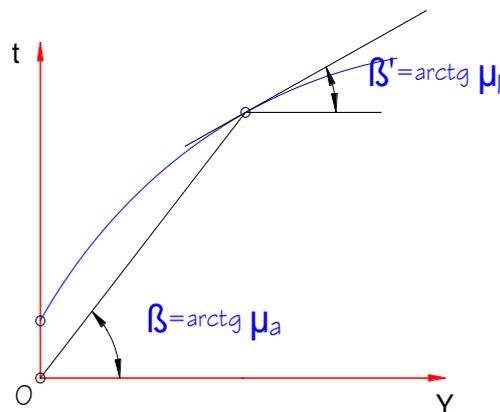
$$\mu_l = \frac{d\tau}{d\dot{Y}} \quad (\text{Ec. 06})$$

Donde:

τ : Esfuerzo cortante aplicado a una determinada altura (Pa)

\hat{Y} : Ratio de deformación de corte con respecto al tiempo (1/seg)

Figura N° 5: Viscosidad aparente y efectiva.



Fuente: Adaptado de Fuentes 2008.

En la Figura N° 5 se pueden apreciar de manera gráfica las dos viscosidades, la aparente como viscosidad secante y la efectiva como tangente. Para el caso específico de un flujo de fluido en el interior de una tubería, bajo un diferencial de presiones aplicados en una longitud determinada, el esfuerzo cortante (τ_w) generado en las paredes se define por equilibrio de fuerzas mediante la ecuación:

$$\tau_w = \frac{\Delta p \cdot D}{4L} \quad (\text{Ec. 07})$$

Donde:

ΔP : Diferencia de presiones (Pa)

D : Diámetro (m)

L : Longitud de la tubería (m)

Por otro lado, según la teoría de Poiseuille para régimen laminar, la variación de presiones P se define mediante la ecuación:

$$\Delta P = \frac{32\mu_a \cdot L \cdot V}{D^2} \quad (\text{Ec. 08})$$

Donde:

μ_a : Viscosidad aparente (Pa.s)

L : Longitud de la tubería (m)

V : Velocidad media (m/seg)

D : Diámetro (m)

Luego, si se reemplaza la ecuación 08 en la 07, se obtiene la ecuación 09 y comparándola con la ecuación 05, se puede obtener una expresión en la ecuación 10 para calcular la gradiente de velocidad o ratio de corte.

$$\tau_W = \frac{\mu_a \cdot 8V}{D} \quad (\text{Ec. 09})$$

$$\dot{\gamma} = \frac{dV}{dy} \quad (\text{Ec. 10})$$

Donde:

μ_a : Viscosidad aparente (Pa.s)

V : Velocidad media (m/seg)

D : Diámetro (m)

$\dot{\gamma}$: Gradiente de velocidad o Ratio de corte (1/seg)

(López 2014).

D.2. PULPAS NEWTONIANAS

Estos fluidos cumplen con el modelo de viscosidad enunciado por Newton (Ec. 11) y tienen origen en la existencia de un gradiente de velocidad que se incrementa linealmente mientras mayor sea el esfuerzo cortante aplicado.

La viscosidad en estas pulpas es constante respecto del esfuerzo de corte aplicado, su alteración solo dependerá de la presión y temperatura del fluido.

$$\tau = \mu \cdot \frac{dV}{dy} \quad (\text{Ec. 11})$$

Donde:

τ : Esfuerzo cortante aplicado a una determinada altura (Pa)

μ : Viscosidad dinámica (Pa.s)

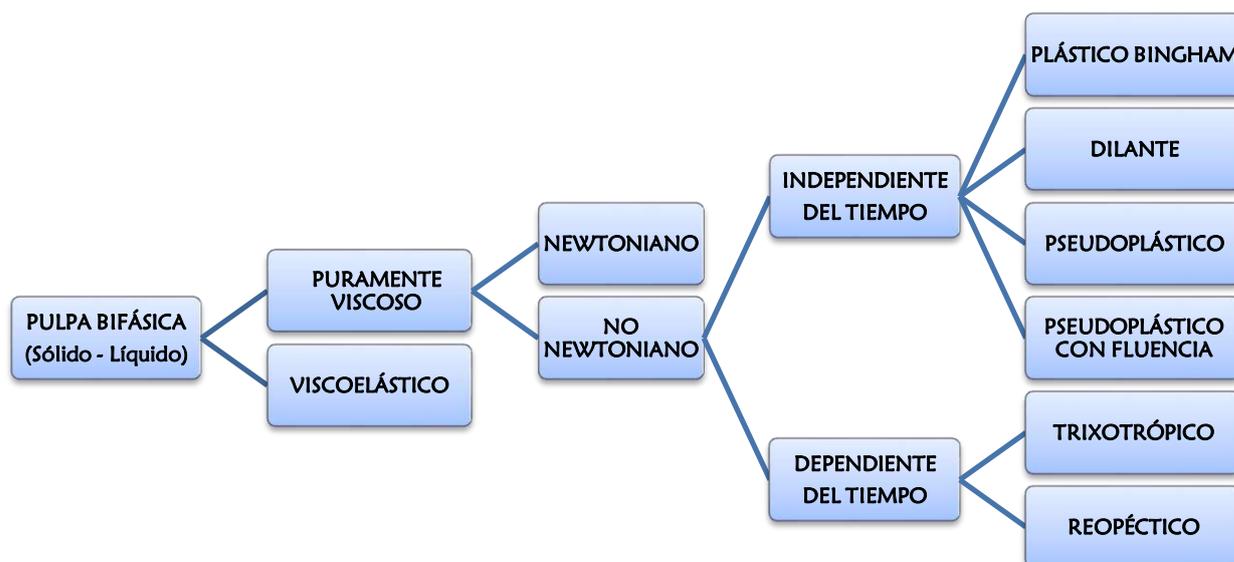
dV/dy : Gradiente de velocidad o ratio de corte (1/seg)

(López 2014).

D.3. PULPAS NO NEWTONIANAS

En este caso, las pulpas no obedecen la ley de viscosidad, es decir, la viscosidad no permanece constante y el esfuerzo de corte aplicado no es lineal con la gradiente de velocidad, pero sigue existiendo dependencia. La variación del comportamiento de estas propiedades dependerá de la naturaleza del fluido, las cuales se encuentran categorizadas en la Figura N° 6.

Figura N° 6: Clasificación de las Pulpas.



Fuente: Adaptado de Abulnaga 2002.

a. Independientes del Tiempo.

Este tipo de fluidos se caracteriza porque la deformación en un punto solo dependerá del esfuerzo de corte en ese instante (τ_W), entonces se les puede definir con la ecuación 12.

$$\frac{dy}{dt} = f(\tau_W) \quad (\text{Ec. 12})$$

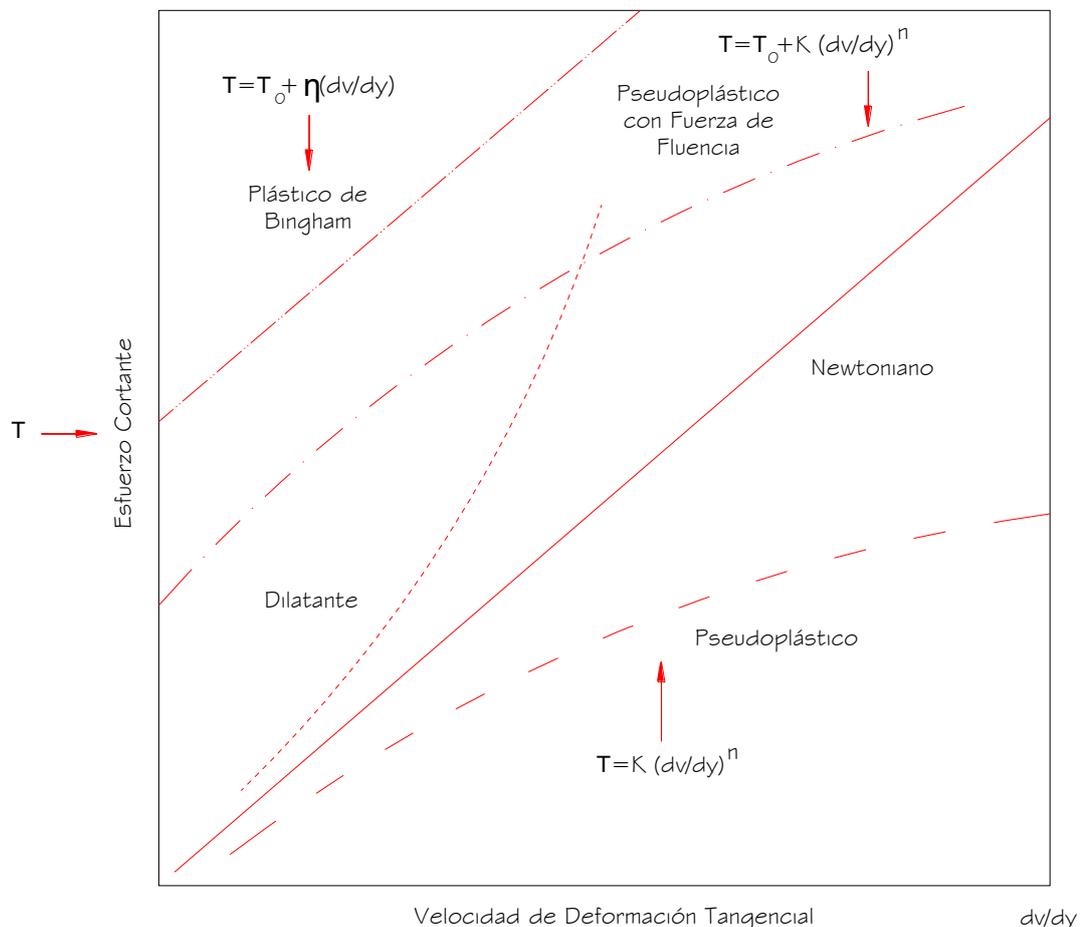
Donde:

τ_W : Esfuerzo cortante aplicado (Pa)

γ : dV/dy : Gradiente de velocidad (1/seg)

Dentro de esta categoría, existe una clasificación de pulpas que dependen de la forma que tome la función de la ecuación 12 y que se reflejará en las curvas de esfuerzo de corte y viscosidad aparente contra el gradiente de velocidad en las Figuras N° 7 y 8.

Figura N° 7: Curvas Teóricas de Esfuerzo de Corte y Velocidad de Corte para Pulpas.

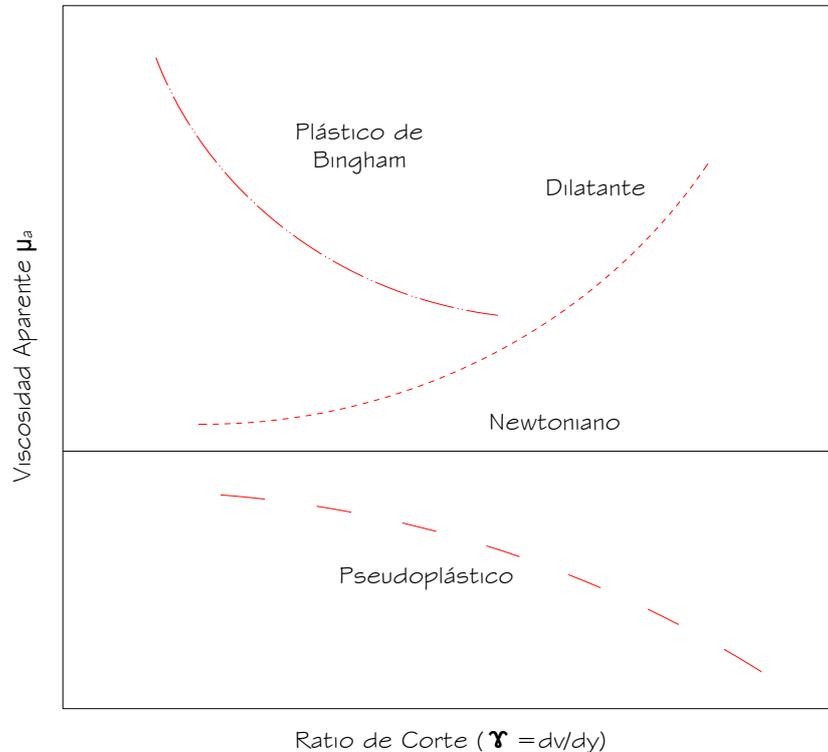


Fuente: Adaptado de Ingeniería de Minas – Universidad de Chile 2011.

Donde:

η : Coeficiente de Rigidez

Figura N° 8: Curvas teóricas de Viscosidad Aparente y Velocidad de Corte para Pulpas.



Fuente: Adaptado de Abulnaga 2002.

a.1. Plástico Bingham

La pulpa tipo plástico Bingham solicita un esfuerzo de corte inicial o fluencia que debe ser superado para superar el umbral e iniciar el movimiento, a partir de ese punto, como se ve en la Figura N° 8, el fluido adopta un comportamiento similar al newtoniano.

El modelo matemático que define este tipo de pulpa se muestra en la ecuación 13.

$$\tau_w - \tau_0 = \eta \cdot \frac{dy}{dt} \quad (\text{Ec. 13})$$

Donde:

τ_w : Esfuerzo cortante aplicado (Pa)

τ_0 : Esfuerzo cortante de fluencia (Pa)

η : Constante de Rigidez (Pa.s)

$d\gamma/dt$: Ratio de deformación de corte con respecto al tiempo
(1/s)

Es común este tipo de comportamiento en fluidos homogéneo con concentraciones altas y bajos tamaños de partículas. Ejemplos para este tipo de fluidos son la mayonesa, el chocolate derretido, la pasta de tomate, algunos relaves mineros, etc.

a.2. Pseudoplástico.

Este fluido es el más común dentro de los no newtonianos y su característica básica es que solicita un esfuerzo infinitesimal para iniciar el movimiento; además, el incremento del esfuerzo de corte con respecto de la gradiente de velocidad disminuye mientras mayor sea la gradiente de velocidad. El esfuerzo en función de la gradiente de velocidad se expresa mediante la ley de potencia en la ecuación 14.

$$\tau_w = k \cdot \left(\frac{d\gamma}{dt}\right)^n \quad (\text{Ec. 14})$$

Donde:

τ_w : Esfuerzo cortante aplicado (Pa)

k : Factor de consistencia (Pa.sⁿ)

n : Índice de comportamiento.

$d\gamma/dt$: Ratio de deformación de corte con respecto al tiempo
(1/s)

a.3. Pseudoplástico con fluencia:

Estos fluidos son muy parecidos a los pseudoplásticos, la diferencia es que se debe superar un esfuerzo de fluencia al iniciar el movimiento. Lo cual produce que la ley de potencia se modifique a la ecuación 15.

$$\tau_w - \tau_0 = k \cdot \left(\frac{d\gamma}{dt}\right)^n \quad (\text{Ec. 15})$$

Donde:

τ_w : Esfuerzo cortante aplicado (Pa)

τ_0 : Esfuerzo cortante de fluencia (Pa)

k : Factor de consistencia (Pa.sⁿ)

n : Índice de comportamiento.

$d\gamma/dt$: Ratio de deformación de corte con respecto al tiempo (1/s)

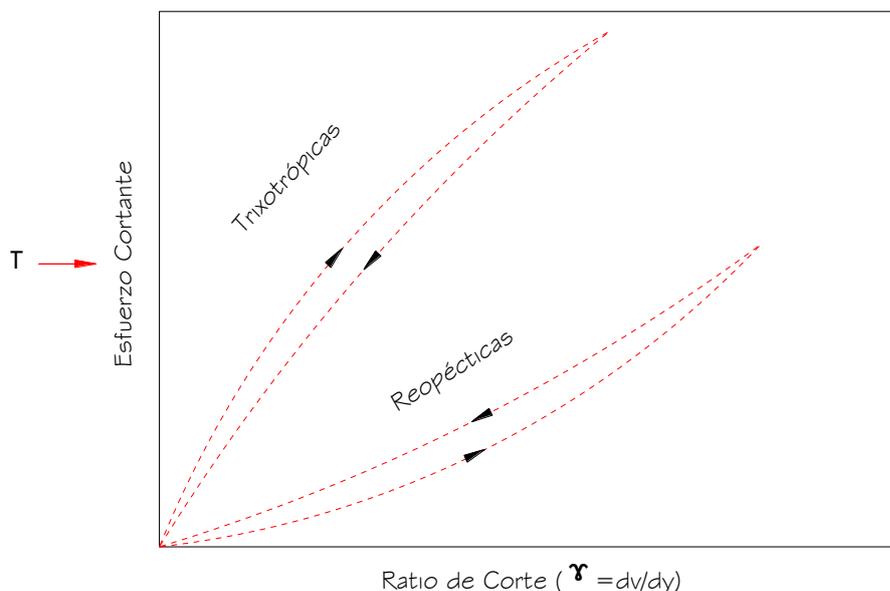
a.4. Dilatante:

En este fluido el incremento del esfuerzo cortante aumenta conforme aumenta la gradiente de velocidad. La ley de potencia para pseudoplásticos se puede usar también en este caso. Los fluidos dilatantes son muy escasos ya que se necesita la concurrencia de muchas condiciones específicas como concentración, gradiente de velocidad, tamaño de partículas, etc.

b. Dependientes del Tiempo.

En estos fluidos la estructura y la orientación de las partículas es sensible a la velocidad de corte, lo que provoca que las partículas se reacomoden para fluir produciendo que el esfuerzo cortante aumente o disminuya con respecto del tiempo y la temperatura. Dentro de esta clasificación están las mezclas Trixotrópicas y las Reopécticas.

Figura N° 9: Curva de Esfuerzo de Corte y Velocidad de Corte para Fluidos No Newtonianos Dependientes del Tiempo.



Fuente: Adaptado de Abulnaga 2002.

b.1. Mezclas Trixotrópicas.

La tixotropía es una propiedad relacionada con la histéresis que presenta el esfuerzo cortante cuando se le aplica una velocidad de deformación al fluido. Es decir, si la curva del fluido es medida con una velocidad de deformación que se incrementa constantemente desde cero hasta el máximo valor y después decrece al mismo ritmo hasta cero, se producirá un ciclo de histéresis que se puede observar en la Figura N° 9.

b.2. Mezclas Reopécticas.

También conocidas como Tixotrópicas negativas, pues la histéresis del caso anterior, ahora se muestra invertida. Esto porque el reacomodo que sufre la estructura del fluido hace que el esfuerzo de corte aumente. (Abulnaga 2002).

E. FLUJO EN TUBERÍAS

Ahora que ya se conoce como definir las características físicas de la pulpa y el comportamiento reológico que puede presentar, es necesario exponer cómo se comporta el flujo de pulpa dentro de una tubería.

Como ya se ha mencionado, la pulpa es un flujo bifásico que dentro de una tubería se muestra diferente al agua, de una sola fase. El hecho de que coexistan dos fases provocará un comportamiento dependiente de la velocidad de flujo, el tamaño de partícula, la densidad de los sólidos, la viscosidad, etc.

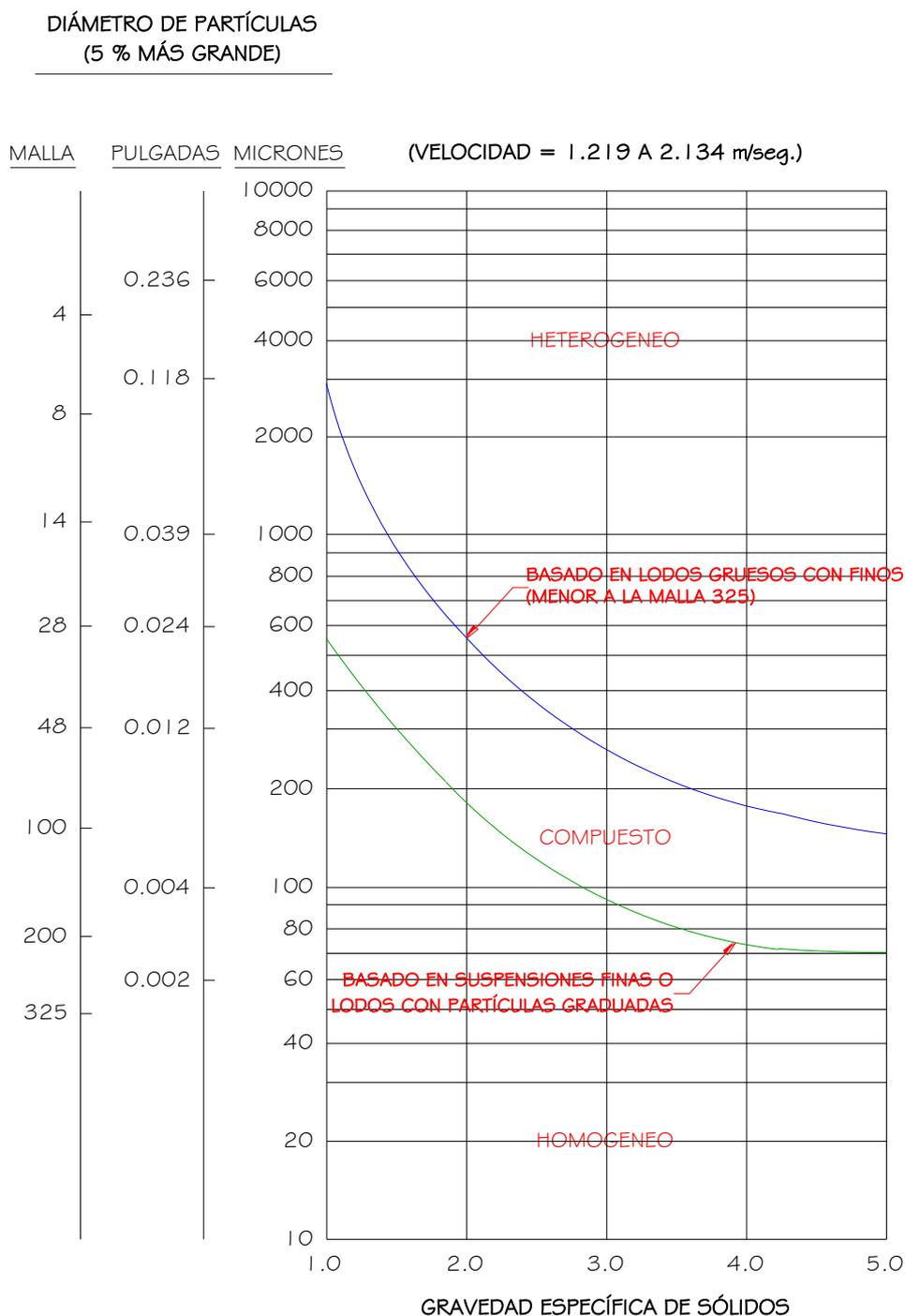
Para poder comprender el fenómeno se exponen a continuación el régimen de flujo y el tipo de pulpa. (López 2014).

F. REGÍMENES DE FLUJO

F.1. TIPOS DE FLUJO

Este fenómeno se muestra claramente en la Figura N° 10, donde para un rango de velocidades (1.2 a 2.1 m/s), se puede observar que a grandes tamaños de partículas y alta densidad de los sólidos el flujo es heterogéneo, mientras que a pequeños diámetros de partícula y baja densidad de los sólidos el flujo se hace homogéneo. (López 2014).

Figura N° 10: Clases de Pulpas.



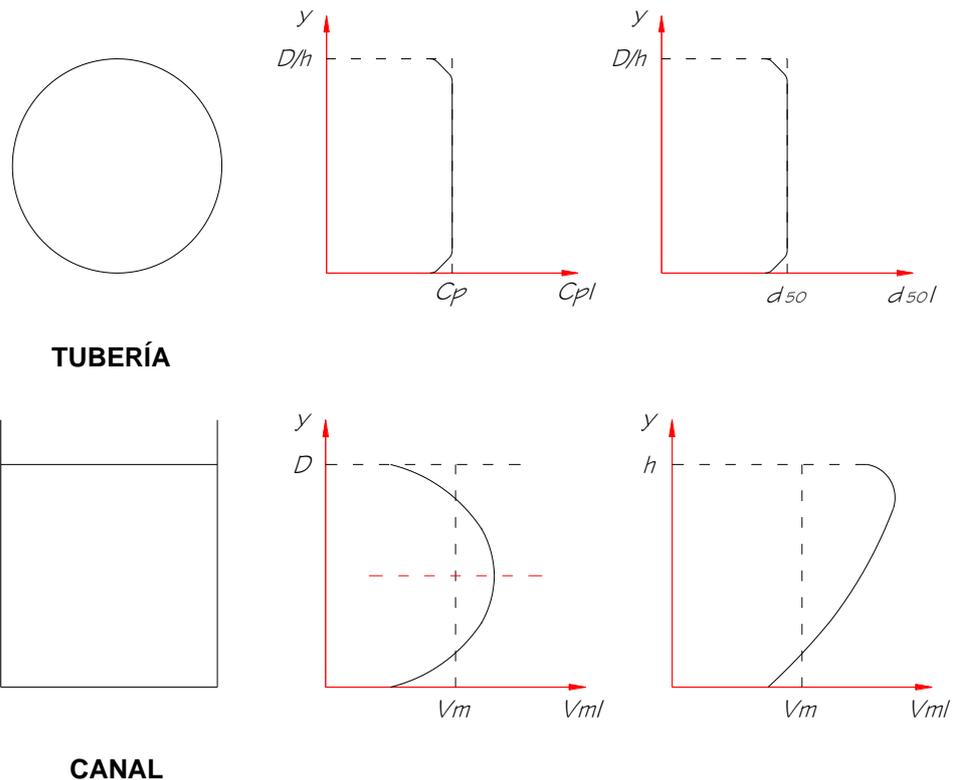
Fuente: Adaptado de GIW Industries INC 1985.

a. Flujo de Sólidos en Suspensión Homogénea.

Como su nombre lo indica, las partículas sólidas de la mezcla son transportadas en suspensión, sin presentar gradientes, ni de concentración ni de granulometría, en un plano perpendicular al flujo y vertical. Además, las partículas sólidas no presentan ningún

deslizamiento con respecto al fluido, es decir, tanto el sólido como el líquido tienen la misma velocidad de flujo con lo cual el comportamiento hidráulico de la mezcla es muy similar a la de un fluido puro, como ser, perfil turbulento de velocidades de flujo con simetría de revolución en el caso de tubería y curvas de velocidad clásica en el caso de canales. (Ver figura 11)

Figura N° 11: Flujo de Sólidos en Suspensión Homogénea



Fuente: Adaptado de Tapia 2006.

Donde:

- y : Altura relativa sobre el fondo de la tubería o del canal.
- D : Diámetro interno de la tubería.
- Y : Altura de escurrimiento del canal.
- C_{p1} : Concentración local en peso de sólidos en la mezcla.
- C_p : Concentración media en peso de sólidos en la mezcla.
- d_{501} : Tamaño medio local de partículas sólidas.
- d_{50} : Tamaño medio de los sólidos en la mezcla.

V_{m1} : Velocidad puntual de la mezcla.

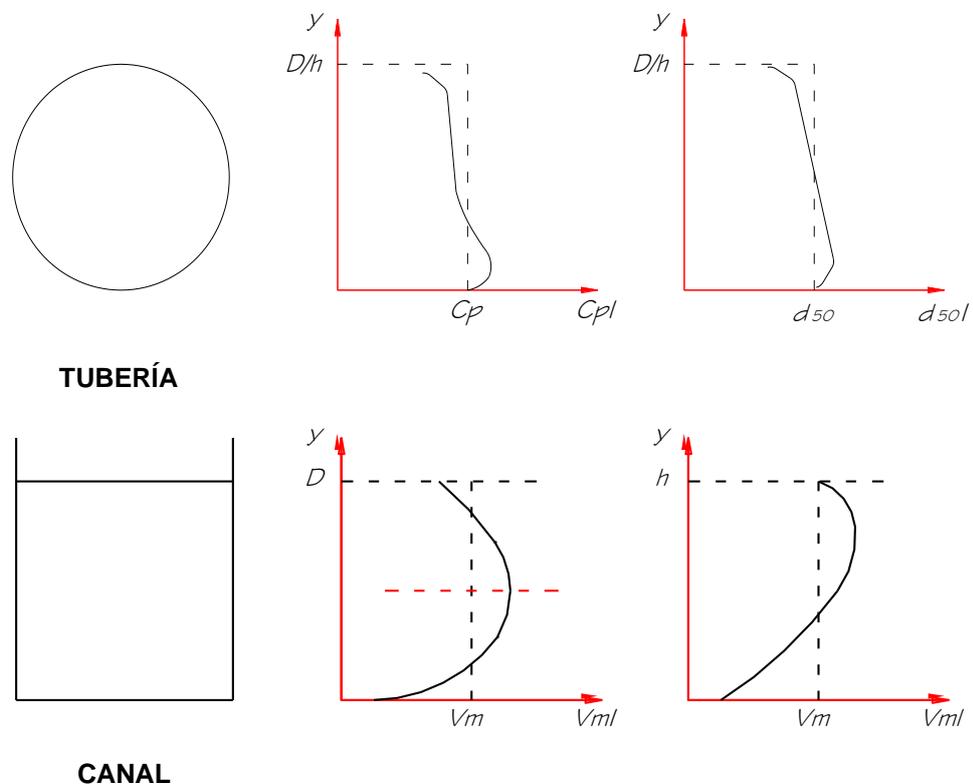
V_m : Velocidad media de la mezcla.

Para que este régimen de flujo exista es necesario que las partículas sólidas sean muy pequeñas de densidad relativamente baja, la velocidad del flujo se alta. (Tapia 2006).

b. Flujo de Sólidos en Suspensión Heterogénea

En este caso los sólidos aún se mantienen en suspensión, pero las partículas más pesadas tienden a caer formando una gradiente vertical de concentraciones y granulometrías, pero sin chocar en forma notoria contra el fondo de la tubería. Sin embargo, a los sólidos aún puede asignárseles la velocidad del fluido, pero con un pequeño grado de deslizamiento en las cercanías de las paredes (Ver figura 12). Este régimen de flujo es bastante usual en el transporte hidráulico de relaves con alto grado de molienda. (Tapia 2006).

Figura N° 12: Flujo de Sólidos en Suspensión Heterogénea



Fuente: Adaptado de Tapia 2006.

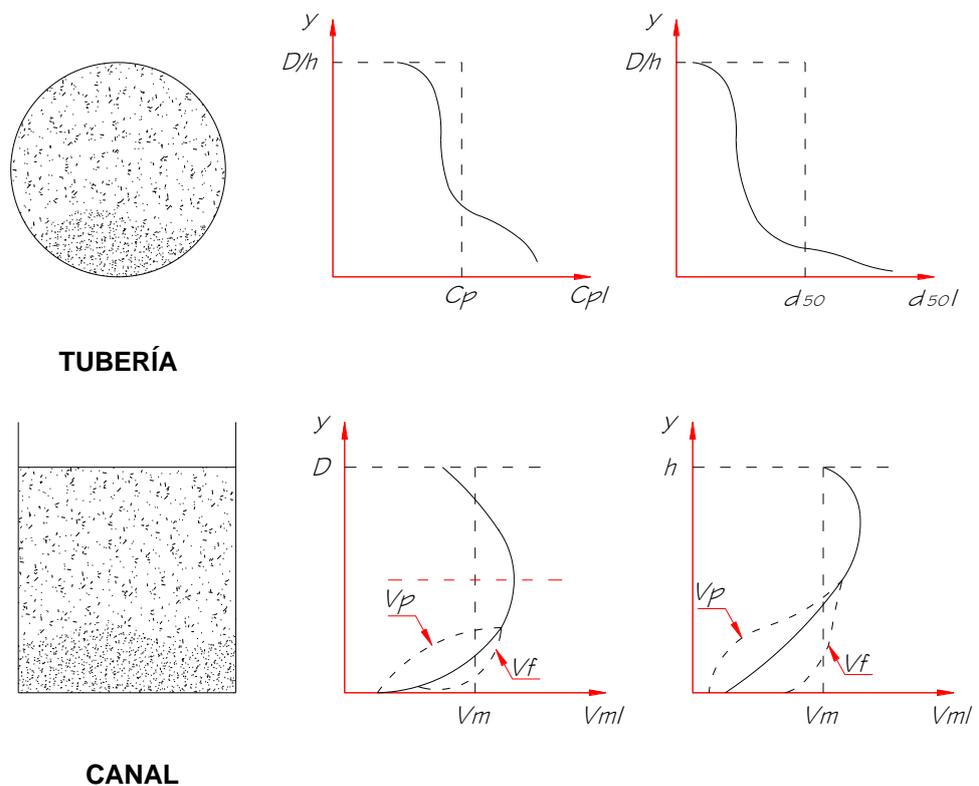
c. Flujo de Sólidos con Arrastre de Fondo

Cuando la capacidad del fluido es relativamente baja comparada con el peso relativo de las partículas sólidas gruesas estas caen y son arrastradas por el fondo de la tubería o canal ya sea a saltos, deslizándose o rodando, mientras que las partículas más finas del espectro granulométrico aún mantienen su suspensión.

En este caso el gradiente de concentraciones y tamaños de partículas se hace más pronunciado y se puede observar una nube de partículas desplazándose a una velocidad menor que la del fluido por el fondo de la tubería y otra nube de partículas más finas suspendidas y a igual velocidad que el fluido por encima de ella.

Este régimen de flujo se presenta en una gran cantidad de las instalaciones de transporte de relaves, diseñados con velocidades bajas para lograr una mínima abrasión, y tiene como inconvenientes que el arrastre de fondo de las partículas gruesas provoca un desgaste muy pronunciado en la parte de la tubería. (Tapia 2006).

Figura N° 13: Flujo de Sólidos con Arrastre de Fondo



Fuente: Adaptado de Tapia 2006.

d. Flujo de Sólidos con Depósitos de Fondo

Si el flujo es débil, las partículas más pesadas de la fase sólida se depositan sobre el fondo de la tubería o canal, ya sea en forma intermitente o definitiva, presentándose un lecho fijo de sólidos o un tren de dunas a baja velocidad ambas situaciones a la vez por la parte inferior del ducto y una nube de partículas arrastradas y/o suspendidas por encima de estas. (Ver figura 14).

El flujo con depósito estable de fondo se presenta generalmente en condiciones de concentración y tamaño de sólidos relativamente bajas, en cambio, las dunas móviles son usuales en espectros granulométricos anchos y concentraciones importantes.

El movimiento de las dunas en tuberías ocurre en el mismo sentido que el flujo de la mezcla (cabe hacer notar que en el flujo de mezclas por canaletas el sentido puede ser inverso) y su velocidad es muy baja comparada con la velocidad media de flujo.

El mecanismo de movimiento de dichas dunas es el siguiente: las partículas ubicadas en la cara aguas arriba de la duna están sometidas a una velocidad del flujo mayor que la velocidad media (por reducción del área de flujo) lo que las impulsa a subir la cresta de las dunas, donde su energía cinética se disipa en los remolinos de flujo aguas abajo de la duna, y ellas vuelven a quedar depositadas hasta que la duna pasa completamente encima de ellas.

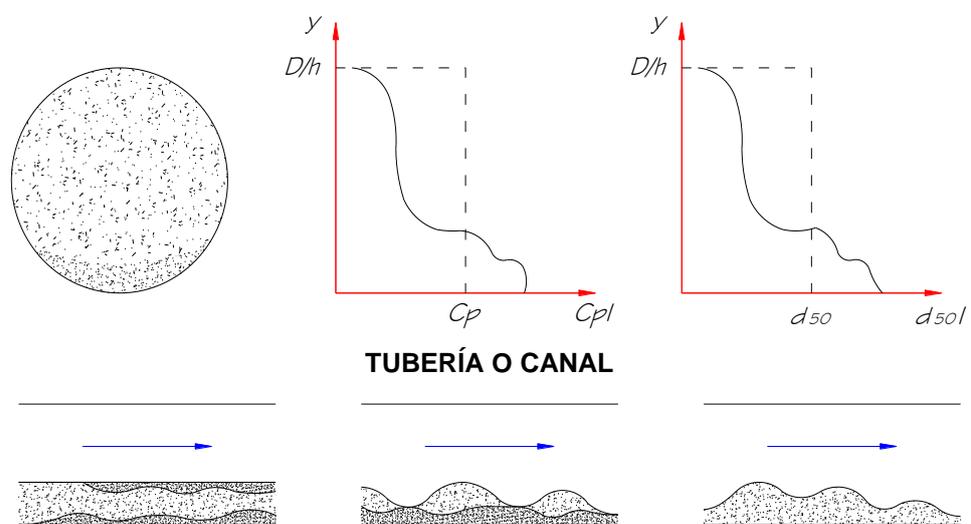
Como este proceso de depositación de sólidos provoca una disminución de la sección de flujo, con el consiguiente aumento de la velocidad media para mantener la relación de continuidad, la capacidad portante del fluido se ve reforzado lo que permite mantener la fase sólida en movimiento.

Sin embargo, como este proceso de reducción de área en conjunto con la formación de remolinos provocados por dunas incide en un muy fuerte aumento de la disipación de energía del sistema y si éste no dispone de la suficiente energía necesaria ya sea por bombeo o diferencia de nivel, el proceso de depositación de sólidos se acentuará

causándose en un corto período de tiempo una obstrucción total de la tubería.

Aunque la formación de un lecho fijo estable en el fondo de una tubería, con el espesor más pequeño posible, es deseable desde el punto de vista de proteger de la erosión el fondo de la tubería, el riesgo de obstrucción de esta, junto con la imposibilidad de refluidizar el depósito por medios hidráulicos, hace muy poco aconsejable trabajar en este régimen de flujo.

Figura N° 14: Flujo de Sólidos con Depósito de Fondo



Fuente: Adaptado de Tapia 2006.

En el caso de flujo en canaletas abiertas el problema de depósito de fondo es mayor puesto que estos embanques locales provocan la formación de ondas superficiales que puedan hacer desbordar el canal. Los desbordes, además del daño que provocan, aumentan el riesgo de embanques mayores puesto que van disminuyendo el caudal de pulpa hacia aguas abajo, eliminándole fundamentalmente los finos. Adicionalmente, la formación de dunas en las canaletas forma a menudo un resalto hidráulico, o sea, cambio de régimen de torrente a río, que aumenta bruscamente la velocidad en el sector del resalto y aumentando el riesgo de generalizar el embanque. Comparando este régimen entre tubería y canal se puede decir que es más riesgoso el caso de un canal abierto que con una tubería en presión.

Si el diseño se realiza mediante tuberías operando un régimen de acueductos el riesgo puede ser algo menor porque se eliminan los desbordes, pero no se evita el peligro de un embanque generalizado de la tubería. (Tapia 2006).

G. TRANSPORTE DE PULPAS

En muchos de los procesos de minería, es necesario transportar flujos de pulpa a niveles superiores o descargarlos a presiones considerables. Para esto se hace uso de bombas que dotan del caudal necesario para presurizar el flujo dentro de las tuberías. Sin embargo, la presión al inicio del sistema va variando a medida que el flujo recorre la trayectoria de la tubería. Esta variación surge debido a que existen pérdidas de presión por fricción entre las paredes internas de la tubería y el flujo, generando así un gradiente de presiones hasta la salida. Estas pérdidas en flujo de pulpa tienen una tendencia diferente a las del agua, considerando la existencia de partículas sólidas.

Además de las pérdidas friccionales, un factor determinante cuando se transporta partículas sólidas en tuberías será la velocidad, pues si esta es muy baja las partículas sedimentarán y si es muy alta el desgaste por abrasión será mucho más acelerado. (López 2014).

G.1. TRANSPORTE DE FLUJO BINGHAM.

Es muy común en el transporte de pulpas, toparse con fluidos que tienen comportamiento no newtoniano, de tipo Bingham, especialmente cuando los fluidos son homogéneos.

Para analizar el fenómeno de transporte de estos fluidos es importante conocer dos números adimensionales que caracterizan a este tipo de fluido: el coeficiente de plasticidad y el número de Hedstrom que se muestran en las ecuaciones 16 y 17 respectivamente.

$$P_L = \frac{\tau_0 \cdot D}{\eta \cdot V} \quad (\text{Ec. 16})$$

$$H_e = \frac{D^2 \cdot \rho_m \cdot \tau_0}{\eta^2} \quad (\text{Ec. 17})$$

Donde:

- T_0 : Esfuerzo cortante de fluencia (Pa)
- D : Diámetro interior de la tubería (m)
- η : Constante de Rigidez (Pa.s)
- V : Velocidad media de flujo (m/seg)
- ρ_m : Densidad de la pulpa (kg/m³)

Por otro lado, este fluido tiene un esfuerzo de corte inicial que se debe de superar para iniciar el movimiento, este viene dado en términos de presión, por la ecuación 18 y se interpreta como la presión necesaria para vencer el esfuerzo inicial (T_0) del fluido y mantener el fluido en movimiento en una longitud (L).

Esta presión de arranque es manométrica y no incluye el efecto de pérdidas por fricción.

$$P_{arr} = \frac{4T_0 \cdot L}{D} \quad (\text{Ec. 18})$$

Donde:

- T_0 : Esfuerzo cortante de fluencia (Pa)
- D : Diámetro interior de la tubería (m)
- L : Longitud de la tubería (m)

(Abulnaga 2002)

H. PERDIDA DE PRESIÓN:

Como se puede ver en la Figura N° 15, la tendencia de la pérdida de presión en las pulpas es siempre mayor a la del agua y no necesariamente proporcional al cuadrado de la velocidad, como sí es el caso del agua.

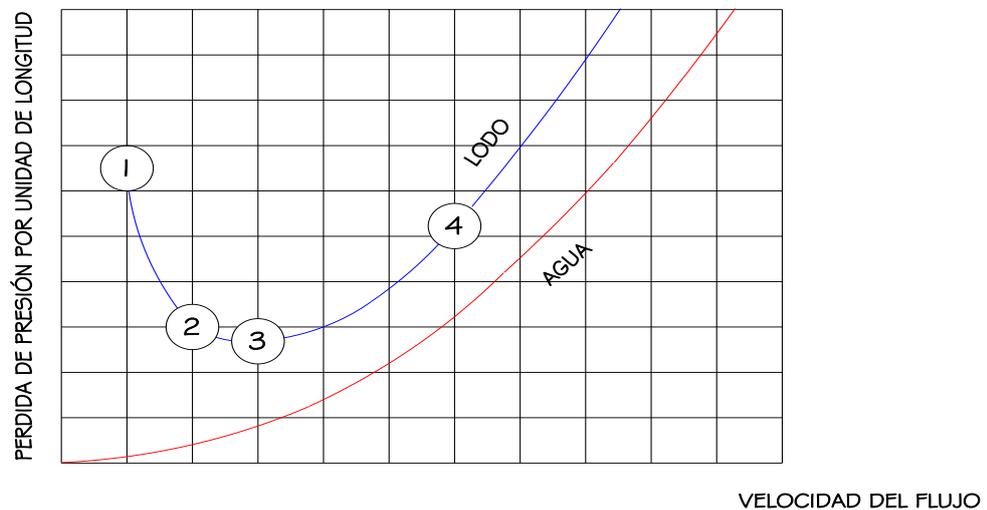
También se observa que, a bajas velocidades, cuando el flujo se encuentra en el régimen de lecho fijo y móvil, la caída de presión aumenta a pesar de que la velocidad disminuye, debido a que los impactos de las partículas en el fondo de la tubería generan una disipación muy fuerte de energía, además de disminuir el área de flujo.

Por otro lado, a altas velocidades la pulpa simula el comportamiento de un líquido puro.

Desde la construcción del primer sistema de tuberías con pulpas, se ha investigado alrededor de este tema y se han elaborado varios modelos para predecir la caída de presión en una pulpa, algunos de los cuales serán explicados en las siguientes líneas.

El fenómeno de pérdida de presión en una pulpa, no solo se presenta por la fricción entre el líquido transportante con la tubería sino también por la energía necesaria para sustentar las partículas en el medio líquido, así como la energía disipada por el choque entre las partículas con otras partículas y con la pared de la tubería. (López 2014).

Figura N° 15: Pérdida de presión y velocidad de flujo.



Fuente: Adaptado de Abulnaga 2002.

H.1. PERDIDAS EN FLUJO HOMOGÉNEO.

En caso de tratarse de una pulpa homogénea, el fenómeno de pérdida de presión será análogo al del agua, entonces la expresión para determinar esta pérdida de presión en una tubería será la ecuación de Darcy Weisbach, ecuación 20, considerando la densidad de la pulpa.

$$h_f = f_D \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2} \cdot \rho_m \quad (\text{Ec. 19})$$

$$h_f = f_D \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} \cdot S_m \quad (\text{Ec. 20})$$

Donde:

f_D : Factor de fricción de Darcy

- L : Longitud de la tubería (m)
- D : Diámetro de la tubería (m)
- V : Velocidad (m/seg)
- g : Gravedad (m/seg²)
- S_m : Densidad específica

Este valor también se puede expresar independiente de la longitud de la tubería, como gradiente hidráulico de fricción (Ec. 21). (López 2014).

$$i_m = f_D \cdot \frac{V^2}{2g \cdot D} \cdot S_m \quad (\text{Ec. 21})$$

H.2. PÉRDIDAS EN FLUJO HETEROGÉNEO.

Para una pulpa de flujo heterogéneo, el análisis de pérdidas de presión se puede considerar parcialmente teórico, pues existen factores importantes que dependerán de la experimentación. Así, se tienen varios modelos teórico – experimentales desde el año 1952 hasta la fecha que permiten estimar las pérdidas de presión.

Es este trabajo se presentarán los modelos más reconocidos y de mayor uso en la industria. (López 2014).

a. Modelo de Duran y Condolios (1952)

Este modelo refleja el incremento de la pérdida de presión por fricción, con respecto a la concentración en volumen de la pulpa. Es decir, el aumento de la energía gastada en mantener las partículas suspendidas, a una velocidad dada, si es que se aumenta la concentración de partícula. Así, propone, una ratio adimensional (ϕ), ecuación 22.

$$\phi = \frac{i_m - i_L}{C_V \cdot i_L} = 81 \phi^{-1.5} \quad (\text{Ec. 22})$$

Dónde:

i_m : Gradiente hidráulica de fricción para pulpa.

i_L : Gradiente hidráulica de fricción para el líquido transportante.

C_v : Concentración de sólidos en volumen.

Además:

$$\phi = \frac{V^2 \cdot \sqrt{C_D}}{g \cdot D \cdot (S_s - 1)} \quad (\text{Ec. 23})$$

Donde:

V : Velocidad media del flujo (m/seg)

C_D : Coeficiente de arrastre.

g : Gravedad (m/seg²)

D : Diámetro interior de la tubería (m)

S_s : Densidad específica de los sólidos.

b. Modelo de Zandi y Govatos (1967)

Basado en el análisis del coeficiente de arrastre y soportado sobre experiencias con partículas de arena de hasta 1 pulgadas de tamaño, en tuberías con diámetros de 1.5 pulgadas hasta 22 pulgadas y concentraciones volumétricas de hasta 22 %.

Este modelo es una modificación a la propuesta por Durand y se expresa mediante la ecuación 24.

$$\phi = \frac{i_m - i_L}{C_v \cdot i_L} = K \cdot \phi^m \quad (\text{Ec. 24})$$

Dónde: Los valores de K y m dependen del valor de ϕ (Ecuación 23)

$\phi > 10$, $K=6.30$ y $m=-0.354$

$\phi < 10$. $K=280$ y $m=-1.930$

c. Modelo de Wasp (1972)

Wasp utiliza el modelo de Duran y lo valida, pero para pulpas con tamaños de partícula uniformes.

Sin embargo, en la práctica las pulpas contienen diferentes tamaños de partículas, entonces el planteamiento de este modelo sugiere fraccionar la pulpa por tamaño de partículas y tratar cada tamaño como una unidad discreta.

La caída de presión en cada fracción según este modelo determina con la ecuación 22, donde la concentración en volumen de cada fracción es proporcional al porcentaje de fracción de pulpa y la suma de todas las concentraciones fraccionales debe resultar la concentración de la pulpa.

d. Modelo de Turian y Yuan (1977)

Al igual que el modelo propuesto por Zandi y Govatos, 1967; este modelo se basa en el análisis del coeficiente de arrastre de partículas. Este modelo define el factor de fricción para cada régimen de flujo (lecho móvil, saltation, flujo heterogéneo y homogéneo), este trabajo mostrará el modelo para flujo heterogéneo mediante la ecuación 25.

$$\frac{f_m - f_L}{f_L^{1.2}} = 30.11 C_V^{0.868} \cdot C_D^{-0.1677} \cdot Fr^{-0.6938} \quad (\text{Ec. 25})$$

Donde:

- f_m : Factor de fricción para pulpa.
- f_L : Factor de fricción para el líquido transportante.
- C_V : Concentración de sólidos en volumen.
- C_D : Coeficiente de arrastre.
- Fr : Número de Froude.

Además:

$$Fr = \frac{V^2}{g \cdot D \cdot (S_s - 1)} \quad (\text{Ec. 26})$$

Donde:

- V : Velocidad media del flujo (m/seg)
- g : Gravedad (m/seg²)
- D : Diámetro interior de la tubería (m)
- S_s : Densidad específica de los sólidos.

Al determinar el factor de fricción de Darcy, Turian y Yuan proponen determinar el gradiente de pérdidas usando la ecuación de Darcy Weisbach.

e. Modelo para tuberías inclinadas.

Como se ha observado, los modelos anteriores han sido evaluados en tuberías horizontales. En el caso de tuberías inclinadas se debe considerar el efecto del transporte vertical de la pulpa, para esto se conoce el modelo de Worster que define mediante la ecuación 27 las pérdidas para un flujo de pulpa en una tubería vertical.

$$i_V = i_L [1 \pm C_V (S_S - 1)] \quad (\text{m.c.a.}) \quad (\text{Ec. 27})$$

(+) Flujo Ascendente (-) Flujo Descendente

Luego, para aplicar este modelo sobre una tubería con un ángulo de inclinación θ respecto a la horizontal, se debe superponer las pérdidas horizontales y verticales, mediante la ecuación 28 y de acuerdo con el modelo que corresponda.

$$i_{m\theta} = i_m \cdot \cos \theta \pm i_V \cdot \sin \theta \quad (\text{m.c.a.}) \quad (\text{Ec. 28})$$

(+) Flujo Ascendente (-) Flujo Descendente

H.3. FACTOR DE FRICCIÓN

Este factor, conocido como factor de Fanning (f_N), es un número adimensional que se define como la relación del esfuerzo de corte en las paredes de una tubería y la presión dinámica del flujo.

$$f_N = \frac{\tau_w}{\rho \cdot U^2 / 2} \quad (\text{Ec. 29})$$

Donde:

τ_w : Esfuerzo cortante en las paredes (Pa)

U : Velocidad media del flujo (m/seg)

ρ : Densidad del fluido (kg/m^3)

En el ambiente de la ingeniería mecánica se prefiere el factor de Darcy (f_D) que no es más que cuatro veces el factor de Fanning.

$$f_D = 4f_N \quad (\text{Ec. 30})$$

El factor de fricción está altamente ligado a la viscosidad, entonces su valor se diferenciará para los regímenes del flujo laminar y turbulento.

Además, no será lo mismo determinar el factor para un fluido newtoniano que para un fluido no newtoniano como un flujo tipo Bingham. (López 2014).

a. Factor de Fricción para Fluidos Newtonianos:

a.1. Régimen Laminar:

Para el caso de fluidos newtonianos en régimen laminar, el factor de fricción dependerá solo de número de Reynolds:

$$f_D = \frac{64}{Re} \quad (\text{Ec. 31})$$

a.2. Régimen Turbulento:

Para el caso de fluidos newtonianos en régimen turbulento, el factor de fricción se estimará con correlaciones experimentales que dependerá del número de Reynolds y la rugosidad de la tubería.

Una de las correlaciones más usadas para el caso de fluidos newtonianos es la ecuación de Colebrook:

$$\frac{1}{\sqrt{f_D}} = -2 \log \left(\frac{2.51}{Re \sqrt{f_D}} + \frac{\epsilon}{3.7D} \right) \quad (\text{Ec. 32})$$

Donde:

Re : Número de Reynolds.

E : Rugosidad de la tubería (m)

D : Diámetro interior de la tubería (m)

b. Factor de Fricción para Fluidos de Bingham:

b.1. Régimen Laminar.

Para el caso de fluidos tipo Bingham en régimen laminar, el factor de fricción dependerá del número de Hedstrom y Reynolds, según los estudios de Buckingham (1921) y Hedstrom (1952) se tiene la ecuación 33.

$$f_{NL} = \frac{16}{Re} \left(1 + \frac{He}{6Re} - \frac{He^4}{3f_{NL}^3 \cdot Re^7} \right) \quad (\text{Ec. 33})$$

Donde:

- Re : Número de Reynolds.
 He : Número de Hendstrom.
 ϵ : Rugosidad de la tubería (m)
 D : Diámetro interior de la tubería (m)

b.2. Régimen Turbulento:

Para el caso de fluidos tipo Bingham en régimen turbulento. Hanks y Dadia desarrollaron ecuaciones semiempíricas para determinar el factor de fricción. Sus trabajos fueron modificados posteriormente por Darby en 1981, dando como resultado la ecuación 34.

$$f_{NT} = 10^a \cdot Re^b \quad (\text{Ec. 34})$$

Donde:

$$a = -1.47 \left(1 + 0.146e^{-2.9 \times 10^{-5} \times He} \right)$$

$$b = -0.193$$

Ahora, según los estudios de Darby, para las pulpas tipo Bingham que se encuentren en un régimen de transición entre laminar y turbulento se propone la ecuación 35 que combina los dos regímenes.

$$f_N = 4(f_{NL}^m + f_{NT}^m)^{1/m} \quad (\text{Ec. 35})$$

Donde:

f_{NL} : Factor de fricción en régimen laminar.

f_{NT} : Factor de fricción en régimen turbulento.

Const. : $m = 1.7 + 40\,000/Re$

b.3. Efecto de la rugosidad sobre el Factor de Fricción:

Como se ve, las ecuaciones anteriores no consideran el efecto de la rugosidad de la tubería, entonces Churchill propone en 1977 la ecuación 36.

$$f_n = 2 \left(\left(\frac{8}{Re} \right)^{12} + (A+B)^{-1.5} \right)^{1/12} \quad (\text{Ec. 36})$$

Donde:

$$A = \left[-2.457 \ln \left(\left(\frac{7}{Re} \right)^{0.9} + 0.27 \frac{\varepsilon}{D} \right) \right]^{16}$$

$$B = \left(\frac{37530}{Re} \right)^{16}$$

Re : Número de Reynolds.

ε : Rugosidad de la tubería (m)

D : Diámetro interior de la tubería (m)

H.4. PÉRDIDA DE PRESIÓN POR ACCESORIOS:

A parte de la caída de presión principal vista en los puntos anteriores, también existe la caída de presión secundaria, que se genera por el paso de la pulpa a través de un accesorio en la línea. Esta pérdida se puede cuantificar mediante dos métodos: el método del coeficiente de pérdidas K, según la ecuación 38, y el método de la longitud equivalente, según la ecuación 39. Estos dos métodos están relacionados mediante la ecuación 37, es decir, se puede trabajar con el coeficiente de pérdidas o generar la longitud equivalente. En cualquier caso, el factor de fricción a usar debe corresponder al modelo empleado, dando como resultado la pérdida secundaria por accesorios. (López 2014).

$$L_{eq} = \frac{K \cdot D}{f} \quad (\text{Ec. 37})$$

$$\Delta H_S = \frac{K \cdot v_m^2 \cdot \rho_m}{2} \quad (\text{Ec. 38})$$

$$\Delta H_S = i_m \cdot L_{eq} \quad (\text{Ec. 39})$$

Donde:

|K : Coeficiente de pérdidas.

D : Diámetro interior de la tubería (m)

f : Factor de fricción según el modelo.

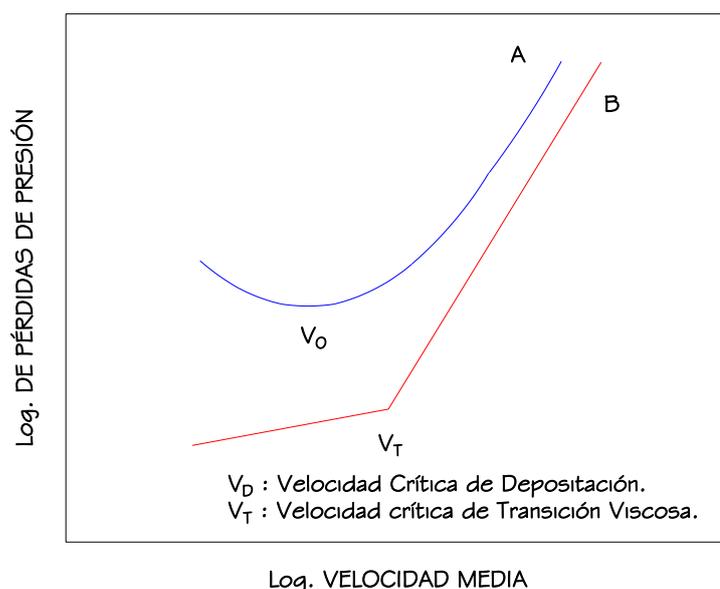
- V_m : Velocidad media (m/seg)
- ρ_m : Densidad de la pulpa (kg/m^3)
- i_m : Gradiente de pérdidas según modelo (Pa/m)
- L_{eq} : Longitud equivalente (m)
- ΔH_s : Caída de presión por accesorios (Pa)

Los coeficientes de pérdidas para los accesorios más comunes están plasmados en el Apéndice N° 01. (López 2014).

I. VELOCIDADES CRÍTICAS:

Como se ha podido observar líneas arriba, la velocidad con la que se transporta una pulpa define en gran medida su comportamiento, entonces es necesario comprender que existen velocidades que marcan un comportamiento de otro. Este es el caso de la velocidad crítica de deposición para fluidos heterogéneos, que contienen partículas sólidas que son altamente volubles a sedimentar por el efecto de la gravedad y, por otro lado, la velocidad crítica de transición viscosa para fluidos homogéneos, cuando la viscosidad del fluido es importante. Estas dos velocidades críticas se pueden observar en la Figura N° 16 donde la curva A pertenece a un flujo homogéneo y la B a un heterogéneo.

Figura N° 16: Velocidades Críticas.



Fuente: Adaptado de Julik 2002.

Un concepto básico complementario, del cual depende directamente la velocidad crítica de deposición es la velocidad terminal. (López 2014).

I.1. VELOCIDAD TERMINAL O DE CAÍDA DE PARTÍCULAS (V_s)

Cuando una partícula, inmersa en un fluido estático, cae bajo la sola influencia de la gravedad, se acelera hasta que su peso quede balanceado por la fuerza de empuje y de arrastre viscoso que actúan hacia arriba.

La velocidad que adquiere la partícula a partir de ese momento se denomina velocidad terminal, de caída o de sedimentación y se puede considerar como la mínima necesaria para que una partícula se mantenga en suspensión.

Considerando a la partícula como una esfera y dentro de un tubo vertical, se pueden notar tres fuerzas: La fuerza gravitatoria (F_G), la fuerza de empuje (F_E) y la de arrastre (F_D)

$$F_G = F_D + F_E \quad (\text{Ec. 40})$$

$$F_G = \left(\frac{\pi}{6}\right) d^3 \cdot \rho_s \cdot g \quad (\text{Ec. 41})$$

$$F_E = \left(\frac{\pi}{6}\right) d^3 \cdot \rho_L \cdot g \quad (\text{Ec. 42})$$

$$F_D = 0.5 C_D \cdot \rho_L \cdot V_s^2 \cdot \left(\frac{\pi \cdot d^2}{4}\right) \quad (\text{Ec. 43})$$

Donde C_D es el coeficiente de arrastre que se determina analíticamente ejecutando el equilibrio de fuerzas de la ecuación 40, se tiene la ecuación 42.

$$C_D = \frac{4(\rho_s - \rho_L)g \cdot d}{3\rho_L \cdot V_s^2} \quad (\text{Ec. 44})$$

Donde:

- V_s : Velocidad terminal de una partícula.
- g : Gravedad.
- d : Diámetro de partícula.
- ρ_s : Densidad de los sólidos.

ρ_L : Densidad de los sólidos.

Este coeficiente depende de la velocidad terminal, sin embargo, que se puede estimar en función del número de Reynolds de la partícula.

Para una esfera, dicho coeficiente se puede determinar según la ecuación 45.

$$C_D = \left[\left(\frac{24}{Re_P} \right)^{1/2} + 0.34035 \left(Re_P^{0.06071} + \frac{1}{1.72013 + 0.018 Re_P} \right) \right]^2 \quad (\text{Ec. 45})$$

Donde:

Re_P : Reynold de la partícula (Ec. 46)

$$Re_P = \frac{d \cdot V_S \cdot \rho_L}{\mu_L} \quad (\text{Ec. 46})$$

Entonces, despejando la velocidad terminal V_S de la ecuación 44, se tiene la ecuación 47.

$$V_S = \sqrt{\frac{4(\rho_S - \rho_L) \cdot g \cdot d}{3\rho_L \cdot C_D}} \quad (\text{Ec. 47})$$

Donde:

C_D : Coeficiente de arrastre.

g : Gravedad.

d : Diámetro de partícula.

ρ_S : Densidad de los sólidos.

ρ_L : Densidad del líquido.

Ahora, se puede ver que el coeficiente de arrastre, el número de Reynolds y la velocidad terminal están ligados entre sí y para determinarlos sería necesaria la iteración. Sin embargo, se puede introducir un nuevo número de Karamanev φ , según la ecuación 48.

$$\varphi = C_D \cdot Re_P^2 = \frac{4(\rho_S - \rho_L) \cdot \rho_L \cdot g \cdot d^3}{3\mu \cdot L^2} \quad (\text{Ec. 48})$$

Donde:

C_D : Coeficiente de arrastre.

- Re_P : Reynolds de la partícula.
- g : Gravedad.
- d : Diámetro de partícula.
- ρ_S : Densidad de los sólidos.
- ρ_L : Densidad del líquido.
- μ_L : Viscosidad dinámica del líquido.

Este número adimensional φ fue usado por Karamanev (1996) para proponer un modelo que permita calcular el coeficiente de arrastre sin conocer la velocidad terminal de la partícula. Así obtuvo la ecuación 49.

$$C_D = \frac{432}{\varphi} (1 + 0.047\varphi^{0.66}) + \frac{0.517}{1 + 154\varphi^{-0.33}} \quad (\text{Ec. 49})$$

Donde:

- φ : Número de Karamanev : (Ec. 48)

Así, conociendo el valor de C_D se podría usar la ecuación 47 y determinar directamente la velocidad terminal de una partícula.

Hasta el momento la definición contempla una partícula sola cayendo libre en un fluido, sin embargo, cuando la partícula se encuentra inmersa en un fluido con concentración volumétrica, la distancia entre partículas decrece, por tanto, existe interacción, colisión y transferencia de momento entre partículas de diferentes tamaños. Este efecto sobre la velocidad terminal se determina según la ecuación 50.

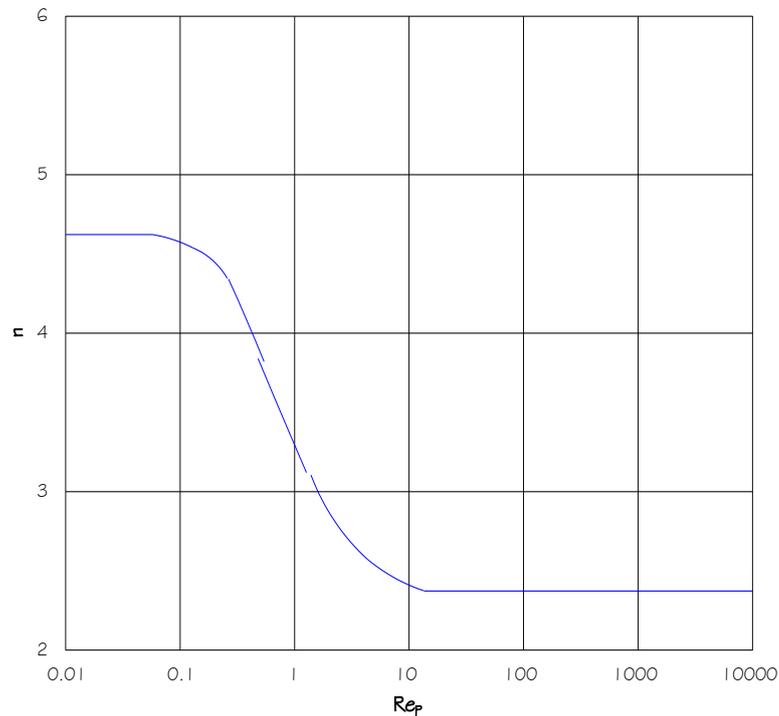
$$V_S^* = V_S (1 - C_V)^n \quad (\text{Ec. 50})$$

Donde:

- C_V : Concentración de sólidos en volumen.
- V_S : Velocidad terminal de una partícula en un medio libre.
- n : Factor de interrupción en la velocidad terminal de la partícula.

Este factor de interrupción está ligado directamente a todos fenómenos descritos en el párrafo anterior y su valor se puede obtener conociendo el número Reynolds de la partícula, según la Figura 17.

Figura N° 17: Factor de interrupción en la velocidad terminal de una partícula en función del número de Reynolds de la partícula.



Fuente: Adaptado de Julik 2002.

Para efectos de agilizar los cálculos se puede usar la ecuación 51, la cual tiene origen en la Figura N° 17.

$$Re_p < 0.05, n=4.6289$$

$$0.05 \leq Re_p \leq 22.66,$$

$$n=0.1754 \log(Re_p)^6 - 0.1916 \log(Re_p)^5 - 0.574 \log(Re_p)^4 + 0.828 \log(Re_p)^3 + 0.569 \log(Re_p)^2 - 1.7142 \log(Re_p) + 3.3388$$

$$Re_p > 22.66, n=2.3962 \quad (\text{Ec. 51})$$

(López 2014)

I.2. VELOCIDAD CRÍTICA DE DEPOSICIÓN (V_D)

Es la velocidad de flujo para la cual las partículas empiezan a depositarse en el fondo de tubería, es decir, se inicia la formación del lecho móvil. Esta velocidad depende directamente de la velocidad terminal de la partícula y del grado de turbulencia existente en el sistema, además del tipo de flujo, la concentración de sólidos, la granulometría de las partículas, la densidad de las fases y el diámetro de la tubería. Esta

velocidad es muy importante para el diseño, especialmente para fluidos heterogéneos, pues se toma como un referente de seguridad para asegurar que las partículas sólidas no sedimenten. En este sentido, la velocidad de flujo en el diseño siempre debe superar a la velocidad de deposición, considerando un factor de seguridad. La determinación mejor estimada de la velocidad crítica de sedimentación se obtiene de manera experimental, con la pulpa que se va a transportar. Sin embargo, cuando no se tienen los recursos o las condiciones para realizar una experimentación, el diseñador puede remitirse a correlaciones o modelos teórico-experimentales. (López 2014).

a. Modelo de Wilson (1942)

El modelo supone una tubería con las partículas sólidas depositadas en el fondo y la fase líquida en la zona superior, de tal manera que cuando se le proporciona velocidad al fluido superior, este comienza a levantar las partículas sólidas. La velocidad se va incrementando hasta un cierto punto, en donde la última partícula sólida en el fondo de la tubería se encuentra a punto de levantarse, la velocidad en ese punto se denomina velocidad crítica de deposición. Para estimar dicha velocidad, K.C. Wilson realizó un nomograma (Apéndice N° 02) en función del diámetro de la tubería, el tamaño de partícula y la densidad de lo sólidos. Los resultados de este modelo se aplican para pulpas con concentraciones altas.

b. Modelo de Duran y Condolios (1952)

Este modelo se basa en experiencias con grava y arena de tamaño uniforme. Los autores definen la “velocidad límite de deposición” como un estado en la tubería para el cual, se logra apreciar un régimen de deposición o lecho móvil. Se determina mediante la ecuación 52.

$$V_D = F_L \sqrt{2g \cdot D \cdot (S_s - 1)} \quad (\text{Ec. 52})$$

Donde:

F_L : Factor de Durand.

D : Diámetro de la tubería (m)

S_s : Densidad específica de los sólidos.

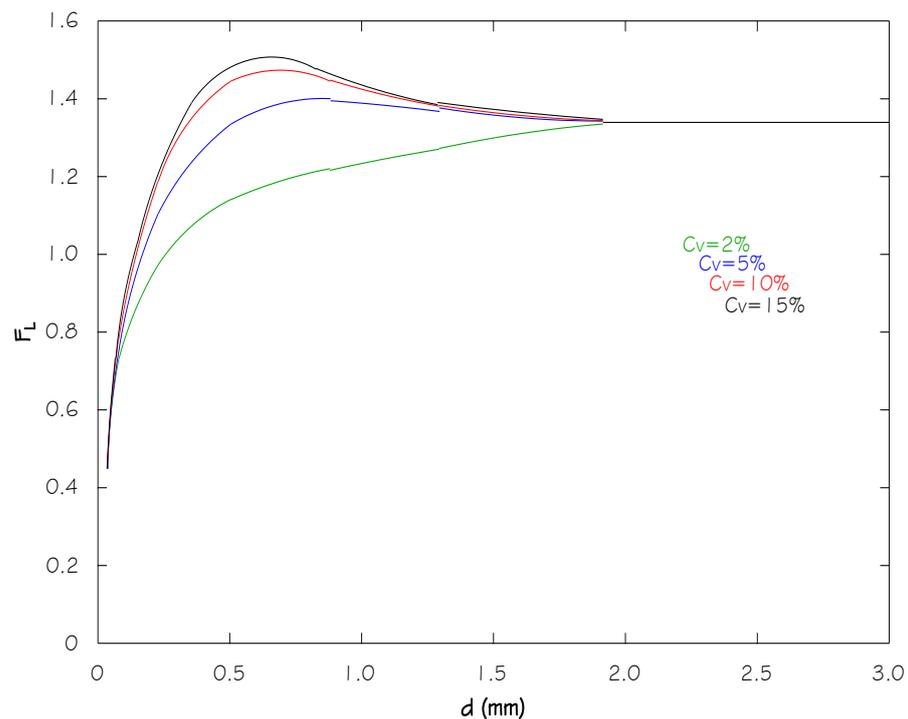
g : Gravedad (m/seg²)

El factor de Durand F_L , no es más que el número de Froude, pero modificado según la ecuación 53 para condiciones de sedimentación. El número de Froude se define como la ratio entre las fuerzas inerciales en el flujo y las fuerzas gravitacionales que mantienen a las partículas suspendidas en el flujo.

$$F_L = \frac{Fr}{\sqrt{2}} \quad (\text{Ec. 53})$$

El valor del factor de Durand depende de la concentración en volumen y el diámetro de partícula en d_{50} . Esta dependencia se obtiene de la Figura N° 18, para espectros ajustados de tamaño de partícula ($d_{80}/d_{20} < 2$).

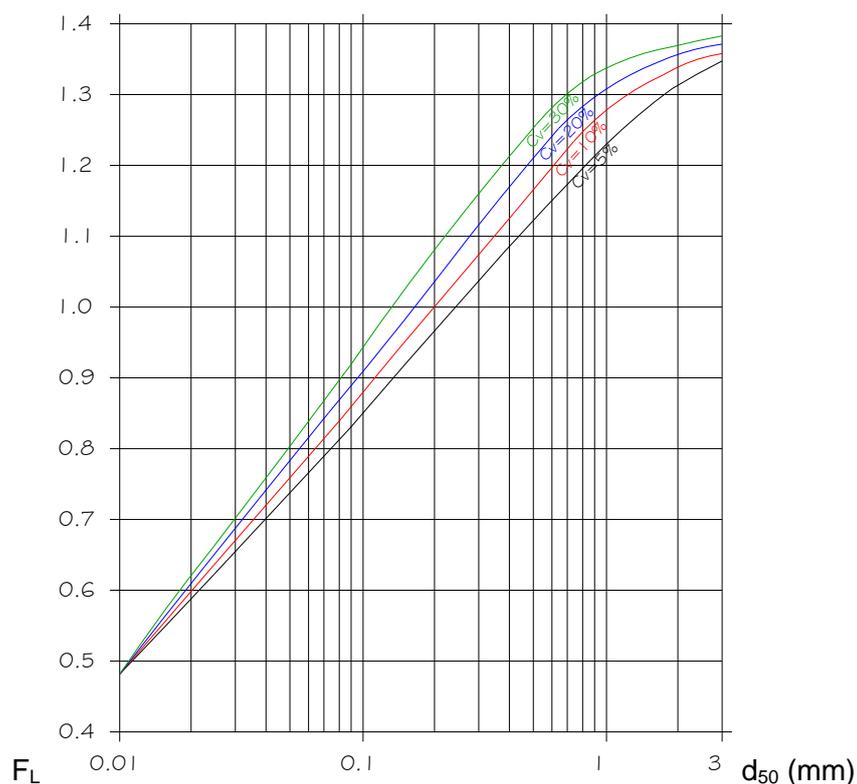
Figura N° 18: Gráfico de Durand para F_L .



Fuente: Adaptado de Jacobs 1991.

Para espectros más anchos de tamaño de partícula ($d_{80}/d_{20} > 5$) se recurre al gráfico de Mc Elvain y Cave (1972), de la Figura N° 19, el cual tiene un rango mayor de concentraciones en volumen, hasta 30%.

Figura N° 19: Gráfico de Mc Elvain y Cave.



Fuente: Adaptado de Ingeniería de Minas – Universidad de Chile 2011.

c. Modelo de Wasp (1970)

El autor de este modelo, Edward J. Wasp, estudió pulpas a diferentes concentraciones y modificó el modelo de Durand agregándole la ratio entre el diámetro de partícula y el diámetro de la tubería, como se puede ver en la ecuación 54; además, modificó el factor de Durand por F'_L .

$$V_D = F'_L \sqrt{2g \cdot D(S_S - 1)} \cdot \left(\frac{d_p}{D}\right)^{1/6} \quad (\text{Ec. 54})$$

El Factor de Durand modificado, se evalúa de la siguiente manera:

$$F'_L = 3.1635 C_V^{0.1977}, \quad C_V < 18.7 \%$$

$$F'_L = 3.1635 C_V^{0.1536} \cdot (1 - C_V)^{0.3564}, \quad C_V \geq 18.7\%$$

Donde:

F'_L : Factor de Durand Modificado.

d_p : Diámetro de la partícula (m)

- D : Diámetro de la tubería (m)
 S_s : Densidad específica de los sólidos.
 C_v : Concentración en volumen.
 g : Gravedad (m/seg²).

d. Modelo de Oroskar y Turian (1980)

Basado en el análisis del balance de energía requerido para suspender las partículas, considerando la disipación derivada de una fracción de turbulencia, Oroskar y Turian desarrollan la ecuación 55.

$$\frac{V_D}{\sqrt{2g \cdot D(S_S-1)}} = \left[\frac{5}{\sqrt{2}} C_V (1-C_V)^{2n-1} \right]^{8/15} \cdot \left(\frac{\rho_L \cdot D \sqrt{g \cdot D(S_S-1)}}{\mu_L} \right)^{1/15} \quad (\text{Ec. 55})$$

Donde:

- μ_L : Viscosidad dinámica del líquido (Pa.s)
 C_v : Concentración de sólidos en volumen.
 d_p : Diámetro de la partícula (m)
 D : Diámetro de la tubería (m)
 ρ_L : Densidad del líquido (kg/m³)
 S_s : Densidad específica de los sólidos.
 g : Gravedad (m/seg²)
 n : Factor de interrupción en la velocidad terminal de la partícula.

Esta correlación sufre una modificación para involucrar el tamaño de partícula, en el caso de granulometría no uniforme, dado como resultado la ecuación 56.

$$\frac{V_D}{\sqrt{g \cdot d_P(S_S-1)}} = \left[5 C_V (1-C_V)^{2n-1} \left(\frac{D}{d_P} \right) \cdot \frac{1}{X} \right]^{8/15} \cdot \left(\frac{\rho_L \cdot D \sqrt{g \cdot d_P(S_S-1)}}{\mu_L} \right)^{1/15} \quad (\text{Ec. 56})$$

Donde:

- μ_L : Viscosidad dinámica del líquido (Pa.s)
 C_v : Concentración de sólidos en volumen.

d_p : Diámetro de la partícula (m)

D : Diámetro de la tubería (m)

ρ_L : Densidad del líquido (kg/m^3)

S_s : Densidad específica de los sólidos.

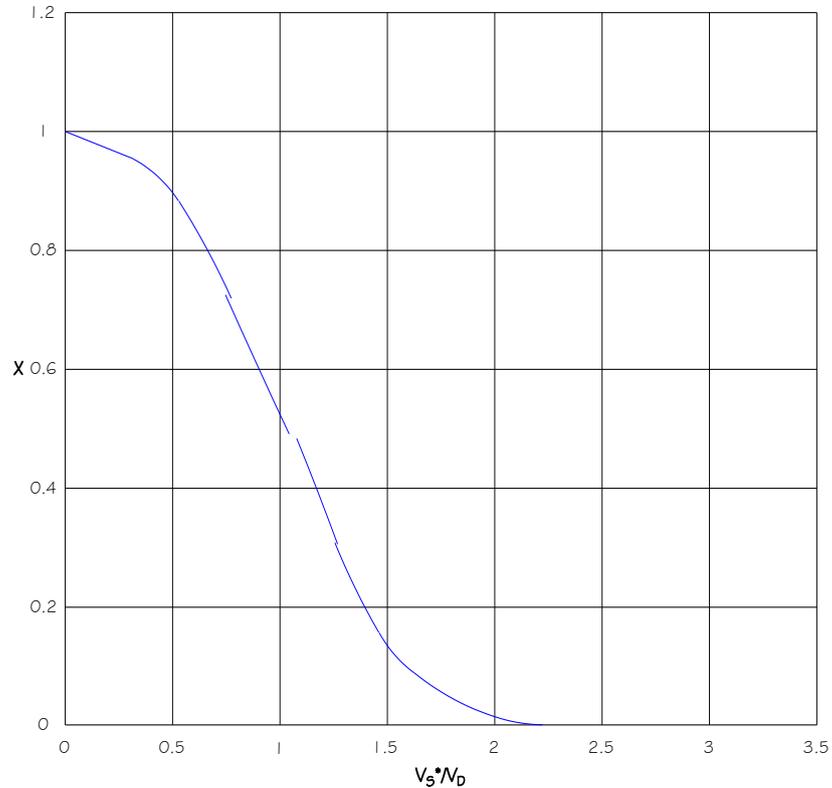
g : Gravedad (m/seg^2)

n : Factor de interrupción en la velocidad terminal de partícula

(Ec. 51)
 x : Factor de corrección por disipación de energía turbulenta. (Ecu. 57)

El factor de corrección por energía turbulenta (x) depende de la relación existente entre la velocidad terminal de la partícula y la velocidad crítica de deposición y se puede estimar gráficamente según la Figura N° 20.

Figura N° 20: Factor de Corrección por Disipación de Energía Turbulenta en Función de la Relación de la Velocidad Terminal con Interrupción y la Velocidad Crítica de Deposición.



Fuente: Adaptado de Julik 2002.

Para efectos de agilizar los cálculos se puede usar la ecuación 57, la cual tiene origen en la Figura N° 20.

$$x = -0.2006 \left(\frac{V_S^*}{V_D}\right)^5 + 1.0496 \left(\frac{V_S^*}{V_D}\right)^4 - 1.598 \left(\frac{V_S^*}{V_D}\right)^3 + 0.4403 \left(\frac{V_S^*}{V_D}\right)^2 - 0.1675 \left(\frac{V_S^*}{V_D}\right) + 1.0004$$

(Ec. 57)

Paralelamente, los autores desarrollaron una correlación, según la ecuación 58 (Shekarriz et al, 1997), basada totalmente en una regresión sobre los datos experimentales de otros investigadores.

$$\frac{V_D}{\sqrt{g \cdot d_P (S_S - 1)}} = 1.85 C_V^{0.1536} (1 - C_V)^{0.3564} \cdot \left(\frac{\rho_L \cdot D \sqrt{g \cdot D (S_S - 1)}}{\mu_L} \right)^{0.09} \left(\frac{D}{d_P} \right)^{0.378} x^{0.3}$$

(Ec. 58)

Donde:

μ_L : Viscosidad dinámica del líquido (Pa.s)

C_V : Concentración de sólidos en volumen.

d_P : Diámetro de la partícula (m)

D : Diámetro de la tubería (m)

ρ_L : Densidad del líquido (kg/m³)

S_S : Densidad específica de los sólidos.

g : Gravedad (m/seg²)

x : Factor de corrección por energía turbulenta. (Ecu. 57)

e. Modelo de Turian y Hsu (1987)

Usando la data de 864 experimentos de diferentes características, Oroskar y Turian desarrollaron una correlación para la velocidad crítica de deposición según la ecuación 59, incluyendo el efecto de la viscosidad del flujo de transporte.

$$\frac{V_D}{\sqrt{2g \cdot D (S_S - 1)}} = X_1 \cdot C_V^{X_2} (1 - C_V)^{X_3} \left(\frac{\rho_L \cdot D \sqrt{g \cdot D (S_S - 1)}}{\mu_L} \right)^{X_4} \left(\frac{d_P}{D} \right)^{X_5} \quad (\text{Ec. 59})$$

$$x_1 = 1.7951, x_2 = 0.1087, x_3 = 0.2501, x_4 = 0.00179, x_5 = 0.06623$$

Donde:

μ_L : Viscosidad dinámica del líquido (Pa.s)

C_V : Concentración de sólidos en volumen.

d_P : Diámetro de la partícula (m)

D : Diámetro de la tubería (m)

ρ_L : Densidad del líquido (kg/m^3)

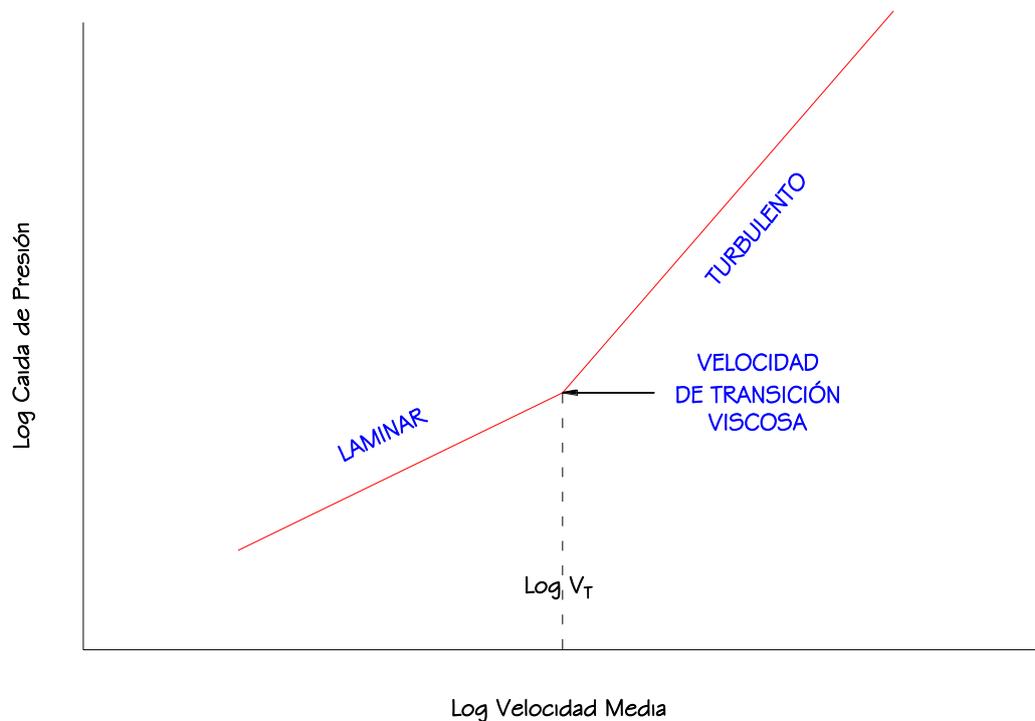
S_s : Densidad específica de los sólidos.

g : Gravedad (m/seg^2)

I.3. VELOCIDAD CRÍTICA DE TRANSICIÓN VISCOSA (V_T)

Esta velocidad es muy importante para flujos homogéneos y define el límite para determinar si un flujo se encuentra en régimen laminar o turbulento. De esta manera si la velocidad de flujo supera con un factor de seguridad determinado la velocidad crítica de transición entre laminar y turbulento, se logra asegurar que una pulpa viaja en régimen turbulento. (López 2014).

Figura N° 21: Velocidad Crítica de Transición Viscosa.



Fuente: Adaptado de Wasp 1978.

Para estimar esta velocidad se conoce de la ecuación 60 propuesta por Durand para fluidos tipo Bingham, asumiendo un número de Reynolds crítico de 2000.

$$V_T = \frac{1000}{D \cdot \rho_m} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{D^2 \tau_0 \cdot \rho}{3000 \eta}} \right) \quad (\text{Ec. 60})$$

Donde:

D : Diámetro interior de la tubería (m)

ρ_m : Densidad de la pulpa (kg/m³)

τ_0 : Esfuerzo de corte inicial (kg/m³).

η : Coeficiente de rigidez (Pa.s)

J. Fuerzas Debido a Fluidos en Movimiento:

El origen de las fuerzas debido a fluidos en movimiento se encuentra básicamente en los cambios de velocidad del fluido, sea en magnitud o en dirección. Esto debido a que cualquier variación en la velocidad se traduce en aceleración del fluido y según la segunda ley de Newton, toda aceleración es consecuencia de una fuerza, tal como lo expresa la ecuación 61.

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a} = m \cdot \frac{\Delta \vec{V}}{\Delta t} \quad (\text{Ec. 61})$$

Donde:

m : Masa.

\vec{a} : Aceleración.

\vec{V} : Velocidad media.

t : Tiempo.

Ahora, para el caso de análisis de fluidos, la expresión 62 se representa en función del caudal y la velocidad.

$$\vec{F} = \rho \cdot \dot{V} \cdot \Delta \vec{v} = \dot{M} \cdot \Delta t \quad (\text{Ec. 62})$$

Donde:

\dot{M} : Flujo másico.

$\Delta\vec{v}$: Variación de la velocidad media.

ρ : Densidad.

\dot{V} : Flujo volumétrico (Caudal)

La ecuación 62, está relacionada con el fenómeno de impulso – variación en la cantidad de movimiento.

El impulso se define como la fuerza que actúa sobre un cuerpo durante un periodo de tiempo, según la ecuación 63.

$$\text{Impulso} = F \cdot \Delta t \quad (\text{Ec. 63})$$

Por otro lado, la cantidad de movimiento se entiende como la masa de un cuerpo multiplicada por su velocidad, según la ecuación 64.

$$\Delta_{\text{CANTIDAD DE MOVIMIENTO}} = m \cdot \Delta V \quad (\text{Ec. 64})$$

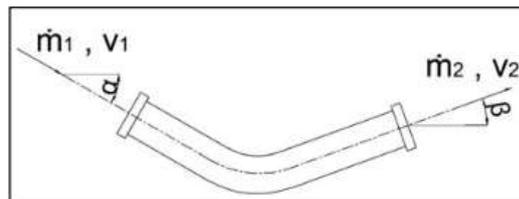
Entonces, despejando la ecuación 61, se tiene la expresión 65.

$$F \cdot \Delta t = m \cdot \Delta V \quad (\text{Ec. 65})$$

Lo cual sugiere que el impulso es equivalente a la variación en la cantidad de movimiento.

Para fines de aplicación práctica, se procede a realizar un análisis en el cambio de dirección que sufre un fluido cuando atraviesa un codo, Figura N° 22.

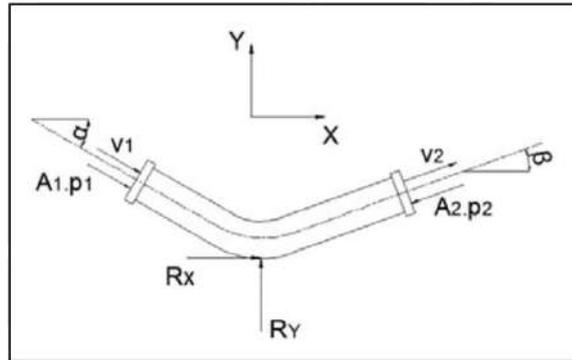
Figura N° 22: Esquema de un flujo que atraviesa un codo.



Fuente: Tomado de López 2014.

Al tratarse de un análisis de fuerzas, es imprescindible realizar un diagrama de cuerpo libre (DCL), el cual se muestra en la Figura N° 23. En dicho DCL se observa que la presión del fluido a la entrada y salida del codo generan fuerzas, además de la variación de cantidad de movimiento y las fuerzas de reacción, necesarias para equilibrar el sistema.

Figura N° 23: DCL de un flujo que atraviesa un codo.



Fuente: Tomado de López 2014.

Dado el DCL y la ecuación 62, se determina la fuerza externa neta en cada una de las direcciones X e Y.

$$F_X = \rho \cdot \dot{V} \cdot (V_{2X} - V_{1X}) \quad (\text{Ec. 66})$$

$$F_Y = \rho \cdot \dot{V} \cdot (V_{2Y} - V_{1Y}) \quad (\text{Ec. 67})$$

Pero se sabe que en el eje X:

$$F_X = A_1 \cdot P_1 \cdot \cos(\alpha) - A_2 \cdot P_2 \cdot \cos(\beta) + R_X \quad (\text{Ec. 68})$$

$$V_{1X} = V_1 \cdot \cos(\alpha) \quad (\text{Ec. 69})$$

$$V_{2X} = V_2 \cdot \cos(\beta) \quad (\text{Ec. 70})$$

Análogamente, en el eje Y:

$$F_Y = -A_1 \cdot P_1 \cdot \sin(\alpha) - A_2 \cdot P_2 \cdot \sin(\beta) + R_Y \quad (\text{Ec. 71})$$

$$V_{1Y} = -V_1 \cdot \sin(\alpha) \quad (\text{Ec. 72})$$

$$V_{2Y} = V_2 \cdot \sin(\beta) \quad (\text{Ec. 73})$$

Por lo tanto, reemplazando y despejando en cada eje se tiene:

$$R_X = -A_1 \cdot P_1 \cdot \cos(\alpha) + A_2 \cdot P_2 \cdot \cos(\beta) + \dot{M} [V_2 \cdot \cos(\beta) - V_1 \cdot \cos(\alpha)] \quad (\text{Ec. 74})$$

$$R_Y = -A_1 \cdot P_1 \cdot \sin(\alpha) + A_2 \cdot P_2 \cdot \sin(\beta) + \dot{M} [V_2 \cdot \sin(\beta) + V_1 \cdot \sin(\alpha)] \quad (\text{Ec. 75})$$

De esta manera, se tiene determinadas las reacciones necesarias en los codos para mantener en equilibrio el sistema. La reacción resultante se determina mediante la ecuación 76.

$$R = \sqrt{R_X^2 + R_Y^2} \quad (\text{Ec. 76})$$

(López 2014).

K. Efecto Térmico en las Tuberías:

El efecto térmico que sufren las tuberías es básicamente por la variación de temperatura que sufre el material. Esto puede producir dos efectos que dependen directamente de la condición en los extremos de la tubería. Si la tubería tiene extremos flexibles, el efecto será un cambio dimensional (dilatación o contracción) y se determinará según la ecuación 77.

$$\Delta L = L_0 \cdot \alpha_t \cdot \Delta T \quad (\text{Ec. 77})$$

Donde:

- ΔL : Deformación térmica.
- L_0 : Longitud inicial.
- α_t : Coeficiente de expansión térmico.
- ΔT : Variación de temperatura.

Por otro lado, si la tubería cuenta con extremos rígidos, el efecto será un esfuerzo térmico de tracción o contracción y se determina según la ecuación 78.

$$\sigma = E \cdot \alpha_t \cdot \Delta t \quad (\text{Ec. 78})$$

Donde:

- σ : Esfuerzo térmico longitudinal.
- E : Módulo de elasticidad.
- α_t : Coeficiente de expansión térmico.
- ΔT : Variación de temperatura.

(López 2014).

2.2.2.3. RANGOS OPERACIONALES Y ACCESORIOS

A. CONTROL DE VELOCIDAD

El control de velocidad es importante debido a las variaciones que se producen en la fase pulpa. Los métodos más utilizados son:

- ↪ Poleas en V.
- ↪ Acoplamientos hidráulicos.
- ↪ Acoplamientos magnéticos.
- ↪ Motores de velocidad variable (los más utilizados).
- ↪ Motores embobinados.
- ↪ Accionamiento de embrague.

(Consulting Services 2008).

B. RANGOS DE FLUJO

El caudal requerido para un flujo dado es:

$$Q = \frac{\text{TMSPH}}{3600} \times \left(\frac{1}{C_P} - 1 - \frac{1}{S} \right) \quad (\text{m}^3/\text{seg}) \quad (\text{Ec. 79})$$

Donde:

TMSPH : Toneladas métricas de sólido transportadas por hora.

C_P : Concentración de sólidos en peso.

S : Densidad relativa del sólido.

Para el caso de sistemas restringidos, se debe manipular el % de sólidos de manera de mantener constante el caudal.

El caudal mínimo estará dado para una mínima producción y S y C_P máximos, de manera similar el caudal máximo estará dado para una máxima producción y S y C_P mínimos. Los caudales mínimos transportables quedan definidos por la velocidad mínima de sedimentación. (Consulting Services 2008).

C. SELECCIÓN DEL TIPO DE TUBERÍA

Los tipos más utilizados son:

- ↙ **Acero Comercial:** Es el más utilizado, se fatiga sobre 28 000 psi, presenta un alto desgaste y corrosión interna y externa.
- ↙ **Aceros de Alta Resistencia:** Se fatiga sobre 65 000 psi, son de alto costo.
- ↙ **Plásticas:** Pueden ser de PVC, Polipropileno, Polietileno, HDPE, etc., son fáciles de instalar, para presiones de trabajo menores que 100 a 200 psi.
- ↙ **Acero Revestido de Polietileno:** Se busca resistencia a la corrosión y soportar altas presiones

(Consulting Services 2008).

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.

- **Relave:** El relave (o cola) es un conjunto de desechos tóxicos de procesos mineros de la concentración de minerales, usualmente constituido por una mezcla de rocas molidas, agua y minerales de ganga (o sin valor comercial), aunque también se encuentran bajas concentraciones de metales pesados, tales como cobre, plomo, mercurio y metaloides como el arsénico.
- **Relavera:** Término utilizado para para designar depósitos de estériles de lavadero en suspensión acuosa, en donde se distinguen las siguientes componentes: Dique o muro exterior, Playa de arenas o estériles, Lago de aguas claras, Depósito de lodo, etc.
- **Concentración de Minerales:** Son procesos que tienen por objetivo enriquecer las menas o especies mineralógicas económicamente útiles de un mineral, mediante eliminación de los componentes estériles, o ganga, y separarlas entre sí, si se presentan en asociación, utilizando para ello propiedades físicas características de los minerales.
- **Flotación de Minerales:** Serie de procesos fisicoquímicos que ayudan a explicar la afinidad de algunas partículas al aire (esta característica es llamada hidrofobicidad), y también de la afinidad de otras partículas minerales por el agua (esta característica es llamada hidrofiliidad). El Objetivo del proceso es tratar de obtener un producto comercial llamado

concentrado, el cual básicamente contiene un mineral valioso como la galena además de otros minerales no valiosos que se hallan como impurezas. El otro producto final del proceso de flotación son los llamados relaves o colas, los cuales se caracterizan por tener minerales sin valor comercial.

- **Disposición de Relaves:** Consiste en determinar la manera adecuada de disponer los residuos mineros provenientes de los procesos de concentración, para su correcto almacenaje, manejo y balance de aguas que permitan un adecuado cuidado del medio ambiente.
- **Transporte Hidráulico de Sólidos:** El transporte hidráulico de sólidos constituye una operación ampliamente utilizada desde hace varios años en numerosas industrias y especialmente en el campo de la minería permitiendo transportar grandes cantidades de sólido a gran distancia y en forma continua, siendo el fluido transportante normalmente es agua.
- **Reología:** La reología es una disciplina que estudia los principios físicos que regulan el movimiento de los fluidos y su deformación. Estos principios están ligados al comportamiento que tiene los fluidos en movimiento, con respecto al gradiente de velocidad, al esfuerzo de corte aplicado y a la viscosidad.
- **Velocidad Terminal o de Caída de Partículas:** Cuando una partícula, inmersa en un fluido estático, cae bajo la sola influencia de la gravedad, se acelera hasta que su peso quede balanceado por la fuerza de empuje y de arrastre viscoso que actúan hacia arriba. La velocidad que adquiere la partícula a partir de ese momento se denomina velocidad terminal, de caída o de sedimentación y se puede considerar como la mínima necesaria para que una partícula se mantenga en suspensión.
- **Velocidad Crítica de Deposición:** Es la velocidad de flujo para la cual las partículas empiezan a depositarse en el fondo de tubería, es decir, se inicia la formación del lecho móvil. Esta velocidad depende directamente de la velocidad terminal de la partícula y del grado de turbulencia existente en el sistema, además del tipo de flujo, la concentración de sólidos, la granulometría de las partículas, la densidad de las fases y el diámetro de

la tubería. Esta velocidad es muy importante para el diseño, especialmente para fluidos heterogéneos, pues se toma como un referente de seguridad para asegurar que las partículas sólidas no sedimenten.

- **Velocidad Crítica de Transición Viscosa:** Esta velocidad es muy importante para flujos homogéneos y define el límite para determinar si un flujo se encuentra en régimen laminar o turbulento. De esta manera si la velocidad de flujo supera con un factor de seguridad determinado la velocidad crítica de transición entre laminar y turbulento, se logra asegurar que una pulpa viaja en régimen turbulento.

CAPITULO III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA.

El Proyecto Cerro Corona se encuentra políticamente ubicado en:

- Región : Cajamarca
- Provincia : Hualgayoc
- Distrito : Hualgayoc

Comunidad Campesina El Tingo, Anexo Predio La Jalca, Caseríos Coymolache y Pilancones.

Así, la Figura N° 24, muestra una imagen satelital del emplazamiento del Proyecto Cerro Corona, con respecto a la ciudad de Hualgayoc.

Figura N° 24: Configuración de la Disposición de Relaves y la Presa de Relaves.



Geográficamente, se encuentra ubicado en la vertiente oriental de la Cordillera Occidental de los Andes del Norte de Perú, hacia la vertiente continental atlántica, aproximadamente entre los 3 600 y los 4 000 m de altitud. Involucra principalmente a las cuencas de los ríos Tingo/La Quebrada (conocido también como Tingo/Maygasbamba), y Hualgayoc/Arascorgue, las cuales drenan hacia el océano Atlántico a través de los ríos Llaucano, Marañón y Amazonas.

Para tener una mayor referencia de la ubicación política del proyecto, ver el plano: CHSDR_RST_PCC UB-01.

3.2. TIEMPO DE INVESTIGACIÓN.

08 meses.

3.3. MATERIALES.

3.3.1. Equipo de Ingeniería

- ✓ Estación Total Leica FlexLine TS02-5" (Incluido Trípode).
- ✓ 02 prismas y bastones topográficos.
- ✓ 03 radios de Comunicación.
- ✓ 02 winchas (50 m. y 3 m.)
- ✓ Cintas Topográficas.
- ✓ Equipo de Protección Personal (EPP).

3.3.2. Equipos de Información y Cómputo

- ✓ Laptop.
- ✓ Impresora.
- ✓ Plotter.
- ✓ Cámara digital.
- ✓ CD y DVD.
- ✓ USB.

3.3.3. Información Técnica

- ✓ Estudio de Impacto Ambiental Proyecto Cerro Corona, mayo 2005.
- ✓ Modificación del EIA de Cerro Corona – Proyecto Nueva Planta de Óxidos, marzo 2011.
- ✓ Modificación del Estudio de Impacto Ambiental de Cerro Corona – Plan Integral para la Adecuación e Implementación de Actividades a los nuevos Límites Máximos Permisibles de Efluentes Minero Metalúrgicos y Estándares de Calidad Ambiental para Agua, agosto 2012.
- ✓ Planos y documentación del actual Sistema de Disposición de Relaves.
- ✓ Topografía General del Proyecto Cerro Corona.

3.3.4. Materiales de Escritorio

- ✓ Libretas Topográficas.
- ✓ Lápices, lapiceros y correctores.
- ✓ Tablero.
- ✓ Papel Bond.

a. PROCEDIMIENTO.

La investigación se realizó teniendo en cuenta los siguientes puntos:

a.1. VERIFICACIÓN DE LA OPERATIVIDAD DE LA DISPOSICIÓN DE RELAVES CST Y RST.

Teniendo en cuenta que la presente investigación se encuentra enmarcada en el análisis de la actual disposición de relaves del subsistema Rougher Scavenger Tailings, es que se realizó la inspección de campo de las principales instalaciones de la línea de gradiente hidráulico, para reconocer sus principales inconvenientes; así, como primer punto se destaca que tanto la línea de relaves RST, como la Cleaner Scavenger Tailings (CST), presentan un trazo paralelo, que describen un primer tramo sobre una topografía ondulada desde la salida del área de espesado de relaves y a lo largo del Haul Road 2, desarrollando un recorrido en dirección suroeste, para luego tomar una zona de topografía accidentada, con caídas considerables, flanqueando una zona de posterior inundación por el crecimiento del espejo del agua de la presa de relaves en dirección noroeste con estructuras de disipación de energía hidráulica para ambas líneas de relave; así, en la Fotografía N° 01 y N° 02 (Ver anexos), se muestra el estado actual de las líneas RST y CST.

Como segundo punto, al inspeccionar detenidamente cada uno de los subsistemas, nos encontramos que para el caso del Subsistema RST, tiene inconvenientes no solo por su mal emplazamiento (conceptualización de descarga en la parte posterior del espejo de agua), sino que también, presenta serios problemas por mala operatividad y concepción del sistema de emergencia de descarga directa trabajando inadecuadamente, debido a que el mismo presenta una descarga no controlada, por las altas pendientes que se presenta, y su implicancia en la generación de turbulencia (Ver Fotografía N° 03), el mismo

que conjuntamente con el subsistema RST generan derrames de relaves en condición de flujo normal y máximo.

Así mismo, se ha identificado que la ruta actual de disposición de relaves Rougher Scavenger Tailings, no solo adolece de un mal emplazamiento, sino que, atraviesa una zona de inestabilidad de taludes y con un congestionamiento de estructuras hidráulicas (Subsistemas CST y RST) que hacen difícil las labores de operación y mantenimiento, generando peligros no solo medioambientales, sino, riesgos a los trabajadores y posible reacción temprana ante un siniestro ya sea del tipo natural y/o operativo, así, en la Fotografía N° 04, se aprecia la disposición de ambos subsistemas, en una vista en dirección de sur a norte y de arriba hacia abajo.

También, se hizo la inspección del actual sistema de recuperación de agua desde la presa de relaves, reconociéndose que el mismo trabaja con normalidad.

Adicionalmente, se inspeccionó el área de flotación de minerales (Fotografía N° 06) para conocer a grandes rasgos la concepción operacional de la producción actual de relaves, identificándose las estructuras de colección y división de relaves RST Espesados y No Espesados (Fotografía N° 07) y el Cajón de Inicio de la Recolección de Relaves (Fotografía N° 08), el cual es el punto clave de referencia de la disposición de relaves del subsistema RST.

a.2. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

La correcta interpretación de un análisis detallado para la evaluación del comportamiento hidráulico del Subsistema Rougher Scavenger Tailings no solo obedece a la identificación de sus principales problemas operacionales, sino también, a la descripción del trazo actual, desde el punto de vista de desniveles, accidentes topográficos, disposición de estructuras principales, entre otros, todo ello enmarcado dentro del crecimiento esperado de la presa de relaves y su implicancia en la producción de relaves a lo largo del periodo de diseño de la mina y en función de una correcta disposición de relaves RST lo más cerca posible de la coronación de la presa; es así, que, se realizaron las actividades de levantamiento topográfico identificando los puntos antes señalados; así como, le evaluación de una posible ruta de disposición final a modo de recomendación final del presente, poniéndose especial énfasis en tener un levantamiento a

detalle en la zona inicial de la conceptualización del transporte de relaves (Espesador de relaves), el flanco derecho de la presa de relaves, incluyendo accesos, cruces, canteras y entre otras instalaciones, así como, el levantamiento total de la coronación de la presa de relaves a lo largo de todo su desarrollo. Las Fotografías N° 09, N° 10, N° 11 y N° 12 muestran dichas actividades.

a.3. CARACTERIZACIÓN DE LA UNIDAD MINERA CERRO CORONA

a.3.1. INTRODUCCIÓN

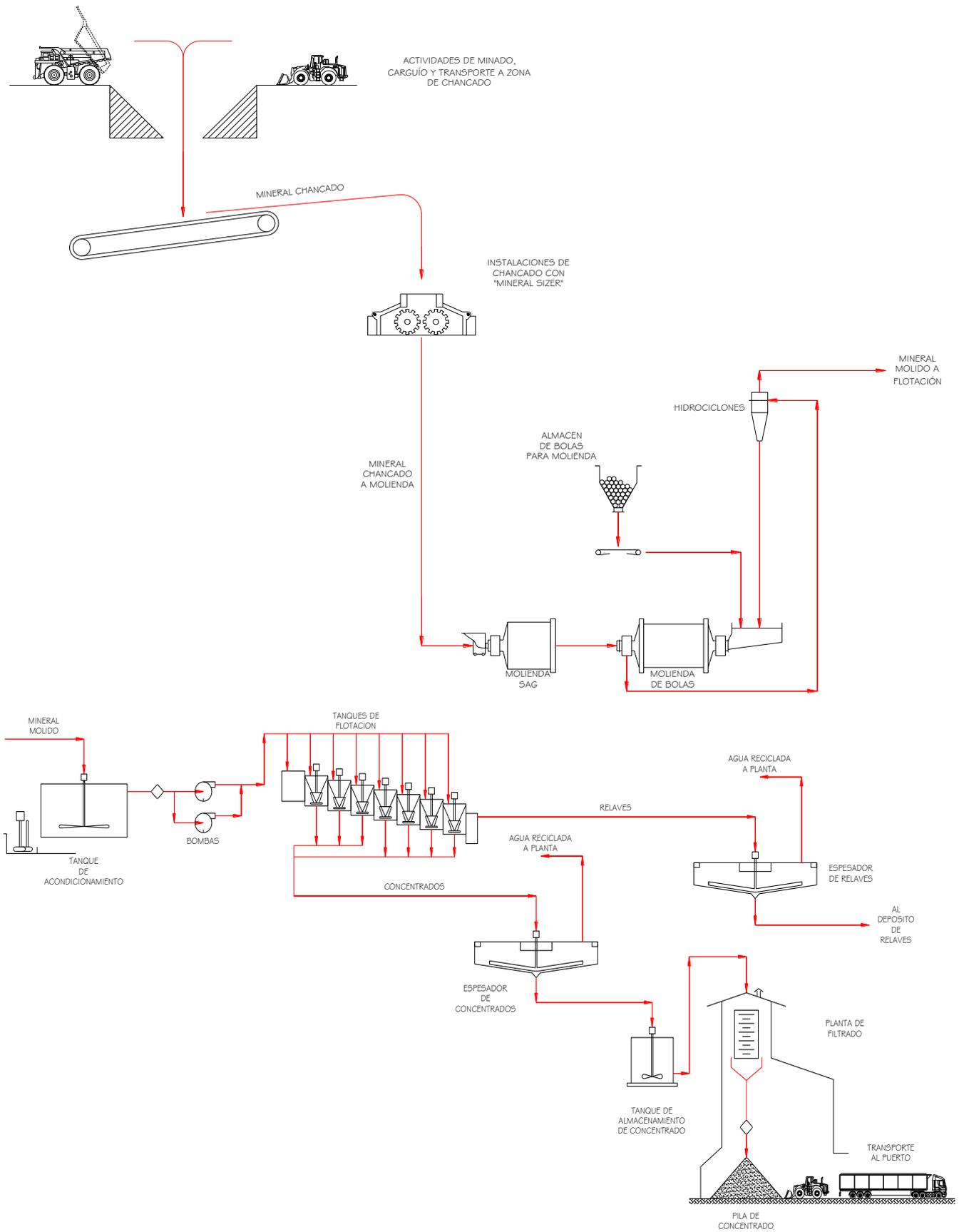
La explotación del yacimiento Cerro Corona se realiza a través de métodos convencionales de explotación minera superficial. Se espera que el área de la mina superficial final cubra aproximadamente 900 x 500 m. La operación minera se extiende desde la cima de la colina original Cerro Corona, a un pico de 3 964 msnm, hasta una profundidad final de aproximadamente 3 660 msnm. El desarrollo del proyecto comprendió la construcción de una planta concentradora para procesar sulfuros de cobre con contenido de oro, con una capacidad de procesamiento de 775 ton de mineral por hora, mediante las etapas de trituración o chancado, molienda, flotación, espesamiento y filtrado y almacenamiento temporal de concentrados.

El área de emplazamiento de la planta "Plant Site" es de aproximadamente 45 000 m², donde se ha construido todas las instalaciones de la concentradora. De acuerdo con los estudios geológicos, las áreas de fundación de las diferentes estructuras se encuentran en zonas donde se observaron fallas de disolución, formaciones kársticas, y roca fracturada; basado en estas condiciones de calidad de roca, se evaluó y realizó un tratamiento específico para las fundaciones.

a.3.2. SECUENCIA OPERATIVA

Para poder conceptualizar el adecuado flujo de relaves que se generan en el proyecto, es necesario previamente conocer a grandes rasgos a que etapa de la secuencia operativa del proyecto se producen, es así, que en los siguientes gráficos (Figura 25A – 25B) se pueden observar los diagramas de operaciones generales presentes en la Unidad Operativa de Cerro Corona.

Figura N° 25A – 25B: Secuencia Operativa General del Proyecto Cerro Corona.



Fuente: Adaptado de Knight Piésold CONSULTING 2005.

a.4. MANEJO DE RELAVES

a.4.1. TIPOS Y CARACTERIZACIÓN DE LOS RELAVES

Según los estudios previos realizados de las características físicas de los relaves, nos encontramos ante la presencia de Relaves de Roca Dura (II), por la presencia de Oro y Plata en su estructura, además de que dichos relaves son producidos por la presencia de la planta concentradora del proyecto.

a.4.1.1. ORIGEN Y PRODUCCIÓN DE RELAVES EN LA PLANTA CONCENTRADORA DEL PROYECTO CERRO CORONA

El mineral de Cerro Corona es procesado mediante la trituración y flotación para finalmente obtener un concentrado de sulfuro de cobre. El esquema de flotación recomendado, tal como se presentó en el estudio de factibilidad y se viene manejando actualmente, produce dos flujos de relaves primarios – un flujo de relaves “Rougher Scavenger Tailings” (RST) (flotación con sulfuro a granel) y un flujo de relaves “Cleaner Scavenger Tailings” (CST) (flotación con sulfuro de cobre). Los dos flujos de relaves se producen durante la fase de operaciones del proyecto.

El flujo de RST consta de la roca hospedante y minerales de ganga no sulfurados (principalmente cuarzo, feldespato, arcillas y carbonatos) más sulfuros minerales incidentales (principalmente pirita) no recuperados durante los circuitos de flotación “Rougher” y “Scavenger”. Este flujo contiene típicamente poco azufre. El CST contiene roca hospedante y ganga adicional más la mayor parte de sulfuros no cúpricos, otra vez pirita principalmente. Este flujo es típicamente rico en sulfuro-azufre.

a.4.1.2. PROPIEDADES FÍSICAS Y ESTRUCTURALES DE LA DEPOSITACIÓN

A. CARACTERÍSTICAS DE LA DEPOSITACIÓN

Los relaves que son almacenados en la Instalación de Almacenamiento de Relaves (IAR) o Presa de Relaves de Cerro Corona consisten en “Rougher Scavenger Tailings y Cleaner Scavenger Tailings” (RST y CST) el cual provienen de un proceso de flotación de cobre-oro. El RST es producido en las celdas de flotación Rougher luego de la etapa de

scavenging y forman la mayor cantidad de relaves producidos en el Proyecto.

El CST se produce en las celdas de flotación también después de la etapa de scavenging, pero la alimentación del circuito cleaner consiste en el concentrado Rougher luego que pasa a través de una etapa restringida. El CST tiene una gradación más fina que el RST y considerando que la mayoría de la mineralización de sulfuros es puesta a flote en el circuito Rougher, el RST presenta una baja cantidad de mineral de sulfuros mientras que el CST presenta una mayor concentración de sulfuros. El pH de las corrientes de relaves se eleva, debido a la adición de cal en el proceso, pero con el transcurso del tiempo el potencial de CST es alto para convertirse en ácido al ser expuesto a la atmósfera.

En consecuencia, ya que el RST representa la mayoría de los relaves a ser dispuestos, el diseño contempla su disposición de una manera sub-aérea por medio de espigones perimétricos para formar playas densas, drenadas y bien consolidadas en ubicaciones estratégicas alrededor de la IAR. El CST es depositado debajo del agua en la poza de agua superficial de la IAR para prevenir su oxidación. Antes de su conducción a la IAR, la corriente de RST se espesa en la planta de procesos hasta conseguir un contenido de sólidos de 40 %. La corriente de CST no se espesa y es conducida a la IAR al conseguir un contenido de sólidos del 18 %. Las siguientes viñetas presentan hechos pertinentes a los flujos de relaves mencionados:

- **Rougher Scavenger Tailings (RST):** Representan entre el 85 al 90 % de los relaves por peso (el porcentaje cambiará ligeramente en el transcurso de la vida de la mina con la ley del mineral). Presenta una molienda relativamente gruesa que incluye arena uniforme de mediana a fina y partículas del tamaño de limo, con un tamaño inicial de P_{80} en un orden de 117 micrones y un tamaño P_{50} de 36 μm . El componente sulfuro (pirita) se pone a flote de manera que la gravedad específica llega a un orden de 2.75.

- **Cleaner Scavenger Tailings (CST):** Constituyen entre el 10 y el 15% de los relaves por peso. Presenta limos medianos con aproximadamente 15% de partículas de tamaño de arcilla (P_{80} de 172.50 micrones, substancialmente más fino que los relaves Rougher debido a una remolienda entre estas dos etapas) y P_{50} de 75 μm . Tiene un contenido significativo de sulfuro de manera que la gravedad específica llega a un orden de 3.60.

B. PROPIEDADES ESTRUCTURALES

Debido a que la depositación de relaves RST y CST tiende a sedimentarse en el fondo de la relavera, es necesario mencionar sus propiedades estructurales ya que aparte de utilizar dichos parámetros para conocer el comportamiento hidráulico de los mismos, debido a los altos esfuerzos impuestos por el peso propio del depósito de relaves, el agua propiamente dicha y la compresibilidad con respecto al tiempo, dichas propiedades también nos ayudarán a realizar una verificar hidráulica. Actualmente se sabe que la gran parte de los relaves lo representan los Rougher Scavenger Tailings (RST), y vienen a representar entre el 85% a 90% de la concentración de sólidos total de relave en peso, las propiedades estructurales que presenten las mismas, tendrán un gran valor considerable y representativo con respecto a los relaves Cleaner Scavenger Tailings (CST) que solo representan el 10% al 15%.

C. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS

El flujo de relaves RST consta de características geoquímicas que presentan partículas de roca madre y minerales de ganga no sulfurosos (principalmente cuarzo, feldespatos, arcillas y carbonatos), más minerales sulfurosos (principalmente pirita) no recuperados durante el circuito de celdas de flotación; asimismo contiene algo de azufre. Para el caso los relaves CST están conformados por roca madre adicional, y minerales de ganga, más los sulfuros no cúpricos (principalmente piritas); el flujo es típicamente rico en sulfuros-azufre. Ya que el relave RST es relativamente menos contaminante que el relave CST, tal como

se esperaba desde las primeras etapas de exploración del proyecto, este tiene un alto potencial de generación de ácidos.

Inicialmente se contempló la posibilidad de mezclar los dos tipos de relaves en un solo flujo, pero no se prosiguió para la etapa de los estudios definitivos del proyecto, ya que es probable que dicha mezcla sea potencialmente productora de ácidos. Una preocupación particular es el comportamiento del relave RST, el cual fue propuesto inicialmente en los estudios iniciales ser colocado por métodos sub-aéreos, el cual luego de tener un periodo de seguimiento experimental y por medio de ensayos parecen ser seguros para ser almacenados de esa manera con un pequeño potencial para generar ácidos. Sin embargo, el relave CST tiene un potencial muy alto para producir ácidos por lo que en este también inicialmente fue propuesto ser colocado en la Presa de Relaves en medio de un ambiente sub-acuoso, debajo de los niveles normales y máximos de agua superficial almacenados, acorde con estudios anteriores y operaciones similares por procesos de flotación en plantas concentradoras a nivel mundial.

a.4.2. DISPOSICIÓN DE RELAVES

a.4.2.1. ASPECTOS GENERALES

Los relaves producidos por la operación de Cerro Corona son almacenados detrás de una presa de tierra/enrocado diseñada bajo condiciones de seguridad aceptables construida a través de la salida de los valles Las Gordas y Las Águilas, justo aguas arriba del río Tingo.

Las instalaciones de almacenaje y la presa son desarrolladas en etapas anuales durante la vida de la mina para extender en el tiempo el costo de construcción y permitir aplicar al diseño de las subsecuentes etapas y al cierre, el conocimiento ganado en los primeros años de la operación.

a.4.2.2. UBICACIÓN DE LA PRESA DE RELAVES Y CONDICIONES DEL ÁREA

La Presa de relaves ha sido construida transversalmente a las salidas de los valles Las Gordas y Las Águilas justo por encima del río Tingo, en la ubicación mostrada en la Figura N° 26. Los valles Las Gordas y Las Águilas

son estrechos, empinados y son cortados por afloramientos escarpados de diorita cuarcífera a ambos lados. La loma que separa los valles está compuesta por cuerpos rocosos argilizados. El basamento rocoso bajo el área de la presa en ambos valles consiste de diorita que se presenta meteorizada pero cuya resistencia aumenta con la profundidad. Las discontinuidades presentan buzamientos empinados y casi verticales las cuales cruzan la fundación y el sistema principal está orientado de noroeste a sureste, aunque algunos conjuntos de fallas oblicuas y perpendiculares han sido observados.

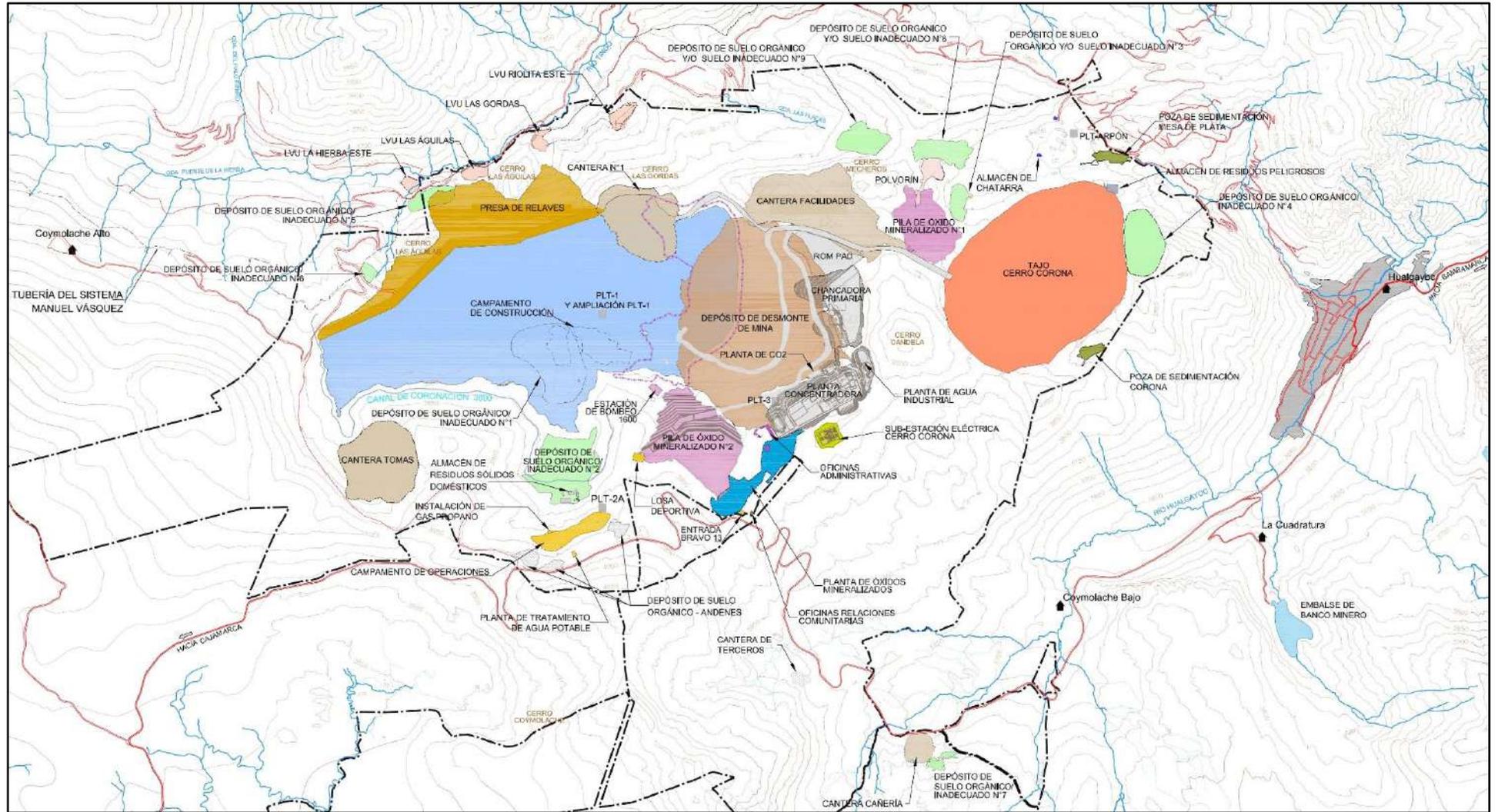
Las zonas superiores de las discontinuidades son reportadas como meteorizadas a mayor profundidad que las rocas alrededor.

Sobre el lecho de roca, el recubrimiento superficial en la ubicación de la presa en el valle Las Gordas consiste de un depósito glacial denso con bolonería que es reportado como de 5 a 15 m. de espesor; éste se extiende desde por encima del pie aguas arriba hasta por debajo del pie aguas abajo de la presa. Taludes detríticos cubren el material glacial en el valle inferior en los taludes laterales y es bastante variable con algunos taludes paralelos a las capas.

En el valle Las Águilas el suelo superficial consiste de un depósito profundo de taludes detríticos cubriendo directamente las rocas de fundación. Los relaves existentes de la Mina Carolina ocupaban la mayor parte del área aguas arriba de la actual presa, estos relaves estaban contenidos detrás de una pared vertical de concreto que cruza la salida del valle cerca al pie aguas arriba de la nueva presa. La pared tenía muchos agujeros de drenaje a través de ella y la filtración que emergía de estos estaba coloreada con precipitación de óxido de fierro. Sobre la pared los relaves estaban retenidos atrás de un terraplén construido aguas arriba y que ha sido cubierto con una capa delgada de grava para protección contra la erosión. El pie aguas arriba de la actual presa de relaves está a tope contra la pared de concreto y el espaldón aguas arriba se extiende apreciablemente por sobre la superficie inclinada de los taludes.

Las rocas de fundación en ambos valles son estructuralmente competentes y son capaces de soportar la presa.

Figura N° 26: Ubicación de la Presa de Relaves.



Fuente: Adaptado de MWH Perú S.A. 2012.

a.4.2.3. DESCRIPCIÓN DEL DEPÓSITO DE RELAVES Y DESARROLLO GENERAL

Mucho antes del inicio de las operaciones de mina, la primera etapa de la presa fue construirla a través del valle Las Gordas hasta una cresta de 3720 m, ésta almacenó inicialmente agua para la operación de la concentradora, los estimados actuales indican que al menos 500 000 m³ de agua fueron requeridos.

La disposición de relaves dentro del Depósito de Relaves (DR) se inició cuando la planta concentradora del proyecto inició su operación en el mes de agosto del año 2008.

En la Etapa 2, la presa en el valle Las Águilas correspondería haber crecido hasta una cresta de 3730 msnm, debiendo las dos presas unirse en la loma que separa los dos valles, por lo que en esta etapa deberían estar juntas; pero debido a problemas de filtraciones que se presentaron durante su construcción (mayo 2011) solo logró alcanzar un nivel de cresta de 3720 msnm.

Al margen de los sucesos antes mencionados, durante los meses iniciales del año 2, los relaves fueron introducidos en la pequeña y confinada área que hay entre el depósito de relaves existente de la Mina Carolina y la actual presa, la tasa de disposición fue regulada cuidadosamente para limitar el índice de elevación y promover la consolidación de los nuevos relaves. El remanente de los relaves en esos meses fue depositado en el valle Las Gordas. Una vez que los relaves de la Mina Carolina fueron cubiertos (el. 3710 m.) se dispuso de un área mayor de almacenaje en el valle Las Águilas por lo que la tasa de disposición en ese valle se incrementó.

Durante los últimos meses del año 2 o inicios del año 3 los relaves sobrepasaron la loma de separación de los dos valles formándose un único depósito de relaves.

Las Etapas 3 a la 4 incluyen elevaciones anuales continuas de la presa para contener la elevación de los relaves y de la poza de agua superficial.

Finalmente, la presa será desarrollada hasta una cresta de aproximadamente 3800 msnm., lo que corresponde a una altura total de cerca de 150.00 m.

La configuración de la Disposición de Relaves y la Presa de Relaves se muestran en las Figuras 27A, 27B, 27C, 27D, 27E, 27F.

También, es de mencionar, que los relaves “Rougher Scavenger Tailings” (RST) se depositan en la parte oeste, norte y este de la IAR (Instalación de Almacenamiento de Relaves) para construir playas de relaves estables frente a la presa. En algún momento se requerirá desarrollar estas playas, particularmente debido a que los relaves se depositaron inicialmente en el agua. Además, se anticipó que a finales de la Etapa 2, las playas se desarrollaron y desplazaron la poza de agua superficial hacia el área central sur de la instalación en donde permanecerá durante el resto de la operación.

Los relaves “Cleaner Scavenger Tailings” (CST) se depositan debajo del agua en la poza de agua recuperada para evitar que se oxiden.

El agua se remueve continuamente de la poza de agua recuperada mediante bombas instaladas en una barcaza de bombeo.

Al cierre de la operación, los sistemas de exceso y recuperación de agua dejarán de operar y la remoción de agua a largo plazo será mediante un vertedero seguro construido desde el extremo occidental de la instalación hacia el Río Tingo.

El suelo de cobertura de la mina se colocará en la Instalación de Almacenamiento de Desechos de Roca (IADR) y una segunda pila encima de la IAR, denominada como la Instalación de almacenamiento de óxidos (OMOF, por sus siglas en inglés). La OMOF se ubicará encima de la parte sureste de la IAR y almacenará solo material de óxido. Las ubicaciones y configuraciones de la IADR y OMOF se presentan en las Figuras anteriormente mencionadas.

Figura N° 27: Configuración de la Disposición de Relaves y la Presa de Relaves.

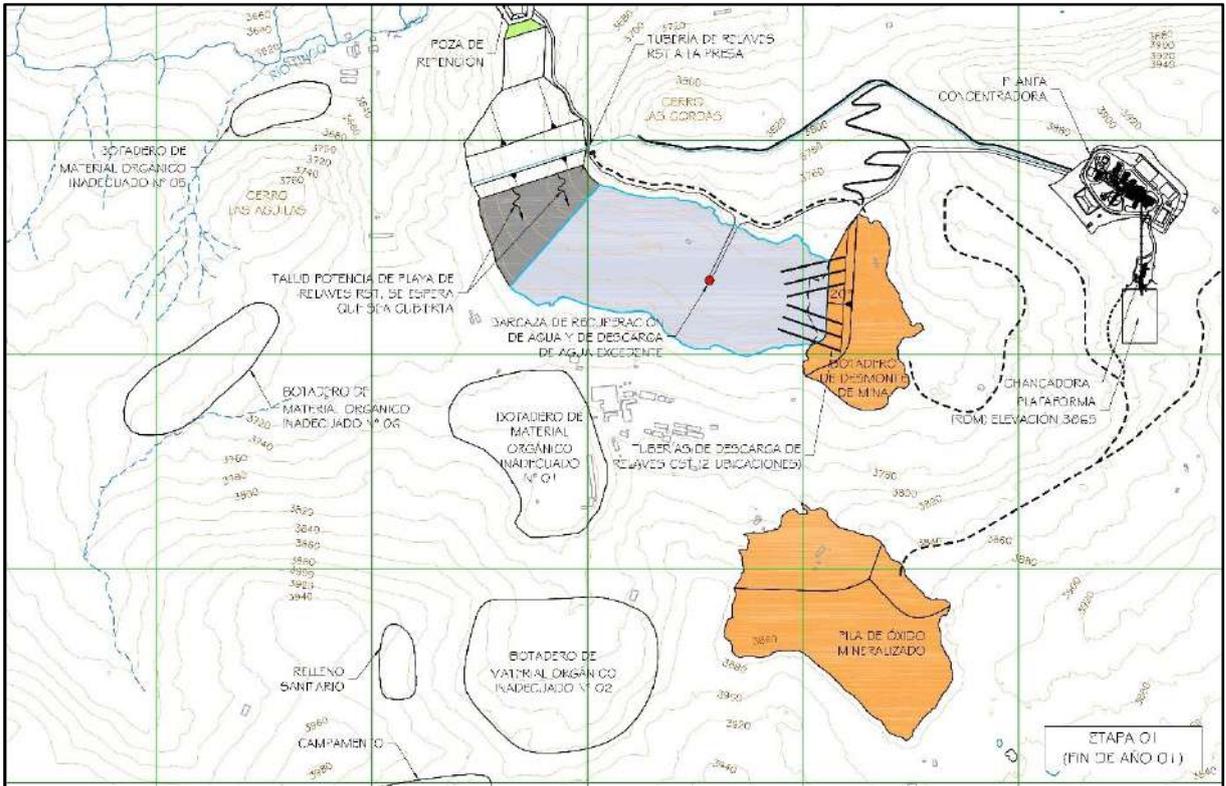


Figura N° 27A: Etapa 01 (Fin de Año 01).

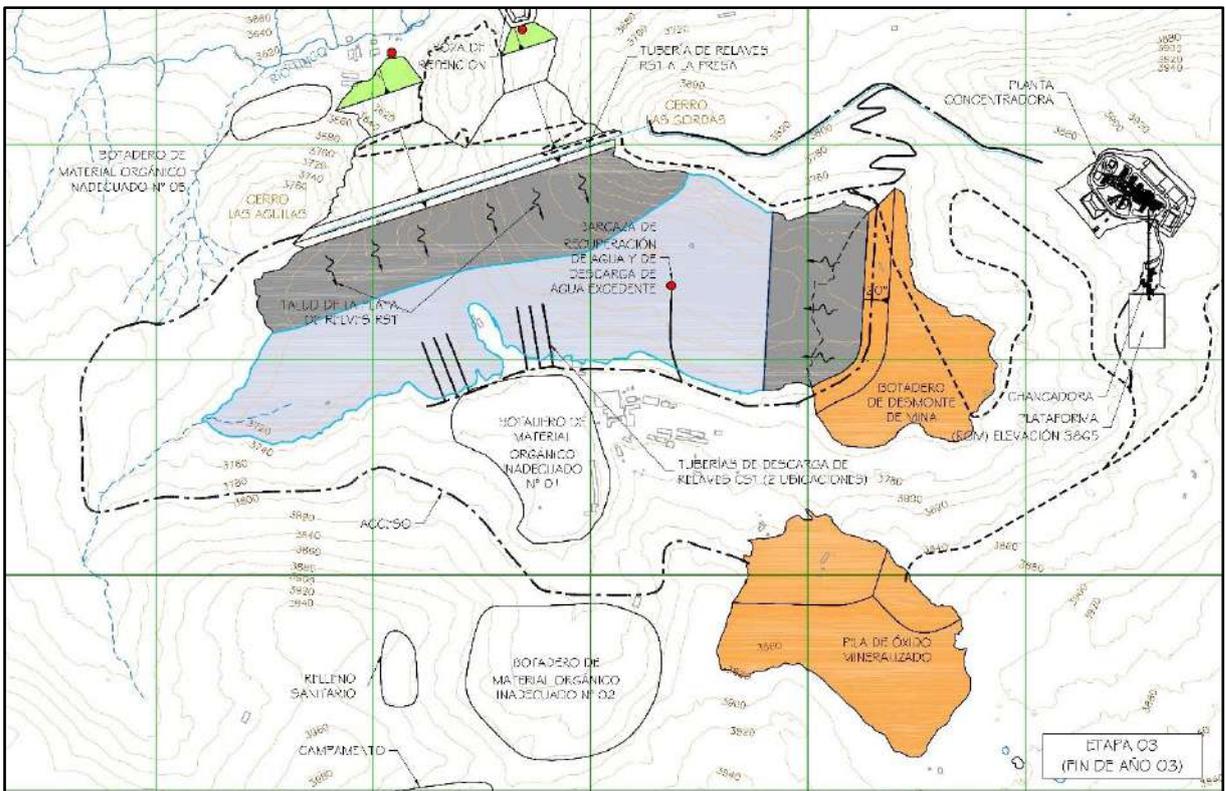


Figura N° 27B: Etapa 03 (Fin de Año 03).

Fuente: Adaptado de Knight Piésold CONSULTING 2005.

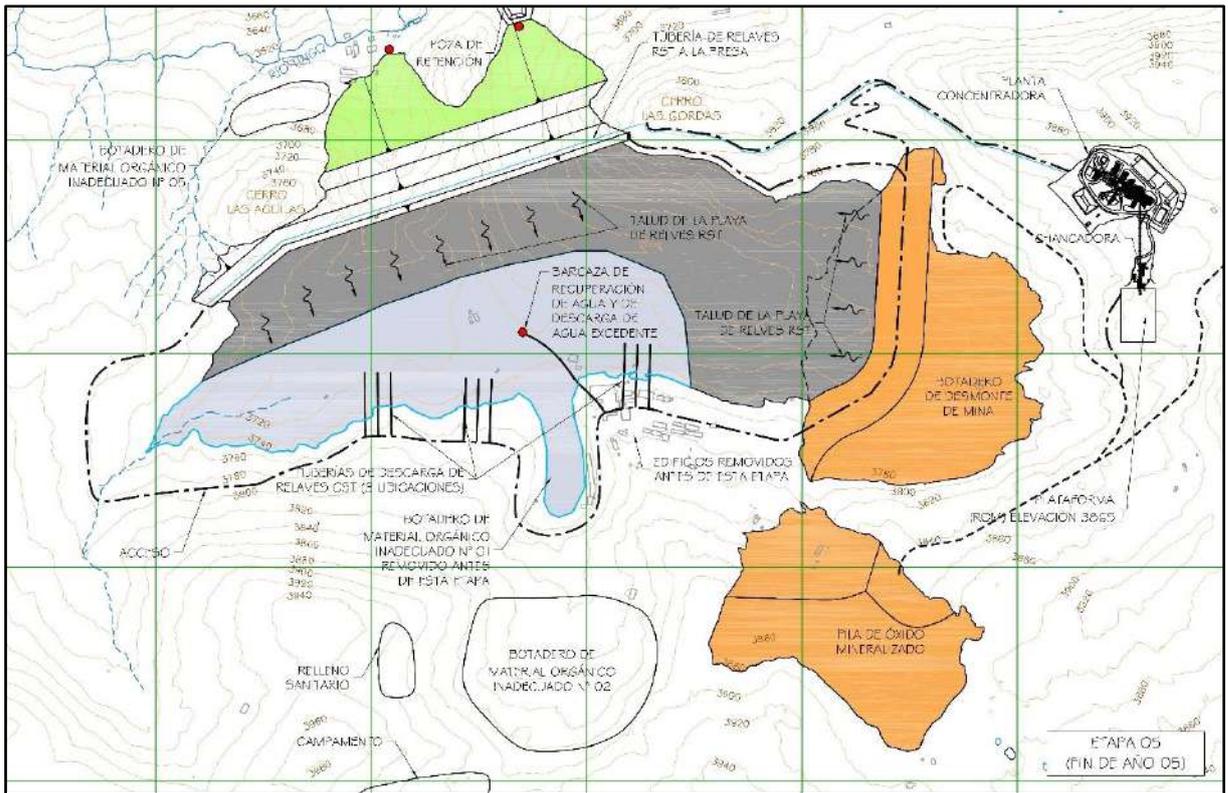


Figura N° 27C: Etapa 05 (Fin de Año 05)

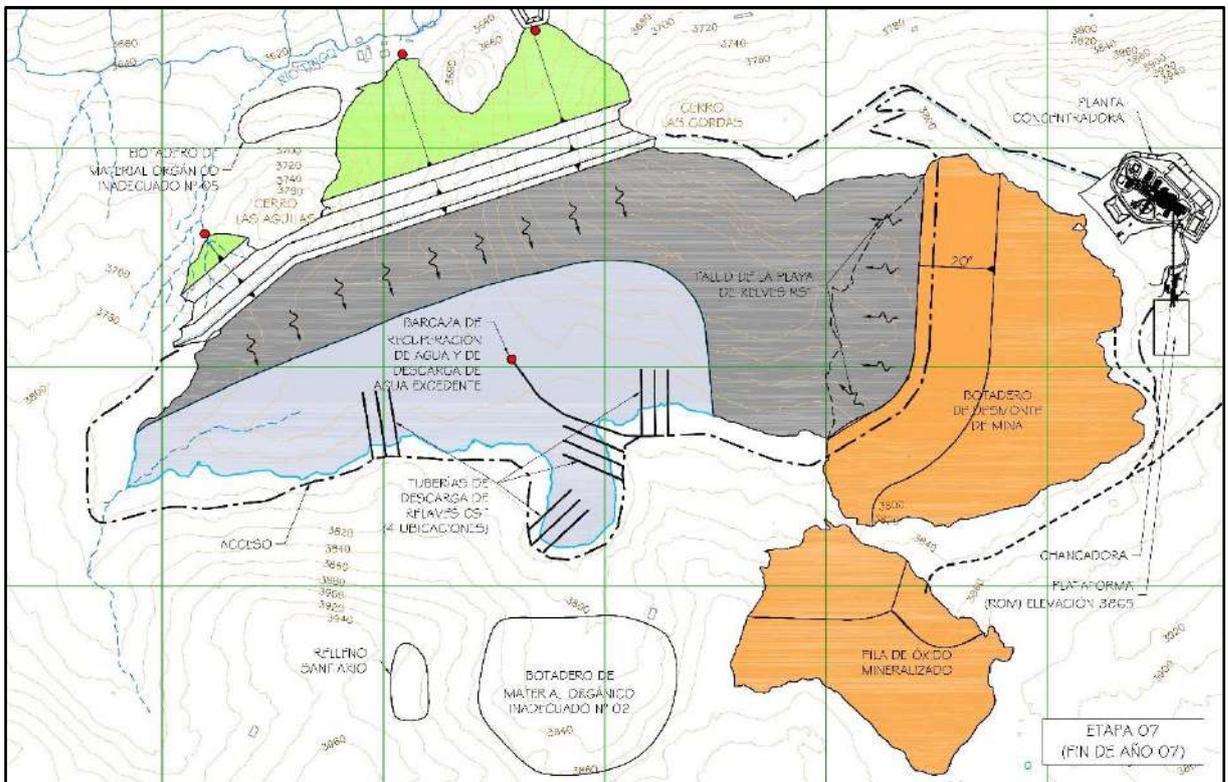


Figura N° 27D: Etapa 07 (Fin de Año 07)

Fuente: Adaptado de Knight Piésold CONSULTING 2005.

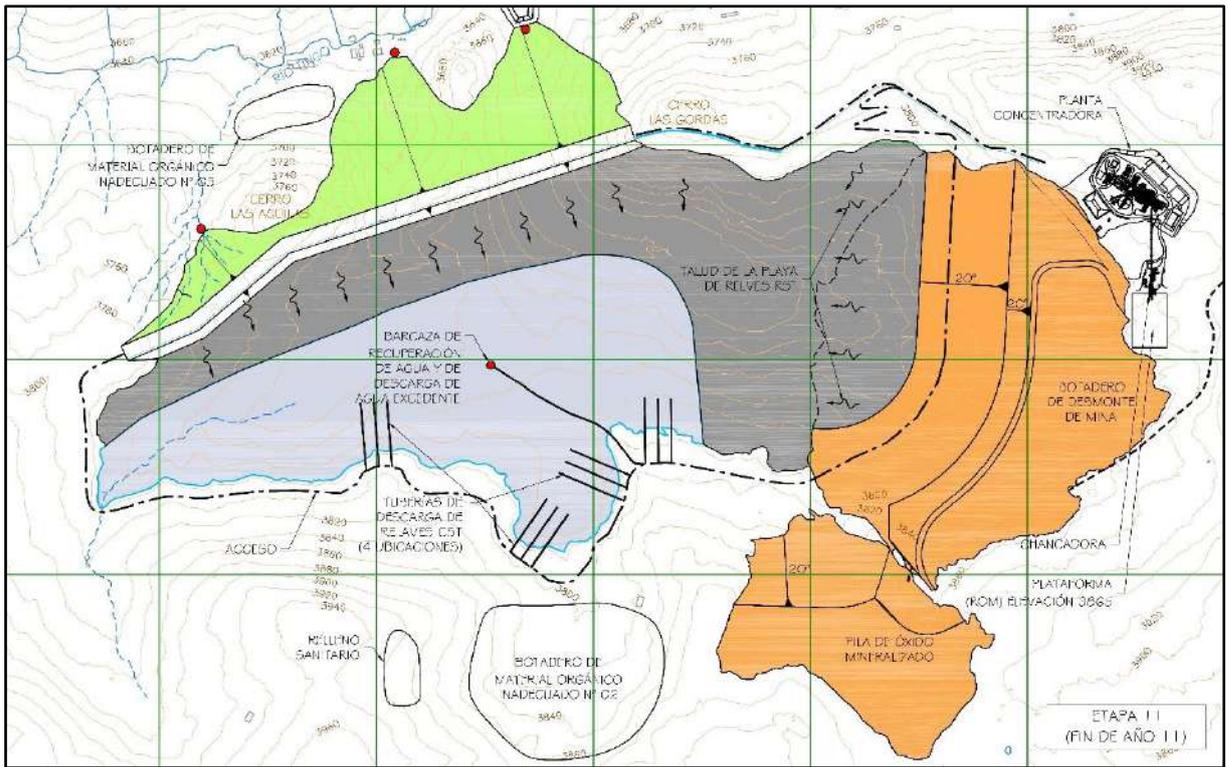


Figura N° 27E: Etapa 11 (Fin de Año 11)

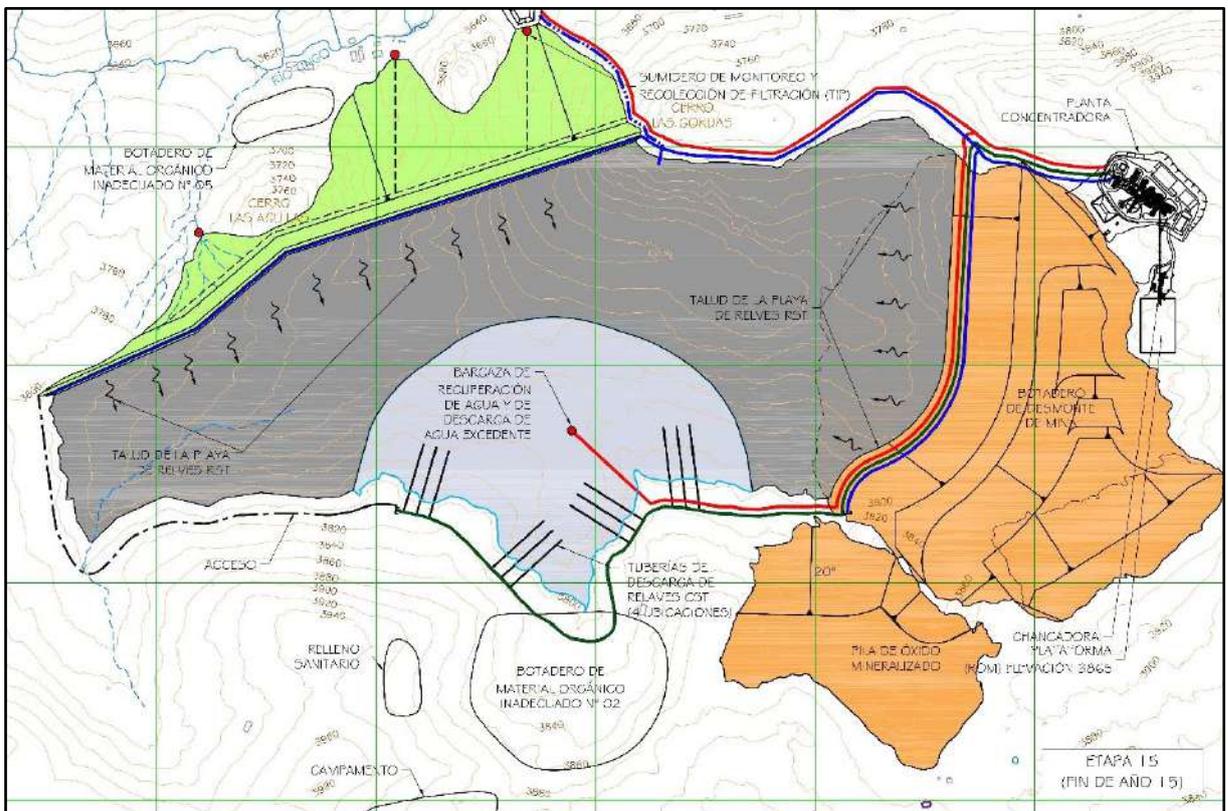


Figura N° 27F: Etapa 15 (Fin de Año 15)

Fuente: Adaptado de Knight Piésold CONSULTING 2005.

a.4.2.4. PLAN DE DISPOSICIÓN DE RELAVES Y MANEJO DE AGUA SUPERFICIAL

A. DENSIDAD DE ALMACENAJE PARA EL DISEÑO

Los dos flujos de relaves a ser depositados en el Depósito de Relaves del Proyecto Cerro Corona, los Rougher Scavenger Tailings (RST) y Cleaner Scavenger Tailings (CST), tienen diferencias geotécnicas y geoquímicas significativas, las cuales están sujetas a confirmación constante por el trabajo de caracterización del material de desmonte que se pone en marcha para asegurar un correcto crecimiento del Depósito de Relaves, los relaves RST son depositados mediante métodos sub-aéreos desde puntos seleccionados alrededor del perímetro del depósito de relaves para formar playas firmes y bien drenadas, mientras que los relaves CST, de los que se conoce que tienen alto potencial de generación de ácidos, son depositados debajo de la poza de agua superficial para mantenerlos sumergidos e impedidos de oxidación.

Las densidades secas en almacenaje y los índices de consolidación que alcanzan los dos tipos de relaves, se vienen definiendo y consolidando mejor conforme avancen las diferentes etapas de crecimiento de la presa, aunque el relave sub-acuoso CST almacenado es probable el que alcance una baja densidad seca al final del año 15, posiblemente del orden de 0.80 a 1.00 T/m³, mientras que el relave RST depositado por método sub-aéreo es probable el que alcance una mayor densidad seca al final del año 15, posiblemente del orden de 1.30 a 1.60 T/m³.

Así mismo, se efectúan constantemente ensayos para estimar mejor las densidades que puedan esperarse durante las diferentes etapas de crecimiento de la presa, si se confirman los valores en esos órdenes entonces el depósito de relaves RST ocupará aproximadamente del 20% al 30% del depósito de relaves.

Debido a las incertidumbres asociadas con las densidades de almacenaje, se llevó a cabo un primer análisis de sensibilidad para investigar el efecto de tres densidades secas diferentes asumidas sobre el volumen requerido para el almacenaje total de relaves en el año 2005.

Las densidades usadas fueron 1.00 T/m³, 1.20 T/m³ y 1.40 T/m³, por simplicidad se asumió que permanecían constantes durante la vida de la mina. Un cuarto escenario también fue investigado, que consideró las mismas densidades secas pero aplicadas en una secuencia de incremento con el tiempo:

- Años 1 a 4; densidad seca 1.00 T/m³.
- Años 5 a 8; densidad seca 1.20 T/m³.
- Años 9 a 15; densidad seca 1.40 T/m³.

En todos los casos no se hizo distinción por separado de los dos tipos de relaves, considerándose que las densidades representaban un promedio total para ambos.

Los resultados arrojaron las siguientes elevaciones finales de la superficie de los relaves para los 90.3 MT programados a ser producidos por la mina:

Tabla N° 5: Densidades Secas vs Elevación Final del Depósito de Relaves.

Densidad Seca (T/m ³)	Elevación Final de Los Relaves (msnm)
1.40	3800.00
1.20	3790.00
1.00	3780.00
1.00, 1.20, 1.40	3788.00

Fuente: Tomado de Knight Piésold CONSULTING 2005:18.

Estas elevaciones fueron calculadas para una superficie horizontal ya que la longitud de la playa de relaves en Cerro Corona será muy corta y el ángulo del talud no generará una diferencia significativa.

En cada etapa de diseño detallado para las consiguientes etapas de operación de la presa se aplicará un talud de playa apropiado.

Los resultados muestran que la elevación final de la superficie no es extremadamente sensible a las diferentes densidades usadas. Los resultados también muestran que, aún en el improbable caso de que la menor densidad asumida de los relaves se produzca (una densidad seca total en almacenaje de 1.00 T/m³) pueden todavía ser acomodados totalmente en los valles Las Gordas y Las Águilas, aunque

ajustadamente. Se adoptó el cuarto escenario (multi-densidad) para el estudio de factibilidad, así como las siguientes consideraciones:

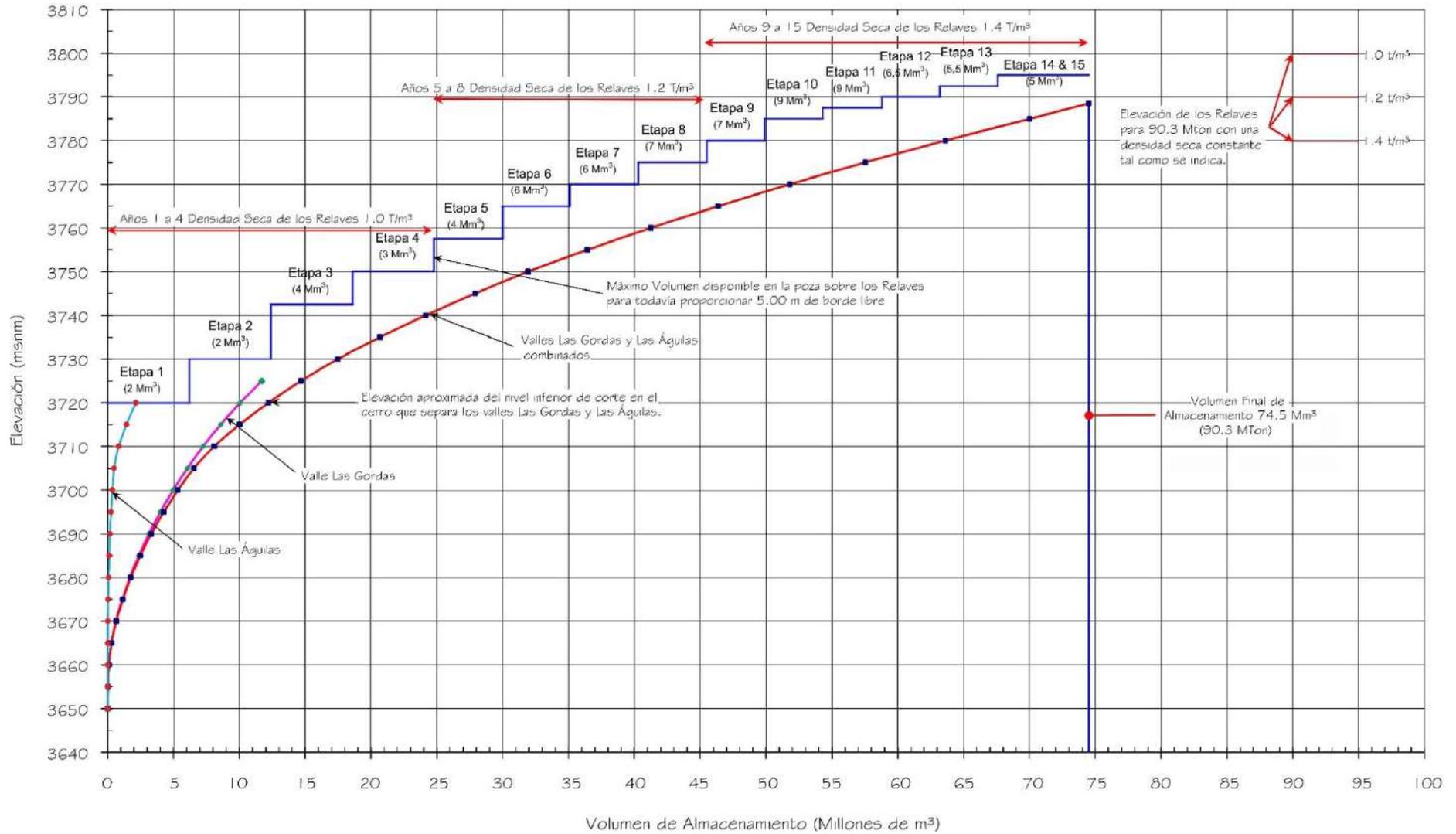
- Una densidad inicial baja para reflejar las condiciones iniciales de consolidación y asentamiento restringidas que se darán cuando todos los relaves sean depositados en la poza de agua para el molino y cuando la tasa de elevación de los relaves sea alta.
- Densidades progresivamente más altas durante los años intermedios y los finales cuando el desarrollo de la playa de relaves RST llegue a ser significativo y cuando la tasa de elevación sea menor.

B. CURVAS DE PROFUNDIDAD / CAPACIDAD Y LLENADO

Bajo el cuarto escenario de densidad de diseño se requerirá de un volumen de 74.5 Mm³ para almacenar los 90.3 MT de relaves producidos durante la vida de la mina. La curva de llenado para este escenario, basado en la generación de 6.2 MT de relaves al año, se presenta en la Figura 39. Esta figura también muestra el crecimiento por etapas de las elevaciones para la presa que ha sido adoptado desde un inicio.

Cada etapa de elevación para la presa ha sido seleccionada para proveer un borde libre mínimo de 5.00 m. sobre el nivel final de los relaves (para esa etapa) y el de la poza de operación de agua superficial. Los volúmenes máximos disponibles para las instalaciones por cada etapa (que se aplica al final de cada etapa) se detallan en la Figura 28, y varían desde los 2 Mm³ en las etapas 1 y 2 hasta 9 Mm³ en las etapas 10 y 11. Estos volúmenes, y particularmente los correspondientes a las etapas iniciales que son relativamente bajos, son refinados constantemente junto con el programa de elevación de la presa en el diseño de detalle por etapas, cuando esté disponible mayor definición sobre las densidades de almacenaje esperadas de los relaves y los ángulos del talud de la playa.

Figura N° 28: Curva de Llenado del Depósito de Relaves con la Presa por Etapas.



Fuente: Adaptado de Knight Piésold CONSULTING 2005.

C. PLAN DE DISPOSICIÓN DE RELAVES

Inicialmente se desarrolló un plan conceptual de disposición de relaves año a año para mostrar su configuración en el tiempo, con la ubicación de los puntos de disposición de relaves y la poza de aguas superficiales en diferentes momentos durante la vida de la mina. Las Figuras 27A, 27B, 27C proporcionan planos en planta de las instalaciones para los años 1, 3 y 5 mientras que las Figuras 27D, 27E, 27F muestran las instalaciones en los años 7, 11 y 15 respectivamente.

Se preveo que, para la mayor parte del período de operación, el RST sería depositado usando métodos sub-aéreos desde varios puntos de descarga a lo largo de la presa de relaves y desde banquetas sobre el botadero de desmonte. Esta disposición de régimen laminar y de baja energía promoverá la separación líquidos/sólidos e incrementará la densidad de almacenaje de los relaves. Los puntos de disposición serán rotados frecuentemente para producir capas delgadas y bien drenadas que estarán completamente consolidadas justo después de la disposición. La rotación frecuente de los puntos de disposición minimizará también el potencial de generación de polvo. En el caso de que una cantidad de relaves RST con alto contenido de sulfuro, que podría tener el potencial para generar ácidos, sea producida temporalmente entonces la secuencia rotacional será detenida y sólo se usará un punto de descarga; el cual mantendrá el área de disposición activa y el material saturado en la playa. La secuencia rotacional será reiniciada cuando los niveles de sulfuro se reduzcan a niveles sin potencial de generación de ácidos.

En los primeros dos años de la operación los métodos sub-aéreos no se pudieron usar completamente, hasta que las tasas de elevación de los relaves fueron mayores.

Adicionalmente, el valle Las Gordas contiene una poza significativa de agua desde la puesta en marcha de la concentradora. Mientras que algunas playas pequeñas se desarrollaron inmediatamente después del término de la primera etapa, así mismo, no se esperó que la completa disposición sub-aérea se realice con regularidad sino hasta el año 3.

En la última parte del año 2 o al comienzo del año 3 los relaves alcanzaron la altura de la loma que separa los valles Las Gordas y Las Águilas, entonces se desplazó la poza de agua superficial al valle Las Gordas mediante la concentración de la disposición de relaves en el extremo oeste del depósito de relaves. El objetivo fue hacer que esta agua esté disponible para el sistema de recuperación y descarga de exceso de agua que está situado sobre una barcaza en el valle Las Gordas. Además, que también fue necesario, establecer un sistema temporal de bombeo para la transferencia del agua.

Al margen de ello, durante la operación de la mina, el relave CST es depositado en el fondo de la poza de agua superficial a través de unos cuantos bancos de tuberías de descarga que se extenderán bajando hasta elevaciones predeterminadas. Cada tubería de descarga está equipada con una serie de agujeros perforados a lo largo de su corona logrando que los relaves se descarguen automáticamente desde elevaciones progresivamente mayores conforme el depósito de relaves CST se eleva. El número de tuberías y agujeros activos y el tamaño de los agujeros son suficientemente grandes para que las velocidades de salida sean bajas para prevenir la suspensión de sólidos en la poza. La disposición es también alternada entre los bancos de tuberías para distribuir el material uniformemente en el fondo de la poza.

A continuación, se describe la programación de disposición de relaves para los años mostrados en las Figuras 27A, 27B, 27C, 27D, 27E, 27F.

Año 01

Los relaves RST son conducidos desde la planta mediante tuberías a nivel alto sobre el lado norte del valle Las Gordas, desde donde baja con pendiente pronunciada (pasando por cajas disipadoras de energía) hasta la presa en el valle Las Gordas por el contrafuerte derecho.

La tubería de relaves RST se extiende a lo largo del lado aguas arriba de la cresta de la presa del valle Las Gordas y los relaves son depositados mediante puntos de descarga desde la presa hasta la poza de agua puesta en marcha.

Los relaves CST son conducidos desde la planta bajando por el lado noreste del valle Las Gordas en una tubería (pasando por cajas disipadoras de energía) hasta una berma o banquetta a través de la parte más baja del botadero de desmonte de mina.

La tubería de relaves CST se extiende a lo largo de una berma o banquetta en la base, los relaves son depositados en el fondo del extremo este del depósito en la poza de agua superficial, mediante bancos alternativos de tuberías de descarga extendidas hasta un nivel menor en la poza.

La Figura 29 muestra las rutas de los relaves durante el primer año.

Año 02

Este año no se muestra como parte de las secuencias de las Figura 27, pero, ya que el depósito de relaves sufrió cambios, a continuación, se detalla la distribución de los relaves.

La tubería de relaves RST se debería haberse extendido desde la cresta de la presa del Valle Las Gordas a lo largo de la cresta aguas arriba de la presa del Valle Las Águilas y los relaves RST deberían haberse descargado desde puntos estratégicos de descarga en ambas presas, Las Gordas y Las Águilas a un nivel de cresta desde un solo alineamiento a 3730 msnm.; sin embargo, debido a los problemas antes mencionados, a los requerimientos de seguridad muy altos que esto implicaba y a la reestructuración de la Ingeniería, no se hizo descarga directa hacia la presa Las Águilas de relaves RST, ni CST, hasta solucionar dichos inconvenientes, el cual frenó la construcción de la presa Las Águilas a un nivel de cresta de 3720 msnm.

El planteamiento inicial contemplaba que cerca del final del Año 2 o al comienzo del Año 3 el depósito de relaves RST alcanzaría la altura del cerro que separa ambos valles (3723 m.) para formar una sola superficie, para luego concentrar la descarga en el extremo oeste para desplazar el agua superficial al interior del valle Las Gordas.

Habiéndose reestructurado la Ingeniería y tomado las medidas preventivas frente a las filtraciones en la presa Las Águilas, se retomó el

crecimiento de esta aproximadamente en el mes de junio del 2012 hasta alcanzar el nivel de construcción de la presa Las Gordas y avanzar con un crecimiento al mismo nivel para ambas presas.

Para simplificar y acelerar el proceso de transferencia de agua se llevó a cabo un bombeo previo y/o se pudo hacer una zanja en la loma que separa los valles.

Los relaves CST continuaron siendo depositados en el fondo del extremo este del valle Las Gordas mediante los bancos de tuberías de descarga usados en el año 1, no obstante, la tubería se elevó hasta una banqueteta superior en el Botadero de Desmonte de Mina sobre el nivel de la poza.

Año 03

Al margen de los problemas suscitados en la presa Las Águilas los relaves RST continuaron siendo depositados desde la tubería ubicada a lo largo de la cresta aguas arriba de la presa, se esperó desarrollar una playa significativa de relaves RST contra la presa.

Una segunda tubería de relaves RST fue instalada en la banqueteta de la tubería de relaves CST en el Botadero de Desmonte de Mina desde donde se descargó el relave RST hacia el fondo en el extremo este del depósito de relaves para cubrir el relave CST.

Los puntos de disposición del relave CST fueron reubicados en el lado sur del Depósito de Relaves mediante la extensión de la tubería de relave CST a lo largo de la misma banqueteta en el Botadero de Desmonte de Mina, e instalando nuevos bancos de tuberías de descarga (configurados similarmente a los descritos anteriormente).

La altura de un pequeño y antiguo depósito de relaves justo por abajo del lado norte del concentrador de la Mina Carolina fue cubierta por el nivel en la poza de agua superficial de los nuevos relaves en el año 3.

Año 05

Los relaves RST continuaran siendo depositados desde la tubería a lo largo de la cresta aguas arriba de la presa produciendo una playa firme y bien drenada contra la presa, el cual se espera que ocurra entre las

etapas 4 y 5 de la operación cuando el nivel de elevación de los relaves se encuentre entre los niveles de 3745 msnm y 3755 msnm.

Los relaves RST continuarán siendo descargados hacia el fondo, desde la nueva ubicación propuesta a lo largo de la coronación de ambas presas; además, se espera que los relaves RST conformen una playa significativa en estas áreas en los años 4 y 5.

Los relaves CST continuarán siendo depositados bajo la poza de agua superficial en el lado Sur del Depósito de Relaves, pero en el año 5, la poza se extenderá dentro de un pequeño valle norte-sur justo al oeste del concentrador de la Mina Carolina, los relaves CST también serán depositados en este valle. Este pequeño valle contiene el tercer depósito antiguo de relaves de Mina Carolina, los que terminarán sumergidos en la nueva poza de agua superficial.

El concentrador de la Mina Carolina y los edificios asociados requerirán ser removidos antes del año 5.

Año 07 al 15

Estos años serán una continuación general del plan de disposición implementado en el Año 5.

Los relaves RST continuarán siendo depositados desde la cresta principal de presa para formar playas largas, firmes, bien drenadas y consolidadas frente a esas estructuras. Las playas proporcionarán soporte adicional en la cara aguas arriba de la presa.

Los relaves CST continuarán siendo depositados bajo la poza de agua superficial en el lado sur de las instalaciones y al interior del pequeño valle norte-sur. El objetivo es mantener ambos, la poza y el depósito de relaves CST convenientemente lejos de la presa. Con la excepción del pequeño volumen de relaves CST depositados en el extremo este del depósito de relaves en los años 1 y 2, los que estarán cubiertos por decenas de metros de relaves RST, todos los relaves CST serán depositados bajo agua en el área central sur del Depósito de Relaves.

Durante los últimos pocos años de la operación se llevará a cabo cuidadosamente la descarga de los relaves RST al fondo desde el lado oeste de la Presa de relaves para confinar la poza de agua superficial en el área central sur y para desarrollar una salida de drenaje a largo plazo desde la poza, a una elevación predeterminada, a lo largo del lado suroeste del Depósito de Relaves. El objetivo será asegurar que la poza esté ubicada adecuadamente y con un tamaño suficiente para que el depósito de relaves CST permanezca completamente sumergido a largo plazo después del cierre.

D. MANEJO DE LA POZA DE AGUA SUPERFICIAL

La poza de agua superficial en el Depósito de Relaves es cuidadosamente manejada durante la operación para:

- Mantener el depósito de relaves CST sumergido.
- Proveer agua limpia adecuada para el proceso de recuperación.
- Asegurar, que la calidad del agua es adecuada para descargarla.
- Asegurar, que el nivel de agua normal de operación permanece bajo una elevación predeterminada en cada etapa de tal manera que se cuente con un borde libre adecuado respecto a la presa para el almacenamiento temporal de la escorrentía causada por tormentas extremas.

El agua es recuperada para la planta concentradora mediante bombas sobre una barcaza ubicada en el centro de la poza de agua superficial entre los puntos de disposición de los relaves CST y RST, como se muestra en las Figuras 27A, 27B, 27C, 27D, 27E, 27F.

Un segundo juego de bombas sobre la barcaza remueve el exceso de agua hacia una poza de retención debajo de la presa en el valle Las Gordas antes de su descarga en el río Tingo. La calidad del agua es monitoreada en la poza de aguas superficial y en la poza de retención donde se confirmará si es adecuada para su descarga. El modelo de calidad de agua está actualmente siendo desarrollado constantemente para el depósito de relaves, el cual determinará, si puede requerirse

algún tratamiento para el agua más allá de las medidas propuestas y éste se integrará en el diseño final de las instalaciones conforme avance las diferentes etapas de crecimiento de la mina. En el inusual caso que el agua no sea adecuada para su descarga en cualquier etapa, entonces las bombas de agua excedente serán detenidas y el agua en la poza de retención será retornada al Depósito de Relaves. El agua será entonces tratada dependiendo de los parámetros que se encuentran fuera del rango admisible para su descarga libre.

La poza de retención consiste en un recubrimiento de HDPE y de un dimensionamiento para proporcionar 24 horas de retención y tiempo de reacción en el flujo de exceso de agua. La poza requiere de una capacidad de almacenamiento de aproximadamente 8000 m³.

La barcaza para la recuperación de agua y eliminación de agua en exceso es mantenida en su lugar mediante cables desde las playas norte y sur. Durante los primeros años, la barcaza es ubicada más cerca del extremo este del embalse, pero en los años 3 o 4 fueron reubicados ligeramente hacia el oeste.

La barcaza está equipada con una bomba de decantación con filtro para recobrar solamente el agua cerca de la superficie, la toma de la bomba está ubicada dentro de este filtro para prevenir el acarreo de relaves sólidos desde abajo. El recorrido de las tuberías de los sistemas de recuperación de agua y de eliminación de agua excedente para los años 1 y 3 se muestra en las Figuras 29 y 30 respectivamente.

El tamaño de la poza de agua superficial variará durante el tiempo de operación, se ha desarrollado un balance hídrico preliminar para estimar las cantidades de agua que será necesario descargar para mantener la poza dentro de ciertos límites volumétricos en distintos momentos durante la vida de la mina y bajo distintas condiciones de precipitación.

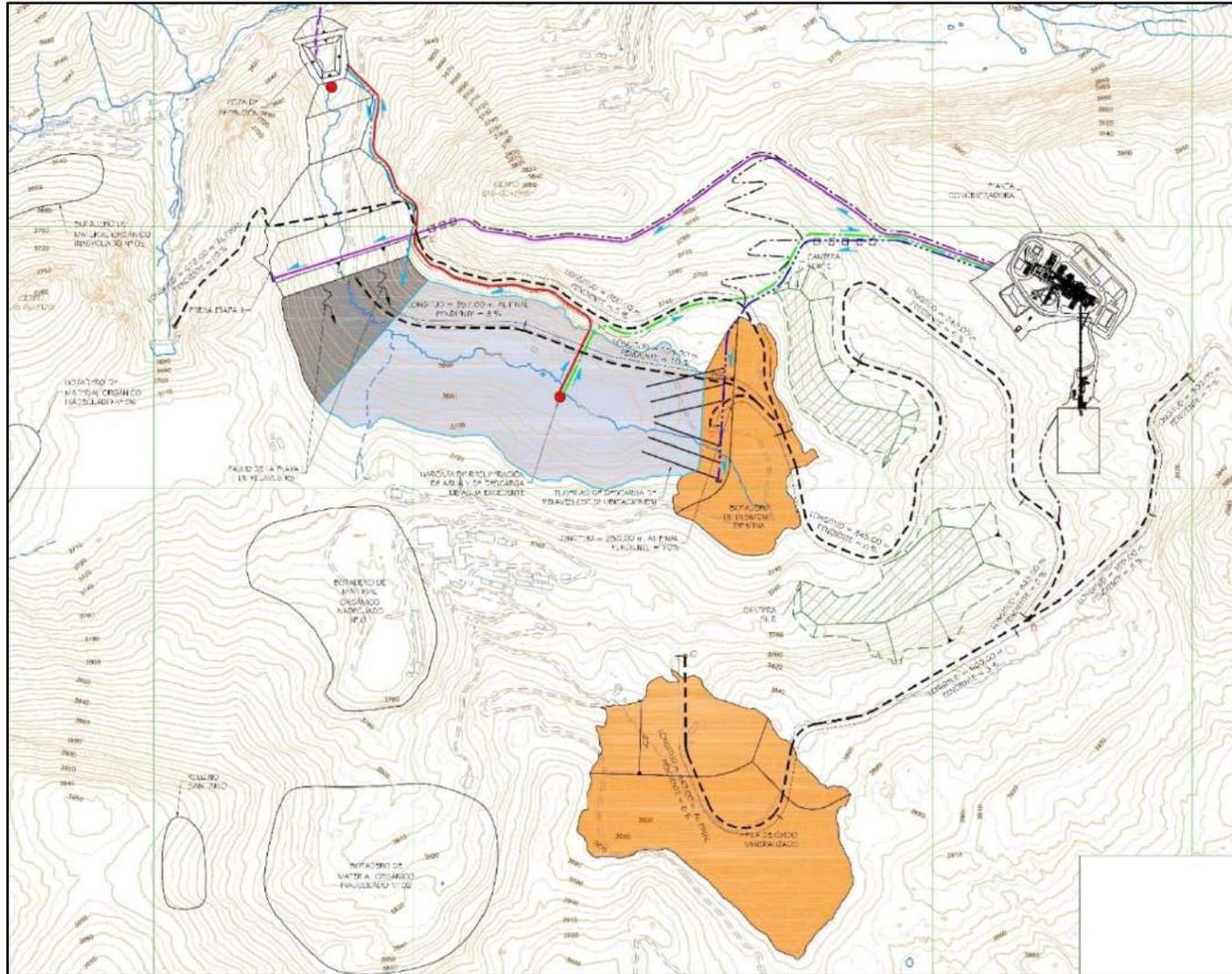
Se le dio importancia al desvío de la escorrentía superficial alrededor del Depósito de Relaves en un esfuerzo para reducir el volumen de agua que llega a la poza y que requiere descarga. Sin embargo, los límites de la captación alrededor del Depósito de Relaves están generalmente muy

cerca a los límites de éste, por lo que los volúmenes de agua que se pueden desviar son limitados. La única excepción está al suroeste sobre el valle Las Águilas, donde existe una pequeña área de captación. Una zanja de derivación está ubicada por el lado sur del Depósito de Relaves, aunque los beneficios de ésta parecen cuestionables por las siguientes razones:

- Esta área es caliza buzando hacia el sur donde cerros con rumbo irregular se extienden paralelamente a los contornos, limitando el movimiento en la parte inferior del talud del movimiento del agua superficial hacia la zanja.
- Gran parte de la escorrentía parece desviarse bajo tierra e ingresa al depósito de relaves como agua subterránea poco profunda, la que no es interceptada por la zanja.
- La construcción de la zanja fue difícil en la roca, requiriendo una voladura cuidadosa.
- La caliza es permeable por lo que la zanja requirió revestimiento, con un íntimo contacto establecido entre el revestimiento y el talud aguas arriba.

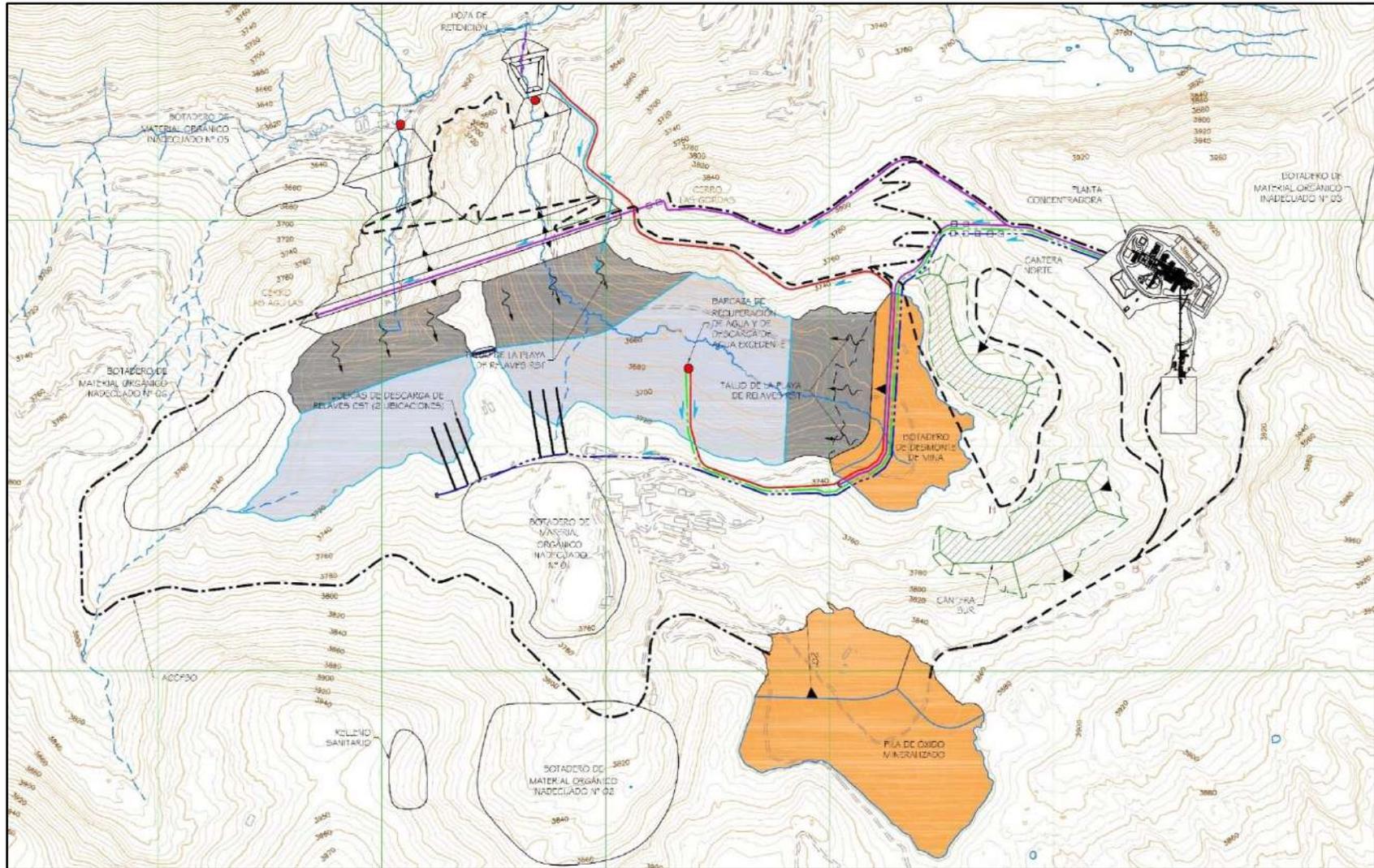
Dado que la zanja está ubicada sobre el valle Las Águilas sus beneficios no se apreciaron hasta el año 3, cuando el depósito de relaves se expandió dentro de dicho valle. Por lo tanto, se realizaron evaluaciones más profundas durante el primer y segundo año de operaciones.

Figura N° 29: Accesos y Rutas de las Tuberías para los Años 01 y 02.



Fuente: Adaptado de Knight Piésold CONSULTING 2005.

Figura N° 30: Accesos y Rutas de las Tuberías para el Año 03.



Fuente: Adaptado de Knight Piésold CONSULTING 2005.

E. OPTIMIZACIÓN DEL DEPÓSITO DE RELAVES

Con el objeto de mejorar la contención hidráulica de los relaves y del agua que se almacena en el depósito de relaves de Cerro Corona, GFLC fue optimizando a lo largo del tiempo el diseño del depósito de relaves presentado en el EIA del proyecto Cerro Corona, el cual fue aprobado por el MINEM en diciembre de 2005 mediante RD 514-2005-MEM/AAM.

Las medidas de optimización fueron necesarias para mejorar la eficiencia de los componentes del depósito de relaves ya que éste debió adaptarse a las condiciones físicas y geológicas del terreno encontradas durante el diseño de detalle y la etapa de construcción.

Las medidas de optimización que ya se han ejecutado se encuentran orientadas a respaldar las medidas de manejo ambiental previstas originalmente en el EIA aprobado el 2005, por lo que no han requerido controles ambientales o medidas de mitigación adicionales para cumplir con los compromisos ambientales establecidos. Para las medidas de optimización que aún no se han ejecutado (LVU Las Hierbas y LVU Riolita), se plantean las respectivas medidas de manejo ambiental, debiendo precisar que también éstas se encuentran orientadas a respaldar las medidas de manejo ambiental previstas originalmente en el diseño de factibilidad del EIA del 2005.

La optimización del diseño incluye:

- ✓ 04 Presas Subálveas de Bajo Volumen, denominadas LVU por sus siglas en inglés, que se ubican aguas abajo del depósito de relaves y cuentan con un sistema de captación y bombeo que permite retornar el agua que se colecta en ellas hacia el embalse del depósito de relaves;
- ✓ 01 Manta de Contención, denominada UCB por sus siglas en inglés, la cual está ubicada en la base del depósito de relaves con el objeto de asegurar la contención hidráulica de los relaves y el agua. Se ha previsto que esta manta cubra dos secciones de la base del depósito; quebrada de Las Gordas (UCB Las Gordas) y cantera Riolita (RCB Riolita).

- ✓ Construcción de la presa según el método de línea central en lugar del diseño original de línea central modificada. Este cambio en la geometría de la presa posibilitó la construcción de los LVUs.
- ✓ Crecimiento de la presa con materiales calificados extraídos de canteras dedicadas en lugar de desmonte de mina como se consideró en el diseño original.

F. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA PRESA DE RELAVES

Para la construcción de la presa de relaves, se construyeron inicialmente diques independientes (presas de Arranque) en los valles denominados Las Gordas y Las Águilas hasta alcanzar una elevación de 3720 msnm siguiendo el método aguas abajo (la presa de arranque de Las Gordas fue construida desde diciembre de 2006 hasta agosto de 2008, mientras que la presa de arranque de Las Águilas fue construida desde setiembre 2008 a febrero 2010). Concluidas las presas de arranque, se continuó con la construcción de las presas principales siguiendo el diseño de línea central.

Al final de la operación, el embalse del depósito de relaves será de aproximadamente de 150 hectáreas de tamaño y contendrá unos 100 millones de toneladas de relaves. El diseño actual considera una elevación máxima de cresta de 3800 msnm, con una elevación del perímetro de playa de aproximadamente 3797 msnm, manteniendo un borde libre que permita la contención del Caudal Máximo Probable (PMF – Probable Maximun Flow por sus siglas en ingles), y adicionalmente considera un borde libre remanente para prevenir la contención por formación de olas y mantener la seguridad de la Presa. Esto da como resultado un terraplén máximo planificado de una altura de 195 metros.

La presa final será construida en aproximadamente 16 etapas y se ha estimado concluir la elevación final de cresta de 3800 msnm, de acuerdo con lo establecido por la producción diaria de relaves de la Planta Concentradora. La configuración del talud aguas abajo de la Presa en su conformación final será de 1.4 H: 1.0 V considerando las características

de los materiales empleados, los estudios de estabilidad y la instalación de las estructuras de los LVU instalados y previstos.

La mayoría de los materiales utilizados en la construcción de la presa del depósito de relaves (enrocado, material de baja permeabilidad y permeabilidad intermedia, drenaje y filtros) se obtiene de canteras ubicadas en la propiedad de GFLC, las que son desarrolladas para abastecer materiales para la construcción de la presa.

La presa está siendo construida utilizando un método de construcción zonificado para crear un núcleo de baja permeabilidad y un sistema de capas de drenaje asociado ubicadas aguas arriba y abajo del mencionado núcleo. Debajo del núcleo central de la presa, a la altura de su base y a lo largo de todos los estribos, se instaló una cortina de lechada de cemento de 15 m para minimizar las filtraciones que podrían ir por debajo y alrededor de la presa.

La metodología de la construcción de la cortina es denominada método GIN con empleo de taladros primarios, secundarios, terciarios y cuaternarios para la aplicación de un volumen de lechada de cemento con parámetros de presión controlados y previamente definidos por medio de pruebas de inyección.

Todo el proceso constructivo de la presa es soportado por especificaciones técnicas detalladas que establecen parámetros de control por medio de descripción de servicios, procedimientos de monitoreo de construcción, pruebas de campo y laboratorio, ensayos de performance de materiales que fueron realizados y siguen siendo en todos los materiales aplicados en la construcción permanente del depósito de relaves, así como las caracterizaciones de materiales que se depositan en el embalse (agua y relaves).

G. CRONOGRAMA GENERAL DEL DEPÓSITO DE RELAVES

Las estructuras construidas desde la entrada en operación de la presa de relaves y los cambios generados a lo largo del tiempo tuvieron y tendrán el siguiente cronograma optimizado respectivamente: (Ver Tabla N° 6)

Tabla N° 6: Cronograma de las Etapas del Depósito de Relaves.

Cronograma de las Etapas del Proyecto – Depósito de Relaves			
Etapas	Inicio	Final	Duración
Presa de Arranque Las Gordas	Dic/2006	Ago/2008	1.7 Años
Presa de Arranque Las Águilas	Sep/2008	Feb/2010	1.3 Años
Sobreelevaciones de la Presa (16 Etapas de Construcción)	Feb/2010	Dic/2025	16 Años
LVU Las Gordas	Dic/2007	Ago/2008	0.8 Años
LVU Las Águilas	Feb/2010	Feb/2011	1 Año
LVU La Hierba	Abr/2016	Feb/2017	1 Año
LVU Riolita	Feb/2012	Feb/2013	1 Año
UCB	Jun/2008	Jun/2024	16 Años
RCB	Jun/2011	Jun/2024	13 Años
Pruebas y Comisionamiento	May/2008	Sep/2008	0.6 Años
Operación	Ago/2008	Dic/2025	17 Años
Cierre	Dic/2025	Dic/2027	2 Años
Monitoreo Post Cierre	Dic/2027	Dic/2032	5 Años

Fuente: Adaptado de Ausenco Vector 2011.

a.5. CIRCUITOS DE FLOTACIÓN E HIDRÁULICA DE RELAVES

a.5.1. CIRCUITOS DE FLOTACIÓN

Luego que el mineral es cargado y transportado de la zona de minado, el proyecto contempla operar una chancadora referida como un “mineral- sizer”, la que se ubica en la quebrada Las Gordas (Figura N° 26); hasta este sector llegan los camiones provenientes del frente de explotación de la mina. El material es descargado en un “dump pocket” que tiene en la parte inferior un “apron feeder” o alimentador con velocidad variable, el cual alimenta a la chancadora. Este equipo es un sistema que usa una acción de corte transversal para fracturar el material al tamaño apropiado.

El mineral alimentado desde la mina tiene un tamaño máximo de 1.00 m., humedad fluctuante de 20% aproximadamente (en los primeros años) y entre 5 a 10% (los años siguientes). El diseño considera sistemas de supresión de polvo en los puntos de generación de partículas finas. Sin embargo, ya que esta operación no genera polvo como una operación tradicional de quijada, se monitorea tanto la descarga de los camiones como la operación de chancado para evaluar la necesidad de los sistemas de supresión de polvo.

La plataforma del “run of mine” (ROM) es lo suficientemente grande para almacenar 7-10 días de producción (120 000 a 180 000 toneladas). La sección de chancado incorpora un “dump pocket,” un chancador tipo “mineral sizer”, una faja de alimentación, y un sistema de alimentación de emergencia que

consta de un “grizzly sizer” fijo y un “dump pocket” adicional. La sección de chancado es un sistema de alimentación directo basado en 775 T/h y una disponibilidad total de 8 000 horas operativas anuales. El producto del chancado (80% menor a 500 mm) y del “pocket” de emergencia son descargados en una correa transportadora que alimenta la molienda. Esta correa tiene implementados en los puntos de transferencia, “correas magnéticas” autolimpiantes para captar elementos metálicos no deseados en el mineral. El material fino que podría pasar a través de los alimentadores “apron feeder” es captado en la parte inferior por la correa instalada para este fin y descargado en la correa principal de alimentación a molienda.

El circuito de molienda consiste en un molino semi-autógeno abierto (SAG) y en un molino de bolas en circuito cerrado con una batería de hidrociclones. El circuito base de molienda consiste de un molino semi-autógeno con motor “gera driven” embobinado de 6 340 kW. El molino SAG cuenta con un tromel con paneles de 13 mm de abertura que descarga en un cajón de bombas común, para el SAG y el molino de bolas. Bombas de alimentación (una operativa y una de reserva) trasladan esta pulpa hacia 10 hidrociclones D 26” (8 en operación y 2 en stand by). Los hidrociclones operan a una presión de ingreso de 75 kPag. El blanco nominal P₈₀ del overflow de los hidrociclones es de 120 µm para el denominado supergénico y de 160 µm para el denominado hipogénico. El underflow del conjunto de hidrociclones descarga a una caja de separación que puede dividir el flujo y alimentar hacia el molino SAG o el de bolas.

Ya que la planta de molienda SAG está en circuito cerrado para permitir el tratamiento del material supergénico de baja competencia que de otra manera resultaría en bajas cargas de roca en la planta SAG.

a.5.2. ETAPAS DE FLOTACIÓN

El circuito de flotación produce un concentrado bulk de calcopirita/pirita del componente denominado Rougher Scavenger. Este concentrado es sujeto a un proceso de separación selectivo que involucra la depresión de la pirita en la primera etapa de limpieza, la remolienda de flujos selectivos, seguido por un proceso de tres etapas de limpieza para producir un concentrado de cobre de una pureza adecuada.

El circuito de flotación consiste básicamente de los siguientes procesos:

- ✓ Proceso Rougher / Scavenger usando celdas OK160 TC.
- ✓ Remolienda para maximizar el grado de concentración de cobre.
- ✓ Limpieza de concentrado para rechazar minerales de pirita y ganga.
- ✓ Producción de concentrado de cobre con un grado promedio de 25%.

Se considera un sistema de análisis en línea para monitorear el proceso y el grado de pureza.

a.5.3. CELDAS DE FLOTACIÓN

El mineral molido y clasificado (overflow), ingresa a la etapa de flotación Rougher; a través de un “surge tank” de 11.70 m. de diámetro, para posteriormente alimentar a 7 celdas de flotación Rougher a través de bombas.

El concentrado de la flotación Rougher es enviado a la remolienda con un porcentaje de sólidos aproximado de 25%, mientras que el relave de esta etapa de proceso es enviado al espesador de relaves Rougher - Scavenger para la recuperación de agua, y desde ahí al depósito de relaves.

El concentrado de la flotación Rougher que va a la remolienda es enviado a una caja de distribución y alimentación a hidrociclones D-15. El overflow alimenta a dos tanques reacondicionadores, para posteriormente ser bombeado a 8 celdas de flotación de primera limpieza. El underflow de los hidrociclones D-15 es enviado a molinos verticales para la remolienda, el producto de la remolienda es nuevamente enviado a la caja de distribución y alimentación de los hidrociclones D-15 en un circuito cerrado molinos verticales-hidrociclones.

El concentrado de la primera limpieza (8 celdas, 50 m³ y motores 75Kw c/u) es alimentado al proceso de segunda limpieza y la cola a otra etapa denominada flotación Cleaner / Scavenger.

El concentrado de la flotación Cleaner-Scavenger (8 celdas, 50 m³ y motores 75Kw c/u) es enviado (en circuito cerrado) hacia el cajón de alimentación a ciclones D-15, donde se mezcla con el concentrado Rougher y el producto de

los molinos de remolienda; la cola es enviada hacia los espesadores de relaves.

El concentrado de la segunda limpieza (7 celdas, 16 m³ y motores 30Kw) es alimentado a la tercera limpieza y la cola hacia el cajón de remolienda; alimenta a los ciclones D-15.

El concentrado de la tercera limpieza (5 celdas, 16 m³ y motores 30 Kw c/u) es alimentado a la cuarta limpieza y la cola hacia la segunda limpieza (circuito cerrado).

El concentrado de la cuarta limpieza (6 celdas, 8 m³, motores 20Kw c/u) es el concentrado final y la cola alimenta a la tercera limpieza (circuito cerrado).

El concentrado de esta última etapa de limpieza conforma el producto final y será enviado a una etapa de espesamiento y filtrado, para luego ser enviado a la zona de carga, en donde se carga mediante un cargador frontal en camiones de 30 T para su transporte al puerto de Salaverry.

El circuito principal de flotación comprende de una serie de celdas de flotación con bombas centrífugas para el bombeo entre etapas. Una etapa de acondicionamiento y remolienda está incorporada en el sistema de flotación para asegurar que la meta para la pureza del concentrado de flotación pueda ser lograda. La topografía del sitio es utilizada al máximo para permitir el flujo por gravedad entre las celdas. Espesadores de alta producción son usados para ambos, el concentrado de flotación y los relaves. El concentrado es filtrado en un filtro a presión.

El overflow de los hidrociclones del circuito de remolienda y clasificación pasa por gravedad a través de una caja disipadora de energía a las celdas de flotación Rougher Scavenger.

La etapa de flotación Rougher comprende de 7 celdas tanque de 160 m³ de capacidad. El tiempo de residencia en las celdas de flotación Rougher-Scavenger es aproximadamente de 30 minutos, permitiendo una densidad menor de operación o una mayor producción.

La flotación bulk del mineral de Cerro Corona se realiza a un pH entre 9 y 10.5 con la adición de amil xanthate y A3477 como colectores y metil iso-butil

carbinol (MIBC) como espumante. La flotación se realiza con una densidad de diseño de pulpa de 33% sólidos. Sin embargo, una contingencia ha sido considerada para agregar un flujo adicional de agua de proceso para reducir la densidad de la pulpa en el caso de que se presenten minerales viscosos. La flotación selectiva empieza en las primeras celdas con la adición del depresor DDS3 (una combinación de dextrina, quebracho y cianuro) y un aumento al pH de la pulpa a 11.

Pruebas en el overflow del Rougher Scavenger indican que el cianuro ha iniciado su destrucción natural y los niveles son aceptables para su descarga en el ambiente. Sin embargo, se lleva a cabo pruebas adicionales para asegurar que los relaves Rougher Scavenger no contendrán cantidades de cianuro que estén por encima de los límites aceptables para descarga. Si las pruebas adicionales sugieren que el flujo de relaves Rougher Scavenger puede contener cantidades inaceptables de cianuro en el overflow, el flujo será sometido a un sistema de destrucción de cianuro, tal como el proceso INCO para remover cualquier cianuro residual del proceso antes de su disposición en el depósito de relaves. Las operaciones de planta son monitoreadas en un solo cuarto de control centralizado y con paneles de control localizados en forma apropiada.

a.5.4. MANEJO DE CONCENTRADOS

El concentrado final del proceso de flotación es bombeado al espesador de concentrados. La descarga de la bomba pasa previamente por una caja de distribución para proteger el espesador y el filtro flujo abajo, de donde el concentrado fluye al espesador de concentrados. Este espesador tiene un diámetro de 16.00 m. y una tasa de producción de aproximadamente 28 T/h. El overflow del espesador es transportado por gravedad mediante tuberías a la poza de agua de proceso. El underflow es transportado mediante bombas a una concentración aproximada del 63% de sólidos al tanque de alimentación del filtro. El tanque de almacenamiento del concentrado tiene un diámetro de 9.50 m. y una altura de 7.60 m. La bomba de alimentación alimenta a un filtro de presión Larox PF-52. El filtro deposita un concentrado húmedo directamente encima de una plataforma de almacenaje (pila de acopio). El agua del filtrado es bombeada de nuevo al espesador de concentrados.

El concentrado es transferido de la pila de acopio a los camiones para el transporte del concentrado. Un totalizador de celdas de carga es requerido en esta máquina para asegurar que los camiones sean cargados dentro de los límites establecidos para el transporte antes de que salgan del área de operaciones. Con una tasa de producción de diseño de 650 TD de concentrado, salen un aproximado de 22 camiones de 30 toneladas del asentamiento minero diariamente.

a.6. TRANSPORTE HIDRÁULICO DE RELAVES

El transporte hidráulico de relaves o transporte hidráulico de sólidos, como ya se ha mencionado anteriormente es uno de las principales preocupaciones en las operaciones mineras, dependiendo del tipo de disposición que se tenga al ser procesado el mineral y según las demandas de la mina; para el caso del Proyecto Cerro Corona, se obtiene 02 tipos diferentes de relaves, tanto los relaves Rougher Scavenger Tailings (RST), como los Cleaner Scavenger Tailings (CST) que han sido considerados desde el inicio de las operaciones del Proyecto Cerro Corona, y cuyas líneas principales de descarga, rutas y estructuras adicionales, fueron planeadas desde el inicio de los estudios de línea base, tal como se muestra en las figuras 27A, 27B, 27C, 27D, 27E, 27F; sin embargo, debido al cambio que se realizó con respecto al método constructivo de crecimiento de la presa de relaves, se planteó tener una entrega en la presa para ambas líneas diferente, sumado a ello, los problemas iniciales que se tuvieron en las líneas propuestas de descarga RST y deficiencias adicionales adquiridas durante los años desde que la planta concentradora entra en operación hasta mediados del Año 02, es que, se opta por evaluar las rutas de conducción de relaves para los años posteriores.

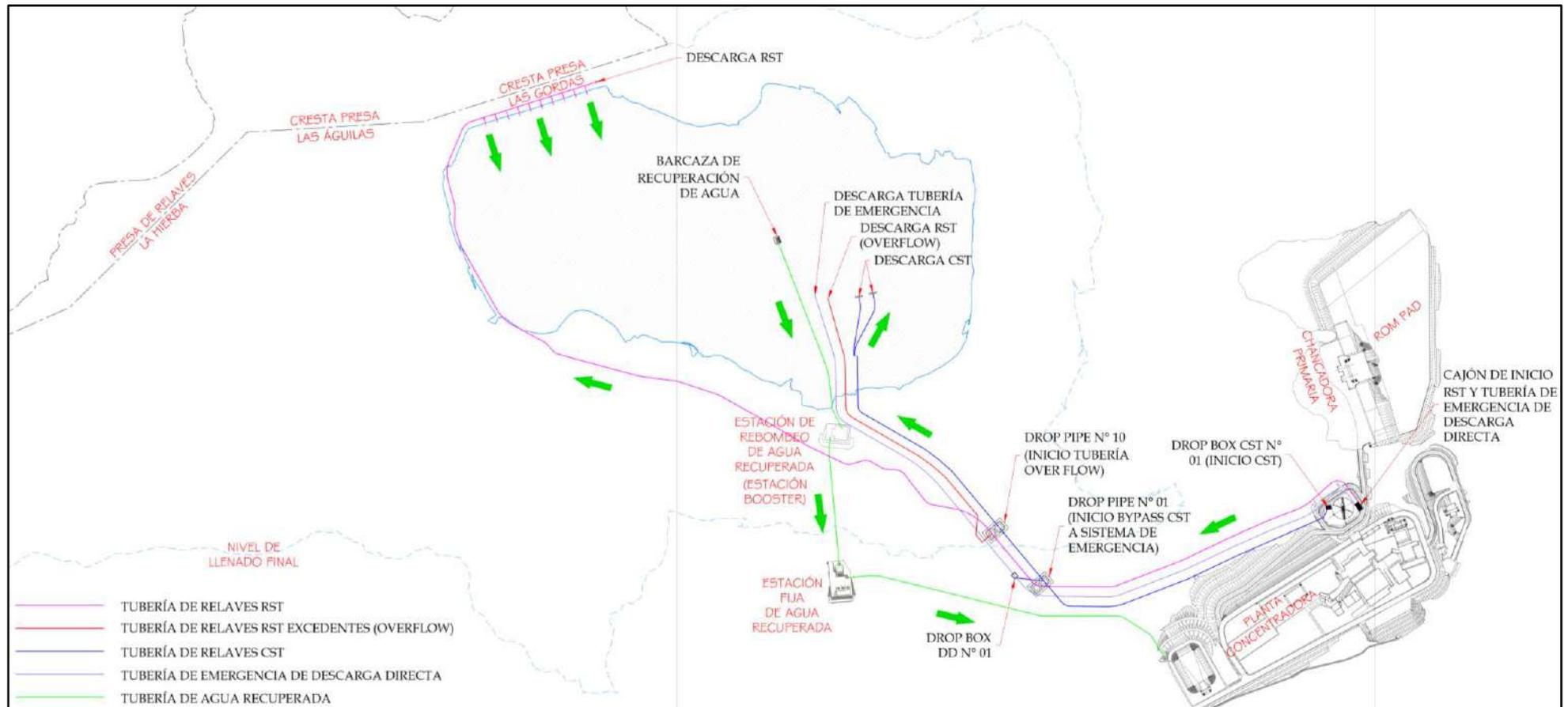
En el caso de los relaves Cleaner Scavenger Tailings (CST) no se ha presentado inconvenientes, siendo su disposición variable acorde con la planificación inicial de la mina y del crecimiento de la presa de relaves, debido a que por presentar una entrega sumergida en la presa no causa mayores estragos en el comportamiento hidráulico de relaves vs tuberías vs estructuras disipadoras, además como el nivel de la presa va aumentando, solo bastará con reacomodar la descarga de las tuberías de entrega.

a.7. ESTADO ACTUAL DE LOS SUBSISTEMAS CST, RST, AUXILIAR DE DESCARGA DIRECTA Y DE AGUA RECUPERADA

a.7.1. GENERALIDADES

La Figura N° 31, muestra el diagrama de flujo de la Disposición de Relaves del proyecto:

Figura N° 31: Diagrama de Operaciones de la Disposición de Relaves.



De la Figura anterior, se puede mencionar, que para el caso del subsistema RST, este tiene una concepción en el Cajón de Inicio RST proveniente del área de espesado de relaves y de las instalaciones de la planta concentradora, para luego seguir un recorrido en dirección suroeste, hasta la altura del Drop Pipe N° 01, en donde, sigue un rumbo noroeste, hasta la altura del Drop Pipe N° 10, en donde la línea principal de relaves RST atraviesa las orillas del área de inundación de la presa de relaves hasta la cresta de la presa Las Gordas, presentando una descarga sub-aérea a lo largo de la coronación de la presa de relaves; así mismo, en este mismo Drop Pipe, se conceptualiza el inicio de una segunda tubería como sistema de contingencia ante flujos excedentes (Overflow).

Para el caso de los relaves CST, estos describen similar trayectoria que los relaves RST, con la diferencia que estos llegan a la presa de relaves por el sur, para presentar una descarga sumergida y evitar la producción de oxidación de los ácidos presentes en su composición y por consiguiente contaminación del medio ambiente.

Similar comportamiento que el subsistema CST, describe la Tubería de Emergencia de Descarga Directa, hasta su entrega sumergida en la zona sur de la presa de relaves, y cuya finalidad de la misma es evacuar los relaves excedentes y/o servir como sistema de contingencia de evacuación de relaves (RST Espesados y No Espesados) en el área de espesado en caso de obstrucciones o labores de mantenimiento en los sistemas RST, y que para el subsistema CST, este conceptualiza un bypass a la altura del Drop Pipe N° 01 hasta el Drop Box DD N° 01 de la tubería de Emergencia de Descarga Directa.

Finalmente, el Sistema de Recuperación de Agua, consta de 03 estaciones de bombeo distribuidas desde la presa de relaves (Barcaza de Recuperación de Agua, Estación Booster y Estación Fija de Agua Recuperada) hasta la planta de procesos, para recircular el agua en un circuito cerrado y así minimizar el consumo de agua.

Para tener una referencia más detallada de las líneas de relaves existentes, ver el plano: CHSDR_RST_PCC DR-01 y cuyos procesos y aspectos operacionales se describen a continuación:

a.7.2. SUBSISTEMA DE DISPOSICIÓN DE RELAVES CLEANER SCAVENGER TAILINGS

Actualmente el CST es transportado desde la Planta Concentradora a la Presa de Relaves por medio de un canal abierto y tuberías presurizada para facilitar la descarga sumergida del mismo.

La energía en el sistema de conducción de CST es disipada por medio de una serie de tuberías de salida y obturadores de disipación de energía. Los obturadores de disipación de energía son removidos conforme se eleve el nivel de la presa de relaves. El plano CHSDR_RST_PCC RD-01, presenta el trazo general del sistema de transporte de CST desde la planta concentradora, hasta la presa de relaves.

- A. Datos del Sistema:** La Tabla N° 7 muestra las características del Subsistema Cleaner Scavenger Tailings con sus respectivos rangos operativos originales:

Tabla N° 7: Datos de flujo Cleaner Scavenger Tailings Actuales.

Condición Operativa	Tonelaje de Sólidos (Tph)	Flujo de Relaves (m ³ /h)	Concentración De Peso (%)
Mínimo	88	395	20
Nominal	97	487	18
Máximo	116	668	16

Fuente: Tomado de Ausenco Vector 2011:37.

Así mismo, la Tabla N° 8 muestra las características finales normalizadas del subsistema para los siguientes años de operación:

Tabla N° 8: Datos de flujo Cleaner Scavenger Tailings Finales.

Condición Operativa	Tonelaje de Sólidos (Tph)	Flujo de Relaves (m ³ /h)	Concentración De Peso (%)
Mínimo	90	395	20
Nominal	98	487	18
Máximo	118	668	16

Fuente: Adaptado de MWH PERU S.A. 2009.

- B. Aspectos Operacionales:** A continuación, se describen los aspectos operativos más relevantes del sistema de disposición de Relaves Cleaner Scavenger Tailings:

- ✓ El sistema de transporte de CST es autodrenante en caso de interrupciones.
- ✓ La descarga de CST inicia en la caja inferior de descarga ubicada en el espesador de RST, donde se abre la válvula de cierre para el sistema y cierra la válvula de cierre hacia la descarga directa.
- ✓ Inicialmente, la descarga de CST estaba constituida por cuatro (4) secciones de un flujo en canal abierto con pendientes longitudinales de 2.5%. Sin embargo, debido a que este tipo de relave al entrar en contacto con la atmósfera se oxida y genera un alto potencial de ácidos, se optó por transportarlo por medio de tuberías a presión, las cuales cuentan con tuberías de salida tal como se muestra en la Tabla N° 9 acorde con el crecimiento de los relaves en la presa, para finalmente terminar con dos descargas sumergidas.
- ✓ También se ha previsto que la tubería principal tendrá obturadores disipadores de energía que serán retirados a medida que aumenta el nivel de la presa de relaves (Tabla N° 9)

Tabla N° 9: Datos del Sistema de Disipación de Energía CST

Nivel del Vertedero (msnm)		N° Tuberías De Salida	N° de Obturadores	Elevación de los Obturadores (msnm)
3670.50	3719.18	14	5	3719.18
3719.18	3730.28	14	4	3730.28
3730.28	3741.38	14	3	3741.38
3741.38	3752.48	14	2	3752.48
3752.48	3764.14	14	-	-
3761.14	3769.79	13	-	-
3769.79	3775.04	12	-	-
3775.04	3780.24	11	-	-
3780.24	3786.29	10	-	-
3786.29	3791.53	9	-	-
3791.53	3796.98	8	-	-
3769.79	3798.00	7	-	-

Fuente: Tomado de Ausenco Vector 2011:37.

a.7.3. SUBSISTEMA DE DISPOSICIÓN DE RELAVES ROUGHER SCAVENGER TAILINGS

El RST generado en la Planta Concentradora es conducido por medio de una línea de gravedad hacia el área del espesador de relaves donde una porción del agua que los relaves contienen es registrada y conducida a la poza de agua de procesos en la Planta Concentradora.

El RST generado y espesado en el espesador de relaves es conducido a una caja de alimentación de RST; desde esta estructura, los relaves son transportados a través de una línea de tuberías por gravedad a su descarga final en el embalse de relaves. El sistema de entrega de RST incluye una serie de tuberías de salida que facilitan la disposición del exceso de energía y en los últimos años de operación servirán como cajas de retención para efectuar las descargas en la presa de relaves.

- A. Datos del Sistema:** La Tabla N° 10 muestra las características del Sistema Rougher Scavenger Tailings con sus respectivos rangos operativos actuales:

Tabla N° 10: Datos de Flujo Rougher Scavenger Tailings Actuales.

Condición Operativa	Tonelaje de Sólidos (Tph)	Flujo de Relaves (m ³ /h)	Concentración De Peso (%)
RST No-Espesado			
Mínimo	593	1442	33
Nominal	650	1709	31
Máximo	780	2229	29
RST Espesado			
Mínimo	593	615	60
Nominal	650	772	55
Máximo	780	1068	50

Fuente: Adaptado de Ausenco Vector 2011.

Asimismo, de manera similar que para el caso del subsistema CST, el subsistema RST, tendrá una normalización y producción de relaves final, que diferencia del CST, consta de un aumento significativo de producción de Toneladas de Sólidos para los posteriores años de explotación, los mismos datos que servirán para realizar la verificación hidráulica del sistema y que se presentan en la Tabla N° 11.

Tabla N° 11: Datos de Flujo Rougher Scavenger Tailings Finales:

Condición Operativa	Tonelaje de Sólidos (Tph)	Flujo de Relaves (m ³ /h)	Concentración De Peso (%)
RST No-Espesado			
Mínimo	729	1749	33
Nominal	865	2243	31
Máximo	1000	2817	29
RST Espesado			
Mínimo	729	755	60
Nominal	865	1026	55
Máximo	1000	1369	50

Fuente: Adaptado de MWH PERU S.A. 2009.

B. Aspectos Operacionales: A continuación, se describen los aspectos operativos más relevantes del sistema de disposición de Relaves Rougher Scavenger Tailings:

- ✓ Los relaves espesados salen del espesador de relaves por medio de una línea de tubería por gravedad y fluyen a la caja de alimentación. Esta línea de tubería es ajustada con un densímetro para controlar la densidad de los relaves y un medidor de flujo para propósitos de registro.
- ✓ Una válvula de pinzamiento controla la densidad del RST espesado. La válvula está conectada al densímetro en el punto de descarga del espesador.
- ✓ Cuando la densidad de los relaves descargados por el espesador es menor que la tasa de diseño mínima, la válvula de pinzamiento se activa automáticamente y regula su abertura para obtener la densidad apropiada.
- ✓ Durante el mantenimiento de la línea de descarga y/o válvula de pinzamiento, el espesador de relaves parará de operar y el flujo de RST será derivado al abrir la válvula de cierre a la caja de alimentación del espesador. Esta deriva el flujo a la línea del sistema de descarga directa. La válvula de cierre que alimenta el espesador deberá cerrarse, hasta que se completen los temas

de mantenimiento. Esta secuencia es luego invertida para continuar con el flujo hacia el espesador.

- ✓ El RST es conducido al embalse de relaves por medio de un sistema de gravedad que utiliza una línea presurizada principal con 10 tuberías de salida. Además, se utilizaron obturadores de disipación de energía solamente para los años iniciales de operación que fueron removidos conforme aumentaron las elevaciones de la presa de relaves (Ver Tabla N° 12).
- ✓ El RST es descargado al embalse desde la cresta de la presa de la IAR. A futuro según requerimientos operacionales se deberán construir dos cabezales en la porción de la presa del Valle Las Gordas que alimentarán a los 8 espigones para formar una playa depositada en capas delgadas.
- ✓ La descarga puede alternarse manualmente en la presa por medio de las válvulas de cierre y las válvulas de pinzamiento que regularán el flujo. Al cambiar la línea principal de descarga, está deberá lavarse a presión, así como sus descargas finales, con el agua suministrada por medio de una línea que viene de la trampa de recepción del sistema de filtraciones.
- ✓ Durante condiciones operativas de flujos mínimos, el RST espesado será diluido por medio de una línea de agua de procesos desde la planta con su correspondiente válvula mariposa. El agua se descargará directamente a la caja de alimentación del RST espesado, donde el sensor de nivel será implementado para controlar el nivel operativo de esta caja.
- ✓ El sistema no debe detenerse con relaves dentro de la línea de tuberías. En cualquier operación que requiera el cese del flujo en la línea de relaves, la línea de descarga de relaves deberá vaciarse completamente por medio de una limpieza con chorros de agua de la tubería de agua de procesos y conduciendo los relaves a la caja de alimentación del RST espesado.

Tabla N° 12: Datos del Sistema de Disipación de Energía RST.

Nivel de la Laguna (msnm)		N° Tuberías De Salida	N° de Obturadores	N° Principal de Descargas Activas En el Vertedero
3720.00	3732.10	10	3	2do, 3ero
3732.10	3744.20	10	2	2do, 3ero
3744.20	3756.30	9	1	2do, 3ero, 4to
3756.30	3761.30	8	-	2do, 3ero, 4to
3761.30	3766.30	7	-	2do, 3ero, 4to
3766.30	3771.30	6	-	2do, 3ero, 4to
3771.30	3776.30	5	-	2do, 3ero, 4to
3776.30	3781.30	4	-	2do, 3ero, 4to
3781.30	3786.30	4	-	2do, 3ero, 4to, 5to
3786.30	3796.30	3	-	2do, 3ero, 4to, 5to
3796.30	3800.00	Caja de RST	-	2do, 3ero, 4to, 5to, 6to (*)
NOTA: (*) Sólo la descarga N° 02 estará calificada para el flujo máximo en este Rango de nivel del vertedero.				

Fuente: Tomado de Ausenco Vector 2011:34, 35.

a.7.4. SUB-SISTEMA DE DISPOSICIÓN AUXILIAR DE DESCARGA DIRECTA

El sistema de descarga directa es un sistema de emergencia o auxiliar que desvía los sistemas de transporte de RST (Rougher Scavenger Tailings) o CST (Cleaner Scavenger Tailings) en un solo punto en el embalse de relaves hasta que el sistema respectivo vuelva a su condición operativa.

Inicialmente, este sistema iniciaba en la cámara de reboce de la cámara de alimentación de RST - Espesado y desviaba el flujo mediante un canal abierto hacia la cámara de transferencia inicial de este sistema y cuya salida coincidía exactamente con la segunda cámara de transferencia del sistema de CST, y luego mediante el flujo en caudal abierto hacia una segunda caja de transferencia, hacia la descarga final que terminaba en dos (2) grupos de tres (3) obturadores.

Sin embargo, actualmente el sistema tiene otra concepción de operación, es así, que, respecto al Sub-Sistema RST, este sistema comienza desde una desviación en el espesador en caso de que éste no pueda operar y descargar RST no espesado hacia el embalse de relaves.

Asimismo, permite que la descarga de RST espesado alcance la caja de alimentación de RST en caso de que el sistema principal no pueda ser utilizado y el flujo pueda ser desviado hacia la cámara de rebose de esta cámara de alimentación para luego ser descargado desde ahí.

Para el Sub-Sistema CST también hay dos (2) posibilidades de desviación: la primera, que va desde la caja inferior de descarga donde se inicia el sistema de descarga principal de CST y desde donde existe una desviación hacia la cámara de rebose de la caja de alimentación de RST espesado, y la segunda, desde la primera tubería de salida del sistema principal (Drop Pipe CST N° 01) que descarga hacia la caja de transferencia de este sistema (Drop Box DD N° 01).

- A. Datos del Sistema:** La Tabla N° 13 muestra las características de los relaves que son conducidos por el Sistema de Descarga Directa con sus respectivos rangos operativos:

Tabla N° 13: Características de los Relaves de Descarga Directa Actuales:

Condición Operativa	Características Máximas de los Relaves que serán Transportados.	Tonelaje de Sólidos (Tph)	Concentración De Peso (%)	Tasa de Flujo De los Relaves (m ³ /h)
Mínimo	CST	116	16	668
Nominal	RST Espesado	780	50	1068
Máximo	½ RST No Espesado	390	29	1114

Fuente: Tomado de Ausenco Vector 2011:39.

También es de señalar, que de manera similar a los subsistemas CST y RST, el Sistema de Recuperación de Descarga Directa, presenta características finales las cuales se presentan en la Tabla N° 14:

Tabla N° 14: Características de los Relaves de Descarga Directa Finales:

Condición Operativa	Características Máximas de los Relaves que serán Transportados.	Tonelaje de Sólidos (Tph)	Concentración De Peso (%)	Tasa de Flujo De los Relaves (m ³ /h)
Mínimo	CST	118	16	668
Nominal	RST Espesado	1000	50	1369
Máximo	½ RST No Espesado	500	29	1409

Fuente: Adaptado de MWH PERU S.A. 2009.

B. Aspectos Operacionales: A continuación, se describen los aspectos relevantes de la operación del Sistema de Descarga Directa de Relaves:

- ✓ El sistema de descarga directa de relaves es autodrenante y sirve de soporte para los demás sistemas en caso de que requieran una interrupción para mantenimiento.
- ✓ La descarga directa del RST comienza en la caja de alimentación de RST espesado al cerrar la válvula de cierre que alimenta el espesador de RST y al abrir la válvula de cierre que desviará el RST no espesado hacia la nueva caja inferior de descarga donde el flujo se transferirá hacia la cámara de rebose de la caja de alimentación de RST. La desviación operará cuando no se desee o no pueda ser operado un espesador de relaves RST.
- ✓ Asimismo, el CST será desviado hacia la caja de alimentación de RST espesado desde la caja inferior de descarga ubicada cerca del espesador de RST, al cerrar la válvula de cierre hacia el sistema de CST y al abrir la válvula de cierre que desvía el flujo hacia la cámara de rebose de la caja de alimentación del RST espesado.
- ✓ Ningún CST, RST o desborde no espesado de la cámara principal que sea RST espesado es descargado a las dos (2) extensiones en un flujo. La primera extensión tiene una tubería principal con una pendiente longitudinal del 1.00% y un diámetro de Ø 24" en los primeros 40.00 m., que da paso a una reducción a Ø 18".
- ✓ La segunda extensión del flujo tiene una tubería principal con pendiente longitudinal de 3.40% que descarga en la primera caja de transferencia (Drop Box DD N° 01) y desde la cual hay una tubería final hasta la presa de relaves. Así mismo, la caja de transferencia "Drop Box DD N° 01" también puede recibir el CST a través de un tubo gravitacional que comienza en la primera

tubería de descarga de este sistema (Drop Pipe CST N° 01), al cerrar la válvula de cierre que va hacia el sistema principal y al abrir la válvula de cierre que va hacia la caja de transferencia del sistema de descarga directa.

- ✓ Esta tubería de descarga final tiene dos (2) grupos de tres (3) obturadores disipadores de energía, cada uno ubicado en distintos niveles, los cuales serán retirados a medida que aumente el nivel de la presa de relaves. (Ver Tabla N° 15).

Tabla N° 15: Datos del Sistema de Disipación de Energía de Descarga Directa

Nivel del Vertedero (msnm)		Obturadores Grupo 01	Altura del Grupo 01 (msnm)	Obturadores Grupo 02	Altura del Grupo 02 (msnm)
3670.50	3719.22	3	3757.17	3	3719.22
3719.22	3737.12	3	3757.17	2	3737.12
3737.12	3757.17	3	3757.17	-	-
3757.17	3775.07	2	3775.07	-	-
3775.07	3792.97	1	3792.97	-	-
3792.97	3798.00	-	-	-	-

Fuente: Tomado de Ausenco Vector 2011:39.

a.7.5. SUBSISTEMA DE RECUPERACIÓN DE AGUA

El sistema de recuperación de agua de la presa de relaves funciona mediante el uso de 12 bombas verticales multi-etapa tipo turbina, distribuidas en tres (3) grupos de cuatro (4) bombas, cada una para su respectiva etapa de bombeo. Inicialmente, la primera etapa de bombeo se llevó a cabo en una barcaza montada dentro del embalse de relaves y desde donde se conduce el agua recuperada a través de una tubería hacia la poza de la Estación “Booster”.

Desde la Estación “Booster”, el agua recuperada es bombeada a la Estación Fija. Para la última etapa de bombeo, el agua es bombeada por cuatro (4) bombas verticales tipo turbina a la poza de agua de procesos en la Planta Concentradora en una tubería simple.

A medida que se eleva el nivel de relaves, la distancia desde la barcaza hacia la Estación “Booster” va disminuyendo. Por esta razón, la tubería debió ser acortada durante las operaciones normales. Cuando el nivel de relaves (3,740.00 msnm) alcanzó el nivel de la plataforma de la Estación “Booster”

(aproximadamente 3,744.0 msnm) las tuberías fueron desmontadas y unidas, hasta que el agua recuperada sea transportada directamente desde la barcaza hacia la sentina de la Estación “Booster”.

El plano CHSDR_RST_PCC DR-01 presenta el esquema en planta del sistema de agua recuperada.

- A. Datos del Sistema:** La Tabla N° 16 muestra el rango operativo considerado de recuperación de agua actual y definitiva:

Tabla N° 16: Rango Operativo del Sistema de Recuperación de Agua

Condición Operativa	Flujo de Agua Recuperada (m³/h)
Mínimo	754
Nominal	980
Máximo	2562

Fuente: Tomado de Ausenco Vector 2011:41.

- B. Aspectos Operacionales:** Los aspectos más relevantes que se consideran en la operación de recuperación de agua de la presa de relaves son los siguientes:

- ✓ A medida que se eleva el nivel de los relaves a través del periodo de vida operativa del proyecto, las bombas de la barcaza requerirán menor demanda hidráulica por lo tanto las velocidades de rotación de estas bombas deben desacelerarse. En consecuencia, se emplean dos (2) conmutadores de frecuencia en un escenario a fin de que cada uno opere simultáneamente con dos (2) bombas fuera de la barcaza, con sólo una (1) bomba o con un arranque directo para cada bomba.
- ✓ Se recomienda mantener una distancia permanente entre la barcaza y el banco del embalse de relaves (de 100 a 150 m) y una profundidad mínima de, por lo menos, ocho metros (8.00 m) desde el fondo a fin de prevenir el bombeo de partículas de relave desde el fondo. Por lo tanto, a medida que el nivel de la presa de relaves se eleve, se pondrá fuera de servicio las secciones de la tubería, de acuerdo al siguiente procedimiento:

- ⤴ Programar la remoción de las extensiones de la tubería de HDPE de acuerdo al incremento de nivel de relaves. Las juntas con bridas se dejarán a cada cuatro (4) longitudes de tubería o a cada 48.00 m a fin de hacer más fácil la remoción.
- ⤴ Suspender temporalmente el suministro de agua recuperada a la Planta Concentradora.
- ⤴ La remoción de las secciones de tubería debe ser efectuada únicamente cuando la poza de agua de procesos de la Planta Concentradora y los reservorios intermedios se encuentren a su máxima capacidad de almacenamiento.
- ✓ El sistema de bombeo cuenta con transductores/transmisores ubicados en los colectores de acero de cada una de las tres (3) etapas de bombeo y transmite información a la Sala de Control desde la barcaza, la Estación “Booster” y la Estación Fija.
- ✓ La tubería que va desde la barcaza hacia la Estación “Booster” y hacia la Estación Fija, y de la Estación Fija hacia la Planta Concentradora tiene un flujómetro y todas tienen indicadores de lectura locales y transmisión de datos a la Sala de Control para llevar a cabo el registro.
- ✓ Cada bomba tiene un manómetro local para que el operador en campo monitoree la presión en cada etapa.
- ✓ Finalmente, a fin de monitorear la calidad de agua recuperada desde la barcaza, hay un turbidímetro. La información obtenida por este instrumento es transmitida a la Sala de Control y facilita la decisión de suspender la recuperación de agua desde la barcaza debido a la turbidez del agua.
- ✓ Las Tablas N° 17 y N° 18, muestran los niveles operativos para los reservorios del sistema de recuperación de agua y el número normal de bombas activas en el rango operativo considerado:

Tabla N° 17: Niveles Operativos de Bombeo

Condición Operativa	Niveles Operativos del Reservorio (Medidos desde el Fondo)		
	Poza de la Estación "Booster"	Sentina de Estación Fija	Poza de Agua De Procesos
Alerta Mínima	1.20 m. (3740.70 msnm)	2.10 m (3812.60 msnm)	0.00 m. (3884.00 msnm)
Mínima	1.40 m. (3740.90 msnm)	2.30 m. (3812.80 msnm)	0.20 m. (3884.20 msnm)
Máxima	4.10 m. (3743.60 msnm)	4.90 m. (3815.40 msnm)	4.80 m. (3888.80 msnm)
Alerta Máxima	4.30 m. (3743.80 msnm)	5.10 m. (3815.60 msnm)	5.00 m. (3889.00 msnm)

Fuente: Tomado de Ausenco Vector 2011:41.

Tabla N° 18: Numero de bombas activas

Condición Operativa	Número Normal de Equipos Activos		
	Barcaza de Vertedero	Poza de Estación "Booster"	Sentina de Estación Fija
Mínima	1 – 2	1 – 2	1 – 2
Nominal	2	2	2
Máxima	4	4	4

Fuente: Tomado de Ausenco Vector 2011:41.

El plano CHSDR_RST_PCC DP-01, muestra el esquema operacional de todos los sistemas actuales de disposición y recuperación de relaves en el proyecto Cerro Corona.

b. TRATAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

b.1. GENERALIDADES

Para poder analizar el Comportamiento Hidráulico de la Disposición de Relaves Rougher Scavenger Tailings, es necesario que todas y cada una de las características de los relaves (Espesados y No Espesados) sean presentados, los mismos que se describen en la Tabla N° 20, y que están acorde al diagrama de flujo de procesos, presente en el plano CHSDR_RST_PCC DP-01 y en función de los diferentes escenarios operacionales (Condición de flujo Mínimo, Nominal y Máximo).

Además, en la tabla antes mencionada, se presentan los parámetros y caracterización de los relaves Cleaner Scavenger Tailings, Sistema de Emergencia de Descarga Directa (Relaves RST y CST hacia la presa) y el flujo en los Sistemas de Recuperación de Agua.

Tabla N° 19: Condiciones Operacionales Finales de la Disposición de Relaves.

ESCENARIO N°	DESCRIPCIÓN	MÍNIMO						NOMINAL						MÁXIMO					
		SOLIDOS		AGUA	RELAVE			SOLIDOS		AGUA	RELAVE			SOLIDOS		AGUA	RELAVE		
		SGs	dmtph	m³/h	Cw (%)	SG	m³/h	SGs	dmtph	m³/h	Cw (%)	SG	m³/h	SGs	dmtph	m³/h	Cw (%)	SG	m³/h
1	RELAVES NO ESPESADOS RST	2.71	729	1480	33	1.26	1749	2.71	865	1924	31	1.24	2243	2.71	1000	2448	29	1.22	2817
2	RELAVES ESPESADOS HACIA LA PRESA	2.71	729	486	60	1.61	755	2.71	865	707	55	1.53	1026	2.71	1000	1000	50	1.46	1369
3	RELAVES CST HACIA LA PRESA	2.46	90	358	20	1.13	395	2.46	98	447	18	1.12	487	2.46	118	620	16	1.10	668
4	RELAVES RST Y CST HACIA LA PRESA	2.46	118	620	16	1.10	668	2.71	1000	1000	50	1.46	1369	2.71	500	1224	29	1.22	1409
5	AGUA DE DRENAJE DE LA POZA LAS ÁGUILAS	-	-	0	-	-	-	-	-	78	-	-	-	-	-	156	-	-	-
6	AGUA DE DRENAJE DE LA POZA LAS GORDAS	-	-	0	-	-	-	-	-	101	-	-	-	-	-	202	-	-	-
7	AGUAS DE FILTRACIÓN	-	-	0	-	-	-	-	-	179	-	-	-	-	-	358	-	-	-
8	AGUA RECUPERADA	-	-	754	-	-	-	-	-	980	-	-	-	-	-	2562	-	-	-

b.2. EVALUACIÓN DEL SUBSISTEMA DE DISPOSICIÓN DE RELAVES ROUGHER SCAVENGER TAILINGS.

A. Consideraciones Generales.

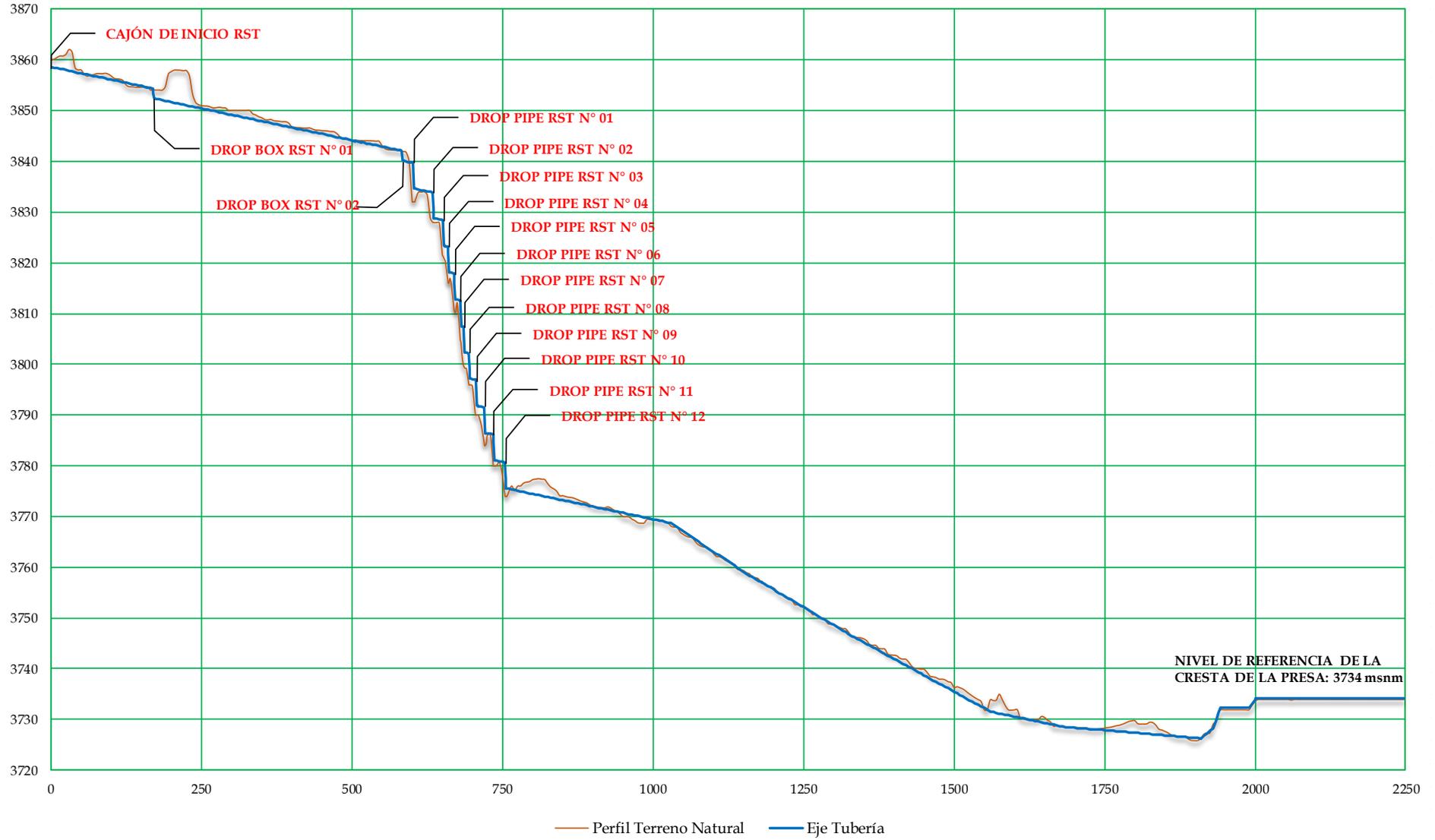
El plano CHSDR_RST_PCC DR-01, muestra la ruta actual de la disposición Rougher Scavenger Tailings en planta, con las mismas consideraciones operacionales descritas anteriormente y con un diagrama de flujo detallado tal como se muestra en el plano: CHSDR_RST_PCC DP-01. Dicha disposición inicia en el Cajón de Inicio RST (volumen de almacenamiento de 27.4 m³), debajo del espesador de relaves, para luego ser conducido hasta el DROP BOX RST N° 01 y DROP BOX RST N° 02, que vienen a ser unas cajas de transferencia hidráulica y que constan de un volumen de almacenamiento de 4.8 m³ cada una; y en donde la presión se anula, para comenzar nuevamente a acumular carga hidráulica hasta las siguientes estructuras. Así, antes de su disposición sub-aérea en la coronación del Depósito de Relaves, los relaves RST, atraviesan una serie de estructuras disipadoras de energía (DROP PIPE N° 01 al DROP PIPE N° 12) que cuentan con un volumen de almacenamiento de 15.3 m³, y que a diferencia de los DROP BOX RST, no solo disipan energía y anulan la presión de servicio, sino, que se encargan de normalizar el tipo de régimen de flujo, haciendo que la velocidad límite sea la adecuada y que la entrega final en las tuberías de salida de cada ramal no sea muy turbulenta.

B. Verificación Hidráulica y Funcional del Subsistema RST.

La verificación Hidráulica tiene como base que el diámetro de diseño original sea adecuado, así como, que la presión de trabajo sea la apropiada entre estructura y estructura y que la velocidad del flujo no acarree depositación, obstrucción de la tubería y/o desgaste de la misma. Para ello; teniendo en cuenta el trazo original presentado en el plano CHSDR_RST_PCC DR-01 y en función a las estructuras existentes, analizaremos el tramo comprendido entre el CAJÓN DE INICIO RST (Punto inicial) y el punto más alejado de descarga de relave RST.

La Figura N° 32, muestra el Perfil Longitudinal del tramo de tubería RST, descrito con sus respectivas instalaciones y elevaciones.

Figura N° 32: Perfil Longitudinal de Superficie y Eje de Tubería Línea Rougher Scavenger Tailings



Para analizar el correcto comportamiento hidráulico del sistema, habrá que realizar un cálculo preliminar que permitirá asimilar la solución adoptada, para luego verificar el diseño existente, para lo cual tenemos que analizar los siguientes ítems:

B.1. Condiciones Ambientales.

Las condiciones ambientales existentes en el área de influencia del proyecto se muestran en la Tabla N° 20.

Tabla N° 20: Condiciones Ambientales de la Zona.

PARÁMETROS	Mínima	Medio	Máxima	Otro
Temperatura (°C)	-1	7.2 – 8.4	20	-
Humedad (%)	32	83.8	100	-
Precipitación (mm/año)	1010	1346	1710	-
Evaporación (mm/año)	450	-	875	-
Máximo Mensual (mm/mes)	-	-	-	68.7
Velocidad del Viento (m/seg)	-	4.6	11.1	-
Dirección Predominante	-	-	-	Este a Oeste
Frecuencia de Tormentas (n/año)	-	-	-	40

B.2. Requerimientos del Sistema.

Los requerimientos del sistema van desde poder transportar el relave mostrado en la Tabla N° 19 bajo los 03 escenarios operativos, hasta verificar que el planteamiento del sistema sea funcional y que las tuberías no corran riesgos de obstrucción o desgaste, para ello se debe considerar un factor de seguridad mínimo para la velocidad crítica de muestra en la Tabla N° 21, que son factores de seguridad recomendados para este tipo de transporte y utilizados en proyectos similares.

Tabla N° 21: Requerimientos del Sistema Cleaner Scavenger Tailings.

FACTORES DE SEGURIDAD	
Velocidad Crítica de Depositación	1.15
Presión Interna de la Tubería.	1.20

Fuente: Tomado de López 2014.

B.3. Caracterización del Fluido a Transportar.

Las Tablas N° 22, 23 y 24 muestran las características físicas de los Relaves RST No Espesados para flujo mínimo, normal y máximo.

Tabla N° 22: Características de Diseño en Condiciones Mínimas (RST-No Espesado)

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL RELAVE RST-NO ESPESADO (CONDICIÓN MÍNIMA)	
Concentración en Peso (C_w)	33.00 %
Concentración en Volumen (C_v)	15.38 %
Densidad Específica de Sólidos (S_s)	2.71
Densidad Específica de Pulpa (S_m)	1.26
Densidad Específica del Líquido (S_L)	1.00

Tabla N° 23: Características de Diseño en Condiciones Normales (RST-No Espesado)

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL RELAVE RST-NO ESPESADO (CONDICIÓN MEDIA)	
Concentración en Peso (C_w)	31.00 %
Concentración en Volumen (C_v)	14.22 %
Densidad Específica de Sólidos (S_s)	2.71
Densidad Específica de Pulpa (S_m)	1.24
Densidad Específica del Líquido (S_L)	1.00

Tabla N° 24: Características de Diseño en Condiciones Máximas (RST-No Espesado)

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL RELAVE RST-NO ESPESADO (CONDICIÓN MÁXIMA)	
Concentración en Peso (C_w)	29.00 %
Concentración en Volumen (C_v)	13.10 %
Densidad Específica de Sólidos (S_s)	2.71
Densidad Específica de Pulpa (S_m)	1.22
Densidad Específica del Líquido (S_L)	1.00

Así mismo, las Tablas 25, 26 y 27 muestran las características físicas principales de los relaves RST Espesados a diferentes escenarios:

Tabla N° 25: Características de Diseño en Condiciones Mínimas (RST Espesado)

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL RELAVE RST ESPESADO (CONDICIÓN MÍNIMA)	
Concentración en Peso (C_w)	60.00 %
Concentración en Volumen (C_v)	35.63 %
Densidad Específica de Sólidos (S_s)	2.71
Densidad Específica de Pulpa (S_m)	1.61
Densidad Específica del Líquido (S_L)	1.00

Tabla N° 26: Características de Diseño en Condiciones Normales (RST Espesado)

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL RELAVE RST ESPESADO (CONDICIÓN MEDIA)	
Concentración en Peso (C_w)	55.00 %
Concentración en Volumen (C_v)	31.08 %
Densidad Específica de Sólidos (S_s)	2.71
Densidad Específica de Pulpa (S_m)	1.53
Densidad Específica del Líquido (S_L)	1.00

Tabla N° 27: Características de Diseño en Condiciones Máximas (RST Espesado)

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL RELAVE RST ESPESADO (CONDICIÓN MÁXIMA)	
Concentración en Peso (C_w)	50.00 %
Concentración en Volumen (C_v)	26.95 %
Densidad Específica de Sólidos (S_s)	2.71
Densidad Específica de Pulpa (S_m)	1.46
Densidad Específica del Líquido (S_L)	1.00

Además, según el ítem a.4.1.2., se tiene las siguientes características granulométricas principales, tal como se muestran en la Tabla N° 28.

Tabla N° 28: Tamaño de las Partículas Sólidas de los Relave en Diferentes Condiciones

GRANULOMETRÍA DEL RELAVE RST ESPESADO	
Diámetro de Partícula d_{50} (μm)	36
Diámetro de Partícula d_{80} (μm)	117.00
GRANULOMETRÍA DEL RELAVE RST - NO ESPESADO	
Diámetro de Partícula d_{50} (μm)	30
Diámetro de Partícula d_{80} (μm)	98.00

Ahora, con la gráfica de la Figura N° 10, procedemos a clasificar al fluido RST y RST-No Espesado, en base al tamaño de partículas que tiende a desgastar más la tubería (d_{50}) y la gravedad específica de sólidos; así tenemos las Figuras N° 33 y N° 34 respectivamente.

Figura N° 33: Clasificación del tipo de flujo RST Espesado.

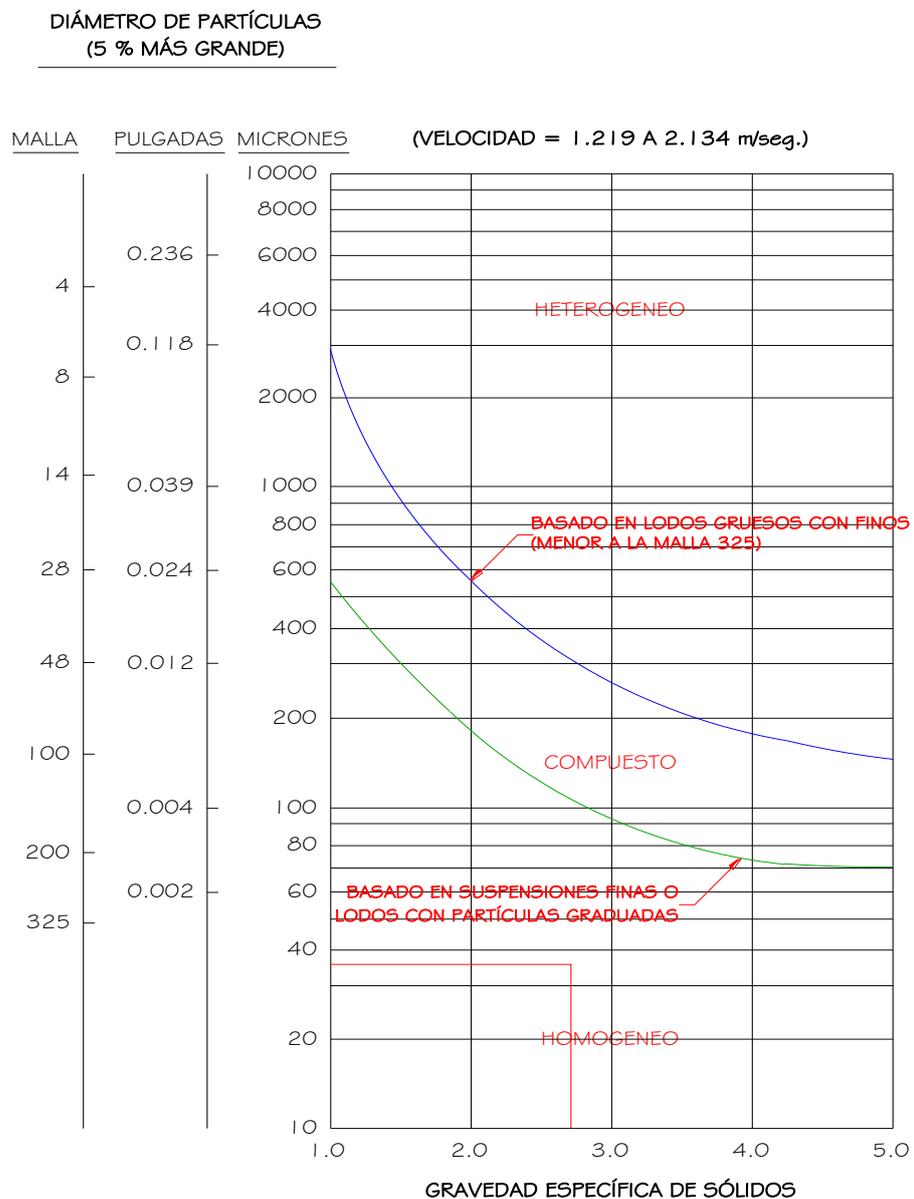
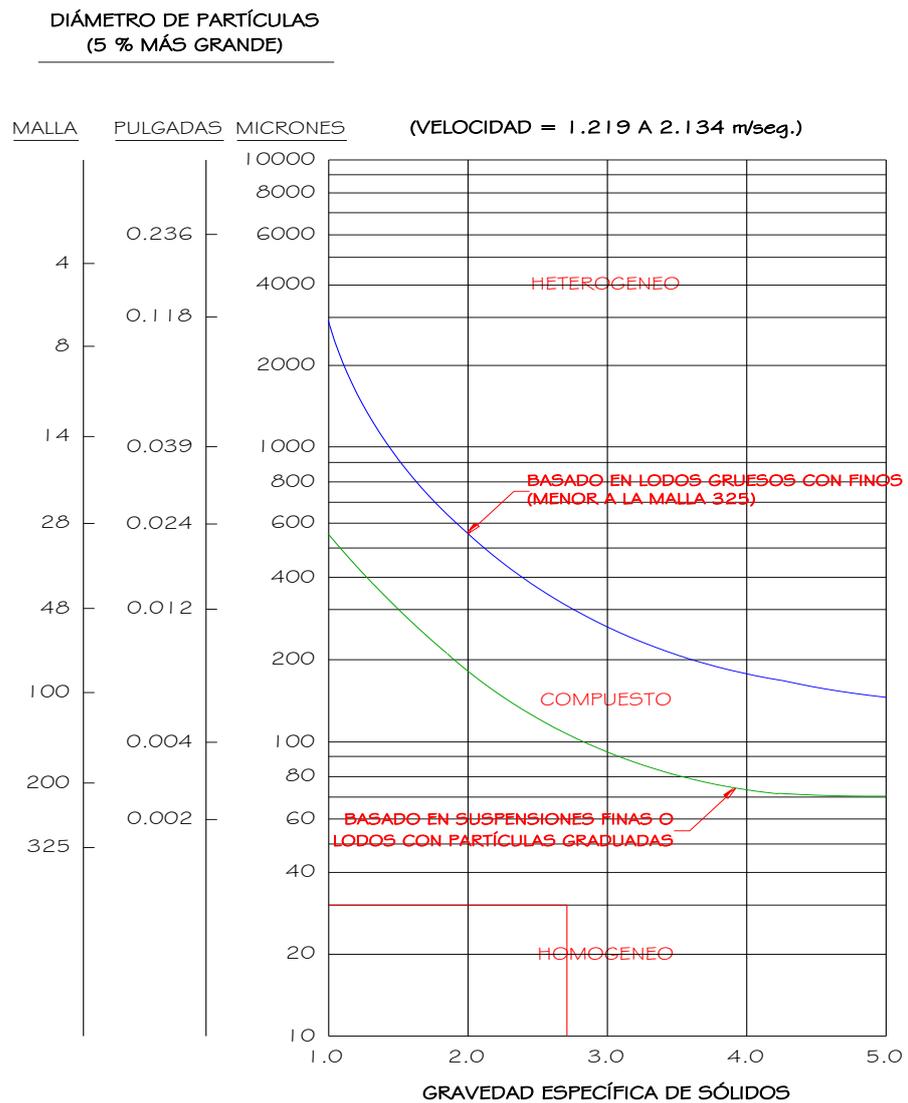


Figura N° 34: Clasificación del tipo de flujo RST-No Espesado



Luego de analizar ambas gráficas, podemos observar que ambos relaves (RST y RST-No Espesado) son del tipo **HOMOGÉNEO** y por lo tanto se lo tratará como un fluido en estado Plástico Tipo Bingham.

B.4. Caracterización Reológica.

Las Tablas N° 29 y 30 muestran los parámetros reológicos principales promedio para los relaves, con sus respectivas ecuaciones de comportamiento (Ec. 80 y 81) respectivamente:

Tabla N° 29: Parámetros Reológicos para un tipo de Flujo Bingham (RST Espesado).

Parámetro	Símbolo	Unidades	Valor
Esfuerzo de fluencia	τ_0	Pa	13.10000
Constante de Rigidez	η	Pa.s	0.01694

Fuente: Adaptado de MWH PERU S.A. 2009.

$$\tau = 13.10000 + 0.01694 \left(\frac{du}{dy} \right) \text{ (Pa)} \quad \text{(Ec. 80)}$$

Tabla N° 30: Parámetros Reológicos para un tipo de Flujo Bingham (RST-No Espesado).

Parámetro	Símbolo	Unidades	Valor
Esfuerzo de fluencia	τ_0	Pa	0.11396
Constante de Rigidez	η	Pa.s	0.00305

Fuente: Adaptado de MWH PERU S.A. 2009.

$$\tau = 0.11396 + 0.00305 \left(\frac{du}{dy} \right) \text{ (Pa)} \quad \text{(Ec. 81)}$$

B.5. Cálculo Hidráulico.

B.5.1. Verificación de la Máxima Presión Interna Estática y de la Clase de la Tubería.

Se verificará la máxima presión estática interna en la tubería, asumiendo atascamientos y obstrucciones en los DROP PIPES RST, y cuya presión inicial comienza en el DROP BOX CST N° 02 (Cota: 3840.11) y finaliza en el último punto más bajo de la conducción hacia la presa (Cota: 3726.26), para una columna máxima de pulpa de (113.85 mca). Además, la máxima presión interna que soporta la tubería, es causada por el máximo caudal existente (RST – No Espesado en el sistema), y que al usar la ecuación 82 y reemplazando: $\rho_m = 1220 \text{ kg/m}^3$, $g = 9.81 \text{ m/seg}^2$ y $\Delta H = 113.85$, se tiene:

$$PI_{MÁX} = \rho_m \cdot g \cdot \Delta H \quad \text{(Ec. 82)}$$

$$PI_{MÁX} = 1\ 362\ 114.265 \text{ Pa} = 1.36 \text{ MPa}$$

Entonces, según diseño original se cuenta con tubería HDPE, SDR 11, que según el Apéndice N° 03, resiste 14 Bares = 1.40 MPa; por lo tanto, la tubería, como la clase del material utilizado es la correcta y la más conveniente para darle solución al transporte de relaves RST.

B.5.2. Verificación del Diámetro Interno, según Rango de Velocidades Recomendado.

Se recomienda que la velocidad del transporte de relaves debe ser entre de 2 m/seg. a 4 m/seg.; así, las Tablas N° 31 y N° 32, muestran dicha verificación con diámetros comerciales en tubería HDPE para Relaves RST Espesados y No Espesados respectivamente:

Tabla N° 31: Verificación del Diámetro con el Relave RST - Espesado.

VERIFICACIÓN RST-ESPESADO											
CON EL LÍMITE INFERIOR					CON EL LÍMITE SUPERIOR						
V = 2.00 m/seg					V = 4.00 m/seg						
Caudal Mínimo: 755.18 m³/h					Caudal Mínimo: 755.18 m³/h						
Q (m³/seg)	A (m²)	D. (Calculado)		D. (Comercial)	V _{MEDIA} (m/seg)	Q (m³/seg)	A (m²)	D. (Calculado)		D. (Comercial)	V _{MEDIA} (m/seg)
		m	Pulg	Pulg				m	Pulg	Pulg	
0.210	0.105	0.365	14.387	14	2.112	0.210	0.052	0.258	10.173	12	2.875
Caudal Medio: 1026.42 m³/h					Caudal Medio: 1026.42 m³/h						
Q (m³/seg)	A (m²)	D. (Calculado)		D. (Comercial)	V _{MEDIA} (m/seg)	Q (m³/seg)	A (m²)	D. (Calculado)		D. (Comercial)	V _{MEDIA} (m/seg)
		m	Pulg	Pulg				m	Pulg	Pulg	
0.285	0.143	0.426	16.773	16	2.198	0.285	0.071	0.301	11.860	12	3.908
Caudal Máximo: 1369.00 m³/h					Caudal Máximo: 1369.00 m³/h						
Q (m³/seg)	A (m²)	D. (Calculado)		D. (Comercial)	V _{MEDIA} (m/seg)	Q (m³/seg)	A (m²)	D. (Calculado)		D. (Comercial)	V _{MEDIA} (m/seg)
		m	Pulg	Pulg				m	Pulg	Pulg	
0.380	0.190	0.492	19.371	18	2.316	0.380	0.095	0.348	13.698	14	3.829

Tabla N° 32: Verificación del Diámetro con el Relave RST – No Espesado.

VERIFICACIÓN RST-NO ESPESADO											
CON EL LÍMITE INFERIOR					CON EL LÍMITE SUPERIOR						
V = 2.00 m/seg					V = 4.00 m/seg						
Caudal Mínimo: 1749.49 m³/h					Caudal Mínimo: 1749.49 m³/h						
Q (m³/seg)	A (m²)	D. (Calculado)		D. (Comercial)	V _{MEDIA} (m/seg)	Q (m³/seg)	A (m²)	D. (Calculado)		D. (Comercial)	V _{MEDIA} (m/seg)
		m	Pulg	Pulg				m	Pulg	Pulg	
0.486	0.243	0.556	21.898	20	2.398	0.486	0.121	0.393	15.484	16	3.746
Caudal Medio: 2243.43 m³/h					Caudal Medio: 2243.43 m³/h						
Q (m³/seg)	A (m²)	D. (Calculado)		D. (Comercial)	V _{MEDIA} (m/seg)	Q (m³/seg)	A (m²)	D. (Calculado)		D. (Comercial)	V _{MEDIA} (m/seg)
		m	Pulg	Pulg				m	Pulg	Pulg	
0.623	0.312	0.630	24.798	24	2.135	0.623	0.156	0.445	17.535	18	3.796
Caudal Máximo: 2817.28 m³/h					Caudal Máximo: 2817.28 m³/h						
Q (m³/seg)	A (m²)	D. (Calculado)		D. (Comercial)	V _{MEDIA} (m/seg)	Q (m³/seg)	A (m²)	D. (Calculado)		D. (Comercial)	V _{MEDIA} (m/seg)
		m	Pulg	Pulg				m	Pulg	Pulg	
0.783	0.391	0.706	27.789	26	2.285	0.783	0.196	0.499	19.650	20	3.861

Al analizar las Tablas N° 31 y 32, se puede distinguir que no existe un diámetro que cumpla con todas las condiciones operativas (06 Escenarios), sin embargo, existen al menos 04 diámetros que cumplen con 03 de los 06 escenarios operativos: Ø 14", Ø 16", Ø 18" y Ø 20".

Por otro lado, para seguir sectorizando el análisis y poder preestablecer el diámetro óptimo de diseño, se observa que el diámetro de Ø 14", solo es adecuado para los relaves RST Espesados (Todos los escenarios); el diámetro de Ø 16", se encuentra en dos (02) escenarios de RST Espesado (Condición de Flujo Medio y Máximo) y en un (01) escenario de RST No Espesado (Condición de Flujo Mínimo); el diámetro de Ø 18" se encuentra en un (01) escenario del RST Espesado (Condición de Flujo Máximo) y en dos (02) escenarios de RST No Espesado (Condición de Flujo Mínimo y Máximo) y el diámetro de Ø 20" solo es adecuado para los relaves RST No Espesados; por lo tanto, los diámetros que más se ajustan por estar en al menos los dos tipos de relaves RST Espesados y No Espesados son: Ø 16" y Ø 18" (a su vez es el existente), por lo que habrá que realizar varios comparativos entre estos dos diámetros para tener una verificación final.

B.5.3. Determinación del Régimen de Flujo.

Las tablas N° 33 y N° 34 muestran el tipo de régimen de flujo tanto para el diámetro calculado de Ø 16" y Ø 18" respectivamente.

Tabla N° 33: Tipo de Régimen de Flujo con el Diámetro de Diseño Ø 16".

TIPO DE RÉGIMEN DE FLUJO CON EL DIÁMETRO DE DISEÑO (Ø 16")						
VERIFICACIÓN RST-ESPESADO						
CONDICIÓN	Q (m³/seg)	D _{DISEÑO} (Pulg)	D _{CATÁLOGO} (mm)	V _{MEDIA} (m/seg)	Re	RÉGIMEN
MÍNIMA	0.210	16	406.4	1.617	35582.02	TURBULENTO
MEDIA	0.285	16	406.4	2.198	80754.04	TURBULENTO
MÁXIMA	0.380	16	406.4	2.932	164297.88	TURBULENTO
VERIFICACIÓN RST-NO ESPESADO						
CONDICIÓN	Q (m³/seg)	D _{DISEÑO} (Pulg)	D _{CATÁLOGO} (mm)	V _{MEDIA} (m/seg)	Re	RÉGIMEN
MÍNIMA	0.486	16	406.4	3.746	569664.22	TURBULENTO
MEDIA	0.623	16	406.4	4.804	796601.14	TURBULENTO
MÁXIMA	0.783	16	406.4	6.033	1085692.67	TURBULENTO

Tabla N° 34: Tipo de Régimen de Flujo con el Diámetro de Diseño y Existente Ø 18".

TIPO DE RÉGIMEN DE FLUJO CON EL DIÁMETRO DE DISEÑO Y EXISTENTE (Ø 18")						
VERIFICACIÓN RST-ESPESADO						
CONDICIÓN	Q (m³/seg)	D _{DISEÑO} (Pulg)	D _{CATÁLOGO} (mm)	V _{MEDIA} (m/seg)	Re	RÉGIMEN
MÍNIMA	0.210	18	457.2	1.278	31628.46	TURBULENTO
MEDIA	0.285	18	457.2	1.737	71781.37	TURBULENTO
MÁXIMA	0.380	18	457.2	2.316	146042.56	TURBULENTO
VERIFICACIÓN RST-NO ESPESADO						
CONDICIÓN	Q (m³/seg)	D _{DISEÑO} (Pulg)	D _{CATÁLOGO} (mm)	V _{MEDIA} (m/seg)	Re	RÉGIMEN
MÍNIMA	0.486	18	457.2	2.960	506368.19	TURBULENTO
MEDIA	0.623	18	457.2	3.796	708089.91	TURBULENTO
MÁXIMA	0.783	18	457.2	4.767	965060.15	TURBULENTO

B.5.4. Verificación de la Velocidad Crítica de Deposición (V_D) y su Relación con su Factor de Seguridad de Deposición.

La elección de un correcto método de evaluación no solo dependerá de aplicar los resultados hasta ahora obtenidos en los ítems anteriores, sino, que, también tendrá en cuenta que se deberá usar el método que más se aproxime a una solución experimental, por ello, se debe usar el método que más variables incluya en su solución (Método de OROSKAR y TURIAN) por lo que, este incluye un análisis importante respecto al coeficiente de arrastre y el efecto de la interacción de las partículas.

Así, las Tablas N° 35 y N° 36, muestran las diferentes Velocidades Críticas de Depositación para un estado de diseño (Ø 16" y Ø 18") y existente (Ø 18") con sus respectivos factores de seguridad de deposición.

Tabla N° 35: Velocidad de Deposición (V_D) y Factores de Seguridad de Deposición para un Diámetro de Diseño Ø 16".

DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD CRÍTICA DE DEPOSICIÓN SEGÚN EL MODELO DE OROSKAR Y TURIAN PARA UN ESTADO DE DISEÑO (Ø 16")								
VERIFICACIÓN RST-ESPESADO								
CONDICIÓN	N° KARAMANEV (ϕ)	Cof. Arr. (C_D)	Re _p	F. Interr. (n)	V _s */V _s	F. Correc. Energ. Turbulenta X	V _D (m/seg)	FS Dep. Vm/V _D
MÍNIMA	1.043	434.132	0.049	4.6289	0.130	0.983	0.820	1.973
MEDIA	1.043	434.132	0.049	4.6289	0.179	0.976	1.033	2.128
MÁXIMA	1.043	434.132	0.049	4.6289	0.234	0.968	1.243	2.359

VERIFICACIÓN RST-NO ESPESADO								
CONDICIÓN	N° KARAMANEV (φ)	Cof. Arr. (C _D)	Re _P	F. Interr. (n)	V _s */V _s	F. Correc. Energ. Turbulenta X	V _D (m/seg)	FS Dep. V _m /V _D
MÍNIMA	0.604	739.698	0.029	4.6289	0.462	0.903	1.827	2.050
MEDIA	0.604	739.698	0.029	4.6289	0.492	0.890	1.875	2.562
MÁXIMA	0.604	739.698	0.029	4.6289	0.522	0.876	1.917	3.147

Tabla N° 36: Velocidad de Deposición (V_D) y Factores de Seguridad de Deposición para un Diámetro de Diseño y Existente Ø 18".

DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD CRÍTICA DE DEPOSICIÓN SEGÚN EL MODELO DE OROSKAR Y TURIAN PARA UN ESTADO DE DISEÑO Y EXISTENTE (Ø 18")								
VERIFICACIÓN RST-ESPESADO								
CONDICIÓN	N° KARAMANEV (φ)	Cof. Arr. (C _D)	Re _P	F. Interr. (n)	V _s */V _s	F. Correc. Energ. Turbulenta X	V _D (m/seg)	FS Dep. V _m /V _D
MÍNIMA	1.043	434.132	0.049	4.6289	0.130	0.983	0.880	1.452
MEDIA	1.043	434.132	0.049	4.6289	0.179	0.976	1.109	1.567
MÁXIMA	1.043	434.132	0.049	4.6289	0.234	0.968	1.334	1.737
VERIFICACIÓN RST-NO ESPESADO								
CONDICIÓN	N° KARAMANEV (φ)	Cof. Arr. (C _D)	Re _P	F. Interr. (n)	V _s */V _s	F. Correc. Energ. Turbulenta X	V _D (m/seg)	FS Dep. V _m /V _D
MÍNIMA	0.604	739.698	0.029	4.6289	0.462	0.903	1.961	1.510
MEDIA	0.604	739.698	0.029	4.6289	0.492	0.890	2.012	1.886
MÁXIMA	0.604	739.698	0.029	4.6289	0.522	0.876	2.057	2.317

B.5.5. Determinación del Factor de Fricción.

El cálculo de la caída de presión es proporcional al tipo de fluido a transportar y, por ende, ya que se tiene con un flujo del tipo Bingham, utilizaremos las fórmulas existentes en el ítem G.1., para un estado de diseño y existente respectivamente.

Además, debido a que no se cuenta con información relevante sobre accesorios existentes a lo largo de esta línea, se despreciará las pérdidas de carga por accesorios existentes.

❖ Número de Hedstrom (He)

Utilizamos la fórmula: $H_e = \frac{D^2 \cdot \rho_m \cdot \tau_0}{\eta^2}$ (Ecuación 17) reemplazando valores para el RST – Espesado: Condición Mínima: $\rho_m=1609.26$ (kg/m³), $\tau_0=23.729$ Pa y $\eta=0.02972$ Pa.s; Condición Normal:

$\rho_m=1531.51$ (kg/m³), $\tau_0=13.100$ Pa y $\eta=0.01694$ Pa.s y Condición Máxima: $\rho_m=1460.92$ (kg/m³), $\tau_0=5.700$ Pa y $\eta= 0.01059$ Pa.s y para el RST – No Espesado: Condición Mínima: $\rho_m=1262.99$ (kg/m³), $\tau_0=0.189$ Pa y $\eta=0.00338$ Pa.s; Condición Normal: $\rho_m=1243.18$ (kg/m³), $\tau_0=0.114$ Pa y $\eta=0.00305$ Pa.s y Condición Máxima: $\rho_m=1223.97$ (kg/m³), $\tau_0=0.066$ Pa y $\eta= 0.00276$ Pa.s; tenemos las Tablas N° 37 y N° 38, para los diferentes tipos de flujo y diámetro.

Tabla N° 37: Números de Hedstrom para Diferentes Escenarios y Condiciones de Diseño Ø 16”.

NÚMERO DE HEDSTROM DE DISEÑO (He) - Ø 16”		
VERIFICACIÓN RST-ESPEADO		
MÍNIMO	NORMAL	MÁXIMO
16 Pulg.	16 Pulg.	16 Pulg.
406.4 mm	406.4 mm	406.4 mm
7138761.949	11545951.044	12254729.041
VERIFICACIÓN RST-NO ESPESADO		
MÍNIMO	NORMAL	MÁXIMO
16 Pulg.	16 Pulg.	16 Pulg.
406.4 mm	406.4 mm	406.4 mm
3458517.181	2520439.291	1758762.145

Tabla N° 38: Números de Hedstrom para Diferentes Escenarios y Condiciones de Diseño y Existente Ø 18”.

NÚMERO DE HEDSTROM DE DISEÑO Y EXISTENTE (He) - Ø 18”		
VERIFICACIÓN RST-ESPEADO		
MÍNIMO	NORMAL	MÁXIMO
18 Pulg.	18 Pulg.	18 Pulg.
457.2 mm	457.2 mm	457.2 mm
9034995.592	14612844.290	15509891.443
VERIFICACIÓN RST-NO ESPESADO		
MÍNIMO	NORMAL	MÁXIMO
18 Pulg.	18 Pulg.	18 Pulg.
457.2 mm	457.2 mm	457.2 mm
3458517.181	2520439.291	1758762.145

❖ Factor de Fricción (f_D)

Como el flujo es del tipo Homogéneo Bingham y se encuentra en régimen turbulento, procedemos a usar la fórmula 34, f_{NT} , para ambos escenarios; así tenemos las Tabla N° 39 y N° 40:

Tabla N° 39: Factor de Fricción para Fluidos de Bingham para Ø 16".

FACTOR DE FRICCIÓN PARA FLUIDOS DE BINGHAM PARA Ø 16"					
VERIFICACIÓN RST-ESPESADO					
CONDICIÓN	Re	He	a	b	f _{NT}
MÍNIMA	35582.02	7138761.949	-1.4700	-0.193	0.0045
MEDIA	80754.04	11545951.044	-1.4700	-0.193	0.0038
MÁXIMA	164297.88	12254729.041	-1.4700	-0.193	0.0033
VERIFICACIÓN RST-NO ESPESADO					
CONDICIÓN	Re	He	a	b	f _{NT}
MÍNIMA	569664.22	3458517.181	-1.4700	-0.193	0.0026
MEDIA	796601.14	2520439.291	-1.4700	-0.193	0.0025
MÁXIMA	1085692.67	1758762.145	-1.4700	-0.193	0.0023

Tabla N° 40: Factor de Fricción para Fluidos de Bingham para Ø 18".

FACTOR DE FRICCIÓN PARA FLUIDOS DE BINGHAM PARA Ø 18"					
VERIFICACIÓN RST-ESPESADO					
CONDICIÓN	Re	He	a	b	f _{NT}
MÍNIMA	31628.46	9034995.592	-1.4700	-0.193	0.0046
MEDIA	71781.37	14612844.290	-1.4700	-0.193	0.0039
MÁXIMA	146042.56	15509891.443	-1.4700	-0.193	0.0034
VERIFICACIÓN RST-NO ESPESADO					
CONDICIÓN	Re	He	a	b	f _{NT}
MÍNIMA	506368.19	3458517.181	-1.4700	-0.193	0.0027
MEDIA	708089.91	2520439.291	-1.4700	-0.193	0.0025
MÁXIMA	965060.15	1758762.145	-1.4700	-0.193	0.0024

B.5.6. Determinación de Pérdidas de Presión Principal y Total:

Como se trata de un flujo homogéneo, se puede despreciar las pérdidas de carga debido a la inclinación de la tubería, además que la pendiente promedio de la misma es de 2.50 %, siendo imperceptible, por ende, la gradiente de pérdidas (i_m) se calculará según la ecuación 21 y cuyos datos para ambos escenarios trabajados (Diseño y Existente) se presentan en las Tabla N° 41.y N° 42

Tabla N° 41: Gradiente de Pérdidas para los Escenarios de Diseño Ø 16".

GRADIENTE DE PÉRDIDAS (i_m) PARA Ø 16"					
VERIFICACIÓN RST-ESPESADO					
CONDICIÓN	f _D	V (m/seg)	D (m)	ρ_m (kg/m³)	i_m (Pa/m)
MÍNIMA	0.004	1.617	0.406	1609.26	23.214
MEDIA	0.004	2.198	0.406	1531.51	34.842
MÁXIMA	0.003	2.932	0.406	1460.92	51.551

VERIFICACIÓN RST-NO ESPESADO					
CONDICIÓN	f_D	V (m/seg)	D (m)	ρ_m (kg/m³)	i_m (Pa/m)
MÍNIMA	0.003	3.746	0.406	1262.99	57.254
MEDIA	0.002	4.804	0.406	1243.18	86.863
MÁXIMA	0.002	6.033	0.406	1223.97	127.045

Tabla N° 42: Gradiente de Pérdidas para los Escenarios de Diseño y Existente Ø 18".

GRADIENTE DE PÉRDIDAS (i_m) PARA Ø 18"					
VERIFICACIÓN RST-ESPESADO					
CONDICIÓN	f_D	V (m/seg)	D (m)	ρ_m (kg/m³)	i_m (Pa/m)
MÍNIMA	0.005	1.278	0.457	1609.26	13.178
MEDIA	0.004	1.737	0.457	1531.51	19.779
MÁXIMA	0.003	2.316	0.457	1460.92	29.265
VERIFICACIÓN RST-NO ESPESADO					
CONDICIÓN	f_D	V (m/seg)	D (m)	ρ_m (kg/m³)	i_m (Pa/m)
MÍNIMA	0.003	2.960	0.457	1262.99	32.503
MEDIA	0.003	3.796	0.457	1243.18	49.311
MÁXIMA	0.002	4.767	0.457	1223.97	72.122

Además, la pérdida de carga en función de la longitud por cada tramo será calculada con la ecuación 83:

$$h_f = i_m \cdot L \quad (\text{Pa}) \quad (\text{Ec. 83})$$

Ahora, en función del perfil longitudinal presentado en la Figura N° 32 y la longitud de cada tramo, procedemos a calcular las pérdidas de presión totales tal como se muestran en las Tabla N° 43 y N° 44 para un escenario de diseño y existente respectivamente.

Además, es de mencionar que el cálculo de la presión de operación de cada estructura y/o punto en la tubería, está en función de si a lo largo del tramo, encontramos estructuras de disipación y/o transición, ya que, dependiendo de las mismas, habrá que sumarle una altura remanente o presión de arranque, las cuales se describen a continuación:

$$H_r \text{ CAJÓN DE INICIO RST} = 1.20 \text{ mca.} \quad (\text{Altura recomendada para iniciar el movimiento en el Cajón de Inicio RST})$$

$$H_r \text{ DROP BOX RST} = 0.90 \text{ mca.} \quad (\text{Asumido})$$

$H_{r \text{ DROP PIPE RST}} = 0.20$ y 0.23 mca. (Para un estado de obstrucción máximo generalizado en el DROP PIPE RST, cuya altura es la diferencia es igual a la mitad del valor del diámetro de llegada a cada Drope Pipe RST).

Además, hay que diferenciar 1 m.c.a. \neq 1m.c.pulpa, entonces, hallaremos su equivalencia en (Pa); así, tenemos:

Para los Relaves RST – Espesados.

❖ **Para Condiciones Mínimas.**

$$1 \text{ m.c.pulpa} = \rho_{\text{RELAVE}} \cdot h \cdot g = 1609.26 \text{ kg/m}^3 \times 1.00 \text{ m.} \times 9.80665 \text{ m/seg}^2$$

$$1 \text{ m.c.pulpa} = 15\,781.485 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ Pa} = 6.337 \times 10^{-5} \text{ m.c.pulpa.}$$

❖ **Para Condiciones Normales.**

$$1 \text{ m.c.pulpa} = \rho_{\text{RELAVE}} \cdot h \cdot g = 1531.51 \text{ kg/m}^3 \times 1.00 \text{ m.} \times 9.80665 \text{ m/seg}^2$$

$$1 \text{ m.c.pulpa} = 15\,018.944 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ Pa} = 6.658 \times 10^{-5} \text{ m.c.pulpa.}$$

❖ **Para Condiciones Máximas.**

$$1 \text{ m.c.pulpa} = \rho_{\text{RELAVE}} \cdot h \cdot g = 1460.92 \text{ kg/m}^3 \times 1.00 \text{ m.} \times 9.80665 \text{ m/seg}^2$$

$$1 \text{ m.c.pulpa} = 14\,326.696 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ Pa} = 6.980 \times 10^{-5} \text{ m.c.pulpa.}$$

Para los Relaves RST – No Espesados

❖ **Para Condiciones Mínimas.**

$$1 \text{ m.c.pulpa} = \rho_{\text{RELAVE}} \cdot h \cdot g = 1262.99 \text{ kg/m}^3 \times 1.00 \text{ m.} \times 9.80665 \text{ m/seg}^2$$

$$1 \text{ m.c.pulpa} = 12\,385.712 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ Pa} = 8.074 \times 10^{-5} \text{ m.c.pulpa.}$$

❖ **Para Condiciones Normales.**

$$1 \text{ m.c.pulpa} = \rho_{\text{RELAVE}} \cdot h \cdot g = 1243.18 \text{ kg/m}^3 \times 1.00 \text{ m.} \times 9.80665 \text{ m/seg}^2$$

$$1 \text{ m.c.pulpa} = 12\,191.395 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ Pa} = 8.203 \times 10^{-5} \text{ m.c.pulpa.}$$

❖ **Para Condiciones Máximas.**

$$1 \text{ m.c.pulpa} = \rho_{\text{RELAVE}} \cdot h \cdot g = 1223.97 \text{ kg/m}^3 \times 1.00 \text{ m.} \times 9.80665 \text{ m/seg}^2$$

$$1 \text{ m.c.pulpa} = 12\,003.081 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ Pa} = 8.331 \times 10^{-5} \text{ m.c.pulpa.}$$

Con esta información, procedemos a calcular las pérdidas totales friccionales; así las Tablas N° 43 y N° 44, muestran dichos cálculos para un estado de Diseño Ø 16" para Relaves RST Espesado y No Espesado respectivamente; asimismo, las Tablas N° 45 y N° 46, muestran los mismos cálculos para un estado de Diseño y Existente Ø 18" para Relaves RST Espesado y No Espesado respectivamente.

Calculadas las pérdidas totales friccionales en las tablas anteriores, se procede a calcular la presión de operación final por cada tramo, así, las Tablas N° 47 y N° 48, muestran la Presión Total de Operación para un estado de Diseño Ø 16", para Relaves RST Espesado y No Espesado respectivamente; así como, las Tablas N° 49 y N° 50, muestran la Presión Total de Operación para un estado de Diseño y Existente Ø 18", para Relaves RST Espesado y No Espesado respectivamente.

Tabla N° 43: Pérdidas de Presión Total Friccional de Diseño para un Diámetro de Diseño Ø 16" (RST - Espesado).

PERDIDA DE PRESIÓN TOTAL DE DISEÑO PARA LOS RELAVES ROUGHER SCAVENGER TAILINGS (ESPESADOS) - Ø 16"										
DESCRIPCIÓN		TRAMO		LONGITUD (m)	i _m (Pa/m)			H _f (Pa)		
DE	A	INICIAL	FINAL		MÍNIMO	NORMAL	MÁXIMO	MÍNIMO	NORMAL	MÁXIMO
CAJÓN DE INICIO RST	DROP BOX RST N° 01	0+00.00	0+168.85	168.85	23.214	34.842	51.551	3919.71	5883.08	8704.33
DROP BOX RST N° 01	DROP BOX RST N° 02	0+171.25	0+582.81	411.56	23.214	34.842	51.551	9554.02	14339.59	21216.20
DROP BOX RST N° 02	DROP PIPE RST N° 01	0+585.21	0+601.60	16.39	23.214	34.842	51.551	380.48	571.06	844.92
DROP PIPE RST N° 01	DROP PIPE RST N° 02	0+604.68	0+634.22	29.54	23.214	34.842	51.551	685.75	1029.23	1522.81
DROP PIPE RST N° 02	DROP PIPE RST N° 03	0+637.29	0+651.10	13.81	23.214	34.842	51.551	320.59	481.17	711.91
DROP PIPE RST N° 03	DROP PIPE RST N° 04	0+654.17	0+659.72	5.55	23.214	34.842	51.551	128.84	193.37	286.11
DROP PIPE RST N° 04	DROP PIPE RST N° 05	0+662.79	0+669.45	6.66	23.214	34.842	51.551	154.61	232.05	343.33
DROP PIPE RST N° 05	DROP PIPE RST N° 06	0+672.53	0+679.78	7.25	23.214	34.842	51.551	168.30	252.60	373.74
DROP PIPE RST N° 06	DROP PIPE RST N° 07	0+682.85	0+685.97	3.12	23.214	34.842	51.551	72.43	108.71	160.84
DROP PIPE RST N° 07	DROP PIPE RST N° 08	0+689.04	0+694.17	5.13	23.214	34.842	51.551	119.09	178.74	264.45
DROP PIPE RST N° 08	DROP PIPE RST N° 09	0+697.24	0+706.54	9.30	23.214	34.842	51.551	215.89	324.03	479.42
DROP PIPE RST N° 09	DROP PIPE RST N° 10	0+709.61	0+720.05	10.44	23.214	34.842	51.551	242.36	363.75	538.19
DROP PIPE RST N° 10	DROP PIPE RST N° 11	0+723.13	0+734.62	11.49	23.214	34.842	51.551	266.73	400.34	592.32
DROP PIPE RST N° 11	DROP PIPE RST N° 12	0+737.7	0+754.18	16.48	23.214	34.842	51.551	382.57	574.20	849.56
DROP PIPE RST N° 12	PIV 01	0+757.25	1+030.00	272.75	23.214	34.842	51.551	6331.66	9503.17	14060.45
PIV 01	PIV 02	1+030.00	1+150.00	120.00	23.214	34.842	51.551	2785.70	4181.05	6186.08
PIV 02	PIV 03	1+150.00	1+330.00	180.00	23.214	34.842	51.551	4178.55	6271.57	9279.12
PIV 03	PIV 04	1+330.00	1+560.00	230.00	23.214	34.842	51.551	5339.26	8013.67	11856.66
PIV 04	PIV 05	1+560.00	1+680.00	120.00	23.214	34.842	51.551	2785.70	4181.05	6186.08
PIV 05	PIV 06	1+680.00	1+910.00	230.00	23.214	34.842	51.551	5339.26	8013.67	11856.66
PIV 06	PIV 07	1+910.00	1+930.00	20.00	23.214	34.842	51.551	464.28	696.84	1031.01
PIV 07	PIV 08	1+930.00	1+943.26	13.26	23.214	34.842	51.551	307.82	462.01	683.56
PIV 08	PIV 09	1+943.26	1+990.00	46.74	23.214	34.842	51.551	1085.03	1628.52	2409.48
PIV 09	PIV 10	1+990.00	2+001.11	11.11	23.214	34.842	51.551	257.91	387.10	572.73
PIV 10	DESCARGA FINAL	2+001.11	2+247.29	246.18	23.214	34.842	51.551	5714.86	8577.42	12690.75

Tabla N° 44: Pérdidas de Presión Total Friccional de Diseño para un Diámetro de Diseño Ø 16" (RST - No Espesado).

PERDIDA DE PRESIÓN TOTAL DE DISEÑO PARA LOS RELAVES ROUGHER SCAVENGER TAILINGS (NO ESPESADOS) - Ø 16"											
DESCRIPCIÓN			TRAMO		LONGITUD (m)		i_m (Pa/m)			H_f (Pa)	
DE	A	INICIAL	FINAL		MÍNIMO	NORMAL	MÁXIMO	MÍNIMO	NORMAL	MÁXIMO	
CAJÓN DE INICIO RST	DROP BOX RST N° 01	0+00.00	0+168.85	168.85	57.254	86.863	127.045	9667.38	14666.82	21451.53	
DROP BOX RST N° 01	DROP BOX RST N° 02	0+171.25	0+582.81	411.56	57.254	86.863	127.045	23563.56	35749.34	52286.60	
DROP BOX RST N° 02	DROP PIPE RST N° 01	0+585.21	0+601.60	16.39	57.254	86.863	127.045	938.40	1423.68	2082.27	
DROP PIPE RST N° 01	DROP PIPE RST N° 02	0+604.68	0+634.22	29.54	57.254	86.863	127.045	1691.29	2565.93	3752.91	
DROP PIPE RST N° 02	DROP PIPE RST N° 03	0+637.29	0+651.10	13.81	57.254	86.863	127.045	790.68	1199.58	1754.49	
DROP PIPE RST N° 03	DROP PIPE RST N° 04	0+654.17	0+659.72	5.55	57.254	86.863	127.045	317.76	482.09	705.10	
DROP PIPE RST N° 04	DROP PIPE RST N° 05	0+662.79	0+669.45	6.66	57.254	86.863	127.045	381.31	578.51	846.12	
DROP PIPE RST N° 05	DROP PIPE RST N° 06	0+672.53	0+679.78	7.25	57.254	86.863	127.045	415.09	629.76	921.08	
DROP PIPE RST N° 06	DROP PIPE RST N° 07	0+682.85	0+685.97	3.12	57.254	86.863	127.045	178.63	271.01	396.38	
DROP PIPE RST N° 07	DROP PIPE RST N° 08	0+689.04	0+694.17	5.13	57.254	86.863	127.045	293.71	445.61	651.74	
DROP PIPE RST N° 08	DROP PIPE RST N° 09	0+697.24	0+706.54	9.30	57.254	86.863	127.045	532.46	807.83	1181.52	
DROP PIPE RST N° 09	DROP PIPE RST N° 10	0+709.61	0+720.05	10.44	57.254	86.863	127.045	597.73	906.85	1326.35	
DROP PIPE RST N° 10	DROP PIPE RST N° 11	0+723.13	0+734.62	11.49	57.254	86.863	127.045	657.85	998.06	1459.75	
DROP PIPE RST N° 11	DROP PIPE RST N° 12	0+737.7	0+754.18	16.48	57.254	86.863	127.045	943.55	1431.50	2093.70	
DROP PIPE RST N° 12	PIV 01	0+757.25	1+030.00	272.75	57.254	86.863	127.045	15616.10	23691.88	34651.50	
PIV 01	PIV 02	1+030.00	1+150.00	120.00	57.254	86.863	127.045	6870.51	10423.56	15245.39	
PIV 02	PIV 03	1+150.00	1+330.00	180.00	57.254	86.863	127.045	10305.77	15635.34	22868.08	
PIV 03	PIV 04	1+330.00	1+560.00	230.00	57.254	86.863	127.045	13168.48	19978.49	29220.33	
PIV 04	PIV 05	1+560.00	1+680.00	120.00	57.254	86.863	127.045	6870.51	10423.56	15245.39	
PIV 05	PIV 06	1+680.00	1+910.00	230.00	57.254	86.863	127.045	13168.48	19978.49	29220.33	
PIV 06	PIV 07	1+910.00	1+930.00	20.00	57.254	86.863	127.045	1145.09	1737.26	2540.90	
PIV 07	PIV 08	1+930.00	1+943.26	13.26	57.254	86.863	127.045	759.19	1151.80	1684.62	
PIV 08	PIV 09	1+943.26	1+990.00	46.74	57.254	86.863	127.045	2676.06	4059.98	5938.08	
PIV 09	PIV 10	1+990.00	2+001.11	11.11	57.254	86.863	127.045	636.09	965.05	1411.47	
PIV 10	DESCARGA FINAL	2+001.11	2+247.29	246.18	57.254	86.863	127.045	14094.85	21383.93	31275.91	

Tabla N° 45: Pérdidas de Presión Total Friccional de Diseño para un Diámetro de Diseño y Existente Ø 18" (RST - Espesado).

PERDIDA DE PRESIÓN TOTAL DE DISEÑO PARA LOS RELAVES ROUGHER SCAVENGER TAILINGS (ESPESADOS) - Ø 18"										
DESCRIPCIÓN		TRAMO		LONGITUD (m)	i _m (Pa/m)			H _f (Pa)		
DE	A	INICIAL	FINAL		MÍNIMO	NORMAL	MÁXIMO	MÍNIMO	NORMAL	MÁXIMO
CAJÓN DE INICIO RST	DROP BOX RST N° 01	0+00.00	0+168.85	168.85	13.178	19.779	29.265	2225.17	3339.75	4941.35
DROP BOX RST N° 01	DROP BOX RST N° 02	0+171.25	0+582.81	411.56	13.178	19.779	29.265	5423.71	8140.42	12044.18
DROP BOX RST N° 02	DROP PIPE RST N° 01	0+585.21	0+601.60	16.39	13.178	19.779	29.265	215.99	324.18	479.65
DROP PIPE RST N° 01	DROP PIPE RST N° 02	0+604.68	0+634.22	29.54	13.178	19.779	29.265	389.29	584.28	864.48
DROP PIPE RST N° 02	DROP PIPE RST N° 03	0+637.29	0+651.10	13.81	13.178	19.779	29.265	181.99	273.15	404.15
DROP PIPE RST N° 03	DROP PIPE RST N° 04	0+654.17	0+659.72	5.55	13.178	19.779	29.265	73.14	109.78	162.42
DROP PIPE RST N° 04	DROP PIPE RST N° 05	0+662.79	0+669.45	6.66	13.178	19.779	29.265	87.77	131.73	194.90
DROP PIPE RST N° 05	DROP PIPE RST N° 06	0+672.53	0+679.78	7.25	13.178	19.779	29.265	95.54	143.40	212.17
DROP PIPE RST N° 06	DROP PIPE RST N° 07	0+682.85	0+685.97	3.12	13.178	19.779	29.265	41.12	61.71	91.31
DROP PIPE RST N° 07	DROP PIPE RST N° 08	0+689.04	0+694.17	5.13	13.178	19.779	29.265	67.61	101.47	150.13
DROP PIPE RST N° 08	DROP PIPE RST N° 09	0+697.24	0+706.54	9.30	13.178	19.779	29.265	122.56	183.95	272.16
DROP PIPE RST N° 09	DROP PIPE RST N° 10	0+709.61	0+720.05	10.44	13.178	19.779	29.265	137.58	206.50	305.52
DROP PIPE RST N° 10	DROP PIPE RST N° 11	0+723.13	0+734.62	11.49	13.178	19.779	29.265	151.42	227.27	336.25
DROP PIPE RST N° 11	DROP PIPE RST N° 12	0+737.7	0+754.18	16.48	13.178	19.779	29.265	217.18	325.96	482.28
DROP PIPE RST N° 12	PIV 01	0+757.25	1+030.00	272.75	13.178	19.779	29.265	3594.41	5394.84	7981.95
PIV 01	PIV 02	1+030.00	1+150.00	120.00	13.178	19.779	29.265	1581.41	2373.53	3511.77
PIV 02	PIV 03	1+150.00	1+330.00	180.00	13.178	19.779	29.265	2372.11	3560.30	5267.65
PIV 03	PIV 04	1+330.00	1+560.00	230.00	13.178	19.779	29.265	3031.03	4549.27	6730.88
PIV 04	PIV 05	1+560.00	1+680.00	120.00	13.178	19.779	29.265	1581.41	2373.53	3511.77
PIV 05	PIV 06	1+680.00	1+910.00	230.00	13.178	19.779	29.265	3031.03	4549.27	6730.88
PIV 06	PIV 07	1+910.00	1+930.00	20.00	13.178	19.779	29.265	263.57	395.59	585.29
PIV 07	PIV 08	1+930.00	1+943.26	13.26	13.178	19.779	29.265	174.75	262.28	388.05
PIV 08	PIV 09	1+943.26	1+990.00	46.74	13.178	19.779	29.265	615.96	924.49	1367.83
PIV 09	PIV 10	1+990.00	2+001.11	11.11	13.178	19.779	29.265	146.41	219.75	325.13
PIV 10	DESCARGA FINAL	2+001.11	2+247.29	246.18	13.178	19.779	29.265	3244.26	4869.30	7204.39

Tabla N° 46: Pérdidas de Presión Total Friccional de Diseño para un Diámetro de Diseño y Existente Ø 18" (RST - No Espesado).

PERDIDA DE PRESIÓN TOTAL DE DISEÑO PARA LOS RELAVES ROUGHER SCAVENGER TAILINGS (NO ESPESADOS) - Ø 18"										
DESCRIPCIÓN		TRAMO		LONGITUD (m)	i_m (Pa/m)			H_f (Pa)		
DE	A	INICIAL	FINAL		MÍNIMO	NORMAL	MÁXIMO	MÍNIMO	NORMAL	MÁXIMO
CAJÓN DE INICIO RST	DROP BOX RST N° 01	0+00.00	0+168.85	168.85	32.503	49.311	72.122	5488.06	8326.18	12177.78
DROP BOX RST N° 01	DROP BOX RST N° 02	0+171.25	0+582.81	411.56	32.503	49.311	72.122	13376.75	20294.48	29682.48
DROP BOX RST N° 02	DROP PIPE RST N° 01	0+585.21	0+601.60	16.39	32.503	49.311	72.122	532.72	808.21	1182.08
DROP PIPE RST N° 01	DROP PIPE RST N° 02	0+604.68	0+634.22	29.54	32.503	49.311	72.122	960.13	1456.65	2130.48
DROP PIPE RST N° 02	DROP PIPE RST N° 03	0+637.29	0+651.10	13.81	32.503	49.311	72.122	448.86	680.99	996.00
DROP PIPE RST N° 03	DROP PIPE RST N° 04	0+654.17	0+659.72	5.55	32.503	49.311	72.122	180.39	273.68	400.28
DROP PIPE RST N° 04	DROP PIPE RST N° 05	0+662.79	0+669.45	6.66	32.503	49.311	72.122	216.47	328.41	480.33
DROP PIPE RST N° 05	DROP PIPE RST N° 06	0+672.53	0+679.78	7.25	32.503	49.311	72.122	235.64	357.51	522.88
DROP PIPE RST N° 06	DROP PIPE RST N° 07	0+682.85	0+685.97	3.12	32.503	49.311	72.122	101.41	153.85	225.02
DROP PIPE RST N° 07	DROP PIPE RST N° 08	0+689.04	0+694.17	5.13	32.503	49.311	72.122	166.74	252.97	369.99
DROP PIPE RST N° 08	DROP PIPE RST N° 09	0+697.24	0+706.54	9.30	32.503	49.311	72.122	302.27	458.59	670.73
DROP PIPE RST N° 09	DROP PIPE RST N° 10	0+709.61	0+720.05	10.44	32.503	49.311	72.122	339.33	514.81	752.95
DROP PIPE RST N° 10	DROP PIPE RST N° 11	0+723.13	0+734.62	11.49	32.503	49.311	72.122	373.45	566.58	828.68
DROP PIPE RST N° 11	DROP PIPE RST N° 12	0+737.7	0+754.18	16.48	32.503	49.311	72.122	535.64	812.65	1188.57
DROP PIPE RST N° 12	PIV 01	0+757.25	1+030.00	272.75	32.503	49.311	72.122	8865.07	13449.60	19671.24
PIV 01	PIV 02	1+030.00	1+150.00	120.00	32.503	49.311	72.122	3900.31	5917.33	8654.63
PIV 02	PIV 03	1+150.00	1+330.00	180.00	32.503	49.311	72.122	5850.46	8876.00	12981.94
PIV 03	PIV 04	1+330.00	1+560.00	230.00	32.503	49.311	72.122	7475.59	11341.55	16588.03
PIV 04	PIV 05	1+560.00	1+680.00	120.00	32.503	49.311	72.122	3900.31	5917.33	8654.63
PIV 05	PIV 06	1+680.00	1+910.00	230.00	32.503	49.311	72.122	7475.59	11341.55	16588.03
PIV 06	PIV 07	1+910.00	1+930.00	20.00	32.503	49.311	72.122	650.05	986.22	1442.44
PIV 07	PIV 08	1+930.00	1+943.26	13.26	32.503	49.311	72.122	430.98	653.87	956.34
PIV 08	PIV 09	1+943.26	1+990.00	46.74	32.503	49.311	72.122	1519.17	2304.80	3370.98
PIV 09	PIV 10	1+990.00	2+001.11	11.11	32.503	49.311	72.122	361.10	547.85	801.27
PIV 10	DESCARGA FINAL	2+001.11	2+247.29	246.18	32.503	49.311	72.122	8001.48	12139.41	17754.97

Tabla N° 47: Presión Total de Operación de Diseño Ø 16" (RST – Espesado).

PRESIONES TOTALES DE DISEÑO RELAVES ROUGHER SCAVENGER TAILINGS (ESPESADOS) - Ø 16"																				
DESCRIPCIÓN		COTAS (m.s.n.m.)		i (%)	PRESIÓN DE ARRANQUE Hr			PRESIÓN ESTÁTICA (m.c.pulpa)			H _f (m.c.pulpa)			PRESIÓN DINÁMICA (m.c.pulpa)			NIVEL PIEZOMÉTRICO (m.s.n.m)			
		INICIAL	FINAL		m.c.a	MÍNIMO	NORMAL	MÁXIMO	MÍNIMO	NORMAL	MÁXIMO	MÍNIMO	NORMAL	MÁXIMO	MÍNIMO	NORMAL	MÁXIMO	MÍNIMO	NORMAL	MÁXIMO
CAJÓN DE INICIO	DROP BOX RST N° 01	3858.62	3854.40	2.50%	1.20	0.75	0.78	0.82	4.97	5.00	5.04	0.25	0.39	0.61	4.72	4.61	4.43	3859.12	3859.01	3858.83
DROP BOX RST N° 01	DROP BOX RST N° 02	3852.40	3842.11	2.50%	0.90	0.56	0.59	0.62	10.85	10.88	10.91	0.61	0.95	1.48	10.24	9.92	9.42	3852.35	3852.03	3851.53
DROP BOX RST N° 02	DROP PIPE RST N° 01	3840.11	3839.70	2.50%	0.90	0.56	0.59	0.62	0.97	1.00	1.03	0.02	0.04	0.06	0.95	0.96	0.97	3840.65	3840.66	3840.67
DROP PIPE RST N° 01	DROP PIPE RST N° 02	3834.60	3833.86	2.50%	0.20	0.12	0.13	0.14	0.86	0.87	0.87	0.04	0.07	0.11	0.82	0.80	0.77	3834.68	3834.66	3834.63
DROP PIPE RST N° 02	DROP PIPE RST N° 03	3828.76	3828.42	2.50%	0.20	0.12	0.13	0.14	0.47	0.48	0.48	0.02	0.03	0.05	0.45	0.44	0.43	3828.86	3828.86	3828.85
DROP PIPE RST N° 03	DROP PIPE RST N° 04	3823.32	3823.18	2.50%	0.20	0.12	0.13	0.14	0.26	0.27	0.28	0.01	0.01	0.02	0.26	0.26	0.26	3823.43	3823.43	3823.43
DROP PIPE RST N° 04	DROP PIPE RST N° 05	3818.08	3817.91	2.50%	0.20	0.12	0.13	0.14	0.29	0.30	0.30	0.01	0.02	0.02	0.28	0.28	0.28	3818.19	3818.19	3818.19
DROP PIPE RST N° 05	DROP PIPE RST N° 06	3812.81	3812.63	2.50%	0.20	0.12	0.13	0.14	0.31	0.31	0.32	0.01	0.02	0.03	0.29	0.29	0.29	3812.92	3812.92	3812.92
DROP PIPE RST N° 06	DROP PIPE RST N° 07	3807.53	3807.45	2.50%	0.20	0.12	0.13	0.14	0.20	0.21	0.21	0.00	0.01	0.01	0.20	0.20	0.20	3807.65	3807.65	3807.66
DROP PIPE RST N° 07	DROP PIPE RST N° 08	3802.35	3802.22	2.50%	0.20	0.12	0.13	0.14	0.25	0.26	0.26	0.01	0.01	0.02	0.24	0.25	0.25	3802.47	3802.47	3802.47
DROP PIPE RST N° 08	DROP PIPE RST N° 09	3797.12	3796.89	2.50%	0.20	0.12	0.13	0.14	0.36	0.36	0.37	0.01	0.02	0.03	0.34	0.34	0.34	3797.23	3797.23	3797.23
DROP PIPE RST N° 09	DROP PIPE RST N° 10	3791.79	3791.53	2.50%	0.20	0.12	0.13	0.14	0.39	0.39	0.40	0.02	0.02	0.04	0.37	0.37	0.36	3791.90	3791.90	3791.89
DROP PIPE RST N° 10	DROP PIPE RST N° 11	3786.43	3786.14	2.50%	0.20	0.12	0.13	0.14	0.41	0.42	0.42	0.02	0.03	0.04	0.39	0.39	0.38	3786.54	3786.53	3786.53
DROP PIPE RST N° 11	DROP PIPE RST N° 12	3781.04	3780.63	2.50%	0.20	0.12	0.13	0.14	0.54	0.54	0.55	0.02	0.04	0.06	0.51	0.50	0.49	3781.14	3781.14	3781.12
DROP PIPE RST N° 12	PIV 01	3775.53	3768.71	2.50%	0.00	0.00	0.00	0.00	7.36	7.36	7.37	0.40	0.63	0.98	6.95	6.73	6.39	3775.67	3775.44	3775.10
PIV 01	PIV 02	3768.71	3759.11	8.00%	0.00	0.00	0.00	0.00	16.96	16.96	16.97	0.18	0.28	0.43	16.78	16.68	16.54	3775.89	3775.80	3775.65
PIV 02	PIV 03	3759.11	3746.51	7.00%	0.00	0.00	0.00	0.00	29.56	29.56	29.57	0.26	0.42	0.65	29.29	29.14	28.92	3775.80	3775.66	3775.43
PIV 03	PIV 04	3746.51	3731.56	6.50%	0.00	0.00	0.00	0.00	44.51	44.51	44.52	0.34	0.53	0.83	44.17	43.98	43.69	3775.73	3775.54	3775.25
PIV 04	PIV 05	3731.56	3728.56	2.50%	0.00	0.00	0.00	0.00	47.51	47.51	47.52	0.18	0.28	0.43	47.33	47.23	47.09	3775.89	3775.80	3775.65
PIV 05	PIV 06	3728.56	3726.26	1.00%	0.00	0.00	0.00	0.00	49.81	49.81	49.82	0.34	0.53	0.83	49.47	49.28	48.99	3775.73	3775.54	3775.25
PIV 06	PIV 07	3726.26	3728.26	-10.00%	0.00	0.00	0.00	0.00	47.81	47.81	47.82	0.03	0.05	0.07	47.78	47.77	47.75	3776.04	3776.03	3776.01
PIV 07	PIV 08	3728.26	3732.24	-30.00%	0.00	0.00	0.00	0.00	43.83	43.83	43.84	0.02	0.03	0.05	43.81	43.80	43.79	3776.05	3776.04	3776.03
PIV 08	PIV 09	3732.24	3732.24	0.00%	0.00	0.00	0.00	0.00	43.83	43.83	43.84	0.07	0.11	0.17	43.76	43.73	43.67	3776.00	3775.97	3775.91
PIV 09	PIV 10	3732.24	3734.24	-18.00%	0.00	0.00	0.00	0.00	41.83	41.83	41.84	0.02	0.03	0.04	41.81	41.81	41.80	3776.05	3776.05	3776.04
PIV 10	DESCARGA FINAL	3734.24	3734.24	0.00%	0.00	0.00	0.00	0.00	41.83	41.83	41.84	0.36	0.57	0.89	41.47	41.26	40.95	3775.71	3775.50	3775.19

Tabla N° 48: Presión Total de Operación de Diseño Ø 16" (RST - No Espesado).

PRESIONES TOTALES DE DISEÑO RELAVES ROUGHER SCAVENGER TAILINGS (NO ESPESADOS) - Ø 16"																				
DESCRIPCIÓN		COTAS (m.s.n.m.)		i (%)	PRESIÓN DE ARRANQUE Hr			PRESIÓN ESTÁTICA (m.c.pulpa)			H _f (m.c.pulpa)			PRESIÓN DINÁMICA (m.c.pulpa)			NIVEL PIEZOMÉTRICO (m.s.n.m)			
		INICIAL	FINAL		m.c.a	MÍNIMO	NORMAL	MÁXIMO	MÍNIMO	NORMAL	MÁXIMO	MÍNIMO	NORMAL	MÁXIMO	MÍNIMO	NORMAL	MÁXIMO	MÍNIMO	NORMAL	MÁXIMO
CAJÓN DE INICIO	DROP BOX RST N° 01	3858.62	3854.40	2.50%	1.20	0.95	0.97	0.98	5.17	5.19	5.20	0.78	1.20	1.79	4.39	3.98	3.41	3858.79	3858.38	3857.81
DROP BOX RST N° 01	DROP BOX RST N° 02	3852.40	3842.11	2.50%	0.90	0.71	0.72	0.74	11.00	11.01	11.02	1.90	2.93	4.36	9.10	8.08	6.67	3851.21	3850.19	3848.78
DROP BOX RST N° 02	DROP PIPE RST N° 01	3840.11	3839.70	2.50%	0.90	0.71	0.72	0.74	1.12	1.13	1.15	0.08	0.12	0.17	1.05	1.02	0.97	3840.75	3840.72	3840.67
DROP PIPE RST N° 01	DROP PIPE RST N° 02	3834.60	3833.86	2.50%	0.20	0.16	0.16	0.16	0.90	0.90	0.90	0.14	0.21	0.31	0.76	0.69	0.59	3834.62	3834.55	3834.45
DROP PIPE RST N° 02	DROP PIPE RST N° 03	3828.76	3828.42	2.50%	0.20	0.16	0.16	0.16	0.50	0.51	0.51	0.06	0.10	0.15	0.44	0.41	0.36	3828.86	3828.82	3828.78
DROP PIPE RST N° 03	DROP PIPE RST N° 04	3823.32	3823.18	2.50%	0.20	0.16	0.16	0.16	0.30	0.30	0.30	0.03	0.04	0.06	0.27	0.26	0.24	3823.45	3823.44	3823.42
DROP PIPE RST N° 04	DROP PIPE RST N° 05	3818.08	3817.91	2.50%	0.20	0.16	0.16	0.16	0.32	0.33	0.33	0.03	0.05	0.07	0.29	0.28	0.26	3818.21	3818.19	3818.17
DROP PIPE RST N° 05	DROP PIPE RST N° 06	3812.81	3812.63	2.50%	0.20	0.16	0.16	0.16	0.34	0.34	0.34	0.03	0.05	0.08	0.31	0.29	0.27	3812.94	3812.92	3812.90
DROP PIPE RST N° 06	DROP PIPE RST N° 07	3807.53	3807.45	2.50%	0.20	0.16	0.16	0.16	0.24	0.24	0.24	0.01	0.02	0.03	0.22	0.22	0.21	3807.67	3807.67	3807.66
DROP PIPE RST N° 07	DROP PIPE RST N° 08	3802.35	3802.22	2.50%	0.20	0.16	0.16	0.16	0.29	0.29	0.29	0.02	0.04	0.05	0.26	0.25	0.24	3802.49	3802.48	3802.46
DROP PIPE RST N° 08	DROP PIPE RST N° 09	3797.12	3796.89	2.50%	0.20	0.16	0.16	0.16	0.39	0.39	0.40	0.04	0.07	0.10	0.35	0.33	0.30	3797.24	3797.22	3797.19
DROP PIPE RST N° 09	DROP PIPE RST N° 10	3791.79	3791.53	2.50%	0.20	0.16	0.16	0.16	0.42	0.42	0.42	0.05	0.07	0.11	0.37	0.35	0.31	3791.90	3791.88	3791.84
DROP PIPE RST N° 10	DROP PIPE RST N° 11	3786.43	3786.14	2.50%	0.20	0.16	0.16	0.16	0.45	0.45	0.45	0.05	0.08	0.12	0.39	0.37	0.33	3786.54	3786.51	3786.47
DROP PIPE RST N° 11	DROP PIPE RST N° 12	3781.04	3780.63	2.50%	0.20	0.16	0.16	0.16	0.57	0.57	0.58	0.08	0.12	0.17	0.49	0.46	0.40	3781.13	3781.09	3781.03
DROP PIPE RST N° 12	PIV 01	3775.53	3768.71	2.50%	0.00	0.00	0.00	0.00	7.39	7.39	7.39	1.26	1.94	2.89	6.13	5.45	4.51	3774.84	3774.16	3773.22
PIV 01	PIV 02	3768.71	3759.11	8.00%	0.00	0.00	0.00	0.00	16.99	16.99	16.99	0.55	0.85	1.27	16.43	16.14	15.72	3775.55	3775.25	3774.84
PIV 02	PIV 03	3759.11	3746.51	7.00%	0.00	0.00	0.00	0.00	29.59	29.59	29.59	0.83	1.28	1.91	28.76	28.31	27.69	3775.27	3774.82	3774.20
PIV 03	PIV 04	3746.51	3731.56	6.50%	0.00	0.00	0.00	0.00	44.54	44.54	44.54	1.06	1.64	2.43	43.48	42.90	42.11	3775.04	3774.47	3773.67
PIV 04	PIV 05	3731.56	3728.56	2.50%	0.00	0.00	0.00	0.00	47.54	47.54	47.54	0.55	0.85	1.27	46.98	46.69	46.27	3775.55	3775.25	3774.84
PIV 05	PIV 06	3728.56	3726.26	1.00%	0.00	0.00	0.00	0.00	49.84	49.84	49.84	1.06	1.64	2.43	48.78	48.20	47.41	3775.04	3774.47	3773.67
PIV 06	PIV 07	3726.26	3728.26	-10.00%	0.00	0.00	0.00	0.00	47.84	47.84	47.84	0.09	0.14	0.21	47.75	47.70	47.63	3776.01	3775.96	3775.89
PIV 07	PIV 08	3728.26	3732.24	-30.00%	0.00	0.00	0.00	0.00	43.86	43.86	43.87	0.06	0.09	0.14	43.80	43.77	43.73	3776.04	3776.01	3775.97
PIV 08	PIV 09	3732.24	3732.24	0.00%	0.00	0.00	0.00	0.00	43.86	43.86	43.87	0.22	0.33	0.49	43.65	43.53	43.37	3775.89	3775.77	3775.61
PIV 09	PIV 10	3732.24	3734.24	-18.00%	0.00	0.00	0.00	0.00	41.86	41.86	41.87	0.05	0.08	0.12	41.81	41.78	41.75	3776.05	3776.02	3775.99
PIV 10	DESCARGA FINAL	3734.24	3734.24	0.00%	0.00	0.00	0.00	0.00	41.86	41.86	41.87	1.14	1.75	2.61	40.72	40.11	39.26	3774.96	3774.35	3773.50

Tabla N° 49: Presión Total de Operación de Diseño y Existente Ø 18" (RST – Espesado).

PRESIONES TOTALES DE DISEÑO RELAVES ROUGHER SCAVENGER TAILINGS (ESPESADOS) - Ø 18"																				
DESCRIPCIÓN		COTAS (m.s.n.m.)		i (%)	PRESIÓN DE ARRANQUE Hr			PRESIÓN ESTÁTICA (m.c.pulpa)			H _f (m.c.pulpa)			PRESIÓN DINÁMICA (m.c.pulpa)			NIVEL PIEZOMÉTRICO (m.s.n.m)			
					m.c.a	MÍNIMO	NORMAL	MÁXIMO	MÍNIMO	NORMAL	MÁXIMO	MÍNIMO	NORMAL	MÁXIMO	MÍNIMO	NORMAL	MÁXIMO	MÍNIMO	NORMAL	MÁXIMO
DE	A	INICIAL	FINAL			m.c.pulpa	m.c.pulpa	m.c.pulpa	MÍNIMO	NORMAL	MÁXIMO	MÍNIMO	NORMAL	MÁXIMO	MÍNIMO	NORMAL	MÁXIMO	MÍNIMO	NORMAL	MÁXIMO
CAJÓN DE INICIO RST	DROP BOX RST N° 01	3858.62	3854.40	2.50%	1.20	0.75	0.78	0.82	4.97	5.00	5.04	0.14	0.22	0.34	4.83	4.78	4.70	3859.22	3859.18	3859.10
DROP BOX RST N° 01	DROP BOX RST N° 02	3852.40	3842.11	2.50%	0.90	0.56	0.59	0.62	10.85	10.88	10.91	0.34	0.54	0.84	10.50	10.33	10.06	3852.61	3852.44	3852.17
DROP BOX RST N° 02	DROP PIPE RST N° 01	3840.11	3839.70	2.50%	0.90	0.56	0.59	0.62	0.97	1.00	1.03	0.01	0.02	0.03	0.96	0.98	0.99	3840.66	3840.68	3840.69
DROP PIPE RST N° 01	DROP PIPE RST N° 02	3834.60	3833.86	2.50%	0.23	0.14	0.15	0.16	0.88	0.89	0.90	0.02	0.04	0.06	0.86	0.85	0.84	3834.72	3834.71	3834.70
DROP PIPE RST N° 02	DROP PIPE RST N° 03	3828.76	3828.42	2.50%	0.23	0.14	0.15	0.16	0.49	0.50	0.50	0.01	0.02	0.03	0.48	0.48	0.47	3828.89	3828.89	3828.89
DROP PIPE RST N° 03	DROP PIPE RST N° 04	3823.32	3823.18	2.50%	0.23	0.14	0.15	0.16	0.28	0.29	0.30	0.00	0.01	0.01	0.28	0.28	0.29	3823.45	3823.46	3823.46
DROP PIPE RST N° 04	DROP PIPE RST N° 05	3818.08	3817.91	2.50%	0.23	0.14	0.15	0.16	0.31	0.32	0.32	0.01	0.01	0.01	0.30	0.31	0.31	3818.22	3818.22	3818.22
DROP PIPE RST N° 05	DROP PIPE RST N° 06	3812.81	3812.63	2.50%	0.23	0.14	0.15	0.16	0.32	0.33	0.34	0.01	0.01	0.01	0.32	0.32	0.32	3812.95	3812.95	3812.95
DROP PIPE RST N° 06	DROP PIPE RST N° 07	3807.53	3807.45	2.50%	0.23	0.14	0.15	0.16	0.22	0.23	0.24	0.00	0.00	0.01	0.22	0.22	0.23	3807.67	3807.68	3807.68
DROP PIPE RST N° 07	DROP PIPE RST N° 08	3802.35	3802.22	2.50%	0.23	0.14	0.15	0.16	0.27	0.28	0.29	0.00	0.01	0.01	0.27	0.27	0.27	3802.49	3802.50	3802.50
DROP PIPE RST N° 08	DROP PIPE RST N° 09	3797.12	3796.89	2.50%	0.23	0.14	0.15	0.16	0.38	0.38	0.39	0.01	0.01	0.02	0.37	0.37	0.37	3797.26	3797.26	3797.26
DROP PIPE RST N° 09	DROP PIPE RST N° 10	3791.79	3791.53	2.50%	0.23	0.14	0.15	0.16	0.40	0.41	0.42	0.01	0.01	0.02	0.40	0.40	0.40	3791.93	3791.93	3791.93
DROP PIPE RST N° 10	DROP PIPE RST N° 11	3786.43	3786.14	2.50%	0.23	0.14	0.15	0.16	0.43	0.44	0.44	0.01	0.02	0.02	0.42	0.42	0.42	3786.56	3786.57	3786.56
DROP PIPE RST N° 11	DROP PIPE RST N° 12	3781.04	3780.63	2.50%	0.23	0.14	0.15	0.16	0.55	0.56	0.57	0.01	0.02	0.03	0.54	0.54	0.54	3781.17	3781.17	3781.17
DROP PIPE RST N° 12	PIV 01	3775.53	3768.71	2.50%	0.00	0.00	0.00	0.00	7.37	7.38	7.39	0.23	0.36	0.56	7.15	7.02	6.83	3775.86	3775.73	3775.54
PIV 01	PIV 02	3768.71	3759.11	8.00%	0.00	0.00	0.00	0.00	16.97	16.98	16.99	0.10	0.16	0.25	16.87	16.82	16.74	3775.99	3775.94	3775.86
PIV 02	PIV 03	3759.11	3746.51	7.00%	0.00	0.00	0.00	0.00	29.57	29.58	29.59	0.15	0.24	0.37	29.42	29.34	29.22	3775.94	3775.86	3775.73
PIV 03	PIV 04	3746.51	3731.56	6.50%	0.00	0.00	0.00	0.00	44.52	44.53	44.54	0.19	0.30	0.47	44.33	44.23	44.07	3775.89	3775.79	3775.63
PIV 04	PIV 05	3731.56	3728.56	2.50%	0.00	0.00	0.00	0.00	47.52	47.53	47.54	0.10	0.16	0.25	47.42	47.37	47.29	3775.99	3775.94	3775.86
PIV 05	PIV 06	3728.56	3726.26	1.00%	0.00	0.00	0.00	0.00	49.82	49.83	49.84	0.19	0.30	0.47	49.63	49.53	49.37	3775.89	3775.79	3775.63
PIV 06	PIV 07	3726.26	3728.26	-10.00%	0.00	0.00	0.00	0.00	47.82	47.83	47.84	0.02	0.03	0.04	47.81	47.80	47.80	3776.07	3776.07	3776.06
PIV 07	PIV 08	3728.26	3732.24	-30.00%	0.00	0.00	0.00	0.00	43.85	43.85	43.86	0.01	0.02	0.03	43.83	43.84	43.83	3776.07	3776.08	3776.07
PIV 08	PIV 09	3732.24	3732.24	0.00%	0.00	0.00	0.00	0.00	43.85	43.85	43.86	0.04	0.06	0.10	43.81	43.79	43.76	3776.05	3776.03	3776.00
PIV 09	PIV 10	3732.24	3734.24	-18.00%	0.00	0.00	0.00	0.00	41.85	41.85	41.86	0.01	0.01	0.02	41.84	41.84	41.84	3776.08	3776.08	3776.08
PIV 10	DESCARGA FINAL	3734.24	3734.24	0.00%	0.00	0.00	0.00	0.00	41.85	41.85	41.86	0.21	0.32	0.50	41.64	41.53	41.36	3775.88	3775.77	3775.60

Tabla N° 50: Presión Total de Operación de Diseño Ø 18" (RST - No Espesado).

PRESIONES TOTALES DE DISEÑO RELAVES ROUGHER SCAVENGER TAILINGS (NO ESPESADOS) - Ø 18"																				
DESCRIPCIÓN		COTAS (m.s.n.m.)		i (%)	PRESIÓN DE ARRANQUE Hr			PRESIÓN ESTÁTICA			H _f (m.c.pulpa)			PRESIÓN DINÁMICA			NIVEL PIEZOMÉTRICO			
					m.c.a	MÍNIMO	NORMAL	MÁXIMO	(m.c.pulpa)			(m.c.pulpa)			(m.s.n.m)					
						m.c.pulpa	m.c.pulpa	m.c.pulpa	MÍNIMO	NORMAL	MÁXIMO	MÍNIMO	NORMAL	MÁXIMO	MÍNIMO	NORMAL	MÁXIMO			
DE	A	INICIAL	FINAL																	
CAJÓN DE INICIO RST	DROP BOX RST N° 01	3858.62	3854.40	2.50%	1.20	0.95	0.97	0.98	5.17	5.19	5.20	0.44	0.68	1.01	4.73	4.50	4.19	3859.13	3858.90	3858.59
DROP BOX RST N° 01	DROP BOX RST N° 02	3852.40	3842.11	2.50%	0.90	0.71	0.72	0.74	11.00	11.01	11.02	1.08	1.66	2.47	9.92	9.35	8.55	3852.03	3851.46	3850.66
DROP BOX RST N° 02	DROP PIPE RST N° 01	3840.11	3839.70	2.50%	0.90	0.71	0.72	0.74	1.12	1.13	1.15	0.04	0.07	0.10	1.08	1.07	1.05	3840.78	3840.77	3840.75
DROP PIPE RST N° 01	DROP PIPE RST N° 02	3834.60	3833.86	2.50%	0.23	0.18	0.19	0.19	0.92	0.92	0.93	0.08	0.12	0.18	0.84	0.80	0.75	3834.70	3834.67	3834.61
DROP PIPE RST N° 02	DROP PIPE RST N° 03	3828.76	3828.42	2.50%	0.23	0.18	0.19	0.19	0.53	0.53	0.53	0.04	0.06	0.08	0.49	0.47	0.45	3828.91	3828.89	3828.87
DROP PIPE RST N° 03	DROP PIPE RST N° 04	3823.32	3823.18	2.50%	0.23	0.18	0.19	0.19	0.32	0.32	0.33	0.01	0.02	0.03	0.31	0.30	0.29	3823.48	3823.48	3823.47
DROP PIPE RST N° 04	DROP PIPE RST N° 05	3818.08	3817.91	2.50%	0.23	0.18	0.19	0.19	0.35	0.35	0.35	0.02	0.03	0.04	0.33	0.32	0.31	3818.24	3818.24	3818.23
DROP PIPE RST N° 05	DROP PIPE RST N° 06	3812.81	3812.63	2.50%	0.23	0.18	0.19	0.19	0.36	0.37	0.37	0.02	0.03	0.04	0.34	0.34	0.33	3812.97	3812.97	3812.96
DROP PIPE RST N° 06	DROP PIPE RST N° 07	3807.53	3807.45	2.50%	0.23	0.18	0.19	0.19	0.26	0.26	0.27	0.01	0.01	0.02	0.25	0.25	0.25	3807.70	3807.70	3807.70
DROP PIPE RST N° 07	DROP PIPE RST N° 08	3802.35	3802.22	2.50%	0.23	0.18	0.19	0.19	0.31	0.31	0.32	0.01	0.02	0.03	0.30	0.29	0.29	3802.52	3802.52	3802.51
DROP PIPE RST N° 08	DROP PIPE RST N° 09	3797.12	3796.89	2.50%	0.23	0.18	0.19	0.19	0.41	0.42	0.42	0.02	0.04	0.06	0.39	0.38	0.36	3797.28	3797.27	3797.26
DROP PIPE RST N° 09	DROP PIPE RST N° 10	3791.79	3791.53	2.50%	0.23	0.18	0.19	0.19	0.44	0.45	0.45	0.03	0.04	0.06	0.42	0.40	0.39	3791.95	3791.93	3791.92
DROP PIPE RST N° 10	DROP PIPE RST N° 11	3786.43	3786.14	2.50%	0.23	0.18	0.19	0.19	0.47	0.47	0.47	0.03	0.05	0.07	0.44	0.43	0.41	3786.58	3786.57	3786.55
DROP PIPE RST N° 11	DROP PIPE RST N° 12	3781.04	3780.63	2.50%	0.23	0.18	0.19	0.19	0.59	0.60	0.60	0.04	0.07	0.10	0.55	0.53	0.50	3781.18	3781.16	3781.13
DROP PIPE RST N° 12	PIV 01	3775.53	3768.71	2.50%	0.00	0.00	0.00	0.00	7.41	7.42	7.42	0.72	1.10	1.64	6.70	6.31	5.78	3775.41	3775.02	3774.49
PIV 01	PIV 02	3768.71	3759.11	8.00%	0.00	0.00	0.00	0.00	17.01	17.02	17.02	0.31	0.49	0.72	16.70	16.53	16.30	3775.81	3775.64	3775.41
PIV 02	PIV 03	3759.11	3746.51	7.00%	0.00	0.00	0.00	0.00	29.61	29.62	29.62	0.47	0.73	1.08	29.14	28.89	28.54	3775.65	3775.40	3775.05
PIV 03	PIV 04	3746.51	3731.56	6.50%	0.00	0.00	0.00	0.00	44.56	44.57	44.57	0.60	0.93	1.38	43.96	43.64	43.19	3775.52	3775.20	3774.75
PIV 04	PIV 05	3731.56	3728.56	2.50%	0.00	0.00	0.00	0.00	47.56	47.57	47.57	0.31	0.49	0.72	47.25	47.08	46.85	3775.81	3775.64	3775.41
PIV 05	PIV 06	3728.56	3726.26	1.00%	0.00	0.00	0.00	0.00	49.86	49.87	49.87	0.60	0.93	1.38	49.26	48.94	48.49	3775.52	3775.20	3774.75
PIV 06	PIV 07	3726.26	3728.26	-10.00%	0.00	0.00	0.00	0.00	47.86	47.87	47.87	0.05	0.08	0.12	47.81	47.79	47.75	3776.07	3776.05	3776.01
PIV 07	PIV 08	3728.26	3732.24	-30.00%	0.00	0.00	0.00	0.00	43.89	43.89	43.89	0.03	0.05	0.08	43.85	43.83	43.81	3776.09	3776.07	3776.05
PIV 08	PIV 09	3732.24	3732.24	0.00%	0.00	0.00	0.00	0.00	43.89	43.89	43.89	0.12	0.19	0.28	43.76	43.70	43.61	3776.00	3775.94	3775.85
PIV 09	PIV 10	3732.24	3734.24	-18.00%	0.00	0.00	0.00	0.00	41.89	41.89	41.89	0.03	0.04	0.07	41.86	41.84	41.82	3776.10	3776.08	3776.06
PIV 10	DESCARGA FINAL	3734.24	3734.24	0.00%	0.00	0.00	0.00	0.00	41.89	41.89	41.89	0.65	1.00	1.48	41.24	40.89	40.41	3775.48	3775.13	3774.65

Ahora, con los Niveles Piezométricos de las Tabla N° 47 y N° 48, procedemos a trazar las líneas de energía dinámica, las mismas que se muestran en las Figuras N° 35 y N° 36, bajo un estado de Diseño Ø 16", para Relaves RST Espesados y No Espesados respectivamente.

De manera similar, con los Niveles Piezométricos de las Tabla N° 49 y N° 50, se procede a trazar las líneas de energía dinámica, las mismas que se muestran en las Figuras N° 37 y N° 38, bajo un estado de Diseño y Existente Ø 18", para Relaves RST Espesados y No Espesados respectivamente.

Figura N° 35: Diagrama de Presiones de Operación de Diseño Ø 16", para Diferentes Condiciones de Operación (RST - Espesado).

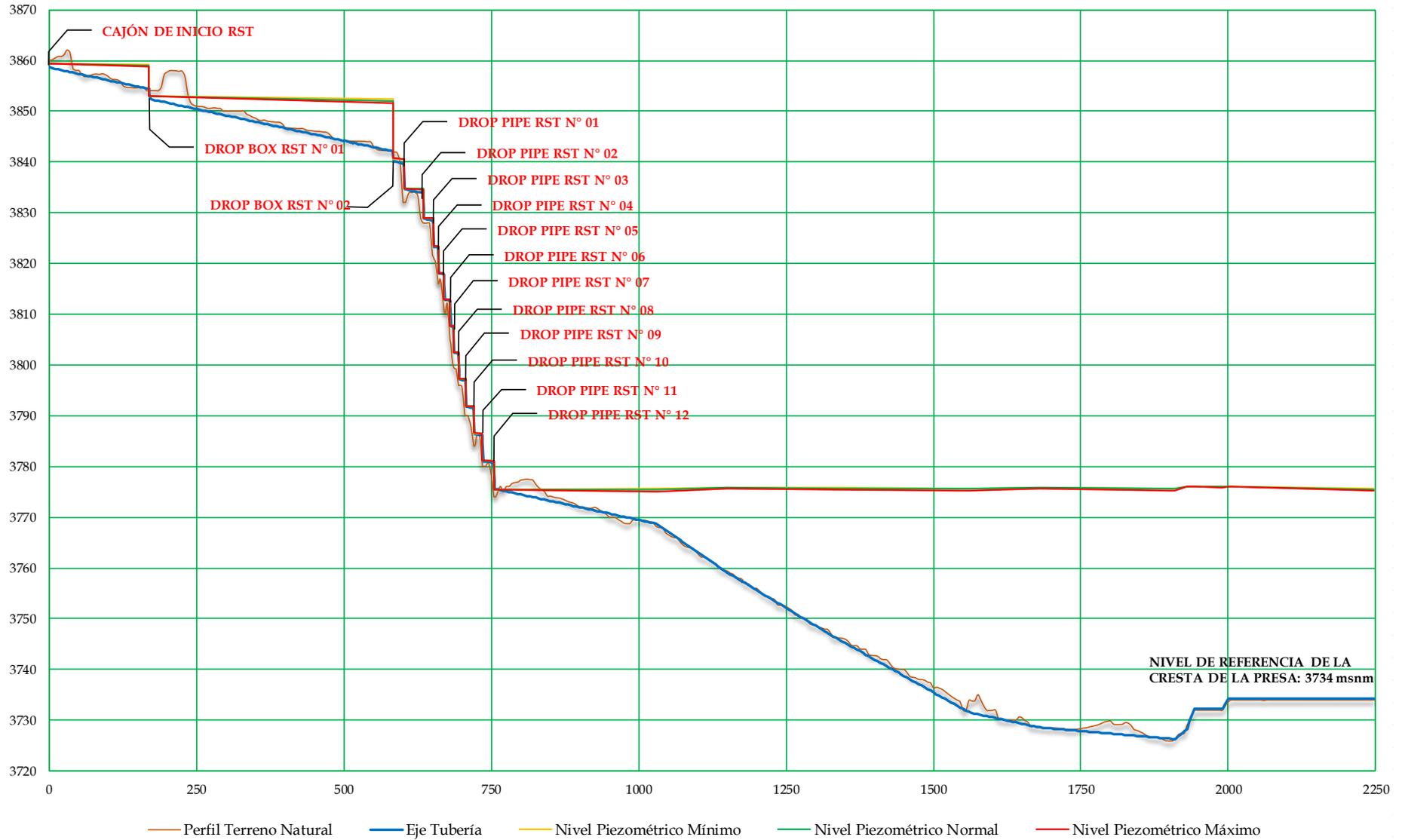


Figura N° 36: Diagrama de Presiones de Operación de Diseño Ø 16", para Diferentes Condiciones de Operación (RST – No Espesado).

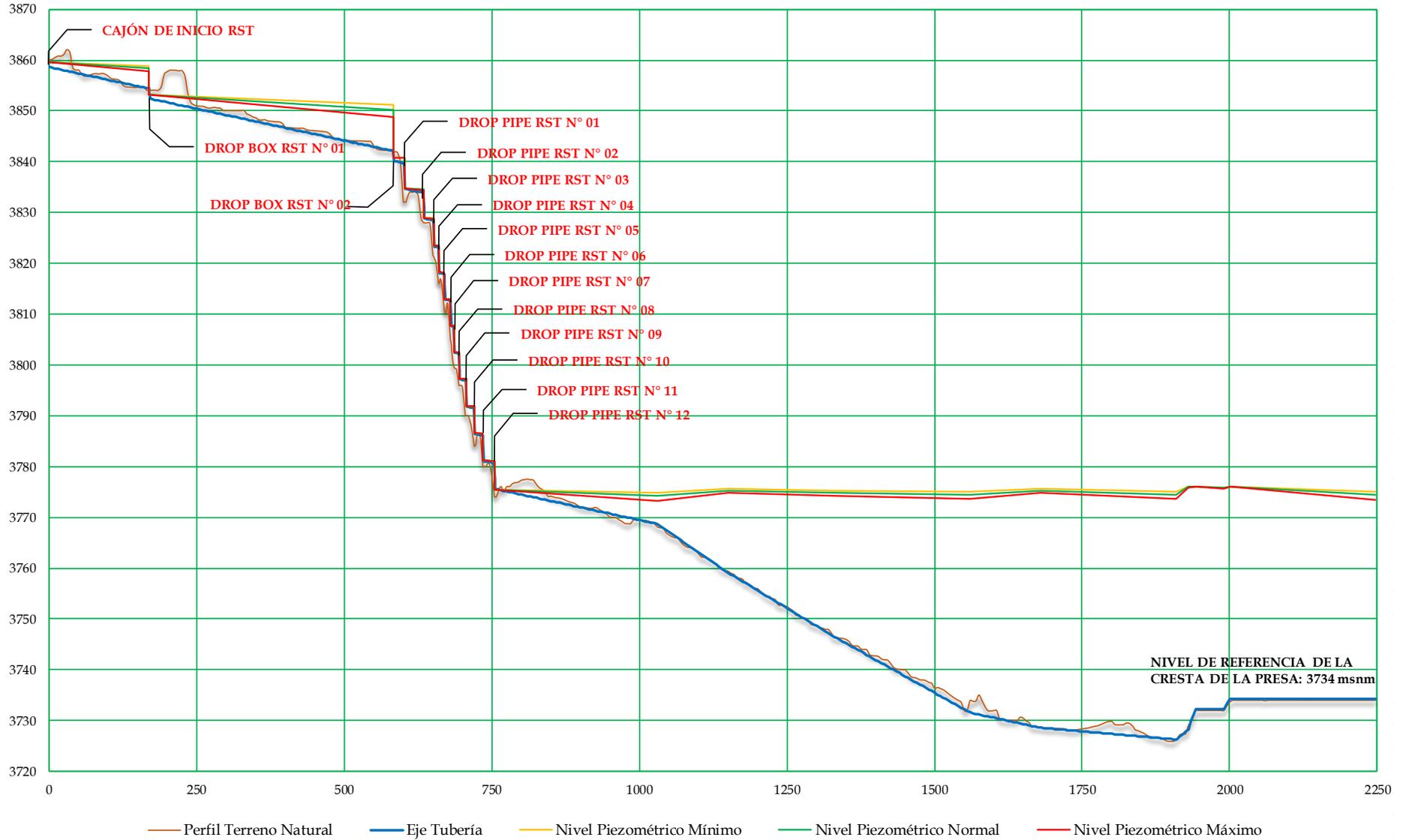


Figura N° 37: Diagrama de Presiones de Operación de Diseño y Existente Ø 18", para Diferentes Condiciones de Operación (RST - Espesado).

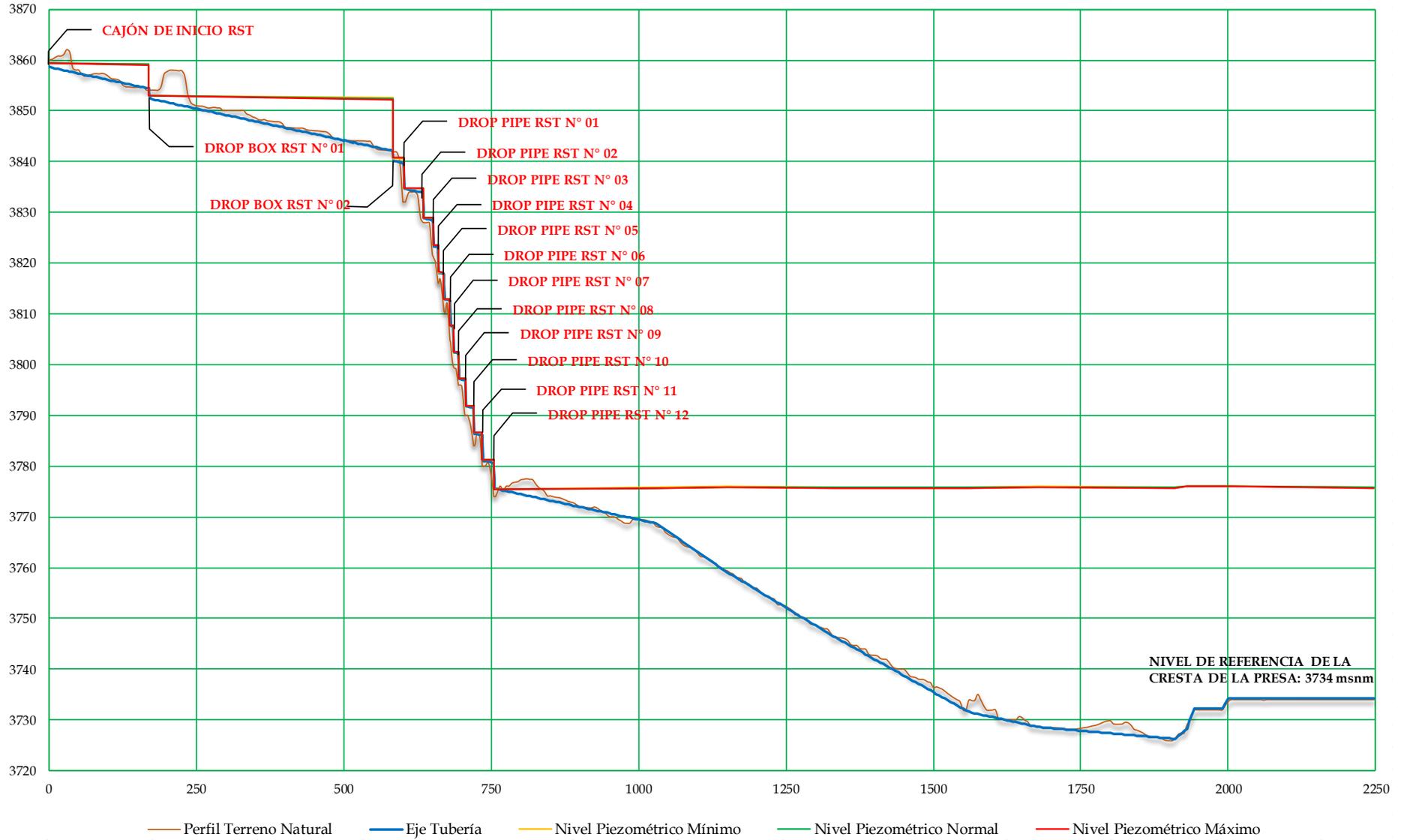
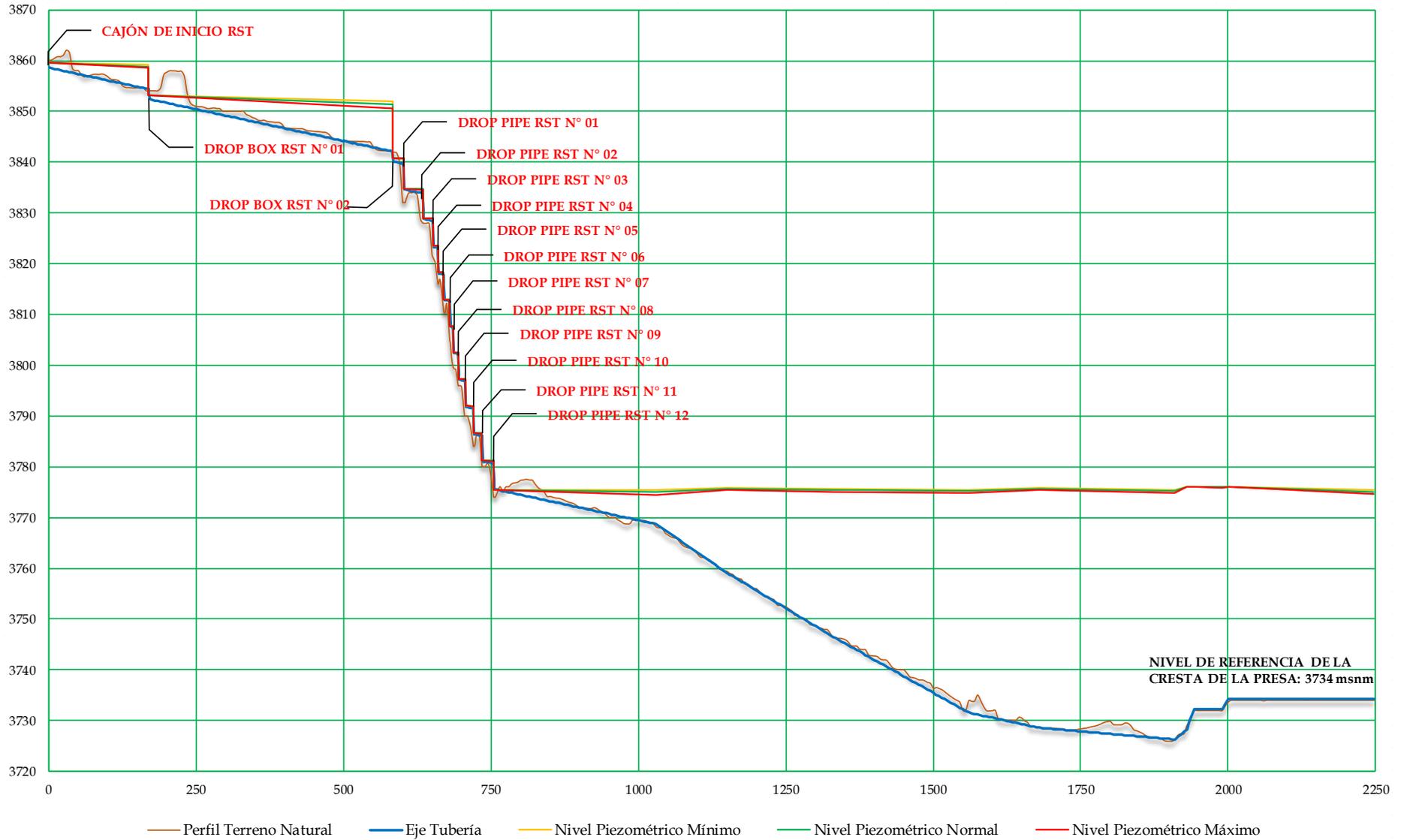


Figura N° 38: Diagrama de Presiones de Operación de Diseño y Existente Ø 18", para Diferentes Condiciones de Operación (RST – No Espesado).



B.6. Cálculo del Efecto Térmico en la Tubería.

Considerando que la tubería HDPE es del tipo flexible, se procederá a verificar que el efecto térmico y su interrelación con la variación longitudinal que exista, para ello usaremos la ecuación 77.

Dichos resultados se analizarán por tramos entre estructuras y PIVs existentes y se presentan en la Tabla N° 51, para Relaves RST Espesados y No Espesados, para lo cual se usa el coeficiente de expansión térmica del HDPE ($\alpha=2.00 \times 10^{-4}$ (m/m) /°C) y una variación de temperatura según la Tabla N° 20 ($\Delta T=20^{\circ}\text{C} - (-1^{\circ}\text{C}) =21^{\circ}\text{C}$)

Tabla N° 51: Deformación por Efecto Térmico en la Tubería Existente

DEFORMACIÓN POR EFECTO TÉRMICO EN LA TUBERÍA HDPE Ø 16" - Ø 18"					
DESCRIPCIÓN		TRAMO		LONGITUD (m)	ΔL
DE	A	INICIAL	FINAL		m
CAJÓN DE INICIO RST	DROP BOX RST N° 01	0+00.00	0+168.85	168.85	0.709
DROP BOX RST N° 01	DROP BOX RST N° 02	0+171.25	0+582.81	411.56	1.729
DROP BOX RST N° 02	DROP PIPE RST N° 01	0+585.21	0+601.60	16.39	0.069
DROP PIPE RST N° 01	DROP PIPE RST N° 02	0+604.68	0+634.22	29.54	0.124
DROP PIPE RST N° 02	DROP PIPE RST N° 03	0+637.29	0+651.10	13.81	0.058
DROP PIPE RST N° 03	DROP PIPE RST N° 04	0+654.17	0+659.72	5.55	0.023
DROP PIPE RST N° 04	DROP PIPE RST N° 05	0+662.79	0+669.45	6.66	0.028
DROP PIPE RST N° 05	DROP PIPE RST N° 06	0+672.53	0+679.78	7.25	0.030
DROP PIPE RST N° 06	DROP PIPE RST N° 07	0+682.85	0+685.97	3.12	0.013
DROP PIPE RST N° 07	DROP PIPE RST N° 08	0+689.04	0+694.17	5.13	0.022
DROP PIPE RST N° 08	DROP PIPE RST N° 09	0+697.24	0+706.54	9.30	0.039
DROP PIPE RST N° 09	DROP PIPE RST N° 10	0+709.61	0+720.05	10.44	0.044
DROP PIPE RST N° 10	DROP PIPE RST N° 11	0+723.13	0+734.62	11.49	0.048
DROP PIPE RST N° 11	DROP PIPE RST N° 12	0+737.7	0+754.18	16.48	0.069
DROP PIPE RST N° 12	PIV 01	0+757.25	1+030.00	272.75	1.146
PIV 01	PIV 02	1+030.00	1+150.00	120.00	0.504
PIV 02	PIV 03	1+150.00	1+330.00	180.00	0.756
PIV 03	PIV 04	1+330.00	1+560.00	230.00	0.966
PIV 04	PIV 05	1+560.00	1+680.00	120.00	0.504
PIV 05	PIV 06	1+680.00	1+910.00	230.00	0.966
PIV 06	PIV 07	1+910.00	1+930.00	20.00	0.084
PIV 07	PIV 08	1+930.00	1+943.26	13.26	0.056
PIV 08	PIV 09	1+943.26	1+990.00	46.74	0.196
PIV 09	PIV 10	1+990.00	2+001.11	11.11	0.047
PIV 10	DESCARGA FINAL	2+001.11	2+247.29	246.18	1.034

b.3. VERIFICACIÓN DE LA ADECUADA CONFIGURACIÓN DEL SUBSISTEMA CLEANER SCAVENGER TAILINGS.

A. Consideraciones Generales.

El plano CHSDR_RST_PCC DR-01, muestra la ruta final de la disposición Cleaner Scavenger Tailings, con las mismas consideraciones operacionales descritas anteriormente. Dicha disposición inicia en el DROP BOX CST N° 01, que viene a ser una caja de transferencia y que consta de un volumen de almacenamiento de 4.8 m³; y en donde la presión se anula, para comenzar nuevamente a acumular carga hidráulica hasta las siguientes estructuras: DROP BOX CST N° 01 y DROP BOX CST N° 02 con un volumen de almacenamiento igual al anterior, anulando la presión de operación a cero consecutivamente, según diseño original.

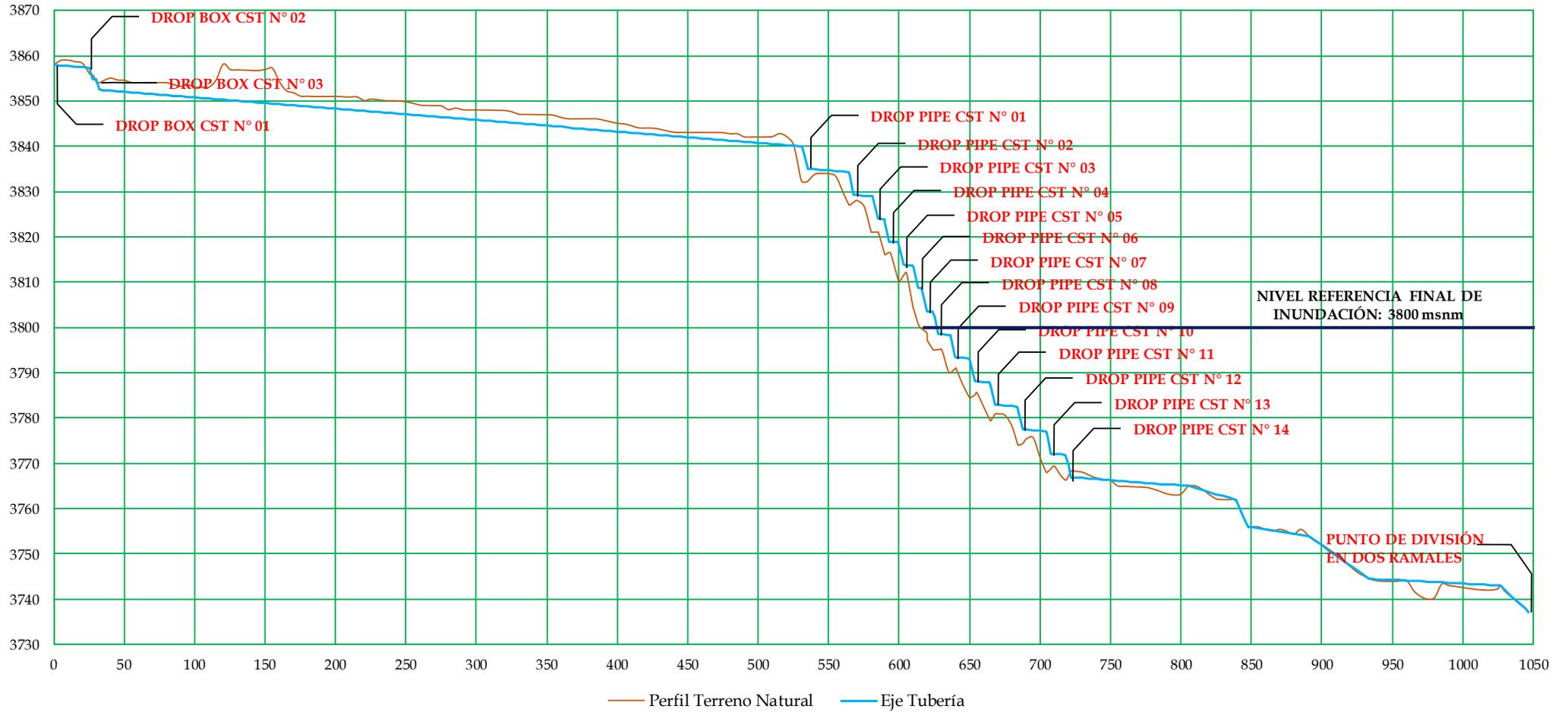
Luego, antes de su disposición sumergida en el Depósito de Relaves, los relaves CST, atraviesan una serie de estructuras disipadoras de energía (DROP PIPE N° 01 al DROP PIPE N° 14) que cuentan con un volumen de almacenamiento de 15.3 m³, y que a diferencia de los DROP BOX CST, no solo disipan energía y anulan la presión de servicio, sino, que se encargan de normalizar el tipo de régimen de flujo, haciendo que la velocidad límite sea la adecuada y que la entrega final en las tuberías de salida de cada ramal no sea muy turbulenta.

B. Configuración del Subsistema Cleaner Scavenger Tailings.

Teniendo en cuenta el trazo presentado en el plano CHSDR_RST_PCC DR-01, con sus respectivos planos a detalle, el esquema operativo del plano CHSDR_RST_PCC DP-01 y en función del cronograma de crecimiento de la presa, se puede observar en la Figura N° 39 que la distribución de las estructuras existentes CST, son las adecuadas toda vez que obedecen a un adecuado cronograma de crecimiento de la presa hasta su nivel final de 3800 msnm, y cuyas estructuras deberán retirarse progresivamente conforme se incrementa el nivel de inundación.

Finalmente, es de mencionar que la verificación hidráulica del presente subsistema podrá realizarse siguiendo la misma metodología presentada que para el subsistema Rougher Scavenger Tailings.

Figura N° 39: Perfil Longitudinal de Superficie y Eje de Tubería de Disposición de Relaves Cleaner Scavenger Tailings.



b.4. VERIFICACIÓN DE LA ADECUADA CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA DE EMERGENCIA DE DESCARGA DIRECTA.

A. Consideraciones Generales.

El plano CHSDR_RST_PCC DR-01, el mismo que muestra la actual ruta del Sistema Auxiliar de Descarga Directa.

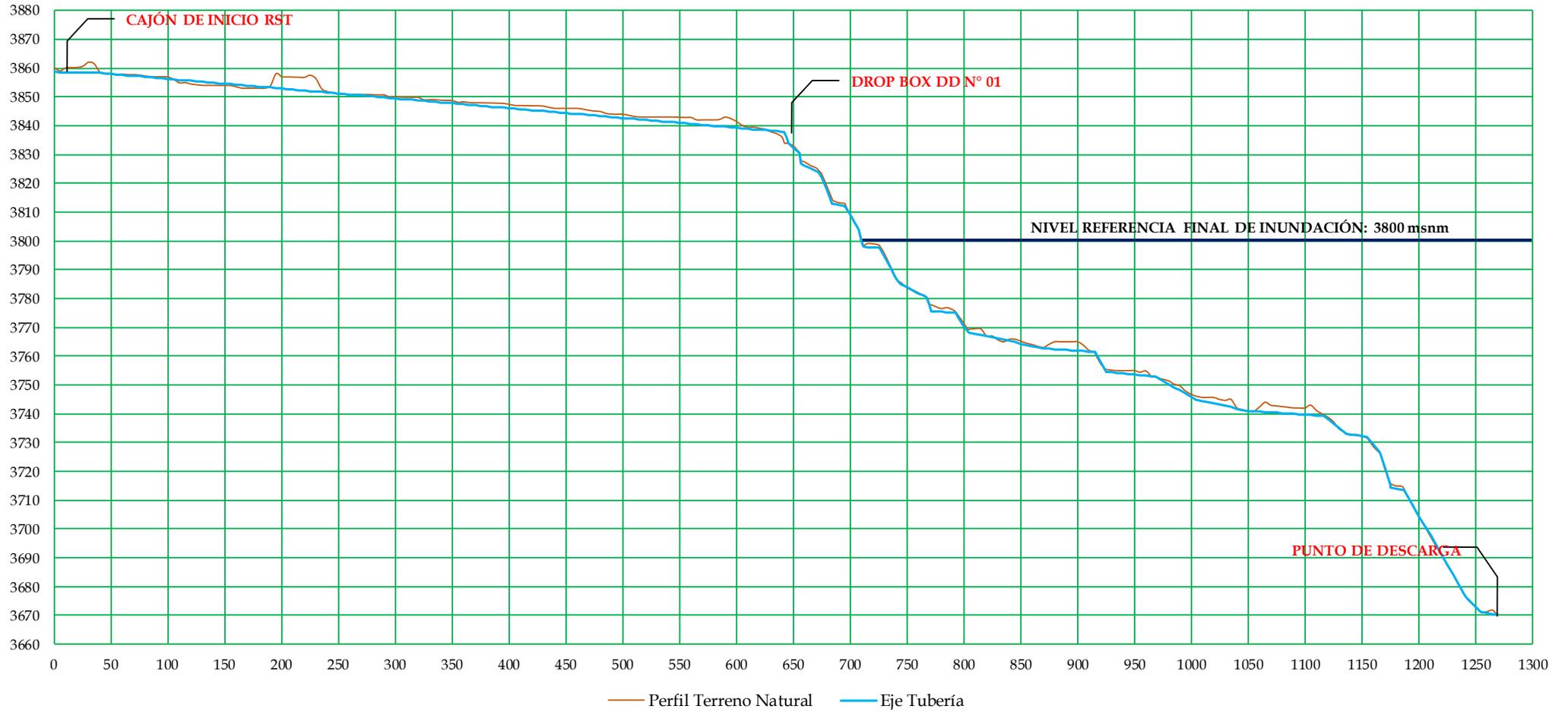
Además, como se mencionó anteriormente, la disposición del mismo inicia en el Cajón de Inicio RST (Segunda Cámara), conduciéndose el flujo por una tubería a presión en dos tramos, con pendientes de 1 % en los primeros 40.00 m y 3.4 % hasta llegar a la Caja de Transferencia (DROP BOX DD N° 01) y que cuenta con un volumen de almacenamiento de 4.8 m³., anulándose la presión a cero, para luego retomar su recorrido con tan solo una altura hidráulica de pulpa de aproximadamente de 0.90 m.; y en donde dicha caja de transferencia también está conectada y apta para recibir flujo directo del Sistema CST, al accionar la válvula de cierre del DROP PIPE CST N° 01, descargándose relave a partir del DROP BOX DD N° 01, directamente hacia la presa, teniendo al igual que el subsistema CST, una descarga sumergida para evitar la generación de ácidos.

B. Configuración del Sistema Cleaner Scavenger Tailings.

Teniendo en cuenta el trazo presentado en el plano CHSDR_RST_PCC DR-01, con sus respectivos planos a detalle, el esquema operativo del plano CHSDR_RST_PCC DP-01 y en función del cronograma de crecimiento de la presa, se puede observar en la Figura N° 40 que solo se cuenta con una sola estructura luego del inicio en la segunda cámara de la Caja RST, y que es el Drop Box DD N° 01, el mismo que está sobre el nivel esperado de crecimiento de la presa de relaves de 3800 msnm, por consiguiente la operatividad del sistema en el tiempo deberá obedecer a la evaluación de las demandas de producción de relaves de los subsistemas CST y RST, ya que son los que contribuyen a su conceptualización.

Finalmente, es de mencionar que la verificación hidráulica del presente sistema podrá realizarse siguiendo la misma metodología presentada que para el subsistema Rougher Scavenger Tailings.

Figura N° 40: Perfil Longitudinal de Superficie y Eje de Tubería del Sistema de Emergencia de Descarga Directa.



b.5. VERIFICACIÓN DEL SUBSISTEMA DE RECUPERACIÓN DE AGUA.

A. Consideraciones Generales.

Inicialmente se esperaba que el proceso de recuperación de agua, acarree bombear sólidos en suspensión, sin embargo, se preveo que este fenómeno no suceda, debido a que las concentraciones de sólidos acarrear desgastes prematuros en cuerpo de las bombas y en los impulsores, por ende, desde el inicio de las operaciones se instaló válvulas de pie con filtros que rodea la placa base y el cuerpo de la bomba; asimismo, con la ayuda de turbidímetros sumergidos ubicados en diferentes puntos de la presa, se consideró que las partículas en suspensión desaparecen conforme se llega al nivel del agua, conservando una altura de 8.00 m. por lo menos con respecto al fondo de la depositación, por lo tanto, se eliminó por completo el acarreo de sólidos y por consiguiente el diseño no contempla su acarreo.

El análisis de su estado parte desde su trazo en planta, así se tiene, que el plano CHSDR_RST_PCC DR-01, muestra la ruta definitiva para el proceso de recuperación de agua, con las consideraciones operacionales mencionadas anteriormente.

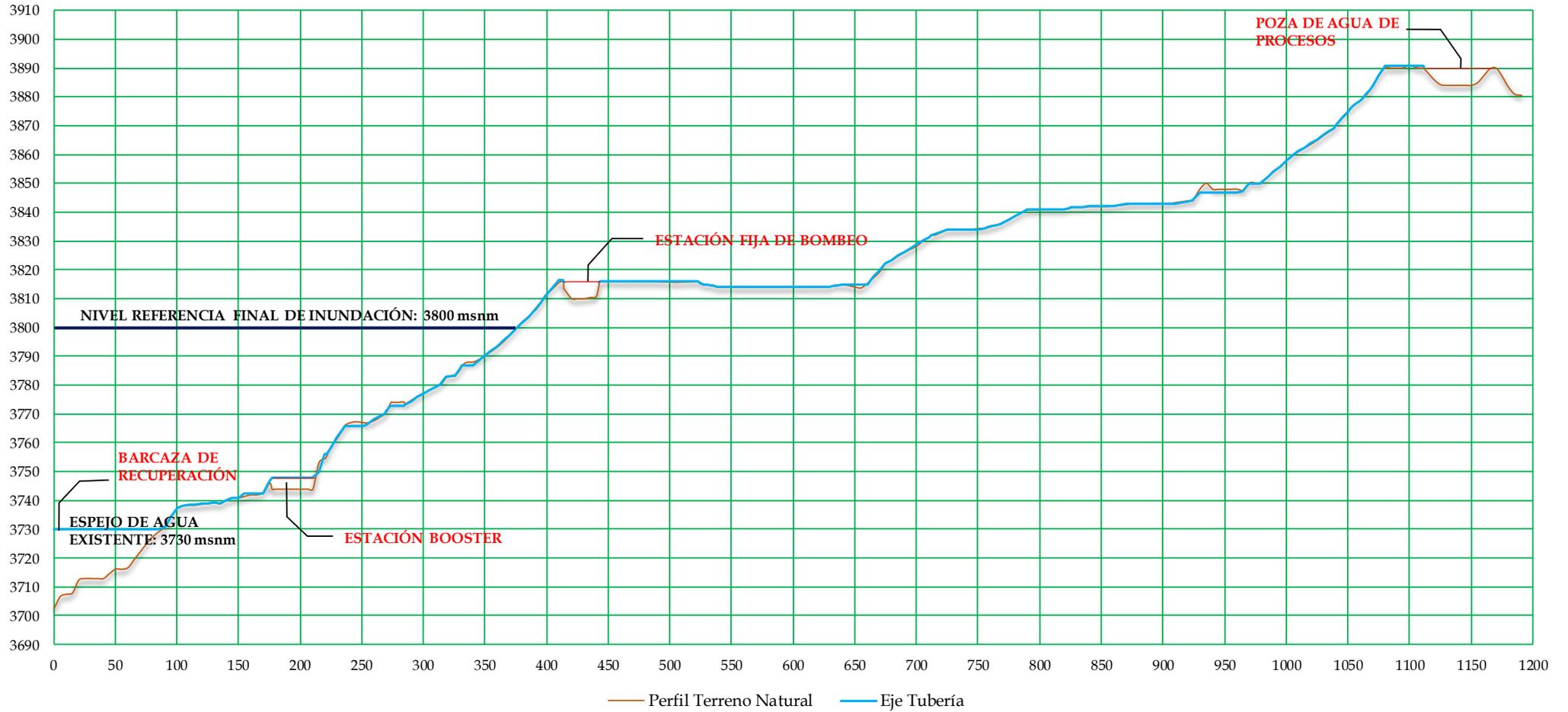
B. Configuración del Sistema Cleaner Scavenger Tailings.

El sistema cuenta con 03 áreas de bombeo, siendo la primera la barcaza de recuperación de agua, que bombea agua hacia el primer sistema de recuperación (Estación Booster), estando supedito a que este sea suprimido toda vez que el mismo está por debajo del nivel máximo de inundación de la presa de relaves, por ende, se recupera agua desde la barcaza móvil, hacia la estación fija y luego a la poza de agua de procesos, todo esto para devolver el agua recuperada hacia la planta concentradora.

La Figura N° 41 muestra a grandes rasgos la disposición de las estaciones de bombeo antes mencionadas, apreciándose que solo la Estación Booster será la que se vea afectada con el crecimiento de la presa.

Finalmente, es de mencionar que para la verificación hidráulica del presente sistema habrá que seguir los procesos convencionales para el diseño de estaciones de bombeo de agua, ya que el sistema no está contemplado para bombear sólidos, toda vez que estos son suprimidos al inicio del sistema.

Figura N° 41: Perfil Longitudinal de Superficie y Eje de Tubería del Subsistema de Recuperación de Agua.



CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. CARACTERIZACIÓN DE LA UNIDAD MINERA CERRO CORONA.

- Tipo de yacimiento mineral : Mineralización de cobre primario enriquecido en oro.
- Clasificación : Minería a Gran Escala.
- Tipo de explotación : Tajo Abierto.
- Tipo de procesamiento general : Planta Concentradora en Circuito Cerrado.
- Tipo de procesamiento de minerales : Por Concentración.
- Tipo de producción de relaves : Rougher Scavenger Tailings.
: Cleaner Scavenger Tailings.
- Producto final de la concentración : Concentrado de Cobre.

4.2. CICLO DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN GENERAL.

- Tipo de Chancado : Primario (Mineral Sizer)
- Tipo de Molienda : Molienda Semi-Autógena (SAG).
- Tipo de Remolienda Primaria : Con Molino Vertical (SMD).
- Tipo de Remolienda Final : Con Hidrociclones
- Número de Baterías de Hidrociclones : 02.
- Tipo de separación de partículas finas : Por flotación.
- Tipo de obtención del concentrado final : Por Espesamiento y Filtración.

4.3. CARACTERIZACIÓN DE LA PRESA DE RELAVES.

- Tipo de Implantación de la Presa : Depósito Cruzando Valles.
- Topografía del emplazamiento : Accidentado – Escarpado.
- Ubicación de la presa de relaves : Emplazamiento Transversal en los Valles Las Gordas y Las Águilas.
- Material de la presa de relaves : Tierra / Enrocado.
- Método de crecimiento : Línea Central.

- Método de construcción : Zonificado.
- Número de etapas de crecimiento : 16 (Año 15)
- Densidad Seca relave RST consolidado - Año 15 : 1.40 Ton/m³.
- Cota de diseño : 3734.00 msnm.
- Nivel del espejo de agua de diseño : 3730.00 msnm.
- Cota final de coronación : 3800.00 msnm.
- Cota final del espejo de agua : 3797.00 msnm.
- Altura máxima del terraplén : 195.00 m.
- Ancho de diseño de la coronación : 46.00 m.
- Altura promedio de crecimiento anual deseada : 9.00 m.
- Talud Aguas Abajo (V:H) : 1:1.4
- Talud Aguas Arriba (V:H) : Variable.
- Área final de la instalación : 150 Ha.
- Capacidad de total de almacenamiento de relaves : 90.3 - 100 M. Ton.
- Borde Libre mínimo durante operación : 5.00 m.
- Borde Libre al final del año 15 : 3.00 m.
- PH del agua depositada : 12
- Tipo de recuperación de agua : Bombeo.
- Número compuesto de diques : 03 (Las Gordas, Las Águilas, La Hierba)
- Optimización del Depósito de Relaves mediante : 04 Presas Subálveas de Bajo Volumen (LVU) - 02 Mantas de Contención (UCB - RCB)

4.4. CIRCUITOS DE FLOTACIÓN:

- Tipo de obtención de la flotación : Por Celdas de Flotación.
- Tipo de flotación : Flotación mediante Modificadores de PH.
- PH final de la pulpa : 11.00
- Material primario producido por el proceso : Concentrado Bulk de Calcopirita/Pirita (Rougher Scavenger Tailings)
- Número de etapas de limpieza : 04
- Flotación de limpieza en la cual se produce CST : Entre Primera Limpieza y Segunda Limpieza.

- Punto de entrega intermedia de los relaves RST : Espesador de Relaves.
- Punto de entrega intermedia de los relaves CST : Drop Box CST N° 01.
- Sub-productos de la Flotación Rougher : RST – Espesados.
RST – No Espesados.

4.5. EVALUACIÓN HIDRÁULICA Y FUNCIONAL DEL SUB-SISTEMA ROUGHER SCAVENGER TAILINGS.

- Topografía Existente : Accidentada.
- Pendiente de Diseño Existente Predominante : -2.50 %
- Número de Drop Box Existentes : 2
- Número de Drop Pipes Existentes : 12.
- Longitud de la Tubería Principal : 2247.29 m.
- Flujo de Relaves Mínimo (RST – Espesado) : 755 m³/h.
- Flujo de Relaves Nominal (RST – Espesado) : 1026 m³/h.
- Flujo de Relaves Máximo (RST – Espesado) : 1369 m³/h.
- Flujo de Relaves Mínimo (RST – No Espesado) : 1749 m³/h.
- Flujo de Relaves Nominal (RST – No Espesado) : 2243 m³/h.
- Flujo de Relaves Máximo (RST – No Espesado) : 2817 m³/h.
- Tipo de Flujo Transportado (Ambos) : Homogéneo.
- Tipo de Modelo Hidráulico Usado : Modelo de Oroskar y Turian.
- Máxima Altura Estática de Operación : 113.85 m.
- Presión de Operación Máxima : 1.36 MPa.
- Tipo y Clase de Tubería Principal : HDPE, SDR 11
- Resistencia de Operación Máxima de la Tubería : 1.40 Mpa.
- Diámetro de la Tubería de Diseño 01 : Ø 16”.
- Diámetro de la Tubería de Diseño 02 (Existente) : Ø 18”.
- Tipo de Régimen de Flujo de Diseño : Turbulento.
- Velocidad de Depositación en la Tubería de Diseño 01 con el Relave RST – Espesado.
 - ❖ $V_{\text{FLUJO MÍNIMO}}$: 0.820 m/seg.
 - ❖ $V_{\text{FLUJO MEDIO}}$: 1.033 m/seg.
 - ❖ $V_{\text{FLUJO MÁXIMO}}$: 1.243 m/seg.

- Velocidad de Depositación en la Tubería de Diseño 01 con el Relave RST – No Espesado
 - ❖ $V_{\text{FLUJO MÍNIMO}}$: 1.827 m/seg.
 - ❖ $V_{\text{FLUJO MEDIO}}$: 1.875 m/seg.
 - ❖ $V_{\text{FLUJO MÁXIMO}}$: 1.917 m/seg.
- Velocidad de Depositación en la Tubería de Diseño 02 (Existente) con el Relave RST – Espesado.
 - ❖ $V_{\text{FLUJO MÍNIMO}}$: 0.880 m/seg.
 - ❖ $V_{\text{FLUJO MEDIO}}$: 1.109 m/seg.
 - ❖ $V_{\text{FLUJO MÁXIMO}}$: 1.334 m/seg.
- Velocidad de Depositación en la Tubería Diseño 02 (Existente) con el Relave RST – No Espesado
 - ❖ $V_{\text{FLUJO MÍNIMO}}$: 1.961 m/seg.
 - ❖ $V_{\text{FLUJO MEDIO}}$: 2.012 m/seg.
 - ❖ $V_{\text{FLUJO MÁXIMO}}$: 2.057 m/seg.
- Velocidad de Operación en la Tubería de Diseño 01 con el Relave RST – Espesado.
 - ❖ $V_{\text{FLUJO MÍNIMO}}$: 1.617 m/seg.
 - ❖ $V_{\text{FLUJO MEDIO}}$: 2.198 m/seg.
 - ❖ $V_{\text{FLUJO MÁXIMO}}$: 2.932 m/seg.
- Velocidad de Operación en la Tubería de Diseño 01 con el Relave RST – No Espesado.
 - ❖ $V_{\text{FLUJO MÍNIMO}}$: 3.746 m/seg.
 - ❖ $V_{\text{FLUJO MEDIO}}$: 4.804 m/seg.
 - ❖ $V_{\text{FLUJO MÁXIMO}}$: 6.033 m/seg.
- Velocidad de Operación en la Tubería de Diseño 02 (Existente) con el Relave RST – Espesado.
 - ❖ $V_{\text{FLUJO MÍNIMO}}$: 1.278 m/seg.
 - ❖ $V_{\text{FLUJO MEDIO}}$: 1.737 m/seg.
 - ❖ $V_{\text{FLUJO MÁXIMO}}$: 2.316 m/seg.
- Velocidad de Operación en la Tubería de Diseño 02 (Existente) con el Relave RST – No Espesado.
 - ❖ $V_{\text{FLUJO MÍNIMO}}$: 2.960 m/seg.
 - ❖ $V_{\text{FLUJO MEDIO}}$: 3.796 m/seg.

- ❖ $V_{\text{FLUJO MÁXIMO}}$: 4.796 m/seg.
- Factor de Seguridad de Depositación en la Tubería de Diseño 01 con el Relave RST – Espesado.
 - ❖ $FS_{\text{FLUJO MÍNIMO}}$: 1.973 → Cumple
 - ❖ $FS_{\text{FLUJO MEDIO}}$: 2.128 → Cumple
 - ❖ $FS_{\text{FLUJO MÁXIMO}}$: 2.359 → Cumple
- Factor de Seguridad de Depositación en la Tubería de Diseño 01 con el Relave RST – No Espesado.
 - ❖ $FS_{\text{FLUJO MÍNIMO}}$: 1.827 → Cumple
 - ❖ $FS_{\text{FLUJO MEDIO}}$: 1.875 → Cumple
 - ❖ $FS_{\text{FLUJO MÁXIMO}}$: 1.917 → Cumple
- Factor de Seguridad de Depositación en la Tubería de Diseño 02 (Existente) con el Relave RST – Espesado.
 - ❖ $FS_{\text{FLUJO MÍNIMO}}$: 1.452 → Cumple
 - ❖ $FS_{\text{FLUJO MEDIO}}$: 1.567 → Cumple
 - ❖ $FS_{\text{FLUJO MÁXIMO}}$: 1.737 → Cumple
- Factor de Seguridad de Depositación en la Tubería Secundaria con el Relave RST – No Espesado.
 - ❖ $FS_{\text{FLUJO MÍNIMO}}$: 1.510 → Cumple
 - ❖ $FS_{\text{FLUJO MEDIO}}$: 1.886 → Cumple
 - ❖ $FS_{\text{FLUJO MÁXIMO}}$: 2.317 → Cumple
- Deformación por Efecto Térmico en la Tubería : Calculado.

4.6. EVALUACIÓN DE LA CONFIGURACIÓN DE LOS SUB-SISTEMAS CLEANER SCAVENGER TAILINGS, AUXILIAR DE DESCARGA DIRECTA Y RECUPERACIÓN DE AGUA.

4.6.1. SUB-SISTEMA DE DISPOSICIÓN DE RELAVES CLEANER SCAVENGER TAILINGS.

Se ha determinado que la configuración es adecuada, la misma que depende del crecimiento de la presa de relaves y la entrega de la misma sumergida, así como de un adecuado plan de desmontaje y empalme de estructuras (Drop Pipes) que se tendrán que adecuar conforme el nivel del espejo de agua de la presa va aumentando.

Asimismo, se recomienda verificar su comportamiento hidráulico con la metodología planteada para los relaves RST.

4.6.2. SUB-SISTEMA DE DISPOSICIÓN AUXILIAR DE DESCARGA DIRECTA.

Para el caso del Sistema de Emergencia de Descarga Directa, también tiene una adecuada configuración, toda vez que esta tubería se adecua al crecimiento de la presa de relaves y en función de la producción de relaves RST y CST según las demandas operativas presentadas anteriormente, sin embargo, se recomienda verificar su funcionabilidad hidráulica con similar metodología que la realizada para los relaves RST.

4.6.3. SUB-SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE AGUA.

Finalmente, la configuración del sistema de recuperación de agua también presenta un correcto planteamiento, ya que el mismo irá adecuándose al crecimiento paulatino de la presa de relaves y a la ubicación de la barcaza de recuperación de agua, así como a la conexión directa de esta, con la estación fija de bombeo, cuando el nivel del espejo de agua de la presa de relaves sobrepase el nivel de referencia de la Estación Booster, de 3744 msnm; siendo recomendable realizar su evaluación hidráulica con la metodología convencional para el diseño de sistemas de bombeo de agua.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES.

- Se ha analizado el Sistema de Disposición de Relaves del Proyecto Cerro Corona, conociendo todos los procesos involucrados en su generación, desde el área de minado, pasando luego al área de chancado y molienda, deteniéndonos en conocer detalladamente el proceso de flotación de minerales y su incidencia directa en la generación de relaves acorde a una producción estimada diaria; así mismo, se ha conceptualizado el resto de procesos: Espesamiento y Filtrado, que dan como resultado final, la obtención de un concentrado de cobre con determinadas características, y que luego es almacenado y transportado para su despacho final.
- Toda la disposición de relaves del proyecto Cerro Corona, trabaja conjuntamente, por lo tanto, su funcionamiento depende de la producción diaria de toneladas secas de relave que se procesan y luego son derivadas hacia la presa de relaves, por consiguiente, la recuperación de agua que se haga de este proceso, obedecerá de las diferentes condiciones de flujo presentes; así como, de los periodos de lluvia y de los cronogramas y/o etapas de crecimiento de la presa de relaves.
- Se ha verificado el comportamiento hidráulico del Subsistema Rougher Scavenger Tailings (RST), el mismo que se desarrolla a lo largo de 2247.29 m. de tubería principal, de HDPE, SDR 11 y Ø 18" y que utiliza una serie de tanques rompe presión (12 Drop Pipes) para vencer los desniveles topográficos y desarrollarse con una pendiente de -2.50 %, sistema que debe ser capaz de trabajar bajo 06 escenarios (Flujo Mínimo, Normal y Máximo para RST Espesado y No Espesado), encontrándose que si bien es cierto que los factores de seguridad a la depositación son mayores a 1.15; usar este diámetro acarrea velocidades bajas para una condición de flujo mínimo y normal para relaves RST Espesados y altas para el caso de flujo máximo para relaves RST No Espesados; cumpliendo con 03 escenarios de los 06, pero que sin embargo, sigue siendo el más óptimo para un diámetro de diseño alternativo de Ø 16", que también cumple con 03 escenarios, pero que acarrea velocidades muy altas para el caso de flujo medio y máximo para relaves RST No Espesados.

- Se ha verificado la configuración física de la disposición de relaves Cleaner Scavenger Tailings (CST) y el Sistema de Disposición Auxiliar de Descarga Directa, encontrándose que están adecuadamente planeados acorde al crecimiento de la presa de relaves; asimismo, se ha verificado la configuración del Sistema de Recuperación de Agua, encontrándose que también el mismo tiene un adecuado planteamiento acorde al crecimiento de la presa de relaves.

5.2. RECOMENDACIONES.

- Se puede decir que la correcta disposición de relaves en un emplazamiento, dependerá exclusivamente de todas las áreas en conjunto de una mina y que deberán ser estudiadas a detalle para tiempos de producción mínima, normal y máxima.
- Se debe programar la producción de relaves en función de todo un estudio en conjunto de operación de las diferentes componentes específicas para su manejo, por lo que, es recomendable que se elija una correcta disposición acorde a los tiempos estipulados de crecimiento de la presa de relaves, independientemente del método de construcción de la misma y con estructuras temporales y/o a medio plazo que sean capaces de satisfacer la demandas diarias de flujo y sus respectivos procesos de recuperación y aprovechamiento de agua, teniendo en cuenta todas las condiciones meteorológicas, hidrológicas e hidrogeológicas, presentes en la zona de estudio.
- Para el caso de la disposición de relaves Rougher Scavenger Tailings, se recomienda normalizar la producción de toneladas secas de RST Espesado y No Espesado, para que ya sea con el actual diseño o con un diseño futuro se tenga una usar una sola tubería que sea capaz de acoplarse a los 06 escenarios de operación, o también se podría optar por dos líneas de relaves, uno para los RST Espesados y otro para los RST No espesados; asimismo, se recomienda que se analice una mejor ruta de disposición de los mismos que vaya acorde con el crecimiento de la presa de relaves y su incidencia en la adecuada disposición a lo largo de la coronación de la presa, y que a su vez, permita hacer labores de mantenimiento de la línea desde el cajón de inicio hasta su entrega final.

- Para el caso de los subsistemas Cleaner Scavenger Tailings, de Emergencia de Descarga Directa y de Recuperación de Agua, se recomienda analizar su comportamiento hidráulico siguiendo similar metodología que el análisis de los relaves Rougher Scavenger Tailings para los dos primeros y el análisis por métodos convencionales para diseño de sistemas de bombeo para el último, garantizándose así que los subsistemas no solo sean funcionales desde el punto de vista operativo, sino hidráulico y por consiguiente se garantice que no haya complicaciones y reducción del periodo de vida útil del sistema.

BIBLIOGRAFÍA

- Manual del Minero, Rumbo Minero, 2009.
- Anuario Minero 2010, Ministerio de Energía y Minas, 2011.
- Manual General de Minería y Metalurgia, Portal Minero, 2006.
- Guía Ambiental de Manejo y Transporte de Concentrados Minerales, Ministerio de Energía y Minas, 1994.
- Manejo Ambiental de Relaves – Disposición Subacuática, Atilio Jesús Rojas Villanueva, 2007.
- Guía Ambiental para el Manejo de Relaves Mineros, Ministerio de Energía y Minas, 1997.
- Estudio de Diseño y Operaciones en los Depósitos de Relaves, Denis Fabián Marquez Cordero, 2002.
- Guía Técnica de Operación y Control de Depósitos de Relaves, Nelson Antonio Ramírez Morandé, 2007.
- Concentración de Minerales I, Dr. Ing. Osvaldo Pavez, 2009.
- Flotación: Fundamentos y Aplicaciones, Fernando Tapia Bacovich, 2006.
- Transporte Hidráulico de Sólidos, Patricia de las Mercedes Tapia Rojas, 2006.
- Slurry Pumping Manual, WEIR GROUP PLC. Slurry Division, 2002.
- Mecánica de Fluidos, Pedro Fernández, 2002.
- Reología de Suspensiones Sólido Líquido, Ramón Fuentes, 2008.
- Slurry System Handbook, Baha Abulnaga, 2002.
- Slurry Flows in Metallurgical Process Engineering – Development of Tools and Guidelines, M.Sc. Merja Hakaste-Härmä, M.Sc. Hanne-Mari Ahlfors – Aalto University School of Chemical Technology, 2014.
- Transporte de Pulpas, Ingeniería de Minas – Universidad de Chile, 2011.
- Slurry Pipeline Design Manual, GIW INDUSTRIES INC, 1985.
- Flow of Fluids. Through, Valves, Fittings, And Pipe – Metric Edition – SI Units, Crane CO, 1986.

- Estimation of the Critical Velocity in Pipeline Flow of Slurries. Turian, R. M. y F. L. HSU – University of Illinois, 1986.
- Curso de Actualización – Transporte de Sólidos en Tuberías, Estela Assureira, 1989.
- Waste Feed Delivery Transfer System Analysis, L. J. Julik, 2002.
- Design of Slurry Transport Systems, B. E. A. Jacobs, 1991.
- Solid – Liquid Flow Slurry Pipeline Transportation, Edward J. Wasp, 1978.
- Desarrollo y Análisis Técnico Transporte Especializado Sector Minería Países Andinos – Cuentas Chile y Perú, Consulting Services, 2008.
- Tuberías y Fittings de HDPE, DURATEC – VINILIT S.A., 2003.
- Ingeniería Geológica, Luis I. Gonzáles de Vallejo – Mercedes Ferrer – Luis Ortuño – Carlos Oteo, 2002.
- Diseño de Estructuras de Concreto Armado, Teodoro E. Harmsen, 2002.
- Pressure Vessel Handbook, Eugene F. Megyesy, 1992.
- Diseño de Explotaciones de Cantera, Juan Herrera Herbert, 2007.
- Programación de Obra para la Optimización de los Procesos Constructivos de Viviendas Rurales del Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda del Azuay, Samaniego J, Vanegas J., 2014.
- Metodologías para Estudios de Impacto Ambiental, Facultad de Ciencias Exactas - Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, 2013.
- Manual: Camión de Obras 785D – Caterpillar®, Caterpillar®, 2008.
- Manual: Sistema completo de Tuberías y Conexiones de POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD Para Abastecimiento de Agua, PAVCO – Tuberías y Conexiones, 2008.
- Manual de Tubería Corrugada: Manejo, Almacenamiento, Instalación e Inspección de Tubería Corrugada de Polietileno de Alta Densidad (PEAD), REVINCA, C.A., abril 2009.

- Estudio de Impacto Ambiental – Proyecto Cerro Corona, Sociedad Minera La Cima S.A., mayo 2005.
- Modificación del EIA de Cerro Corona – Proyecto Nueva Planta de Óxidos, Gold Fields La Cima S.A.A. (GFLC), marzo 2011.
- Modificación del Estudio de Impacto Ambiental de Cerro Corona – Actualización y Proyecto Optimización, Gold Fields La Cima S.A.A., junio 2012.
- Modificación del Estudio de Impacto Ambiental de Cerro Corona – Plan Integral para la Adecuación e Implementación de Actividades a los Nuevos Límites Máximos Permisibles de Efluentes Minero-Metalúrgicos y a los Estándares de Calidad Ambiental para Agua, Gold Fields La Cima S.A.A., agosto 2012.
- Fundamentos de Diseño de Conexiones con Énfasis en el Método de Diseño por Estados Límites, Thomas M. Murray – Emmett A. Summer. – Instituto De Ingeniería UNAM, 2012.
- Estudio de Geotecnia – Planta de Óxidos, Gold Fields La Cima S.A.A., junio 2010.
- www.goldfields.com.pe, Web de Gold Fields La Cima S.A.A.
- Reglamento Nacional de Edificaciones.

ANEXOS

Anexo N° 1: PANEL FOTOGRÁFICO

Fotografía N° 1: Camino de acceso inferior a las líneas de relaves RST y CST.



Fotografía N° 2: Estado actual de los Disipadores de Energía Hidráulica RST y CST.



Fotografía N° 3: Relaves RST Disgregados por mal funcionamiento del Sistema.



Fotografía N° 4: De Izquierda a Derecha: Subsistema Auxiliar de Descarga Directa, RST y CST.



Fotografía N° 5: Barcaza de recuperación de Agua.



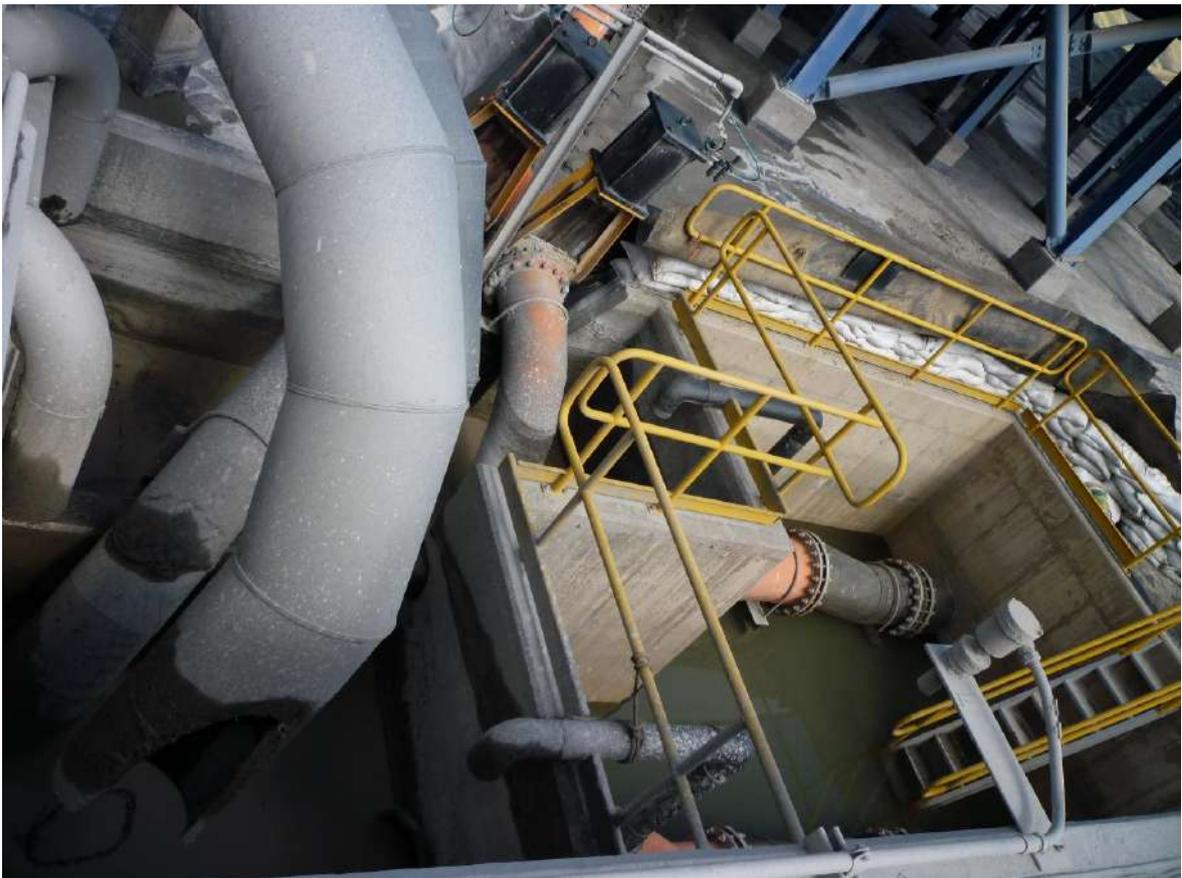
Fotografía N° 6: Área de Flotación de Minerales.



Fotografía N° 7: Estructura de Colección y División de Relaves RST Espesados / No Espesados.



Fotografía N° 8: Cajón de Inicio de Recolección de Relaves.



Fotografía N° 9: Levantamiento Topográfico en la zona de inicio del transporte de relaves RST, CST y Subsistema de Emergencia (Espesador de relaves).



Fotografía N° 10: Levantamiento Topográfico de las líneas de disposición CST y RST.



Fotografía N° 11: Zona de descarga del Subsistema RST a lo largo de la coronación de la Presa.



Fotografía N° 12: Levantamiento Topográfico complementario y evaluación de una posible ruta de disposición de relaves RST por el flanco derecho y zona norte de la presa de relaves.



Anexo N° 2: CERTIFICADO DE ORIGINALIDAD



Universidad Nacional de Cajamarca
Norte de la Universidad Peruana

FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



CERTIFICADO DE ORIGINALIDAD

La que suscribe, Directora de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca certifica la originalidad de la tesis “COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DEL SUBSISTEMA DE DISPOSICIÓN DE RELAVES: ROUGHER SCAVENGER TAILINGS, TRAMO: PLANTA CONCENTRADORA - RELAVERA LADO NORTE, DEL PROYECTO CERRO CORONA”, elaborada por el bachiller en Ingeniería Civil VÍCTOR FRANZ ALCÁNTARA PORTAL, de acuerdo al análisis realizado por el asesor Dr. Ing. Gaspar Méndez Cruz, con el software antiplagio Urkund que reporta 23 % de índice de similitud y le asigna el código D106566493

La Unidad de Investigación expide el presente, para los fines convenientes.

Cajamarca, 28 de mayo del 2021

Una firma manuscrita en tinta que parece decir 'Rosa Haydee LLique Mondragón'.

Dra. Rosa Haydee LLique Mondragón
DIRECTORA UNIDAD INVESTIGACIÓN FI

APÉNDICES

Apéndice N° 01

Coeficientes de Pérdidas Secundarias en Accesorios.

(Flow of Fluids. Through, Valves, Fittings, And Pipe – Metric Edition – SI Units, Crane CO, 1986)

Páginas: A-27, A-28, A-29, A-30.

"K" FACTOR TABLE – SHEET 1 of 4

Representative Resistance Coefficients (K) for Valves and Fittings

(*K" is based on use of schedule pipe as listed on page 2-10)

PIPE FRICTION DATA FOR CLEAN COMMERCIAL STEEL PIPE WITH FLOW IN ZONE OF COMPLETE TURBULENCE

Nominal Size	mm in.	15	20	25	32	40	50	65, 80	100	125	150	200, 250	300-400	450-600
		½	¾	1	1¼	1½	2	2½, 3	4	5	6	8, 10	12-16	18-24
Friction Factor (f_T)		.027	.025	.023	.022	.021	.019	.018	.017	.016	.015	.014	.013	.012

FORMULAS FOR CALCULATING "K" FACTORS * FOR VALVES AND FITTINGS WITH REDUCED PORT (Ref: Pages 2-11 and 3-4)

Formula 1

$$K_2 = \frac{0.8 \sin \frac{\theta}{2} (1 - \beta^2)}{\beta^4} = \frac{K_1}{\beta^4}$$

Formula 2

$$K_2 = \frac{0.5 (1 - \beta^2) \sqrt{\sin \frac{\theta}{2}}}{\beta^4} = \frac{K_1}{\beta^4}$$

Formula 3

$$K_2 = \frac{2.6 \sin \frac{\theta}{2} (1 - \beta^2)^2}{\beta^4} = \frac{K_1}{\beta^4}$$

Formula 4

$$K_2 = \frac{(1 - \beta^2)^2}{\beta^4} = \frac{K_1}{\beta^4}$$

Formula 5

$$K_2 = \frac{K_1}{\beta^4} + \text{Formula 1} + \text{Formula 3}$$

$$K_2 = \frac{K_1 + \sin \frac{\theta}{2} [0.8 (1 - \beta^2) + 2.6 (1 - \beta^2)^2]}{\beta^4}$$

Formula 6

$$K_2 = \frac{K_1}{\beta^4} + \text{Formula 2} + \text{Formula 4}$$

$$K_2 = \frac{K_1 + 0.5 \sqrt{\sin \frac{\theta}{2}} (1 - \beta^2) + (1 - \beta^2)^2}{\beta^4}$$

$$K_2 = \frac{K_1}{\beta^4} + \beta (\text{Formula 2} + \text{Formula 4}) \text{ when } \theta = 180^\circ$$

$$K_2 = \frac{K_1 + \beta [0.5 (1 - \beta^2) + (1 - \beta^2)^2]}{\beta^4}$$

$$\beta = \frac{d_1}{d_2}$$

$$\beta^2 = \left(\frac{d_1}{d_2} \right)^2 = \frac{a_1}{a_2}$$

Subscript 1 defines dimensions and coefficients with reference to the smaller diameter.

Subscript 2 refers to the larger diameter.

*Use K furnished by valve or fitting supplier when available

SUDDEN AND GRADUAL CONTRACTION



If: $\theta < 45^\circ$ $K_2 = \text{Formula 1}$

$45^\circ < \theta \leq 180^\circ$ $K_2 = \text{Formula 2}$

SUDDEN AND GRADUAL ENLARGEMENT



If: $\theta < 45^\circ$ $K_2 = \text{Formula 3}$

$45^\circ < \theta < 180^\circ$ $K_2 = \text{Formula 4}$

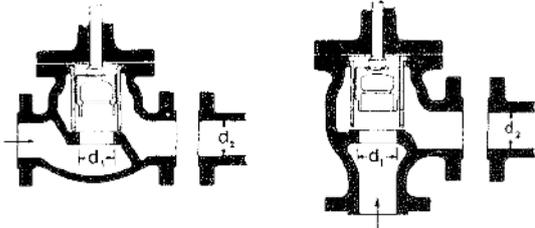
"K" FACTOR TABLE – SHEET 3 of 4

Representative Resistance Coefficients (K) for Valves and Fittings

(for formulas and friction data, see page A-26)

("K" is based on use of schedule type as listed on page 2-10)

STOP-CHECK VALVES
(Globe and Angle Types)



If:

$$\beta = 1 \dots K_1 = 400 f_T$$

$$\beta < 1 \dots K_2 = \text{Formula 7}$$

Minimum pipe velocity (mps) for full disc lift

$$= 70 \beta^2 \sqrt{V}$$

If:

$$\beta = 1 \dots K_1 = 200 f_T$$

$$\beta < 1 \dots K_2 = \text{Formula 7}$$

Minimum pipe velocity (mps) for full disc lift

$$= 95 \beta^2 \sqrt{V}$$

FOOT VALVES WITH STRAINER

Poppet Disc

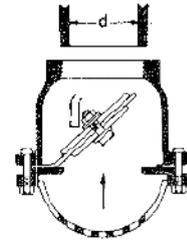


$$K = 420 f_T$$

Minimum pipe velocity (mps) for full disc lift

$$= 20 \sqrt{V}$$

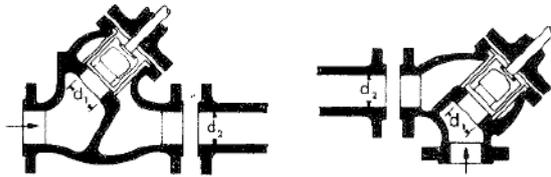
Hinged Disc



$$K = 75 f_T$$

Minimum pipe velocity (mps) for full disc lift

$$= 45 \sqrt{V}$$



If:

$$\beta = 1 \dots K_1 = 300 f_T$$

$$\beta < 1 \dots K_2 = \text{Formula 7}$$

Minimum pipe velocity (mps) for full disc lift

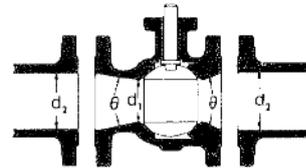
$$= 75 \beta^2 \sqrt{V}$$

If:

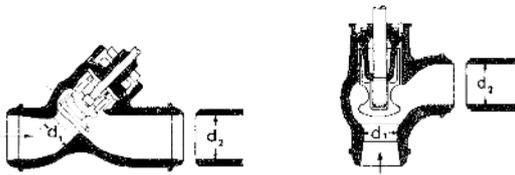
$$\beta = 1 \dots K_1 = 350 f_T$$

$$\beta < 1 \dots K_2 = \text{Formula 7}$$

BALL VALVES



If: $\beta = 1, \theta = 0 \dots K_1 = 3 f_T$
 $\beta < 1$ and $\theta \geq 45^\circ \dots K_2 = \text{Formula 5}$
 $\beta < 1$ and $45^\circ < \theta < 180^\circ \dots K_2 = \text{Formula 6}$



$$\beta = 1 \dots K_1 = 55 f_T$$

$$\beta < 1 \dots K_2 = \text{Formula 7}$$

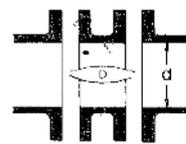
Minimum pipe velocity (mps) for full disc lift

$$= 170 \beta^2 \sqrt{V}$$

$$\beta = 1 \dots K_1 = 55 f_T$$

$$\beta < 1 \dots K_2 = \text{Formula 7}$$

BUTTERFLY VALVES



Sizes 50 mm (2") to 200 mm (8") $\dots K = 45 f_T$
 Sizes 250 mm (10") to 350 mm (14") $\dots K = 35 f_T$
 Sizes 400 mm (16") to 600 mm (24") $\dots K = 25 f_T$

"K" FACTOR TABLE – SHEET 4 of 4

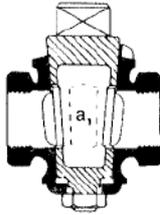
Representative Resistance Coefficients (K) for Valves and Fittings

(for formulas and friction data, see page A-26)

("K" is based on use of schedule pipe as listed on page 2-10)

PLUG VALVES AND COCKS

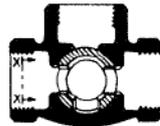
Straight-Way



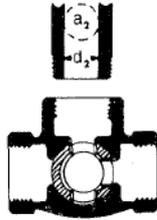
If: $\beta = 1$,
 $K_1 = 18 f_T$

3-Way

View X-X



If: $\beta = 1$,
 $K_1 = 30 f_T$



If: $\beta = 1$,
 $K_1 = 90 f_T$

If: $\beta < 1$ $K_2 = \text{Formula 6}$

STANDARD ELBOWS

90°



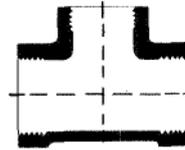
$K = 30 f_T$

45°



$K = 16 f_T$

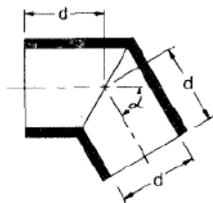
STANDARD TEES



Flow thru run $K = 20 f_T$

Flow thru branch $K = 60 f_T$

MITRE BENDS



α	K
0°	$2 f_T$
15°	$4 f_T$
30°	$8 f_T$
45°	$15 f_T$
60°	$25 f_T$
75°	$40 f_T$
90°	$60 f_T$

90° PIPE BENDS AND FLANGED OR BUTT-WELDING 90° ELBOWS



r/d	K	r/d	K
1	$20 f_T$	8	$24 f_T$
1.5	$14 f_T$	10	$30 f_T$
2	$12 f_T$	12	$34 f_T$
3	$12 f_T$	14	$38 f_T$
4	$14 f_T$	16	$42 f_T$
6	$17 f_T$	20	$50 f_T$

The resistance coefficient, K_B , for pipe bends other than 90° may be determined as follows:

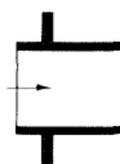
$$K_B = (n - 1) \left(0.25 \pi f_T \frac{L}{d} + 0.5 K \right) + K$$

n = number of 90° bends

K = resistance coefficient for one 90° bend (per table)

PIPE ENTRANCE

Inward Projecting

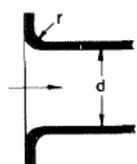


$K = 0.78$

r/d	K
0.00*	0.5
0.02	0.28
0.04	0.24
0.06	0.15
0.10	0.09
0.15 & up	0.04

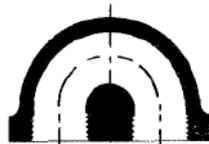
*Sharp-edged

Flush



For K , see table

CLOSE PATTERN RETURN BENDS



$K = 50 f_T$

PIPE EXIT

Projecting



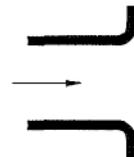
$K = 1.0$

Sharp-Edged



$K = 1.0$

Rounded



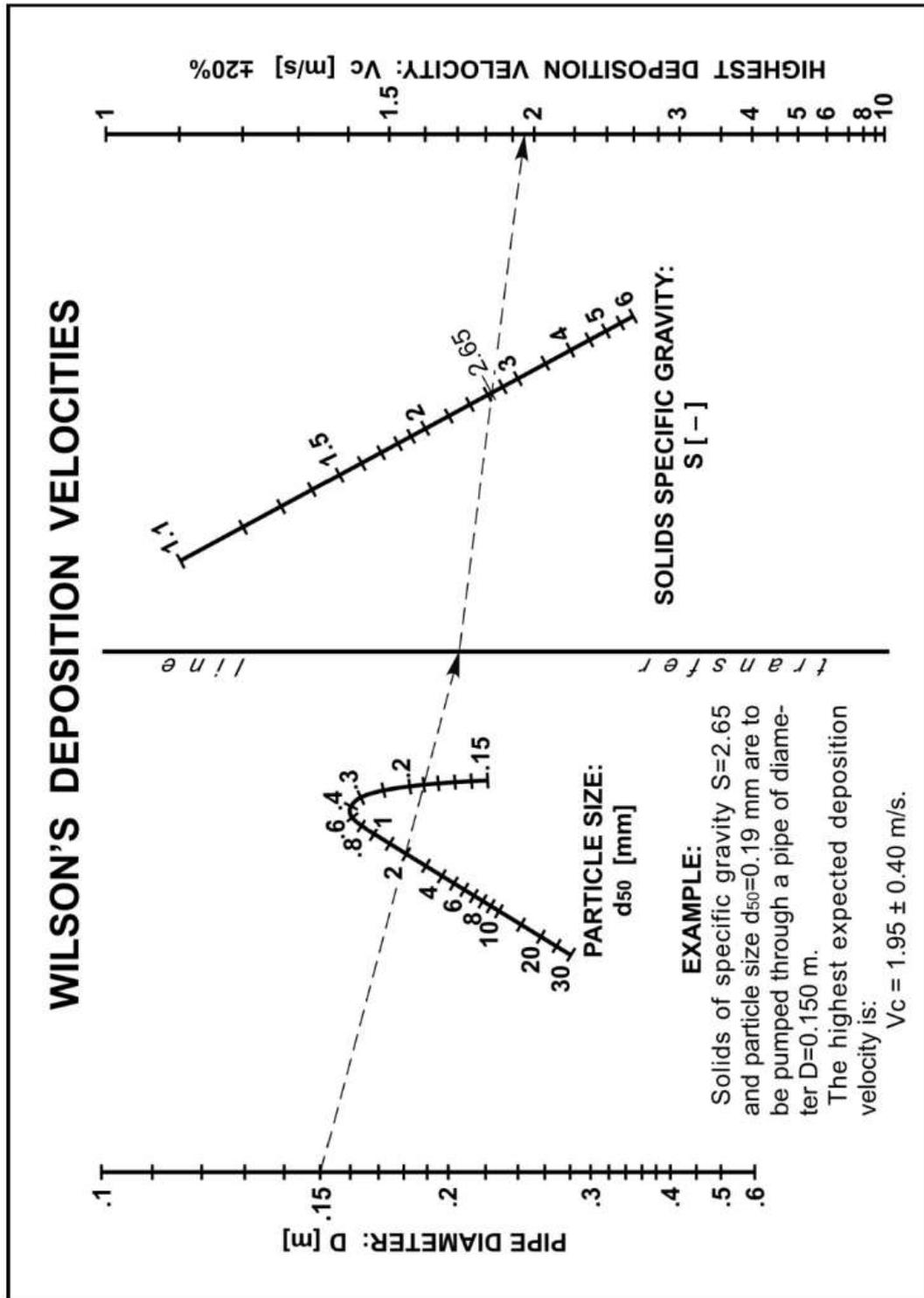
$K = 1.0$

Apéndice N° 02

Nomograma de Wilson para Velocidad Crítica de Deposición.

(Slurry Flows in Metallurgical Process Engineering – Development of Tools and Guidelines, M.Sc. Merja Hakaste-Härmä, M.Sc. Hanne-Mari Ahlfors – Aalto University School of Chemical Technology, 2014)

Página: APPENDIX C.



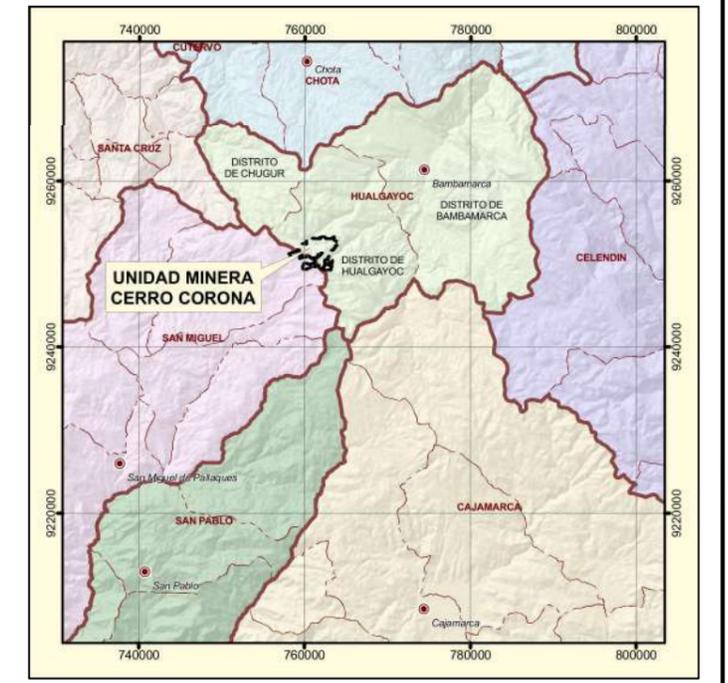
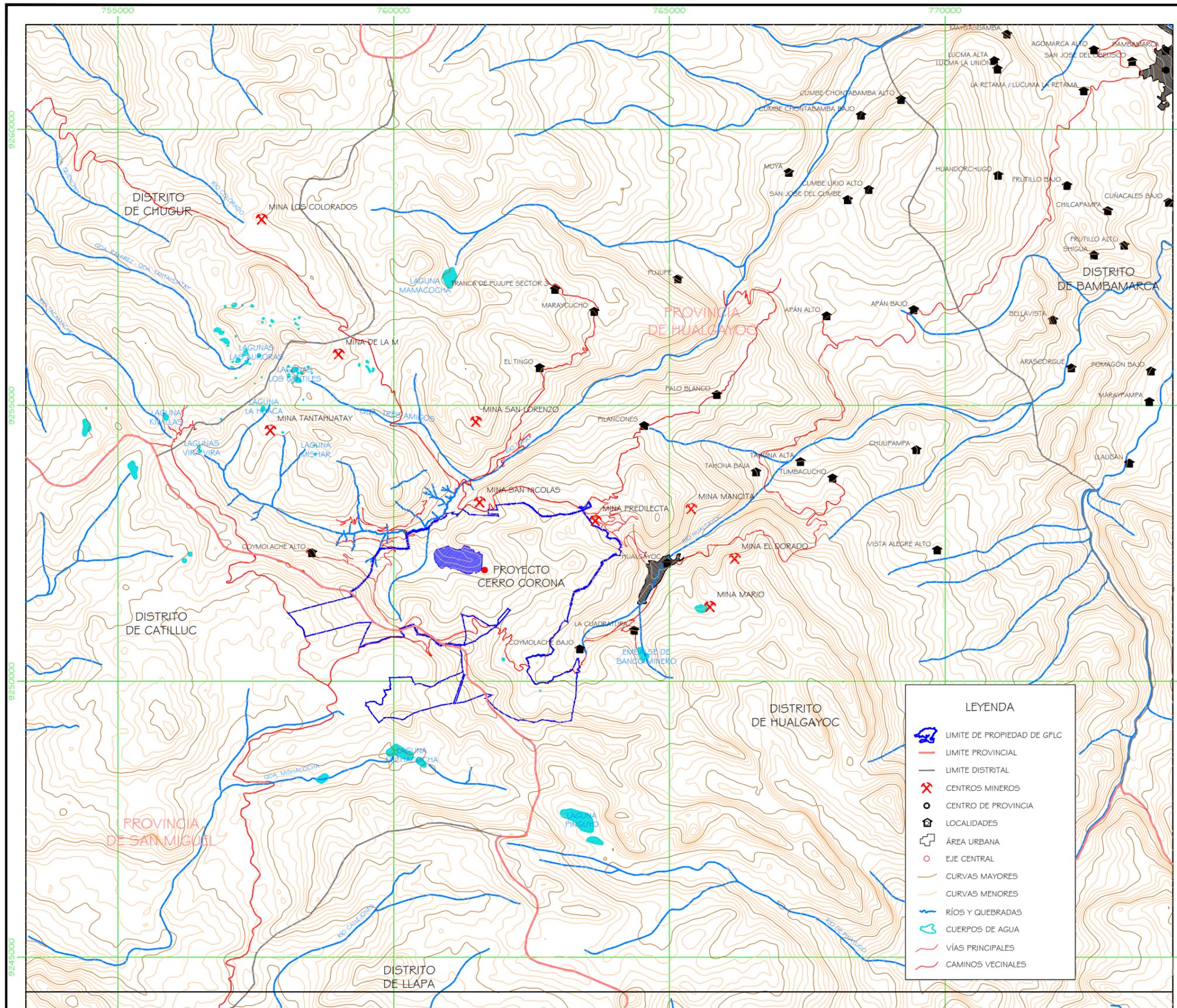
Apéndice N° 03

Características Técnicas de la Tubería HDPE Norma ASTM D3035.

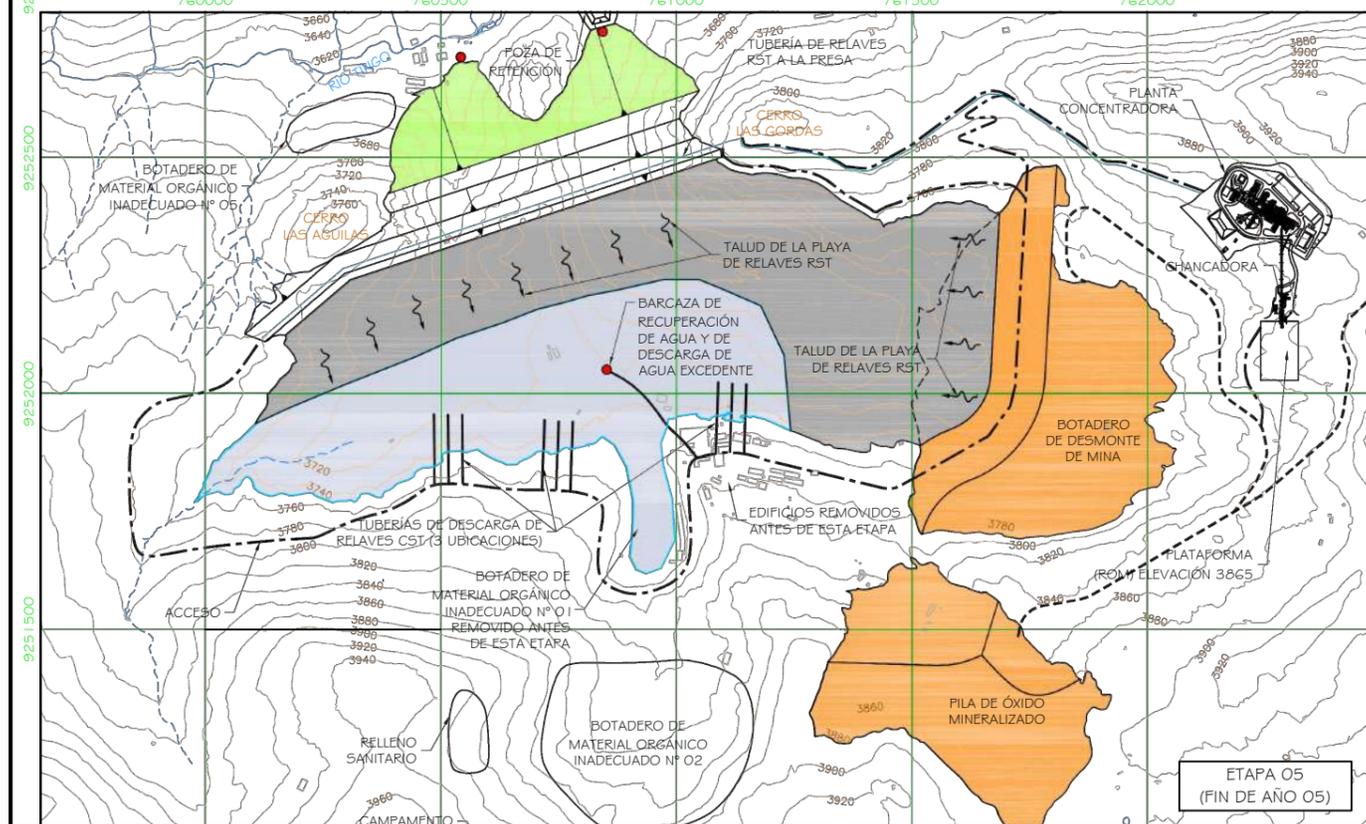
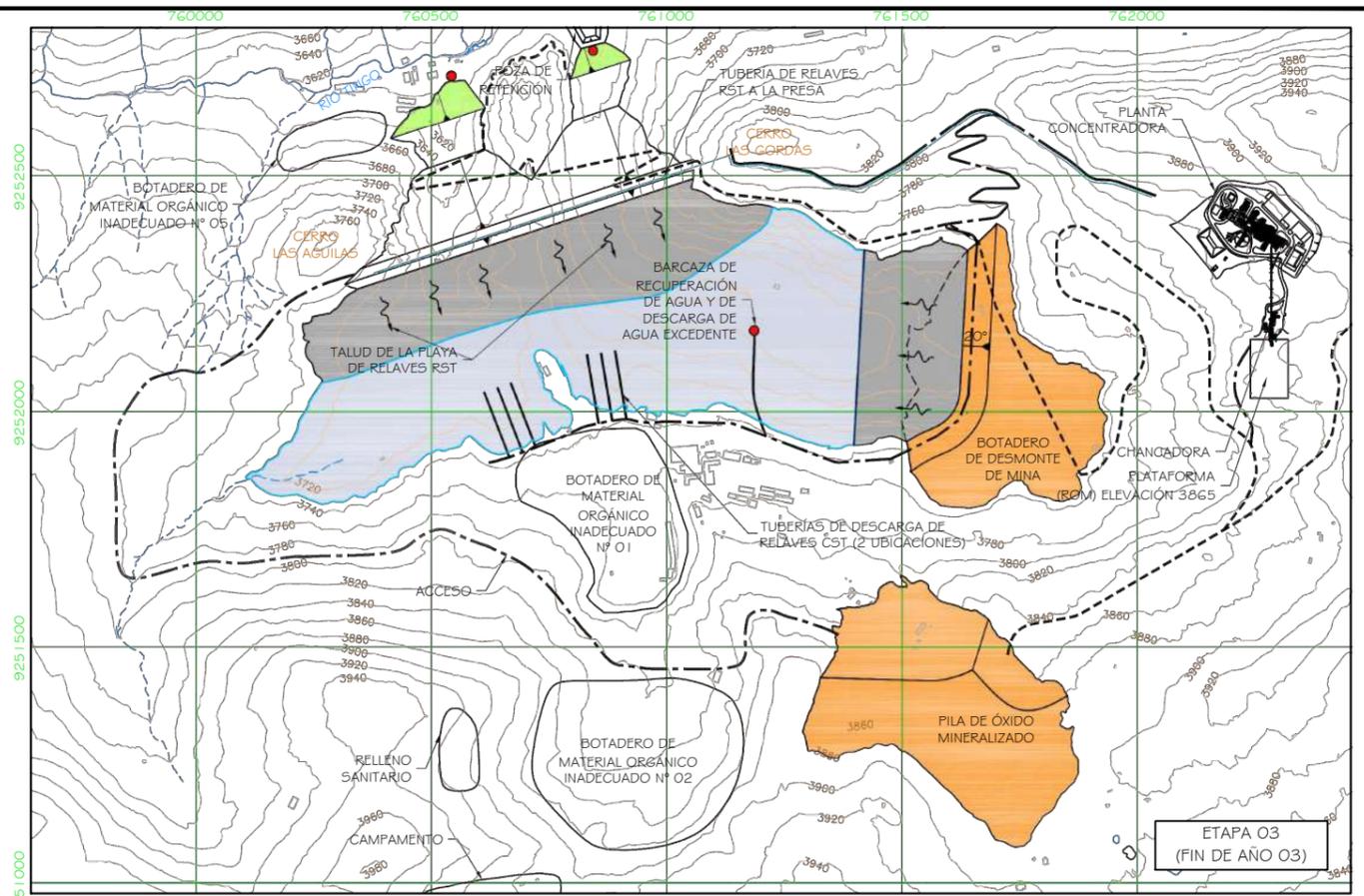
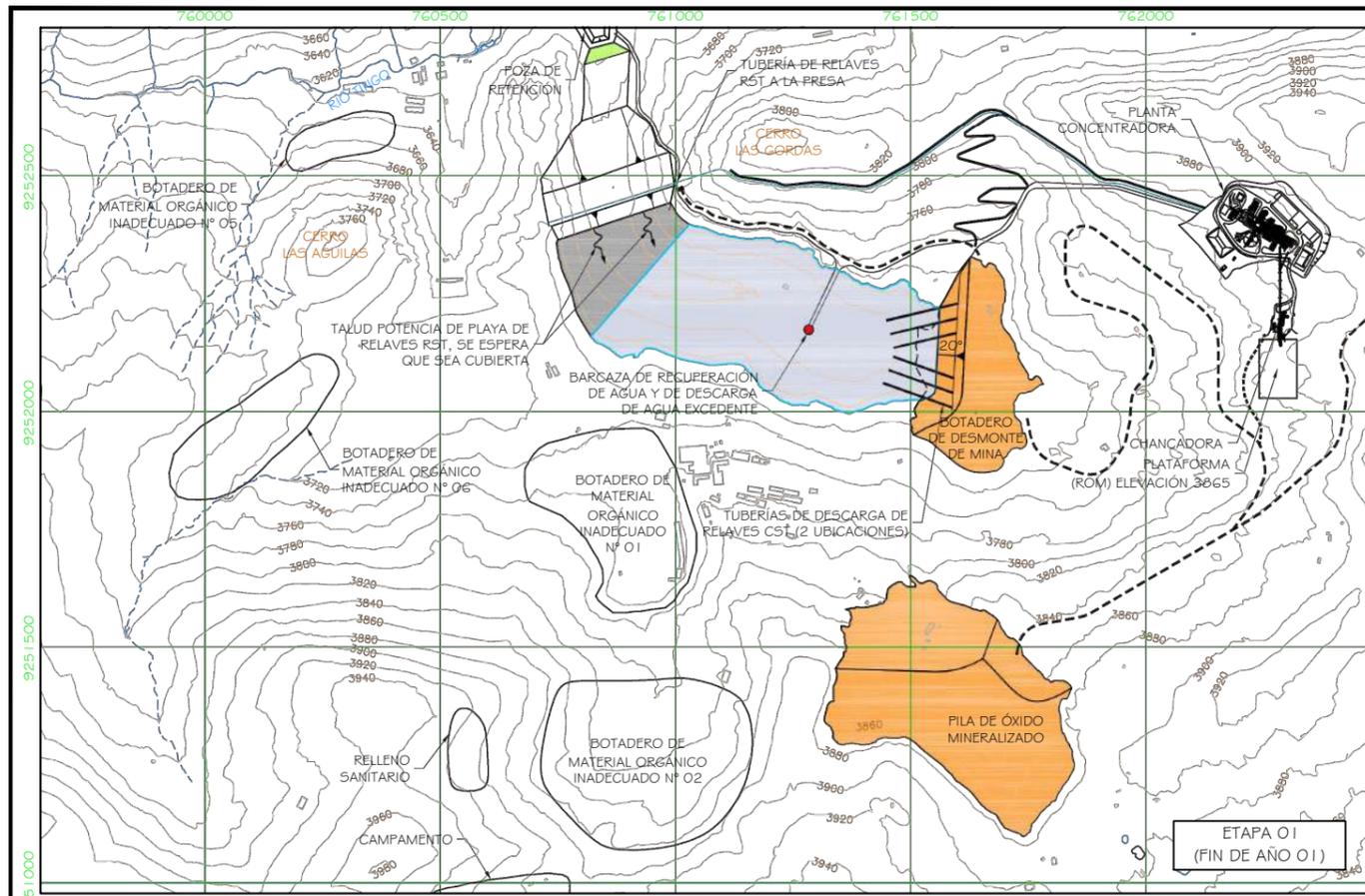
(Manual: Sistema completo de Tuberías y Conexiones de POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD Para Abastecimiento de Agua, PAVCO – Tuberías y Conexiones, 2008)

Página: 02.

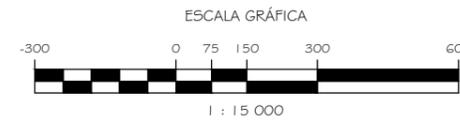
Espesor(mm)/Peso(kg/m)																						
Presión de Operación PSI (bar)		PE3608 PE4710	267 (18.4) 333 (23.0)		200 (13.8) 250 (17.0)		193 (1.33) 241 (17.0)		160 (11.0) 200 (14.0)		128 (8.8) 160 (11.0)		110 (7.6) 138 (10.0)		100 (6.9) 125 (9.0)		80 (5.5) 100 (7.0)		64 (4.4) 80 (6.0)		51 (3.5) 63 (4.0)	
Ø Nom (pulg)	Ø Nom (mm)	Ø Nom (pulg)	SDR 7		SDR 9		SDR 9.3		SDR 11		SDR 13.5		SDR 15.5		SDR 17		SDR 21		SDR 26		SDR 32.5	
			e _{min}	Peso	e _{min}	Peso	e _{min}	Peso	e _{min}	Peso	e _{min}	Peso	e _{min}	Peso	e _{min}	Peso	e _{min}	Peso	e _{min}	Peso	e _{min}	Peso
1/2	21.3	0.84	3.05	0.18	2.36	0.14	2.29	0.14	1.93	0.12	1.57	0.10	1.57	0.10	1.57	0.10	1.57	0.10	1.57	0.10	1.57	0.10
3/4	26.7	1.05	3.81	0.28	2.97	0.23	2.87	0.22	2.41	0.19	1.98	0.16	1.73	0.14	1.57	0.13	1.57	0.13	1.57	0.13	1.57	0.13
1.0	33.4	1.315	4.78	0.44	3.71	0.35	3.58	0.34	3.05	0.30	2.46	0.24	2.13	0.21	1.96	0.20	1.60	0.16	1.57	0.16	1.57	0.16
1 1/4	42.2	1.660	6.02	0.70	4.67	0.56	4.52	0.54	3.84	0.47	3.12	0.39	2.72	0.34	2.49	0.32	2.01	0.26	1.63	0.21	1.57	0.20
1 1/2	48.3	1.90	6.88	0.91	5.36	0.74	5.18	0.71	4.39	0.62	3.58	0.51	3.12	0.45	2.84	0.41	2.29	0.34	1.85	0.27	1.57	0.23
2.0	60.3	2.375	8.61	1.42	6.71	1.15	6.48	1.11	5.49	0.96	4.47	0.80	3.89	0.70	3.56	0.65	2.87	0.53	2.31	0.43	1.85	0.35
3.0	88.9	3.50	12.70	3.09	9.88	2.49	9.55	2.42	8.08	2.09	6.58	1.73	5.74	1.52	5.23	1.40	4.24	1.15	3.43	0.94	2.74	0.75
4.0	114.3	4.50	16.33	5.11	12.70	4.12	12.29	4.00	10.39	3.45	8.46	2.86	7.37	2.52	6.73	2.31	5.44	1.89	4.39	1.54	3.51	1.24
6.0	168.3	6.625	24.03	11.07	18.69	8.93	18.08	8.67	15.29	7.47	12.47	6.20	10.85	5.45	9.91	5.01	8.00	4.09	6.48	3.35	5.18	2.70
8.0	219.1	8.625	31.29	18.77	24.33	15.13	23.55	14.71	19.91	12.66	16.23	10.51	14.12	9.24	12.88	8.48	10.44	6.96	8.43	5.67	6.73	4.56
10.0	273.1	10.75	39.01	29.16	30.33	23.51	29.36	22.85	24.82	19.68	20.22	16.33	17.63	14.38	16.05	13.17	13.00	10.80	10.49	8.80	8.41	7.11
12.0	323.9	12.75	46.25	41.00	35.99	33.09	34.82	32.14	29.44	27.68	23.98	22.96	20.90	20.22	19.05	18.54	15.42	15.19	12.45	12.38	9.96	9.98
14.0	355.6	14.00	50.80	49.45	39.52	39.89	38.23	38.75	32.33	33.38	23.34	24.77	22.94	24.37	20.93	22.37	16.94	18.32	13.67	14.93	10.95	12.05
16.0	406.4	16.00	58.06	64.59	45.16	52.10	43.69	50.61	36.96	43.61	30.10	36.17	26.21	31.82	23.90	29.19	19.35	23.92	15.62	19.49	12.50	15.72
18.0	457.2	18.00	65.30	81.73	50.80	65.93	49.15	64.05	41.55	55.15	33.86	45.78	29.49	40.28	26.90	36.97	21.77	30.27	17.58	24.68	14.07	19.91
20.0	508.0	20.00	72.57	100.91	56.44	81.39	54.64	79.11	46.18	68.11	37.62	56.51	32.77	49.73	29.87	45.61	24.18	37.36	19.53	30.47	15.62	24.56
22.0	558.8	22.00	79.83	122.11	62.08	98.48	60.10	95.72	50.80	82.41	41.40	68.41	36.04	60.17	32.87	55.21	26.62	45.24	21.49	36.88	16.94	29.31
24.0	609.6	24.00	87.10	145.34	67.74	117.22	65.56	113.91	55.42	98.08	45.16	81.40	39.32	71.61	35.86	65.71	29.03	53.82	23.44	43.88	18.75	35.38



UBICACIÓN DEL EJE CENTRAL
 ESTE : 761648,441
 NORTE : 9252018,494



SIMBOLOGÍA	
	CURVAS DE NIVEL DE LA SUPERFICIE EXISTENTE
	ACCESO CONSTRUIDO
	CAMINO DE ACARREO
	CURSO SUPERFICIAL DE AGUA
	RELAVES
	BOTADERO DE DESMONTES DE MINA Y PILA DE ÓXIDO MINERALIZADO
	POZA DE AGUA SUPERFICIAL
	ÁREA REVEGETADA



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

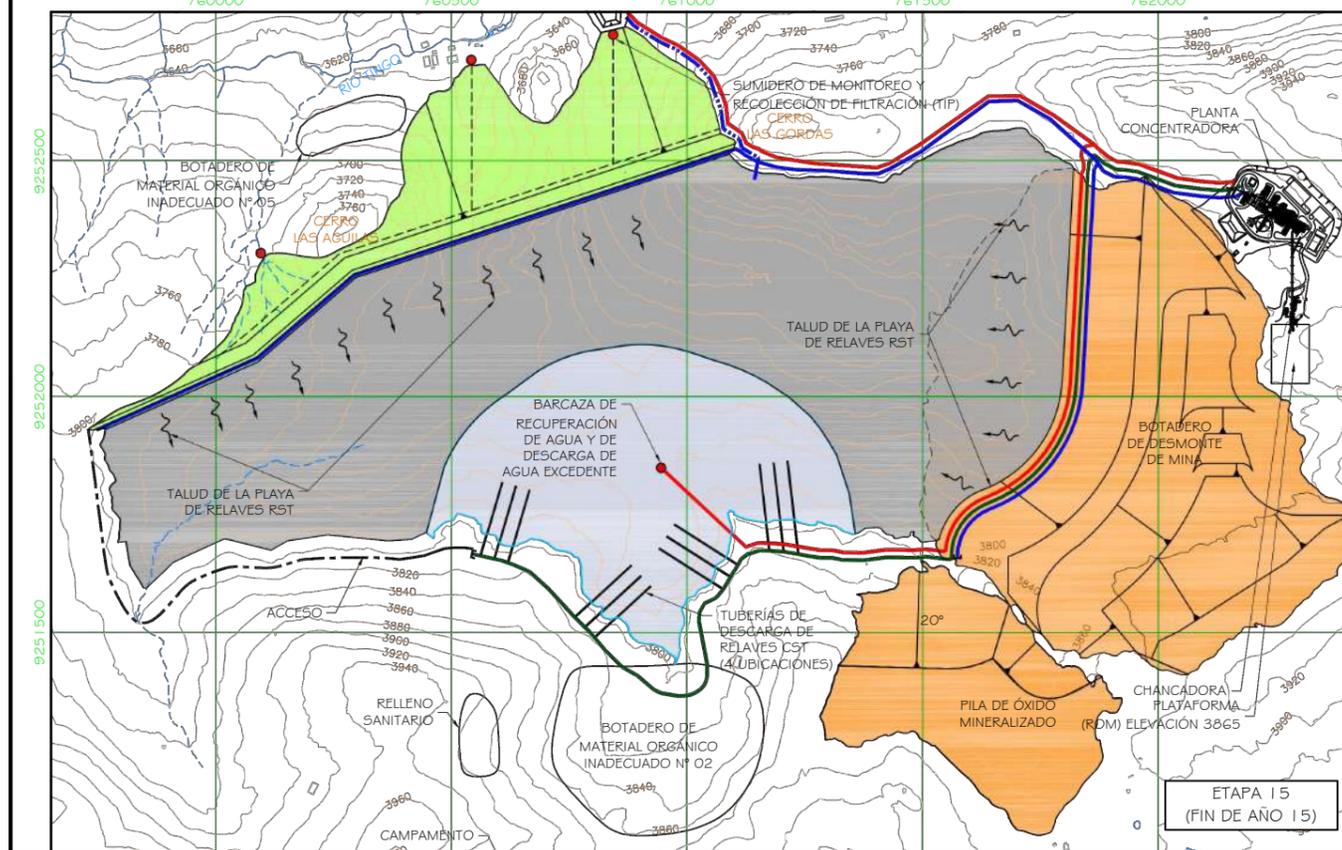
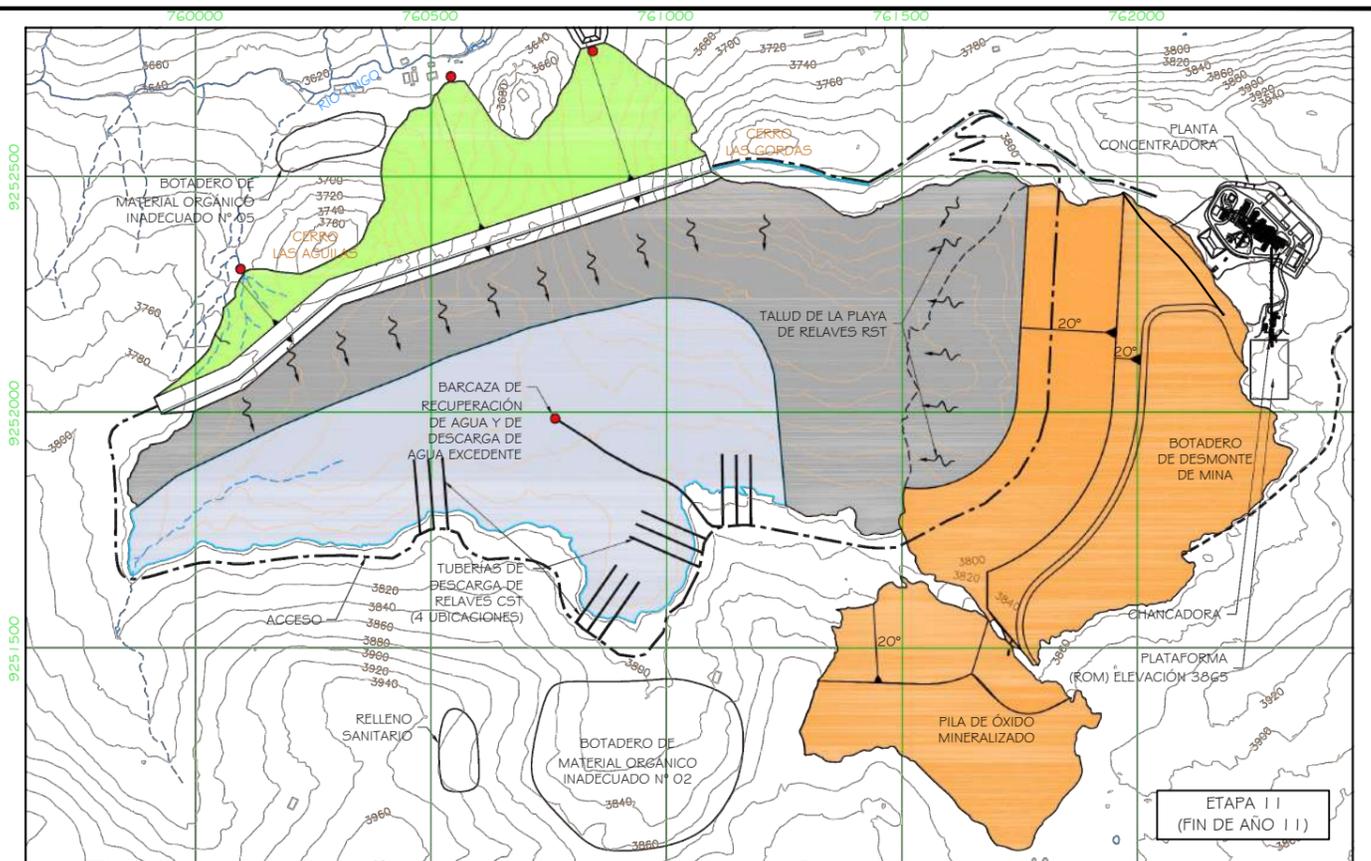
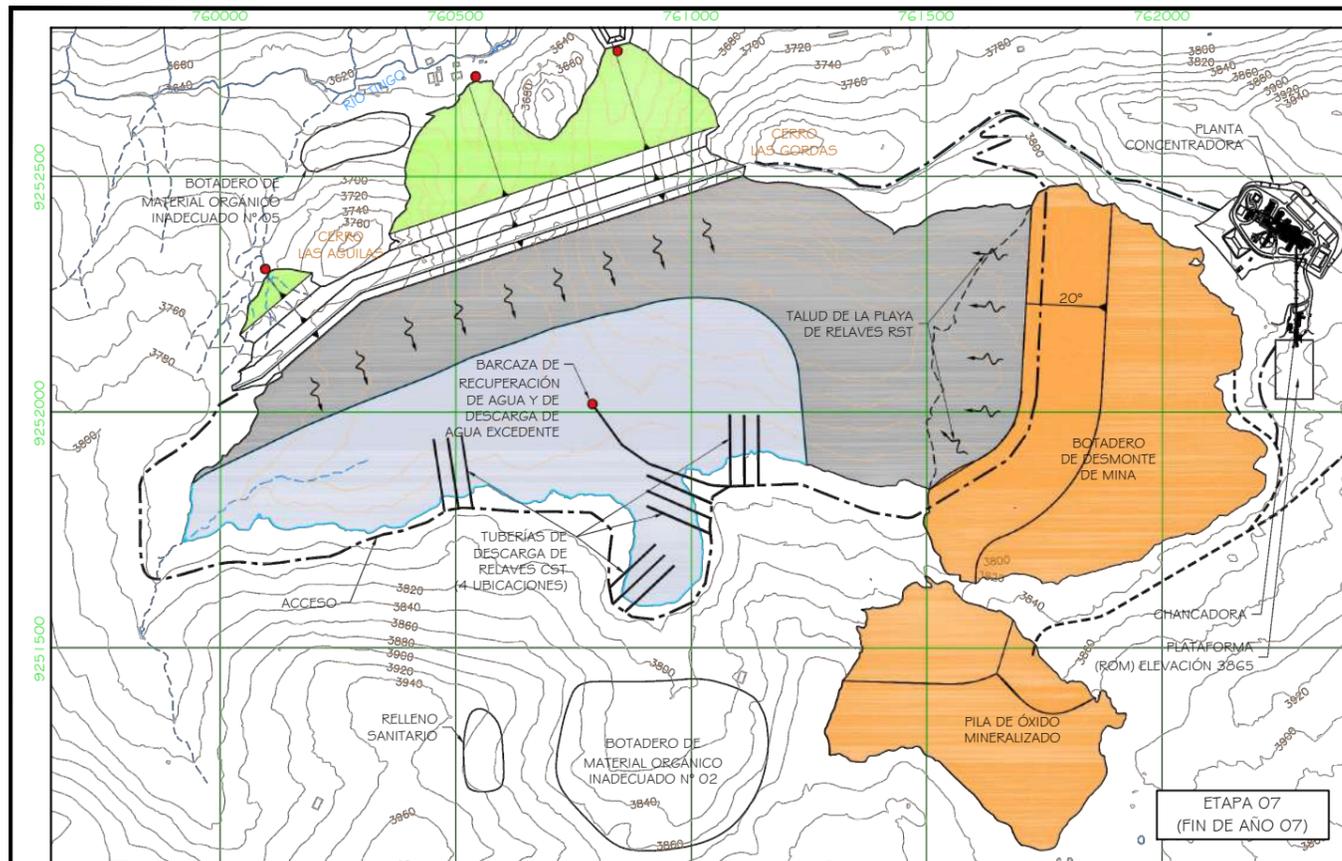
TESISTA : BACH. ING. VÍCTOR FRANZ, ALCÁNTARA PORTAL
 ASESOR : DR. ING. GASPAR, MENDEZ CRUZ

COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DEL SUBSISTEMA DE DISPOSICIÓN DE RELAVES: ROUGHER SCAVENGER TAILINGS, TRAMO: PLANTA CONCENTRADORA – RELAVERA LADO NORTE, DEL PROYECTO CERRO CORONA

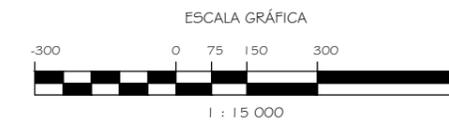
NOTAS

PLANO N°	REFERENCIAS	PLANO N°	REFERENCIAS

PLANO:			
DESARROLLO GENERAL DEL DEPÓSITO DE RELAVES AÑO 01 - AÑO 05			
ESCALA	FIGURA REFERENCIA	NÚMERO DE DIBUJO	FECHA
1:15 000	27A - 27B - 27C	CH5DR_RST_PCC DG-01	JUNIO 2021



SIMBOLOGÍA	
	CURVAS DE NIVEL DE LA SUPERFICIE EXISTENTE
	ACCESO CONSTRUIDO
	CAMINO DE ACARREO
	CURSO SUPERFICIAL DE AGUA
	RELAVES
	BOTADERO DE DESMONTE DE MINA Y PILA DE ÓXIDO MINERALIZADO
	POZA DE AGUA SUPERFICIAL
	ÁREA REVEGETADA



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DEL SUBSISTEMA DE DISPOSICIÓN DE RELAVES: ROUGHER SCAVENGER TAILINGS, TRAMO: PLANTA CONCENTRADORA – RELAVERA LADO NORTE, DEL PROYECTO CERRO CORONA

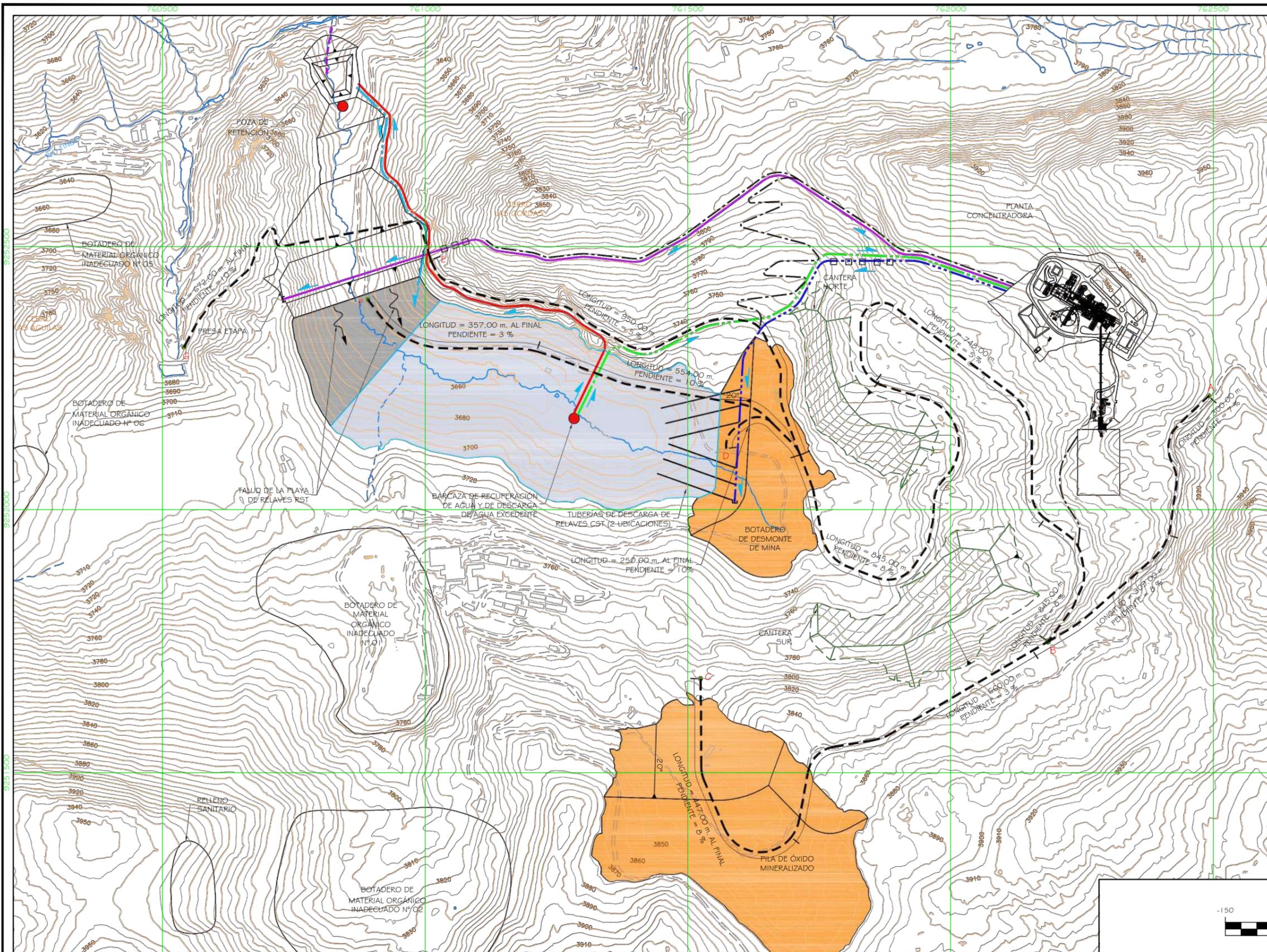
TESISTA : BACH. ING. VÍCTOR FRANZ, ALCÁNTARA PORTAL

ASESOR : DR. ING. GASPAR, MENDEZ CRUZ

PLANO N°	REFERENCIAS	PLANO N°	REFERENCIAS

PLANO:			
DESARROLLO GENERAL DEL DEPÓSITO DE RELAVES AÑO 07 - AÑO 15			
ESCALA	FIGURA REFERENCIA	NÚMERO DE DIBUJO	FECHA
1 : 15 000	27D - 27E - 27F	CH5DR_RST_PCC DG-02	JUNIO 2021

NOTAS



SIMBOLOGÍA	
	CURVAS DE NIVEL DE LA SUPERFICIE EXISTENTE
	CARRETERA EXISTENTE
	CURSO SUPERFICIAL DE AGUA
	ACCESO PARA VEHÍCULOS DE SERVICIO Y OPERACIÓN CONSTRUIDOS EN EL AÑO 1
	CAMINO DE ACARREO PARA CAMIONES DE LA MINA CONSTRUIDOS EN EL AÑO 1
	TUBERÍA DE RELAVES RST
	TUBERÍA DE RELAVES CST
	TUBERÍA DE AGUA RECUPERADA
	TUBERÍA DE AGUA EXCEDENTE
	TUBERÍA DE DESCARGA DE LA POZA DE RETENCIÓN
	TUBERÍA DE RETORNO DE AGUA
	CAJAS DISIPADORAS DE ENERGÍA
	DIRECCIÓN OPERACIONAL DEL FLUJO DE LA TUBERÍA
	RELAVES
	BOTADERO DE DESMONTE DE MINA Y PILA DE ÓXIDO MINERALIZADO
	POZA DE AGUA SUPERFICIAL

ACCESO Y CAMINOS DE ACARREO ESPECIFICACIONES DE GRADIENTE	
ACCESOS	-----
MÁX. PENDIENTE = 13%	
LONGITUD TOTAL = 3000.00 m.	
CAMINOS DE ACARREO	-----
MÁX. PENDIENTE ASCENDENTE = 8%	
MÁX. PENDIENTE DESCENDENTE = 10%	
LONGITUD TOTAL = 5600.00 m.	

DISTANCIA DE TRANSPORTE EN LA MINA PARA LOS AÑOS 1 Y 2	
PUNTOS	DISTANCIAS (KM)
A - B - C	1.72
A - B - D	1.69
A - B - E	3.44
A - B - F	3.40
A - B - E - G	4.11



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DEL SUBSISTEMA DE DISPOSICIÓN DE RELAVES: ROUGHER SCAVENGER TAILINGS, TRAMO: PLANTA CONCENTRADORA – RELAVERA LADO NORTE, DEL PROYECTO CERRO CORONA

TESISTA : BACH. ING. VÍCTOR FRANZ, ALCÁNTARA PORTAL

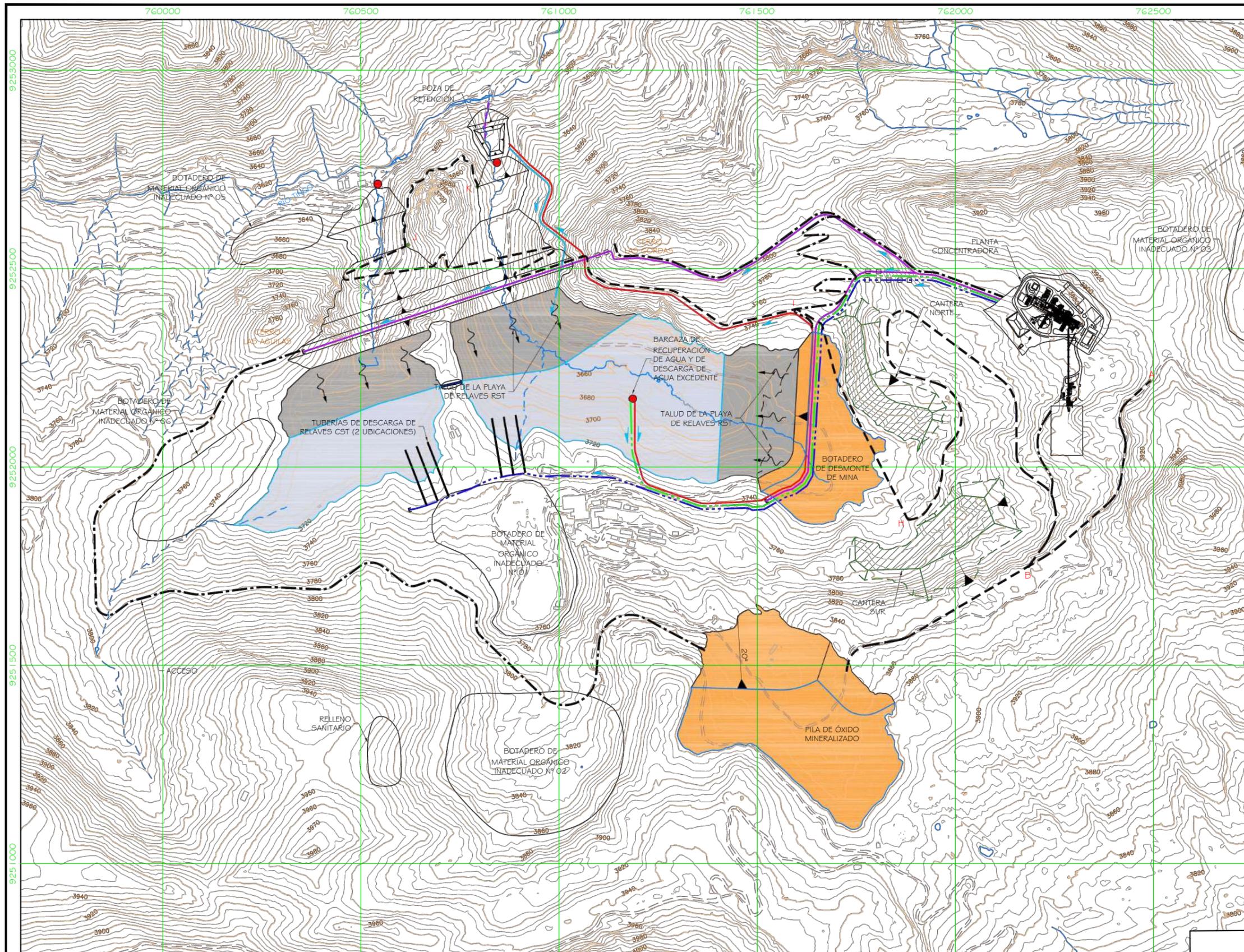
ASESOR : DR. ING. GASPAR, MENDEZ CRUZ

PLANO N°	REFERENCIAS	PLANO N°	REFERENCIAS

PLANO: ACCESOS Y RUTAS DE LAS TUBERÍAS PARA LOS AÑOS 01 Y 02

ESCALA	FIGURA REFERENCIA	NÚMERO DE DIBUJO	FECHA
1 : 7 500	29	CH5DR_RST_PCC AR-01	JUNIO 2021

NOTAS



SIMBOLOGÍA

- CURVAS DE NIVEL DE LA SUPERFICIE EXISTENTE
- CARRETERA EXISTENTE
- CURSO SUPERFICIAL DE AGUA
- ACCESO PARA VEHÍCULOS DE SERVICIO Y OPERACIÓN CONSTRUIDOS EN EL AÑO 1
- CAMINO DE ACARREO PARA CAMIONES DE LA MINA CONSTRUIDOS EN EL AÑO 1
- TUBERÍA DE RELAVES RST
- TUBERÍA DE RELAVES CST
- TUBERÍA DE AGUA RECUPERADA
- TUBERÍA DE AGUA EXCEDENTE
- TUBERÍA DE DESCARGA DE LA POZA DE RETENCIÓN
- TUBERÍA DE RETORNO DE AGUA
- CAJAS DISIPADORAS DE ENERGÍA
- DIRECCIÓN OPERACIONAL DEL FLUJO DE LA TUBERÍA
- RELAVES
- BOTADERO DE DESMORTE DE MINA Y PILA DE ÓXIDO MINERALIZADO
- POZA DE AGUA SUPERFICIAL

ACCESO Y CAMINOS DE ACARREO ESPECIFICACIONES DE GRADIENTE

ACCESOS
 MÁX. PENDIENTE = 13%
 LONGITUD TOTAL = 3000.00 m.

CAMINOS DE ACARREO
 MÁX. PENDIENTE ASCENDENTE = 8%
 MÁX. PENDIENTE DESCENDENTE = 10%
 LONGITUD TOTAL = 5600.00 m.

DISTANCIA DE TRANSPORTE EN LA MINA PARA EL AÑO 3

PUNTOS	DISTANCIAS (KM)
A - B - H	2.16
A - B - H - I	3.39
A - B - H - I - J	4.46
A - B - H - I - J - K	4.90



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DEL SUBSISTEMA DE DISPOSICIÓN DE RELAVES: ROUGHER SCAVENGER TAILINGS, TRAMO: PLANTA CONCENTRADORA – RELAVERA LADO NORTE, DEL PROYECTO CERRO CORONA

TESISTA : BACH. ING. VÍCTOR FRANZ, ALCÁNTARA PORTAL

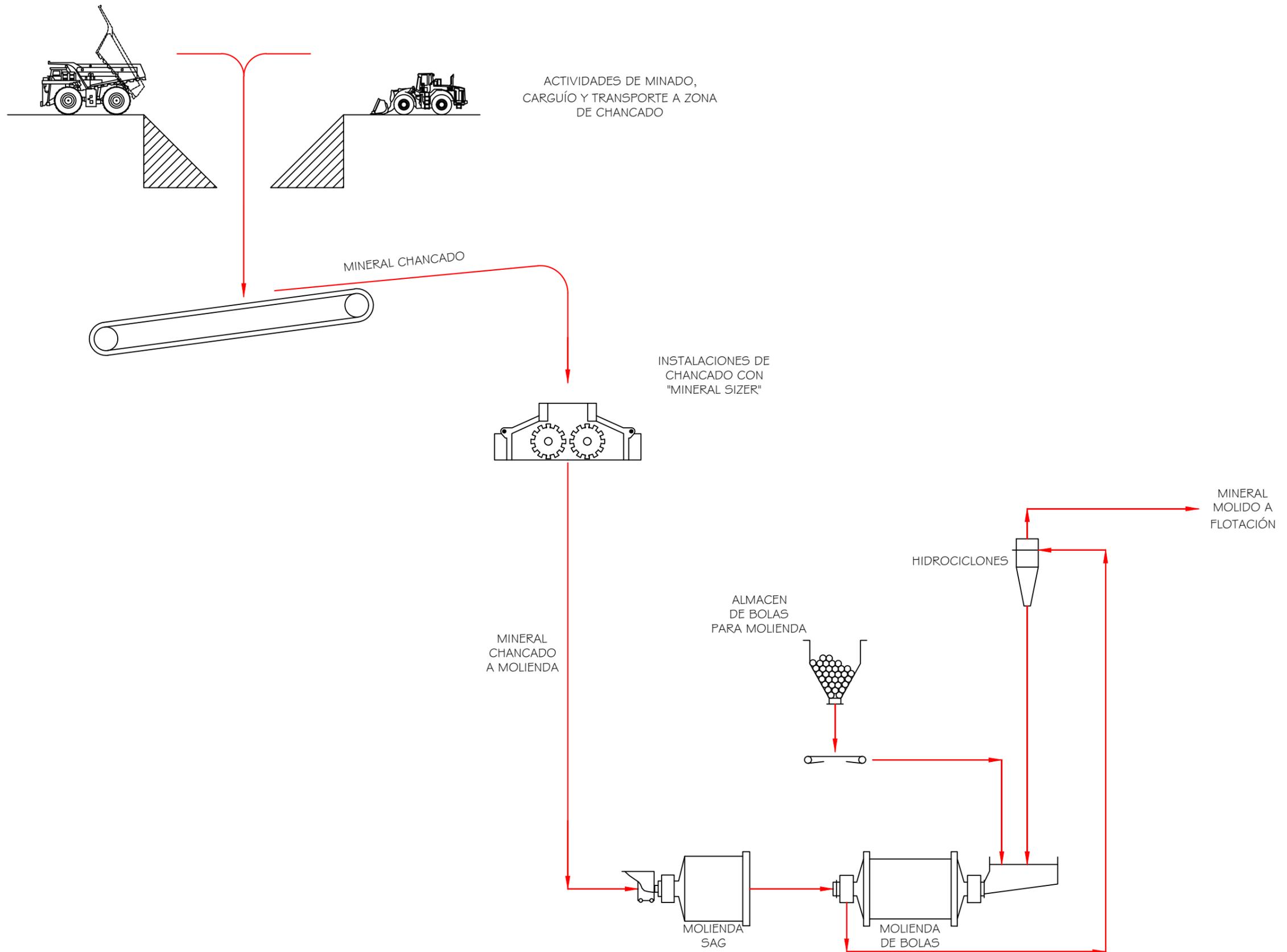
ASESOR : DR. ING. GASPAR, MENDEZ CRUZ

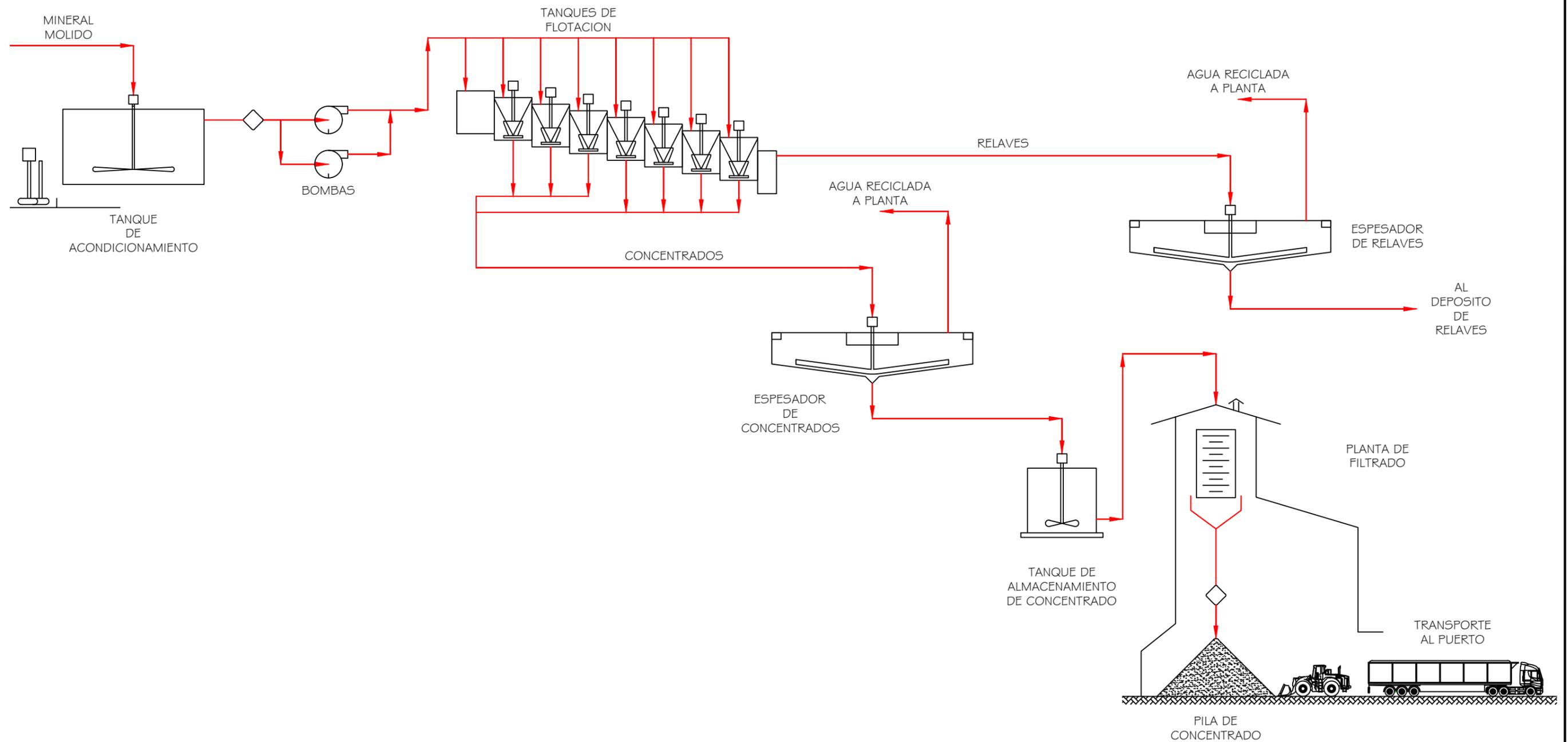
NOTAS

PLANO N°	REFERENCIAS	PLANO N°	REFERENCIAS

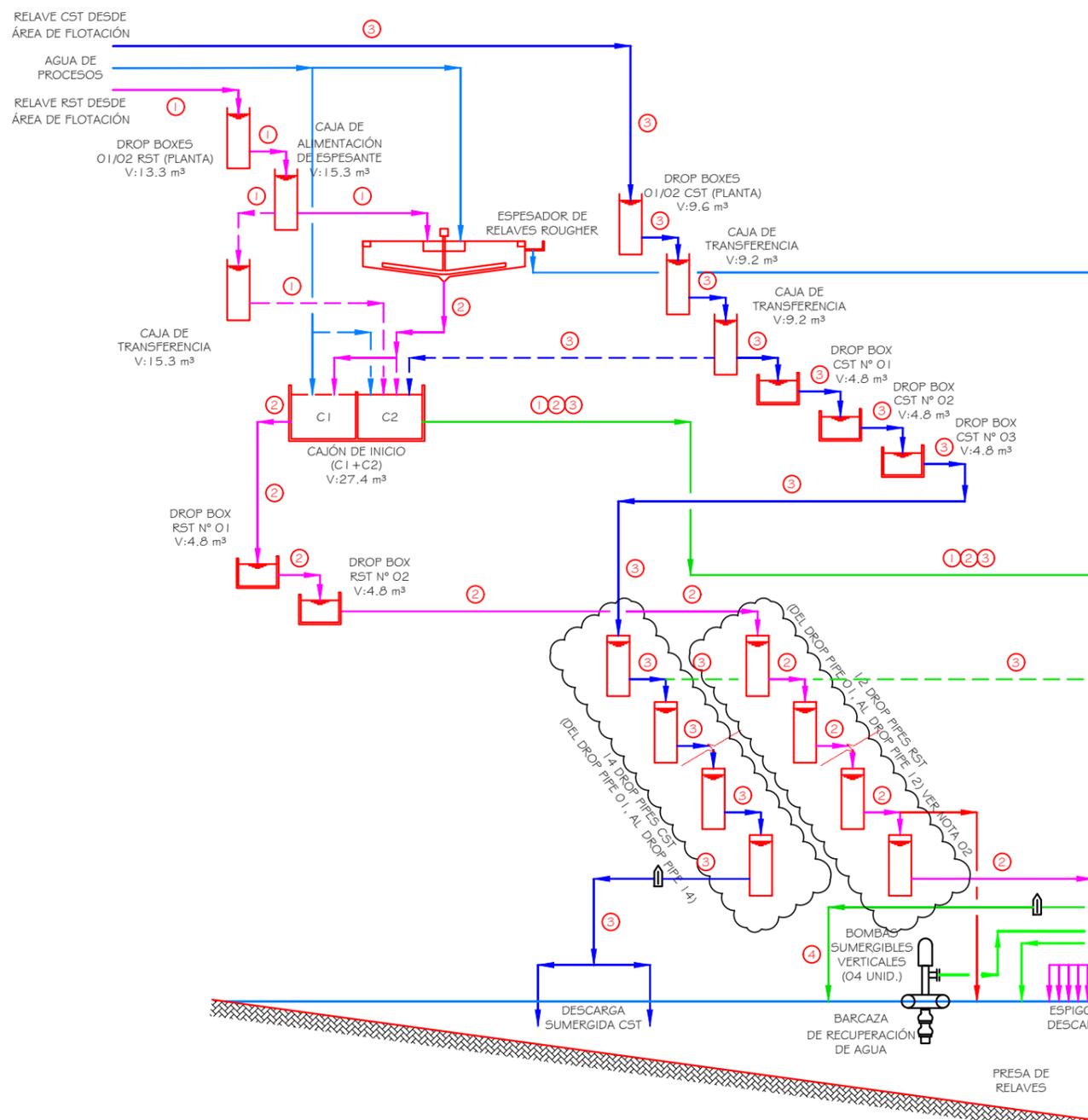
PLANO:
ACCESOS Y RUTAS DE LAS TUBERÍAS PARA EL AÑO 03

ESCALA	FIGURA REFERENCIA	NÚMERO DE DIBUJO	FECHA
1 : 10 000	30	CH5DR_RST_PCC AR-02	JUNIO 2021

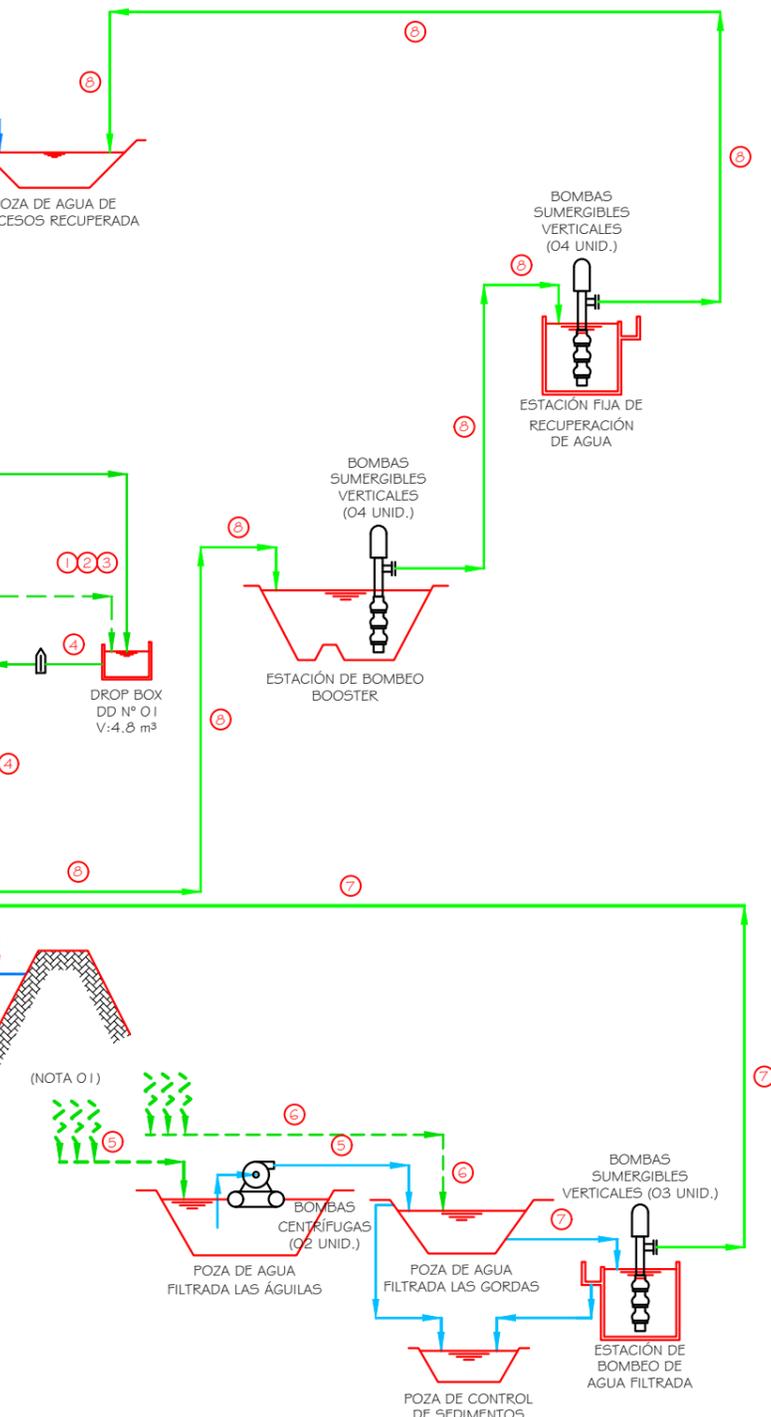
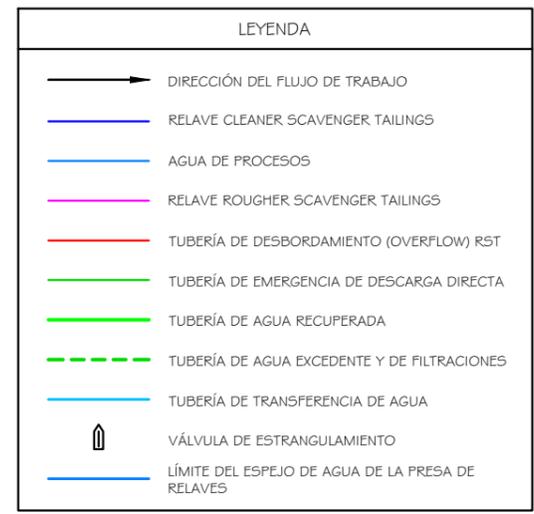




 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL	TESISISTA : BACH. ING. VÍCTOR FRANZ, ALCÁNTARA PORTAL	ASESOR : DR. ING. GASPAR, MENDEZ CRUZ	PLANOS REFERENCIALES				PLANO: DIAGRAMA DE FLUJO GENERAL DE LAS OPERACIONES 2/2
			NOTAS				ESCALA: SIN ESCALA FIGURA REFERENCIA: 25B NÚMERO DE DIBUJO: CH5DR_R5T_PCC DF-02 FECHA: JUNIO 2021
COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DEL SUBSISTEMA DE DISPOSICIÓN DE RELAVES: ROUGHER SCAVENGER TAILINGS, TRAMO: PLANTA CONCENTRADORA – RELAVERA LADO NORTE, DEL PROYECTO CERRO CORONA			PLANO N°	REFERENCIAS	PLANO N°	REFERENCIAS	



ESCENARIO N°	CONDICIONES OPERACIONALES INICIALES DE DISPOSICIÓN DE RELAVES	MÍNIMO					NOMINAL					MÁXIMO							
		SOLIDOS		AGUA		RELAVE	SOLIDOS		AGUA		RELAVE	SOLIDOS		AGUA		RELAVE			
		SGs	dmtph	m³/h	Cw (%)	SG	m³/h	SGs	dmtph	m³/h	Cw (%)	SG	m³/h	SGs	dmtph	m³/h	Cw (%)	SG	m³/h
1	RELAVES NO ESPESADOS RST	2.71	593	1223	33	1.26	1442	2.71	650	1469	31	1.24	1709	2.71	780	1941	29	1.22	2229
2	RELAVES ESPESADOS HACIA LA PRESA	2.71	593	396	60	1.61	615	2.71	650	532	55	1.53	772	2.71	780	780	50	1.46	1068
3	RELAVES CST HACIA LA PRESA	2.46	88	359	20	1.13	395	2.46	97	448	18	1.12	487	2.46	116	621	16	1.10	668
4	RELAVES RST Y CST HACIA LA PRESA	2.46	116	621	16	1.10	668	2.71	780	780	50	1.46	1068	2.71	390	970	29	1.22	1114
5	AGUA DE DRENAJE DE LA POZA LAS ÁGUILAS	-	-	0	-	-	-	-	-	78	-	-	-	-	-	156	-	-	-
6	AGUA DE DRENAJE DE LA POZA LAS GORDAS	-	-	0	-	-	-	-	-	101	-	-	-	-	202	-	-	-	-
7	AGUAS DE FILTRACIÓN	-	-	0	-	-	-	-	-	179	-	-	-	-	358	-	-	-	-
8	AGUA RECUPERADA	-	-	754	-	-	-	-	-	980	-	-	-	-	2562	-	-	-	-



ESCENARIO N°	CONDICIONES OPERACIONALES FINALES DE DISPOSICIÓN DE RELAVES	MÍNIMO					NOMINAL					MÁXIMO							
		SOLIDOS		AGUA		RELAVE	SOLIDOS		AGUA		RELAVE	SOLIDOS		AGUA		RELAVE			
		SGs	dmtph	m³/h	Cw (%)	SG	m³/h	SGs	dmtph	m³/h	Cw (%)	SG	m³/h	SGs	dmtph	m³/h	Cw (%)	SG	m³/h
1	RELAVES NO ESPESADOS RST	2.71	729	1480	33	1.26	1749	2.71	865	1924	31	1.24	2243	2.71	1000	2448	29	1.22	2817
2	RELAVES ESPESADOS HACIA LA PRESA	2.71	729	486	60	1.61	755	2.71	865	707	55	1.53	1026	2.71	1000	1000	50	1.46	1369
3	RELAVES CST HACIA LA PRESA	2.46	90	358	20	1.13	395	2.46	98	447	18	1.12	487	2.46	118	620	16	1.10	668
4	RELAVES RST Y CST HACIA LA PRESA	2.46	118	620	16	1.10	668	2.71	1000	1000	50	1.46	1369	2.71	500	1224	29	1.22	1409
5	AGUA DE DRENAJE DE LA POZA LAS ÁGUILAS	-	-	0	-	-	-	-	-	78	-	-	-	-	156	-	-	-	-
6	AGUA DE DRENAJE DE LA POZA LAS GORDAS	-	-	0	-	-	-	-	-	101	-	-	-	-	202	-	-	-	-
7	AGUAS DE FILTRACIÓN	-	-	0	-	-	-	-	-	179	-	-	-	-	358	-	-	-	-
8	AGUA RECUPERADA	-	-	754	-	-	-	-	-	980	-	-	-	-	2562	-	-	-	-

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DEL SUBSISTEMA DE DISPOSICIÓN DE RELAVES: ROUGHER SCAVENGER TAILINGS, TRAMO: PLANTA CONCENTRADORA – RELAVERA LADO NORTE, DEL PROYECTO CERRO CORONA

TESISTA : BACH. ING. VÍCTOR FRANZ, ALCÁNTARA PORTAL

ASESOR : DR. ING. GASPAR, MENDEZ CRUZ

1. EL AGUA DE DRENAJE FUE ASUMIDA A PARTIR DE LAS ESTIMACIONES DE LOS RESPECTIVOS ESTUDIOS DE INFILTRACIONES (LAS ÁGUILAS - LAS GORDAS) Y EL FLUJO MÁXIMO DE FILTRACIÓN SE CONSIDERÓ CON UN INCREMENTO DEL 10% POR SEGURIDAD.

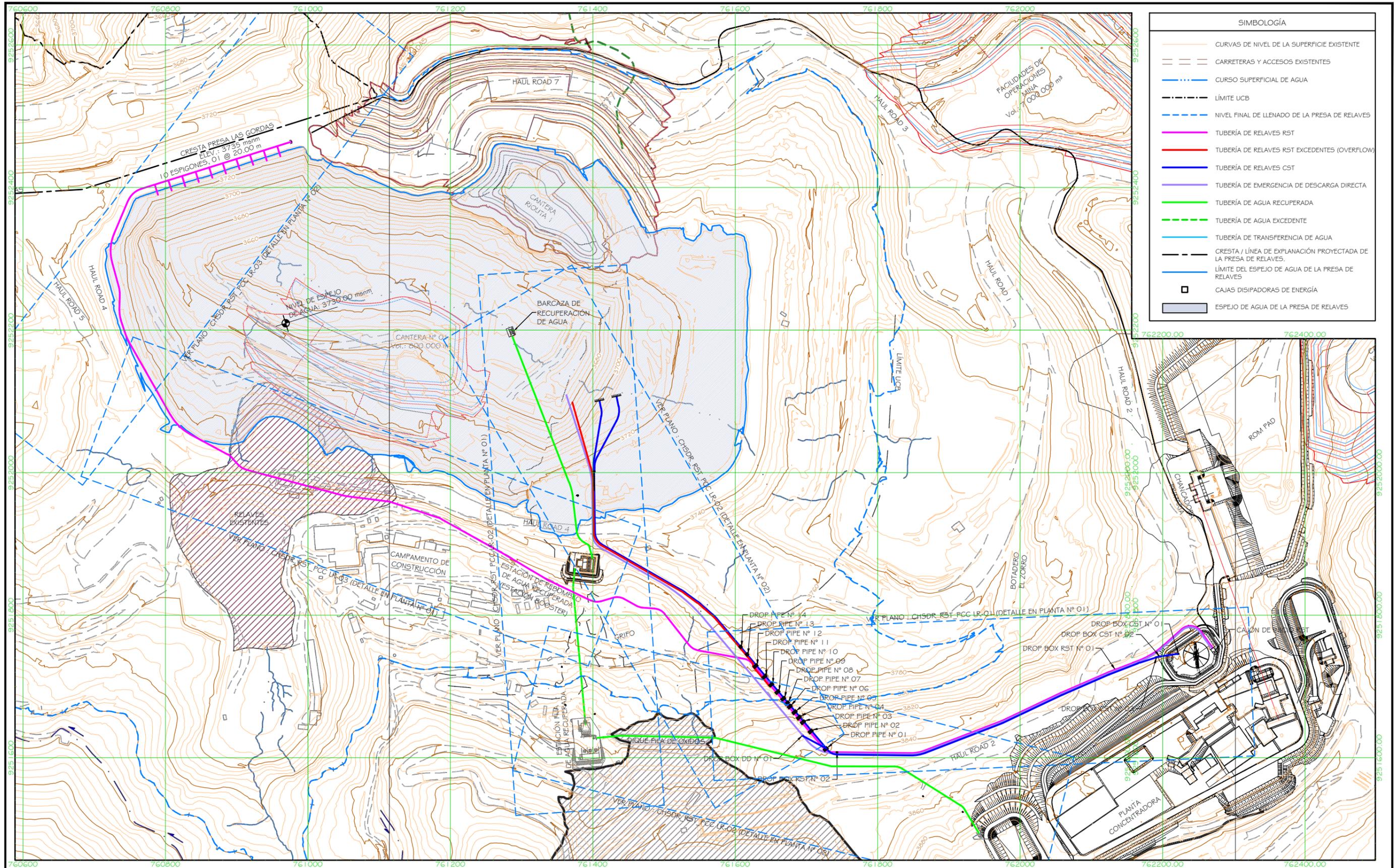
2. LA TUBERÍA DE DESBORDAMIENTO (OVERFLOW) DEL SISTEMA RST, SALE EN EL DROP PIPE N° 10 HACIA DESCARGA DIRECTA EN LA PRESA DE RELAVES.

PLANO N°	REFERENCIAS	PLANO N°	REFERENCIAS

PLANO: SITUACIÓN ACTUAL DE LA DISPOSICIÓN DE RELAVES

DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESOS

ESCALA	FIGURA REFERENCIA	NÚMERO DE DIBUJO	FECHA
SIN ESCALA	-	CH5DR_RST_PCC DP-01	JUNIO 2021



SIMBOLOGÍA	
	CURVAS DE NIVEL DE LA SUPERFICIE EXISTENTE
	CARRETERAS Y ACCESOS EXISTENTES
	CURSO SUPERFICIAL DE AGUA
	LÍMITE UCB
	NIVEL FINAL DE LLENADO DE LA PRESA DE RELAVES
	TUBERÍA DE RELAVES RST
	TUBERÍA DE RELAVES RST EXCEDENTES (OVERFLOW)
	TUBERÍA DE RELAVES CST
	TUBERÍA DE EMERGENCIA DE DESCARGA DIRECTA
	TUBERÍA DE AGUA RECUPERADA
	TUBERÍA DE AGUA EXCEDENTE
	TUBERÍA DE TRANSFERENCIA DE AGUA
	CRESTA / LÍNEA DE EXPLANACIÓN PROYECTADA DE LA PRESA DE RELAVES
	LÍMITE DEL ESPEJO DE AGUA DE LA PRESA DE RELAVES
	CAJAS DISIPADORAS DE ENERGÍA
	ESPEJO DE AGUA DE LA PRESA DE RELAVES

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DEL SUBSISTEMA DE DISPOSICIÓN DE RELAVES: ROUGHER SCAVENGER TAILINGS, TRAMO: PLANTA CONCENTRADORA – RELAVERA LADO NORTE, DEL PROYECTO CERRO CORONA

TESISTA : BACH. ING. VÍCTOR FRANZ, ALCÁNTARA PORTAL

ASESOR : DR. ING. GASPAR, MENDEZ CRUZ

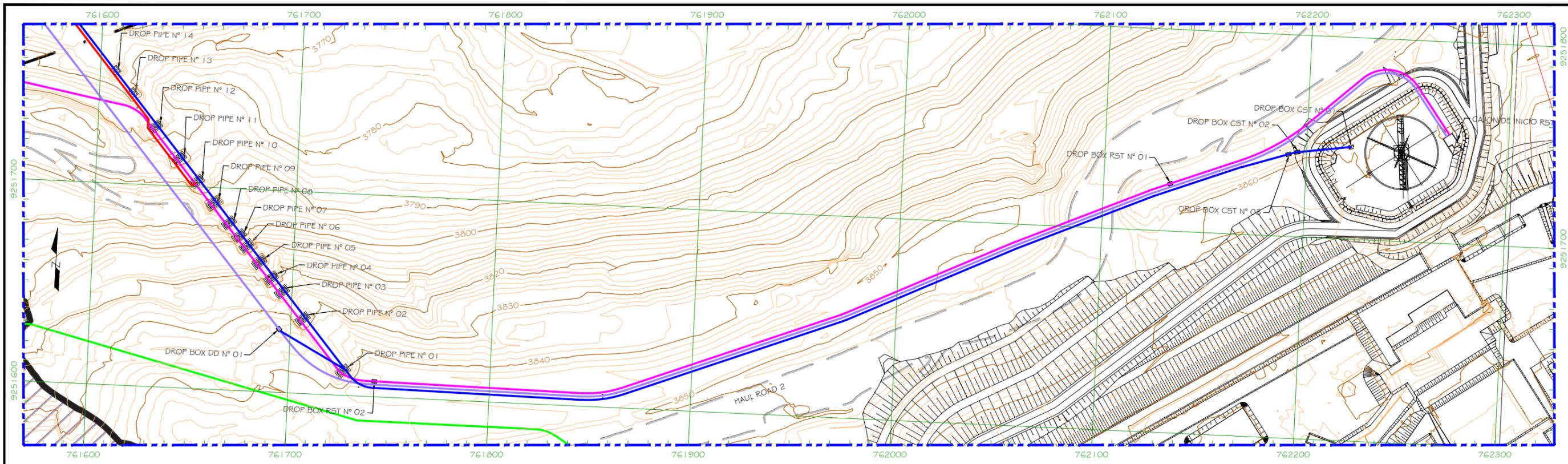
1. PROYECCIÓN PARA GENERAR GRILLA DE COORDENADAS: SISTEMA UTM - DATUM: PSAD 56 - ZONA 175.

NOTAS

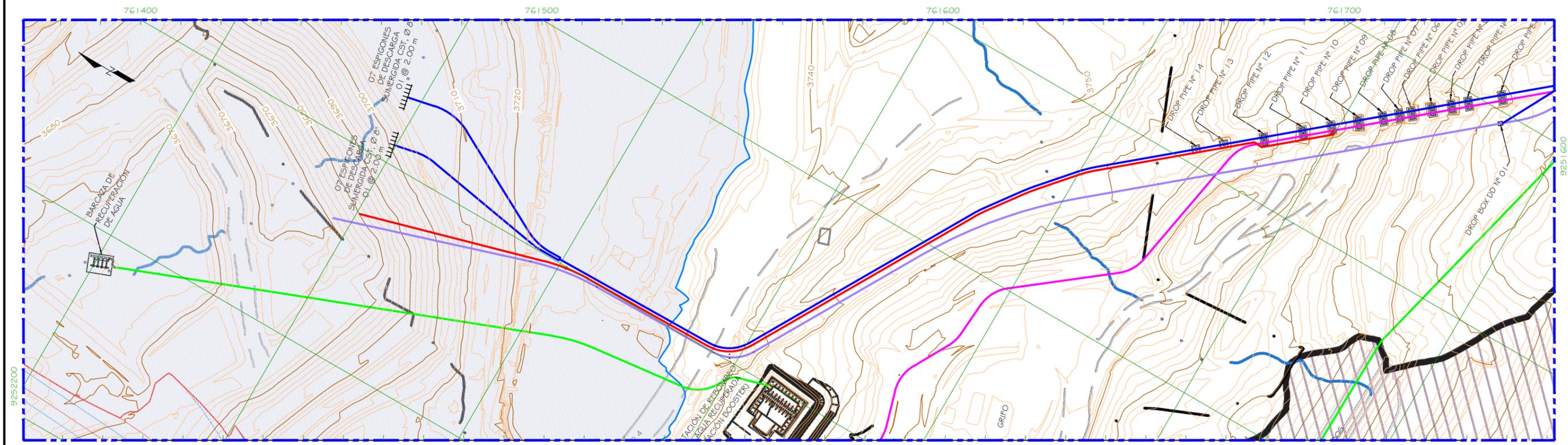
PLANO Nº	REFERENCIAS	PLANO Nº	REFERENCIAS

PLANO: SITUACIÓN ACTUAL DE LA DISPOSICIÓN DE RELAVES
 PLANO GENERAL

ESCALA	FIGURA REFERENCIA	NÚMERO DE DIBUJO	FECHA
1:5000	-	CH5DR_RST_PCC DR-01	JUNIO 2021



DETALLE EN PLANTA Nº 01



DETALLE EN PLANTA Nº 02

- CURVAS DE NIVEL
- TUBERÍA DE RELAVES RST EXCEDENTES - OVERFLOW (Ø 18")
- TUBERÍA DE EMERGENCIA DE DESCARGA DIRECTA (Ø 24" - Ø 18")
- TUBERÍA DE AGUA RECUPERADA (Ø 24")
- TUBERÍA DE RELAVES RST (Ø 18")
- TUBERÍA DE RELAVES CST (Ø 18")
- TUBERÍA DE AGUA EXCEDENTE (Ø 8")
- TUBERÍA DE TRANSFERENCIA DE AGUA (Ø 8")


UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

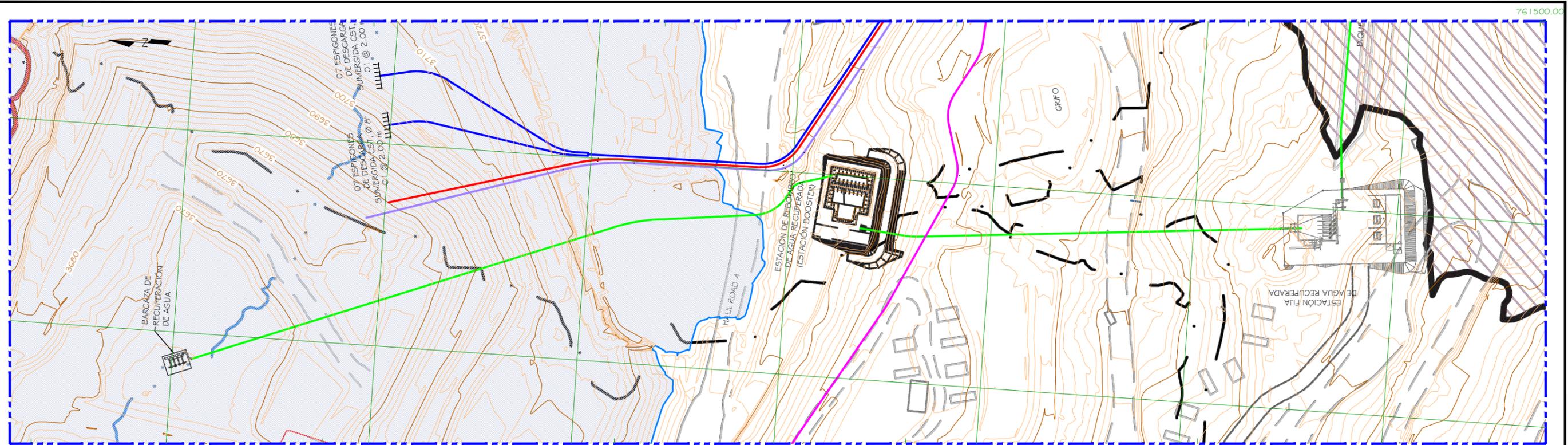
COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DEL SUBSISTEMA DE DISPOSICIÓN DE RELAVES: ROUGHER SCAVENGER TAILINGS, TRAMO: PLANTA CONCENTRADORA – RELAVERA LADO NORTE, DEL PROYECTO CERRO CORONA

TESISISTA : BACH. ING. VÍCTOR FRANZ, ALCÁNTARA PORTAL
 ASESOR : DR. ING. GASPAR, MENDEZ CRUZ

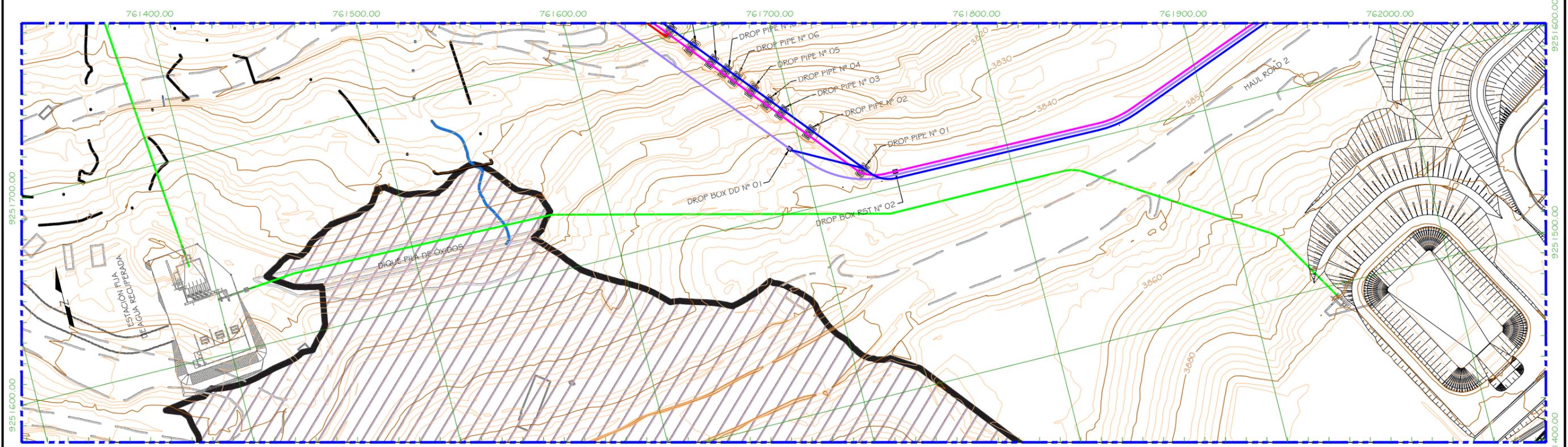
1. PROYECCIÓN PARA GENERAR GRILLA DE COORDENADAS: SISTEMA UTM - DATUM: PSAD 56 - ZONA 17S.
 NOTAS

CHSDR_RST_PCC DR-01	FIGURA Nº 2.14	PLANO Nº	REFERENCIAS

PLANO:			
SITUACIÓN ACTUAL DE LA DISPOSICIÓN DE RELAVES			
DETALLE DE LÍNEAS DE RELAVES 1/3			
ESCALA	FIGURA REFERENCIA	NÚMERO DE DIBUJO	FECHA
1:2000	-	CHSDR_RST_PCC LR-01	JUNIO 2021



DETALLE EN PLANTA N° 01



DETALLE EN PLANTA N° 02

- CURVAS DE NIVEL
- TUBERÍA DE RELAVES RST EXCEDENTES - OVERFLOW (Ø 18")
- TUBERÍA DE RELAVES RST (Ø 18")
- TUBERÍA DE RELAVES CST (Ø 18")
- TUBERÍA DE EMERGENCIA DE DESCARGA DIRECTA (Ø 24" - Ø 18")
- TUBERÍA DE AGUA RECUPERADA (Ø 24")
- TUBERÍA DE TRANSFERENCIA DE AGUA (Ø 8")


UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DEL SUBSISTEMA DE DISPOSICIÓN DE RELAVES: ROUGHER SCAVENGER TAILINGS, TRAMO: PLANTA CONCENTRADORA – RELAVERA LADO NORTE, DEL PROYECTO CERRO CORONA

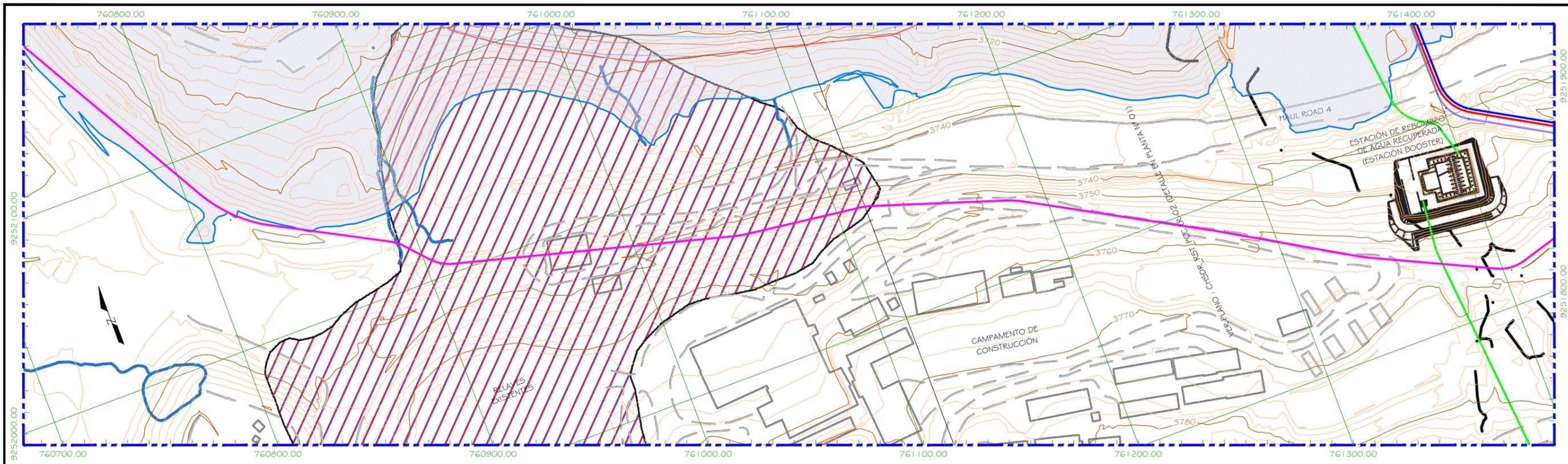
TESISISTA : BACH. ING. VÍCTOR FRANZ, ALCÁNTARA PORTAL
 ASESOR : DR. ING. GASPAR, MENDEZ CRUZ

1. PROYECCIÓN PARA GENERAR GRILLA DE COORDENADAS: SISTEMA UTM - DATUM: PSAD 56 - ZONA 175.

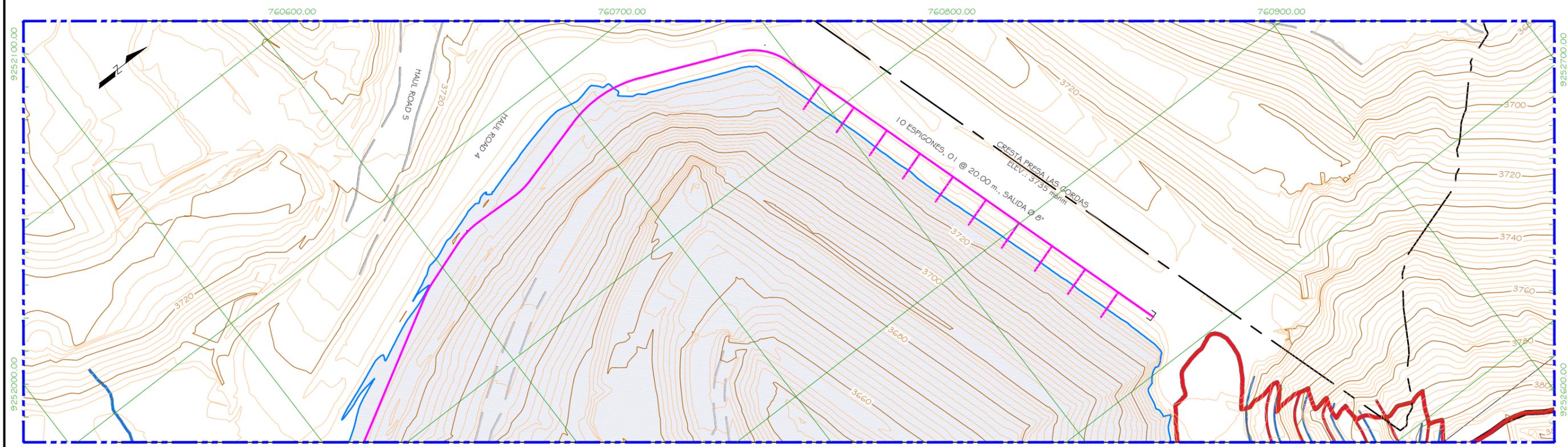
NOTAS

CHSDR_RST_PCC DR-01	FIGURA N° 2.14	PLANO N°	REFERENCIAS

PLANO:			
SITUACIÓN ACTUAL DE LA DISPOSICIÓN DE RELAVES			
DETALLE DE LÍNEAS DE RELAVES 2/3			
ESCALA	FIGURA REFERENCIA	NÚMERO DE DIBUJO	FECHA
1:2000	-	CHSDR_RST_PCC LR-02	JUNIO 2021



DETALLE EN PLANTA N° 01



DETALLE EN PLANTA N° 02

- CURVAS DE NIVEL
- TUBERÍA DE RELAYES RST EXCEDENTES - OVERFLOW (Ø 18")
- TUBERÍA DE RELAYES RST (Ø 18")
- TUBERÍA DE RELAYES CST (Ø 18")
- TUBERÍA DE EMERGENCIA DE DESCARGA DIRECTA (Ø 24" - Ø 18")
- TUBERÍA DE AGUA RECUPERADA (Ø 24")
- TUBERÍA DE TRANSFERENCIA DE AGUA (Ø 8")
- TUBERÍA DE AGUA EXCEDENTE (Ø 8")

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL	 BACH. ING. VÍCTOR FRANZ, ALCÁNTARA PORTAL	TESISISTA : BACH. ING. VÍCTOR FRANZ, ALCÁNTARA PORTAL	ASESOR : DR. ING. GASPAR, MENDEZ CRUZ	1. PROYECCIÓN PARA GENERAR GRILLA DE COORDENADAS: SISTEMA UTM - DATUM: PSAD 56 - ZONA 17S.					PLANO: SITUACIÓN ACTUAL DE LA DISPOSICIÓN DE RELAYES DETALLE DE LÍNEAS DE RELAYES 3/3
				NOTAS	CHSDR_RST_PCC DR-01 PLANO N°	FIGURA N° 2.14 REFERENCIAS	PLANO N° REFERENCIAS	PLANO N° REFERENCIAS	ESCALA 1:2000