

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA



**DISEÑO DEL SISTEMA DE TRANSPORTE DE
RELAVES FINOS DE 2,500m³/h, DE LA MINA DE
FOSFATOS DE BAYOVAR**

INFORME DE COMPETENCIA PROFESIONAL

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO MECANICO

CARLOS ALBERTO USCATA HUAMAN

**PROMOCIÓN 1998 – II
LIMA – PERÚ**

2012

DEDICATORIA

Para mis padres

Juan Uscata y María Huamán

Y a mis hermanos

por el amor y comprensión

que me brindan siempre

para ellos mi amor y esfuerzo de siempre

TABLA DE CONTENIDO

PROLOGO	1
CAPITULO I	
INTRODUCCION.....	3
1.1 GENERALIDADES	3
1.2 CONDICIONES DEL SITIO.....	5
1.2.1 UBICACIÓN GEOGRAFICA DEL PROYECTO BAYOVAR I.....	6
1.2.2 LOCALIZACION GEOGRAFICA DE LAS TUBERIAS QUE TRANSPORTAN LOS RELAVES FINOS	6
1.2.3 CLIMA	8
1.2.4 CONDICIONES SISMICAS.....	9
CAPITULO II	
OBJETIVOS.....	11
2.1 OBJETIVOS	11
CAPITULO III	
DESCRIPCION DEL PROCESO	12
3.1 VISION GENERAL DEL PROCESO.....	12
3.2 PLANTA CONCENTRADORA	13

CAPITULO IV

BASES DE DISEÑO.....	17
4.1 SISTEMA DE UNIDADES.....	17
4.2 CONSIDERACIONES BASICAS PARA EL DISEÑO DE TUBERIAS.....	17
4.3 DISEÑO HIDRAULICO EN TUBERIAS A PRESION PARA PULPAS	20
4.3.1 Velocidad Límite de Depósito (VL)	20
4.3.2 Formula de Durand clásica.....	20
4.3.3 Formula de Durand modificada por JRI	21
4.3.4 Formula de Durand modificada por JRI	21
4.4 VELOCIDAD MÍNIMA DEL FLUJO (VMIN)	22
4.5 VELOCIDAD MÁXIMA DEL FLUJO (VMAX)	22
4.6 ECUACION DE LA ENERGIA O TEOREMA DE BERNOULLI	23
4.7 PÉRDIDA DE CARGA EN TUBERIAS (ΔH).....	24
4.7.1 Pérdidas de carga primarias.....	25
4.7.2 Perdidas de carga secundarias o perdida local.....	27
4.8 VISCOSIDAD DINAMICA PARA PULPAS NEWTONIANAS	27
4.9 DENSIDAD DE LA PULPA	28
4.10 GRAVEDAD ESPECÍFICA.....	28
4.11 CONCENTRACIÓN DE SÓLIDOS EN PESO	29
4.12 CONCENTRACIÓN DE SÓLIDOS EN VOLUMEN.....	29
4.13 GOLPE DE ARIETE.....	30
4.14 VELOCIDAD DE LA ONDA DE PRESION, EN PULPAS.....	30
4.15 FLUJO DE SOBREDISEÑO	32
4.16 TUBERIAS DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD (HDPE o PEAD).....	32

CAPITULO V

CARACTERISTICAS DE LOS RELAVES FINOS	36
5.1 ANÁLISIS QUÍMICO	36
5.2 ANALISIS MINERALÓGICO	36
5.3 ANALISIS GRANULOMETRICO	37
5.4 BALANCE DE MATERIALES	37

CAPITULO VI

DISEÑO DEL SISTEMA DE TRANSPORTE DERELAVES FINOS.....	40
6.1 PREMISAS DE DISEÑO	40
6.2 DISEÑO DE LA LINEA DE IMPULSION.....	41
6.2.1 Caudal de diseño (Qdiseño).....	41
6.2.2 Trazado o ruteo de la tubería	41
6.2.3 Línea de carga hidráulica	42
6.2.4 Dimensionamiento de la tubería de relaves finos.....	42
6.2.5 Flujos de operación.....	43
6.2.6 Pérdidas de carga de diseño.....	44

CAPITULO VII

COSTOS	46
7.1 COSTOS DEL PROYECTO EN SUMINISTRO Y MONTAJE.....	46
CONCLUSIONES.....	48
RECOMENDACIONES.....	50
BIBLIOGRAFIA.....	51

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A	GRAFICO MC ELVAIN Y CAVE
ANEXO B	TABLAS DE COEFICIENTES DE PERDIDAS (K)
ANEXO C	DIMENSIONES DE LA TUBERIA HDPE
ANEXO D	CÁLCULO DEL DIÁMETRO DE LA TUBERIA
ANEXO E	TUBERIA DE RELAVES FINOS / LINEA DE CARGA
ANEXO F	PROPIEDADES DEL AGUA SALADA
ANEXO P	REGISTRO FOTOGRAFICO

LISTA DE PLANOS

PLANO N°01	PLANTA CONCENTRADORA / DIAGRAMA DE PROCESOS
PLANO N°10	MINA Y PLANTA CONCENTRADORA / TUBERIA DE RELAVES FINOS / DISPOSICION GENERAL
PLANO N°11	PLANTA CONCENTRADORA / TUBERIAS DE RELAVES FINOS / PLANTA Y PERFIL LONGITUDINAL - HOJA 1/11
PLANO N°12	PLANTA CONCENTRADORA / TUBERIAS DE RELAVES FINOS / PLANTA Y PERFIL LONGITUDINAL - HOJA 2/11
PLANO N°13	PLANTA CONCENTRADORA / TUBERIAS DE RELAVES FINOS / PLANTA Y PERFIL LONGITUDINAL - HOJA 3/11
PLANO N°14	PLANTA CONCENTRADORA / TUBERIAS DE RELAVES FINOS / PLANTA Y PERFIL LONGITUDINAL - HOJA 4/11
PLANO N°15	PLANTA CONCENTRADORA / TUBERIAS DE RELAVES FINOS / PLANTA Y PERFIL LONGITUDINAL - HOJA 5/11
PLANO N°16	PLANTA CONCENTRADORA / TUBERIAS DE RELAVES FINOS / PLANTA Y PERFIL LONGITUDINAL - HOJA 6/11

PLANO N°17	PLANTA CONCENTRADORA / TUBERIAS DE RELAVES FINOS / PLANTA Y PERFIL LONGITUDINAL - HOJA 7/11
PLANO N°18	PLANTA CONCENTRADORA / TUBERIAS DE RELAVES FINOS / PLANTA Y PERFIL LONGITUDINAL - HOJA 8/11
PLANO N°19	PLANTA CONCENTRADORA / TUBERIAS DE RELAVES FINOS / PLANTA Y PERFIL LONGITUDINAL - HOJA 9/11
PLANO N°20	PLANTA CONCENTRADORA / TUBERIAS DE RELAVES FINOS / PLANTA Y PERFIL LONGITUDINAL - HOJA 10/11
PLANO N°21	PLANTA CONCENTRADORA / TUBERIAS DE RELAVES FINOS / PLANTA Y PERFIL LONGITUDINAL - HOJA 11/11
PLANO N°22	PLANTA CONCENTRADORA / TUBERIAS DE RELAVES FINOS / DETALLES Y SECCIONES

PROLOGO

El presente informe se refiere al cálculo del diámetro y diseño del ruteo del sistema de transporte de relaves finos, de la mina de fosfatos de Bayovar. Este informe consta en siete capítulos, anexos, planos y conclusiones.

En el Capítulo I, se realiza la introducción, donde se describen de modo general los componentes principales del proyecto Bayovar, condiciones del sitio y se hace notar donde se ubica (dentro de todo el contexto del proyecto Bayovar) la tubería de relaves.

En el capítulo II, se mencionan los objetivos del informe.

En el capítulo III, Se explican en qué etapa del proceso del concentrado del mineral, de la planta concentradora, se obtienen los relaves finos.

En el capítulo IV, Se describe las consideraciones básicas que se deben tomar en cuenta para el diseño de las tuberías y se muestran las formulas aplicables para este tipo de diseño.

En el capítulo V, Trata de conocer las características de los relaves finos (análisis químico, mineralógico, granulométrico y balance de materiales).

En el capítulo VI, Se desarrolla el diseño del trazo de la tubería y el cálculo del diámetro de la tubería, tomando en consideración premisas de diseño y aplicación de las formulas. Este capítulo debe ser leído en conjunto con los anexos y planos adjuntos.

En el capítulo VII, trata de los costos de instalación de las tuberías.

En anexos, se presentan gráficos, tablas, cálculo de la tubería y fotografías del proyecto.

En Planos, se indica el diseño del trazado de la tubería.

Cabe mencionar que la minería moderna exige un control de los efluentes industriales originados durante el proceso de la concentración del mineral.

El éxito de la implantación de proyectos mineros está relacionado directamente con el respeto al medio ambiente y a las comunidades o poblados que se encuentran dentro del área de influencia del proyecto. Por tanto, es muy necesario realizar diseños seguros, funcionales y cumpliendo las normas ambientales vigentes, todo esto para no alterar negativamente el entorno ambiental.

Las ecuaciones, presentadas en este informe, que rigen el transporte de los relaves o sólidos suspendidos en un medio líquido, para el cálculo de tuberías a presión son las más usuales en la industria minera por las empresas consultoras de ingeniería.

CAPITULO I

INTRODUCCION

1.1 GENERALIDADES

El presente informe se enfoca básicamente en el diseño de un sistema eficiente de transporte hidráulico gravitacional en tuberías con flujo a presión transportando sólidos suspendidos en fluido líquido (Agua o agua salada). Por tanto, la concentración de los sólidos en el fluido es un dato importante para determinar con qué tipo de fluido se está trabajando (Newtoniano o no newtoniano) y otras consideraciones que en los capítulos siguientes se describen. Es importante mencionar que los relaves son fluidos que contienen sólidos suspendidos en fluido líquido y que los relaves finos son también denominados pulpas mineros o lamas, de acuerdo a su granulometría.

Los relaves finos se obtienen como un sub-producto de la concentración del fosfato en la etapa de deslamado primario o clasificación por tamaño, el proceso de concentración se desarrolla en la planta concentradora.

La Compañía Minera Miski Mayo S.A.C. (CMMM) subsidiaria de la Compañía Vale do Río Doce (CVRD), contempla la explotación de los yacimiento de fosfatos Bayovar y el procesamiento de éstos para producir concentrados de fosfatos y su embarque para exportación. Cabe resaltar que este proyecto denominado "Proyecto Bayovar I", es un proyecto minero no metálico y se ubica en el distrito y provincia de

Sechura, departamento de Piura aproximadamente a 110 km al sur de la ciudad de Piura y a 30 km del Océano Pacífico.

El yacimiento de fosfato de Bayovar es de origen orgánico y se ha formado como consecuencia de ingresos sucesivos del mar a la costa y que durante todo el proceso para obtener el concentrado no se requiere de aditivos químicos, las separaciones o clasificaciones granulométricas y lavados del mineral se realizan con agua de mar y en la etapa final con agua desalinizada. Por tanto, los sub-productos, para el caso del informe, los relaves finos también denominados lamas son considerados materiales no-tóxicos.

Debido a factores geográficos del sitio, económicos y requerimientos del producto final (concentrado seco de fosfato con concentración mínima del 29% de P_2O_5 y con una humedad entre 2 a 5%) se contemplo la construcción de siete áreas claramente diferenciadas entre ellas:

1. Mina
2. Planta Concentradora
3. Transporte del concentrado húmedo
4. Secado del concentrado húmedo y Almacenamiento
5. Embarque del concentrado seco
6. Línea de Impulsión agua de mar
7. Líneas de transmisión eléctrica

El presente informe se centra en la planta concentradora por ser este el lugar donde se originan los relaves finos.

Los relaves finos son básicamente mezclas o mixturas sólidos y líquidos, este tipo de fluido son denominados pulpas y la metodología para el diseño de este tipo de fluido son de acuerdo a la teoría de "transporte hidráulico de sólidos" para fluidos

newtonianos en régimen turbulento. Un concepto básico para determinar el diámetro apropiado de la tubería para el transporte de la pulpa es la “velocidad límite de depósito” la cual es la mínima velocidad del flujo para que no existe riesgo de sedimentación de los sólidos en el fondo de la tubería, existen varias ecuaciones experimentales para determinar esta velocidad cada una de las cuales tienen aplicación dependiendo en gran medida de los tamaños de los sólidos a transportar (granulometría), la concentración de sólidos en peso (C_w) y concentración en volumen (C_v). El presente informe desarrolla también una hoja de cálculo para determinar los (o el) diámetros y espesores de tuberías apropiados que cumplen de modo eficiente con el transporte de los sólidos y la selección final de la tubería se deberá a un factor económico o premisas impuestas al proyecto.

El material de la tubería a utilizar será HDPE (Polietileno de alta densidad) que es el más adecuado para este tipo de fluido, tipo de terreno y las condiciones ambientales que presenta el sitio.

1.2 CONDICIONES DEL SITIO

El sistema de transporte de los relaves finos forman parte del proyecto Bayovar I. Este proyecto, trata sobre la extracción del mineral de fosfatos a tajo abierto en los desiertos de sechura, este proyecto se divide geográficamente en dos áreas claramente diferenciadas:

- Área de Mina y planta concentradora
- Área de secado y Puerto

El sistema de transporte de relaves está ubicado entre las áreas de Mina y planta concentradora, compartiendo de este modo las mismas condiciones geográficas y

climáticas. Por tanto, adoptaremos para el diseño las condiciones de sitio de la planta concentradora.

1.2.1 UBICACIÓN GEOGRAFICA DEL PROYECTO BAYOVAR I

El proyecto Bayovar I está ubicado en el desierto de sechura, Distrito de Sechura, Provincia de Sechura, Departamento de Piura, conforme se aprecia en la Figura 1.1

1.2.2 LOCALIZACION GEOGRAFICA DE LAS TUBERIAS QUE TRANSPORTAN LOS RELAVES FINOS

La línea de relave se localiza al sur de la planta concentradora (Figura 1.2) y en todo su trayecto o recorrido se cruzara con caminos secundarios y principales existentes en el área, las cuales se deberán de mantener.

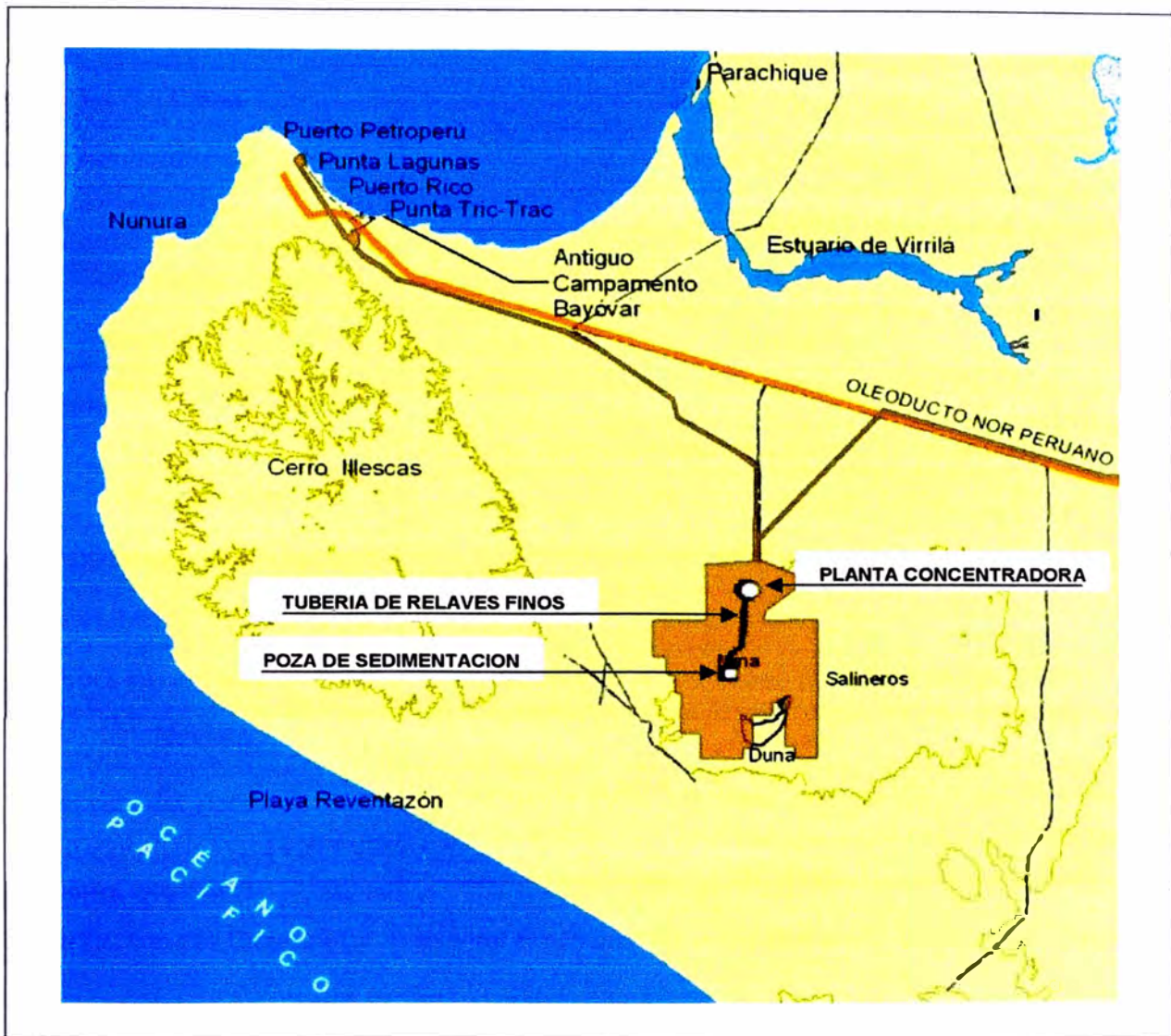


Figura 1.2 : Localización del sistema de transporte de relaves finos

1.2.3 CLIMA

A continuación se muestra las condiciones climáticas con la cual uno deberá considerar para el diseño de la tubería de relaves (Tabla 1.1)

Tabla 1.1 : Condiciones climáticas del sitio – Planta concentradora

Clima	Clima seco y semiárido
Temperatura máxima	33.4 °C (Verano)
Temperatura mínima	14.6 °C (Invierno)
Temperatura media	24 °C
Presión atmosférica	101.3 kPa
Humedad relativa media anual	74.5% Ref. Estudios geotécnicos, hidrológicos e hidrogeológicos / Proyecto Bayovar / Volumen 8: Estudio de hidrología - 2007
Evaporación	129 - 210 mm/mm ² / mes
Precipitación promedio anual	97.5 mm/m ²
Precipitación Max. Mensual	24.5 mm/m ² (Marzo)
Precipitación Max. Anual	1.003 mm/m ² (Afectado por fenómeno El Niño.)
Nevada	No aplica
Dirección del viento	SO de Enero a Abril y Octubre a Diciembre SE el resto del año
Velocidad del viento máxima, sostenido	30 Km/h

Fuente: Estudio Diagnostico Ambiental Preliminar Proyecto Bayóvar – Golder Associates

1.2.4 CONDICIONES SISMICAS

A continuación, en la Tabla 1.2, se muestra las condiciones sísmicas con la cual uno deberá considerar para el diseño de la tubería de relaves.

Tabla 1.2 : Condiciones sísmicas

Zona sísmica	Zona 3 De acuerdo a los requerimientos de la norma peruana de diseño sismorresistente: E-030
Aceleración horizontal	0.43 g Ref. Estudios geotécnicos, hidrológicos e hidrogeológicos / Proyecto Bayovar / Volumen 2: Estudio de peligro sísmico - 2007
Aceleración vertical	De acuerdo a los requerimientos de la norma peruana de diseño sismorresistente: E-030

CAPITULO II

OBJETIVOS

2.1 OBJETIVOS

El objetivo del presente informe es:

- Calculo del diámetro de la tubería para el transporte a presión del flujo nominal de $2,500\text{m}^3/\text{h}$, a través de dos (02) tuberías de HDPE, recorriendo 6,200m desde un tanque metálico (de paso) hasta una poza de sedimentación.
- Diseño del trazo de la ruta de la tubería tomando en consideración los criterios de diseño de una tubería de gran longitud y las condiciones del sitio donde se desarrollara la instalación de la tubería
- Utilización adecuado de las formulas del transporte de sólidos suspendidos en fluido liquido.
- Especificación de la tubería de HDPE, conforme la noma NTP ISO 4427-2:2008 (NTP : Norma técnica peruana)
- No es objeto del presente informe el dimensionamiento del tanque metálico, tanque de sedimentación de relaves y suportación de las tuberías.

CAPITULO III

DESCRIPCION DEL PROCESO

En este capítulo se describe el proceso para obtener el mineral Pentóxido de fósforo (P_2O_5) o denominado comúnmente roca fosfórica seca y distinguir en qué etapa son originados los relaves finos, la cual es el objeto de este informe.

3.1 VISION GENERAL DEL PROCESO

Debido a factores geográficos del sitio, económicos y requerimientos del producto final (concentrado seco de fosfato con concentración mínima del 29% de P_2O_5 y con una humedad entre 2 a 5%) se contemplo la construcción de siete áreas claramente diferenciadas entre ellas:

1. Mina
2. Planta Concentradora
3. Transporte del concentrado húmedo
4. Secado del concentrado húmedo y Almacenamiento
5. Embarque del concentrado seco
6. Línea de Impulsión agua de mar
7. Líneas de transmisión eléctrica

El presente informe se centra en la planta concentradora, lugar donde se originan los relaves finos.

3.2 PLANTA CONCENTRADORA

La planta concentradora consta de dos líneas de procesamiento idénticas y ambas están diseñadas para recuperar un 66 % del P_2O_5 contenido en el mineral ROM (Tal como sale de la mina o Run-Of-Mine) para obtener un total de 3,9 millones de toneladas al año de concentrado de fosfato entre 2 y 5 % de humedad. El proceso de concentrado (ver Plano N°01) se inicia con el lavado del mineral en el interior de los tambores lavadores, utilizando agua re circulada del proceso, permitiendo la limpieza y desagregado del material fino existente en las fracciones gruesas del mineral proveniente de la mina. A la salida de los tambores lavadores el material se clasifica en zarandas vibratorias horizontales (Zarandas primarias) de doble malla y que permiten separaciones de +25 mm en la primera bandeja y de +6 mm en la segunda. Estas zarandas tienen un sistema de lavado a presión por sprays que utilizan el agua rechazada de la Planta Desalinizadora (salmuera). El rechazo de las zarandas primarias (+6 mm) son descartados de la planta y enviados por fajas transportadoras hasta el sector de almacenamiento de relaves gruesos ubicado a unos 500 metros de la planta, mientras el material pasante o bajo tamaño (-.6 mm) se impulsan, a través de bombas de pulpa, a los hidrociclones primarios. Cada línea posee una batería de 4 hidrociclones, 3 operando y 1 stand-by, de 26 pulgadas de diámetro. El overflow (derrame, desborde o exceso del flujo) de ambas baterías de hidrociclones primarios, que consiste principalmente en lamas de diatomita, yeso, material calcáreo y sales, se conduce por gravedad hasta el estanque de diatomita TQ-2040-01, de 67,4 m³ de capacidad efectiva con 2,5 m de diámetro y 13,5 m de altura, desde donde serán conducidos por gravedad a presión, a través de dos líneas paralelas de tuberías de 560 mm de diámetro en HDPE hacia el área de disposición final de relaves finos, denominado tanque de sedimentación, ubicado a unos 6,2 km de la planta.

El underflow (Corriente o flujo de fondo) de cada batería de hidrociclones se conduce por gravedad hasta las Celdas de Atrición para completar la etapa de desagregación de la partícula de forma de facilitar la liberación de la partícula de fosfato. Cada línea posee 3 bancos de celdas de 6 m³ cada una, que operan en paralelo y cada banco posee un arreglo de 4 celdas conectadas en serie. En cada línea la descarga de las celdas de atrición se realiza por rebalse el cual se conduce por gravedad hasta una batería de zarandas de alta frecuencia que permiten obtener una separación de 0,8 mm. Cada batería está formada por 3 zarandas de una bandeja operando en paralelo. El rechazo de las zarandas (+0,8 milímetros) se une con el rechazo de la primera etapa de clasificación (+6 milímetros) para generar el rechazo grueso o relaves gruesos global de la planta, mientras que el bajo tamaño de las zarandas se impulsa hasta la segunda etapa de deslamado formada por hidrociclones.

Cada línea de operación posee una etapa secundaria de deslamado formada por una batería con 4 hidrociclones 3 operando y 1 stand-by, de 20 pulgadas de diámetro interno cada uno. El overflow de ambas baterías de deslamado, que consiste en una lama diluida, se conduce por gravedad hasta el estanque de agua re circulada TQ-2040-02, de 100 m³ de capacidad efectiva, desde donde se alimentan los diferentes puntos de consumo por medio de las bombas BP-2040-11/12.

El underflow de cada batería de ciclones secundarios, se conduce por gravedad hasta un distribuidor circular, CX-2030-01, que permite alimentar de forma simultánea a dos filtros de banda FI-2030-01/02, que trabajan a una tasa promedio de filtración de 2,2 t/h/m², requerida para efectuar las etapas de lavado requeridas para eliminar las sales presentes (solubles e insolubles) en el concentrado final.

El producto de la planta que posee una ley de 30,12 % en P_2O_5 y una humedad promedio máxima de 15 % es enviado al silo SI-2030-01, de 280 t de capacidad efectiva, que a su vez descarga el concentrado en los camiones. En caso de alguna emergencia, la faja transportadora el concentrado será acopiando en un área denominado pila de emergencia, con capacidad para 40.000 t efectivas de concentrado húmedo.

Desde el silo SI-2030-01, el concentrado húmedo se transporta hasta la zona de secado, ubicada aproximadamente a 45 km al sur de la planta concentradora, mediante camiones bi-train de 71 t. En el caso en que el concentrado sea tomado de la pila de emergencia, el carguío de los camiones se realizará mediante 1 cargador frontal modelo WA 800-3 o similar, que trabajan sincronizadamente para generar una alimentación continua y estable hacia la etapa de secado.

Es importante acotar que durante la separación - concentración y lavado de concentrado no se utilizan reactivos al interior del proceso.

Para mayor entendimiento de lo descrito líneas arriba ver el plano: PLANO N° 01, donde se muestra el diagrama de procesos.

A continuación en la Figura 3.1 se muestra la planta concentradora.



Figura 3.1 : Planta concentradora

Vista panorámica de la planta concentradora, se visualizan las dos líneas de procesamiento y las fuentes de agua que son suministradas por la línea de impulsión de agua de mar.

CAPITULO IV

BASES DE DISEÑO

En este capítulo se establece las formulas, criterios y recomendaciones que se utilizaran para el transporte de relaves en tuberías HDPE.

El dimensionamiento de tuberías contempla: cálculos de diámetros, flujos, caídas de presión y velocidad del flujo que usualmente involucra un procedimiento de tanteo e iteración.

4.1 SISTEMAS DE UNIDADES

Todos los cálculos, cotas y datos, en las memorias de cálculo, planos, especificaciones y otros documentos se deberán expresar en el Sistema Internacional de Unidades (SI). En forma excepcional y siempre que el uso habitual lo requiera, se pueden referenciar datos y resultados en otras unidades.

Cuando se refieran a las condiciones estándares, se basarán en 24°C y 100 kPa

4.2 CONSIDERACIONES BASICAS PARA EL DISEÑO DE TUBERIAS

A continuación se describen puntos importantes a considerar para el diseño de la tubería de gran longitud y caudal.

- Orden, El trazado de la tubería debe ser ordenado, sin cruces entre ellas. En caso que existan ruteo de tuberías existentes, las proyectadas deben tratar de seguir la misma ruta.

- Estandarización, considerar la utilización de diámetros y accesorios compatibles con tuberías ya instaladas por el proyecto. Esto para facilitar la intercambiabilidad de piezas y tener un stock permanente y con bajo presupuesto en almacén.
- La selección del material de la tubería está relacionado con el tipo de fluido a transportar, presión de trabajo, sobrepresión por golpe de ariete, temperatura del ambiente, temperatura del fluido, corrosión admisible, tiempo de vida del proyecto, costos de suministro y costos de montaje.
- El trazado o ruta de la tubería debe ser la más económica posible. Por tanto, es obtener un trazado con el menor movimiento de tierras (excavación y relleno), menor longitud de tubería, menor número de cambios de dirección (en alineamiento vertical y horizontal). Sin sacrificar condiciones hidráulicas para el transporte de la pulpa o relaves.
- Aspectos Sociales y gubernamentales, Esto debido que la empresa o la minera asumen compromisos con las comunidades y el estado peruano (estudio de impacto ambiental, EIA). Ejemplo: El trazo de la tubería no debe alterar los accesos principales de las comunidades, El trazo no debe obstaculizar accesos de uso comunal, etc.
- Realizar el trazo de la tubería dentro de los límites de concesión propiedad de la mina.
- Seguridad frente a deslizamientos de tierra, inundaciones, actos de vandalismo que puedan ocurrir, durante la construcción y operación de la tubería
- El trazo de la tubería deberá contemplar la construcción de accesos para mantenimiento de la línea de tubería.

- Considerar anclajes en cambios de dirección brusca anclajes de concreto y para tramos rectos de gran longitud el uso de "lomos de toro" para guiar la dilatación sufrida por la tubería de HDPE.
- Considerar guías de tuberías, para evitar el desalineamiento de la tubería debido a la dilatación.
- Válvulas de aire. Estas válvulas deben ser consideradas para la evacuación del aire dentro de las tuberías. Estas serán ubicadas en los puntos altos de la tubería (donde finaliza un ascenso y comienza un descenso) y en ningún caso su tamaño será inferior a ½". La cantidad de válvulas de aire debe ser el mínimo posible debido que estos requieren de mantenimiento y son susceptibles a problemas durante la operación.
- Considerar instalar válvulas de aire cada 500m para grandes longitudes de descenso y ascenso.
- Condiciones del sitio, Es importante considerar las condiciones geográficas, ambientales y servicios presentes del lugar donde se instalaran las tuberías, este punto fue resuelto con mayor amplitud en el CAPITULO I
- Características del fluido a transportar, para el presente informe el fluido es relaves finos y las características o caracterización del relaves fino se muestra en el CAPITULO V.

4.3 DISEÑO HIDRAULICO EN TUBERIAS A PRESION PARA PULPAS

A continuación se mostraran las formulas más usuales en la industria minera para el diseño de tuberías a presión transportando pulpas o relaves.

4.3.1 Velocidad Límite de Depósito (VL)

Es importante calcular este parámetro para determinar si la velocidad del flujo en la tubería es la adecuada para arrastrar los sólidos que se encuentran suspendidos en el fluido. Por tanto, para su cálculo es se presenta tres casos para el cálculo de la velocidad de sedimentación en tuberías llenas.

4.3.2 Formula de Durand clásica

Aplicable para la pulpa gruesa ($d_{50} > 200 \mu\text{m}$) y tuberías con $\text{DN} \leq 8''$: La velocidad límite de sedimentación será calculada usando la ecuación 4.1.

$$V_L = F_L \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot d \cdot \left(\frac{\rho_s}{\rho_l} - 1 \right)} \quad 4.1$$

Donde:

V_L : Velocidad limite de sedimentación (m/s)

F_L : Factor de Durand, obtenido del grafico de Mc Elvain y Cave (Anexo A)

g : Aceleración de la gravedad (m/s^2)

d : Diámetro interno de la tubería (m)

ρ_s : Densidad de los sólidos (kg/m^3)

ρ_l : Densidad del liquido transportador (kg/m^3)

4.3.3 Formula de Durand modificada por JRI

Aplicable para la pulpa gruesa ($d_{50} > 200 \mu\text{m}$) y tuberías con $D > 8''$: La velocidad límite de sedimentación será calculada usando la ecuación 4.2

$$V_L = 1.25 \cdot F_L \cdot \left[2 \cdot g \cdot d \cdot \left(\frac{\rho_s}{\rho_l} - 1 \right) \right]^{0.25} \quad 4.2$$

Donde:

V_L : Velocidad límite de sedimentación (m/s)

F_L : Factor de Durand, obtenido del grafico de Mc Elvain y Cave (Anexo A)

g : Aceleración de la gravedad (m/s^2)

d : Diámetro interno de la tubería (m)

ρ_s : Densidad de los sólidos (kg/m^3)

ρ_l : Densidad del liquido transportador (kg/m^3)

4.3.4 Formula de Durand modificada por JRI

Aplicable para la pulpa fina ($d_{50} < 200 \mu\text{m}$) y para todo diámetro:

La velocidad de límite de sedimentación será calculada con la ecuación 4.3

$$V_L = F \cdot \left(\frac{d_{50}}{d} \right)^{\frac{1}{6}} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot d \cdot \left(\frac{\rho_s}{\rho_l} - 1 \right)} \quad 4.3$$

Donde:

V_L : Velocidad límite de sedimentación (m/s)

F : Factor de corrección. Calculada a partir de la ecuación 4.4

g : Aceleración de la gravedad (m/s^2)

d : Diámetro interno de la tubería (m)

ρ_s : Densidad de los sólidos (kg/m^3)

ρ_l : Densidad del liquido transportador (kg/m^3)

$$F = 3.32 \cdot \left(\frac{C_v}{100} \right)^{0.213} \quad (4.4)$$

Donde:

F : Factor de corrección

C_v : Concentración de sólidos en volumen, en la pulpa

4.4 Velocidad mínima del flujo (V_{min})

Para permitir que los sólidos no se depositen en la tubería y para evitar un temprano desgaste por abrasión en la tubería, la velocidad del flujo deberá ser un 10% mayor que la velocidad límite de sedimentación. (ver ecuación 4.5)

$$V_{min} = 1.1 \cdot V_L \quad 4.5$$

4.5 Velocidad máxima del flujo (V_{max})

Es necesario tener en cuenta las velocidades máximas admisibles. La velocidad de erosión o desgaste por abrasión en tuberías es proporcional a la velocidad, caudal, y forma de las partículas contenidas en el relave.

Conforme el Manual "Service life of drainage pipe" de Lester H. se indican velocidades para tomar en consideración:

- Para flujos No abrasivo, Velocidades muy bajas
- Abrasivo bajo, Velocidades menores de 1.5 m/s
- Modera abrasivo, Velocidades entre 1.5 y 4.5 m/s
- Abrasivo severo, Velocidades que exceden 4.5 m/s

La máxima velocidad del flujo adoptada para el cálculo de la tubería de relaves es de 4 m/s.

4.6 ECUACION DE LA ENERGIA O TEOREMA DE BERNOULLI

Importante plantear la ecuación de Bernoulli para fluidos incompresibles (ver ecuación 4.6) para el diseño de tuberías. La figura 4.1 muestra el esquema de los sistemas de transporte de relaves adoptado por el proyecto esto debido a la configuración de la topografía.

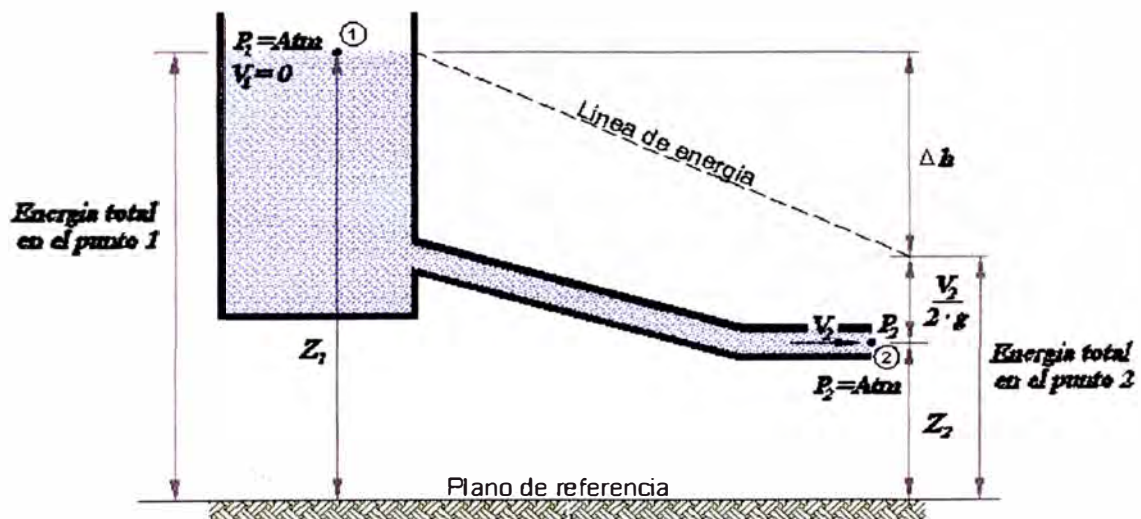


Figura 4.1 Balance de energía entre dos puntos

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1}{2 \cdot g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2}{2 \cdot g} + Z_2 + \Delta h \quad 4.6$$

Donde:

$$\frac{P}{\gamma} + \frac{V}{2 \cdot g} + Z \quad \text{Energía total (en el punto 1 o 2)}$$

$$\frac{P}{\gamma} \quad \text{Energía de presión, determina la línea piezometrica}$$

$\frac{V}{2 \cdot g}$	Energía cinética, expresado en altura
Z	Energía potencial
Δh	La pérdida de energía entre el punto 1 y 2

Por tanto, planteando la ecuación 4.6 a la figura 4.1, se obtiene:

$$\Delta Z = Z_1 - Z_2 = \frac{V_2}{2 \cdot g} + \Delta h \quad 4.7$$

La ecuación 4.7, muestra que las pérdidas de carga totales deberán ser menores o igual al desnivel existe entre los dos puntos para garantizar el transporte del flujo requerido.

4.7 PÉRDIDA DE CARGA EN TUBERIAS (Δh)

Las pérdidas de carga son las pérdidas de presión que sufren los fluidos en su circulación a través de la tubería o conductos. Estas pérdidas son debidas a los rozamientos entre las distintas capas del fluido e inclusive con las paredes de la tubería. Se determina por la Ecuación 4.8

$$\Delta h = h_f + h_k \quad 4.8$$

Donde:

Δh : Pérdida de carga en metros de columna de fluido (mcf)

h_f : Pérdida de carga primaria en metros de columna de fluido (mcf) (ecuación 4.9)

h_k : Pérdida de carga secundaria en metros de columna de fluido (mcf) (ecuación 4.13)

4.7.1 Pérdidas de carga primarias

Las pérdidas de cargas por fricción o primarias se calcularán de acuerdo a la fórmula clásica de Darcy-Weisbach para fluido puro (ver ecuación 4.9) y considerando la viscosidad de la pulpa.

$$h_f = f \cdot \left(\frac{L}{d} \right) \cdot \left(\frac{V^2}{2 \cdot g} \right) \quad 4.9$$

Donde:

h_f : Pérdida de carga en metros de columna de fluido (mcf)

f : Factor de fricción de Colebrook (ecuación 4.7)

L : Longitud de la tubería (m)

d : Diámetro interno de la tubería (m)

V : Velocidad del fluido en la tubería (m/s)

g : Aceleración de la gravedad (m/s²)

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \cdot \log_{10} \left[\frac{\varepsilon}{3.7 \cdot d} + \frac{2.51}{Re \cdot \sqrt{f}} \right] \quad 4.10$$

Donde:

f : Factor de fricción de Colebrook (1939) (para flujo turbulento)

ε : Rugosidad absoluta de la tubería, tubería HDPE $\varepsilon = 0.015\text{mm}$, (mm)

d : Diámetro interno de la tubería (mm)

Re : Numero de Reynolds (ecuación 4.11)

- Numero de Reynold, Este parámetro permite conocer el tipo de régimen del flujo que presenta el fluido en el interior de la tubería. Así tenemos :

Flujo laminar: $Re < 2000$

Flujo de transición: $2000 < Re < 4000$

Flujo turbulento: $Re > 4000$

En el flujo turbulento, las partículas se mueven de una manera caótica formando vórtices y remolinos, la fricción desarrollada es debido a la rugosidad de las paredes internas de la tubería producto del tipo de material con la que fue fabricado o debido a los problemas de envejecimiento (Crane Co., 1982). Su cálculo analítico se determina por la ecuación 4.11

$$Re = \frac{V \cdot d}{\nu} \quad 4.11$$

Donde:

Re : Numero de Reynolds

V : Velocidad del fluido en la tubería (m/s)

d : Diámetro interno de la tubería (m)

ν : Viscosidad cinemática de la pulpa (m^2/s) (ecuación 4.9)

- La viscosidad, Esta propiedad tiene una función importante en la determinación del tipo de flujo en tuberías, así como el efecto que ocasiona con la presencia de la caída de presión. Su representación puede efectuarse por medio de las dos viscosidades más comúnmente utilizadas: la viscosidad dinámica y la viscosidad cinemática.

Para el presente informe el fluido es una suspensión de sólidos en líquidos por tanto la determinación de la viscosidad dinámica es a través de la ecuación 4.14 y la viscosidad cinemática por la ecuación 4.12

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad 4.12$$

Donde:

ν : Viscosidad cinemática (m²/s)

μ : Viscosidad dinámica (kg/m.s) (para pulpas, ver ecuación 4.14)

ρ : Densidad (kg/m³) (para pulpas, ver ecuación 4.15)

4.7.2 Pérdidas de carga secundarias o pérdida local

En las tuberías, cualquier causa perturbadora, cualquier elemento o dispositivo que venga a establecer o elevar la turbulencia, cambiar la dirección o alterar la velocidad es a lo que se llama pérdida local.

Las pérdidas de cargas por cambios de dirección o pérdidas secundarias en la línea de tubería se calcularán de acuerdo a la Ecuación 4.13

$$h_k = k \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g} \quad 4.13$$

Donde:

h_k : Pérdida de carga por singularidades en columna del fluido (m)

k : factor de pérdidas singulares (codos, válvulas, etc.) (Anexo B)

V : Velocidad del fluido en la tubería (m/s)

g : Aceleración de la gravedad (m/s²)

4.8 VISCOSIDAD DINAMICA PARA PULPAS NEWTONIANAS

Para determinar la viscosidad absoluta o dinámica de la pulpa, se utilizara la ecuación de Thomas (1965) la cual es aceptada por la industria para fluidos newtonianos y con altas concentraciones en volumen de los sólidos suspendidos en la pulpa (ver Ecuación 4.14).

Considerar pulpa newtoniana, si esta tiene una concentración en volumen de sólidos menor al 40% y en peso menor a 70%.

$$\mu_{pulpa} = \mu_f * (1 + 2.5 \cdot C_v + 10.05 * C_v^2 + 0.00273 * e^{16.6 * C_v}) \quad 4.14$$

Donde:

μ_{pulpa} : Viscosidad dinámica de la pulpa (cP) (centiPoise)

μ_f : Viscosidad dinámica del liquido transportador (cP) (centiPoise)

C_v : Concentración de sólidos en volumen, en la pulpa

Fuente: SLURRY SYSTEMS HANDBOOK, BAH A E. ABULNAGA, P.E. - McGRAW-HILL

4.9 DENSIDAD DE LA PULPA

La densidad de la pulpa esta expresado por la ecuación 4.15

$$\rho_m = \frac{100}{\frac{C_w}{\rho_s} + \frac{(100 - C_w)}{\rho_l}} \quad 4.15$$

Donde:

ρ_m : Densidad de la pulpa (kg/m³)

ρ_l : Densidad de la fase liquida o del liquido transportador (kg/m³)

ρ_s : Densidad de los sólidos o fase solida (kg/m³)

C_w : Concentración de sólidos en peso (%)

Fuente: SLURRY SYSTEMS HANDBOOK, BAH A E. ABULNAGA, P.E. - McGRAW-HILL

4.10 GRAVEDAD ESPECÍFICA

La gravedad específica o densidad relativa para sólidos y líquidos es la relación entre la densidad del líquido o solido con respecto a la densidad del agua a una temperatura estándar (15 °C).. Se determina conforme la ecuación 4.16

$$Sp.Gr = \frac{\rho}{\rho_{agua}} \quad 4.16$$

Donde:

$Sp.Gr$: Gravedad específica

ρ : Densidad del sólido o del líquido (kg/m³)

ρ_{agua} : Densidad del agua a condiciones estándar. $\rho_{agua} = 1,000 \text{ kg/m}^3$ (kg/m³)

4.11 CONCENTRACIÓN DE SÓLIDOS EN PESO

Corresponde al porcentaje que tiene el peso o flujo másico del mineral, respecto del peso o flujo másico de la pulpa, ver ecuación 4.17

$$C_w = \frac{W_{\text{mineral}}}{W_{\text{pulpa}}} \cdot 100 \quad 4.17$$

Donde:

C_w : Concentración de sólidos en peso (%)

W_{mineral} : Peso o flujo másico del mineral (t/h)

W_{pulpa} : Peso o flujo másico de la pulpa (t/h)

4.12 CONCENTRACIÓN DE SÓLIDOS EN VOLUMEN

Corresponde al porcentaje que tiene el volumen o flujo volumétrico del mineral, respecto del flujo volumétrico de la pulpa, ver ecuación 4.18

$$C_v = \frac{V_{\text{mineral}}}{V_{\text{pulpa}}} \cdot 100 \quad 4.18$$

Donde:

C_v : Concentración de sólidos en volumen (%)

V_{mineral} : Volumen o flujo volumétrico del mineral (m³/h)

V_{pulpa} : Volumen o flujo volumétrico de la pulpa (m³/h)

4.13 GOLPE DE ARIETE

Este fenómeno se produce como consecuencia de una variación del caudal por el accionamiento violento de algún mecanismo de regulación (válvulas, bombas, turbinas) reflejándose en la tubería como una alta sobrepresión a lo largo del sistema de transporte que lo podrían hacer colapsar. Se determina conforme la ecuación de ALLIEVI la máxima sobrepresión (ecuación 4.19)

$$\Delta p = \frac{a \cdot v}{g} \quad 4.19$$

Donde:

Δp : Sobrepresión máxima [mc fluido]

a : Velocidad de la onda de la sobrepresión en el fluido. (ecuación 4.20)

V : Velocidad del fluido en la tubería (m/s)

g : Aceleración de la gravedad (m/s²)

4.14 VELOCIDAD DE LA ONDA DE PRESION, EN PULPAS

Ecuaciones numerosas han sido propuestas para la incorporación del efecto que ocasionan los sólidos en la velocidad de la onda cuando se propaga en la pulpa.

La presente ecuación planteada por Thorley y Hwang (1979) incorporan estos efectos.

$$a_0 = \sqrt{\frac{\left(\frac{1}{C_V \cdot \rho_l + C_W \cdot \rho_s} \right)}{\left(\frac{C_V}{E_l} + \frac{C_W}{E_s} + \frac{d}{E \cdot t} \right)}} \quad 4.20$$

Donde:

a_0 : Velocidad de la onda de presión (m/s)

C_W : Concentración de sólidos en peso

C_V : Concentración de sólidos en volumen

ρ_l : Densidad de la fase líquida o del líquido transportador (kg/m^3)

ρ_s : Densidad de los sólidos o fase sólida (kg/m^3)

E : Modulo de elasticidad del material de la tubería (GPa)

E_s : Modulo de elasticidad de las partículas sólidas (Gpa) (ver Tabla 4.1)

E_l : Modulo de elasticidad del líquido o fluido transportado (Gpa)

t : Espesor de la tubería (mm)

d : Diámetro interno de la tubería (mm)

Fuente:

-*Slurry Handling, Design of solid-liquid system: Nigel P. Brown and Nigel I. Heywood*

Tabla 4.1: Valores de modulo de elasticidad de algunos materiales

Material	Densidad (kg/m^3)	Modulo de elasticidad (GPa)
Carbón	1,400	13.3
Mineral de hierro	5,000	17.2
Arena	2,650	16
Agua	1,000	2.06

Referencia: Hunt & Liou / Bechteler & Bogel

4.15 FLUJO DE SOBREDISEÑO

Cuando se dimensionan tuberías para el transporte de un fluido generalmente se emplean tuberías nuevas o tuberías existentes que presentan efectos de envejecimiento, es decir; el deterioro de su superficie interna debido a la agresividad del fluido y de las condiciones de servicio, tales como: la corrosión, erosión e incrustación. El uso de cualquiera de estas tuberías mostrará valores aleatorios en su rugosidad conforme pase el tiempo, afectando indudablemente las condiciones del flujo, disminuyéndolo de manera significativa y aumentando la potencia necesaria de la bomba para mantener el flujo requerido (Swaffield, 1983).

Para compensar este problema generalmente se considera durante los cálculos preliminares un porcentaje sobre la capacidad de diseño conocido también como porcentaje de flujo de sobrediseño, este porcentaje varía de un 10 % al 30 %, el cual garantiza un dimensionamiento conservador de la tubería. No obstante, el criterio de la experiencia juega un papel muy importante para definir también este valor (Garaicochea, 1983).

4.16 TUBERIAS DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD (HDPE o PEAD)

Las tuberías y accesorios en HDPE son fabricadas bajo las normas ISO 4427, DIN y ASTM. Estas tuberías brindan diversos beneficios, ventajas y oportunidades de disminución de costos, entre ellas: gran resistencia a los agentes corrosivos, flexibilidad, escasa pérdida de carga por rozamiento, bajo peso, larga vida útil, poseen excelentes propiedades químicas resistiendo prácticamente todos los elementos corrosivos de la industria minera, aplicaciones en rangos de temperatura desde -40 a +60 °C

En el **Anexo C** se especifica y se muestra las propiedades físicas y dimensiones de la tubería utilizada para la conducción de los relaves finos. Estas especificaciones son consideradas para la selección de la tubería

- **RUGOSIDAD ADSOLUTA DE LA TUBERIA**

Tabla 4.2: Rugosidad de tuberías HDPE.

Material	Hanzen-Williams	Darcy-Weisbach
Acero Galvanizado	120	0.15 mm
Plásticos	150	0.0015 mm
Acero	145	0.046 mm

Fuente: Plastic piping Hsndbook, David A. Willoughby

- **FLEXIBILIDAD DE LA TUBERÍA**

Esto permite que sean instaladas sin problemas en terrenos con obstáculos, ya que pueden colocarse en forma serpenteada, respetando ciertas tolerancias de curvatura (radios mínimos). En la **Tabla 4.3** se listan los valores sugeridos para los radios mínimos de curvatura.

Tabla 4.3: Mínimo radio de curvatura para tubería HDPE.

SDR = D/t	Mínimo radio de curvatura
32.5	40D
26	36D
21	32D
17	26D
15.5	24D
< 11	20D

Donde:

D : Diámetro externo de la tubería

SDR : Relación dimensional de la tubería

t : Espesor de la tubería

Fuente: Design and engineering guide for polyethylene piping - Polypipe

- **DIMENSIONES DE TUBERIA HDPE**

Las dimensiones adoptadas para la selección de la tubería serán tomadas del Anexo C : Dimensiones de la tubería de HDPE.

- **ESPESOR MINIMO EN TUBERIAS HDPE**

El espesor mínimo de las tuberías termoplásticas, se determinara a partir de la ecuación de la Organización Intemacional de Normalización (ISO).

$$t_{\min} = \frac{p \cdot D}{2 \cdot \sigma_s + p} \quad 4.21$$

Donde:

t_{\min} : Espesor mínimo de la pared del tubo (mm)

p : Presión interna (MPa)

D : Diámetro exterior de la tubería (mm)

σ_s : Esfuerzo de diseño, bajo una temperatura especificada y bajo un tiempo de vida útil (MPa) (ver ecuación 4.22)

Fuente: Design and engineering guide for polyethylene piping - Polypipe

$$\sigma_s = \left(\frac{MRS}{C} \right) \quad 4.22$$

Donde:

σ_s : Esfuerzo de diseño, bajo una temperatura especificada y bajo un tiempo de vida útil (MPa)

MRS : Resistencia mínima requerida, (MPa) (ver tabla 4.4)

C : Factor de diseño (ver tabla 4.4)

Tabla 4.4 : Material y esfuerzos de diseño

Material (Designación)	MRS (50 años a 20°C)	σ_s (C=1.25, para PE)
PE100	10 MPa (100 bar)	8 MPa
PE80	8 MPa (80 bar)	6.3 MPa
PE63	6.3 MPa (63 bar)	5 MPa

Para las condiciones de servicio de la tubería plástica: Material PE, tiempo de vida de 50 años y a una temperatura promedio de 20°C, el coeficiente de diseño C es igual a 1.25

Fuentes:

- ISO 12162: *Coficiente de diseño para servicios en general*
- ISO 9080: *Cálculo de curvas de regresión y determinación de MRS.*
- ISO 4427: *Especificaciones de Tuberías de PE para el suministro de agua.*
- *Plastic pipe Institute (PPI), TR-4 / 2011, HDB / HDS / SDB / PDB / MRS, Listed materials.*

CAPITULO V

CARACTERISTICAS DE LOS RELAVES FINOS

Los relaves finos, es un fluido compuesto básicamente por sólidos suspendidos en liquido.

5.1 ANÁLISIS QUÍMICO

Los análisis químicos, presentan un material no tóxico y sólo es necesario un control físico. Cabe señalar que los relaves contienen cadmio en concentraciones muy bajas que no representan peligros de contaminación para la especie animal. El análisis químico se muestra en la tabla 5.1

Tabla 5.1 : Análisis químico de los relaves finos

P ₂ O ₅ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	MgO (%)	CaO (%)	cd (ppm)	Al ₂ O ₃ (%)	SiO ₂ (%)	F (%)	Cl (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)
7.2	2.8	1.7	9.3	32.5	6.9	61.6	0.4	0.2	1.2	1.0

5.2 ANALISIS MINERALÓGICO

Los análisis mineralógicos, presentan un material de formas sub redondeadas de hidroxiapatita (mineral formado por fosfato de calcio cristalino) y apatita (mineral con cristales hexagonales y dureza 5 en la escala de Mohs) con óxidos de silicio que no sobrepasan las 50 micras, y representan casi el 60% del total de la muestra. Estas formas están en parte asociadas con halita (mineral formado por cristales de cloruro de sodio.) de similar tamaño.

5.3 ANALISIS GRANULOMETRICO

El análisis granulométrico, muestra que el 50% del material total presenta un diámetro medio de $37.5\mu\text{m}$ (d50), valor importante para el diseño de transporte de relaves (calculo del parámetro d50 en Anexo C1). El análisis granulométrico se muestra en la Tabla 5.2

Tabla 5.2 : Análisis granulométrico de los relaves finos

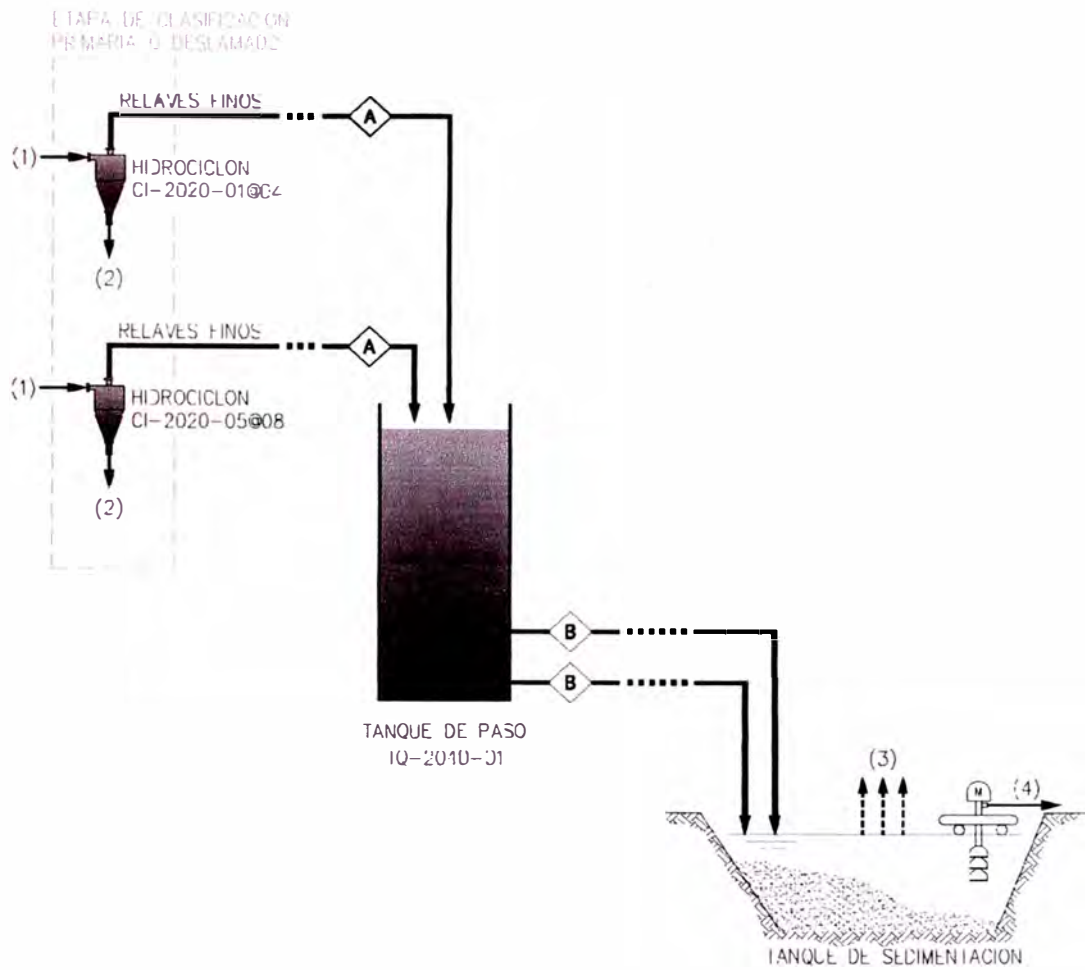
Malla (#)	28	35	48	65	100	150	200	270	400
Abertura de malla (μm)	600	425	300	212	150	106	75	53	38
Distribución del pasante (%)	100	100	100	99	98	95	85	71	51

5.4 BALANCE DE MATERIALES

Conforme al diagrama de procesos de la planta concentradora (Anexo P: Plano 1) y balances de materiales de la planta concentradora, se determino que la planta producirá aprox. $2,500 \text{ m}^3/\text{h}$ de relaves finos, las cuales deben ser transportadas y depositadas en pozas de relaves. Las cantidades de mineral, sal y agua se muestran en la Tabla 5.3 y el diagrama de proceso se muestra en la figura 5.1

Tabla 5.3 : Balance de materiales

Descripción	Unidad	Cantidad	
		Flujo A	Flujo B
Caudal másico - Mineral seco libre de sal (DSF)	t/h	297	297
Caudal másico - Sal	t/h	74.7	74.7
Caudal másico - Agua	t/h	1116.8	1116.8
Caudal másico - Material total (Pulpa diatomita)	t/h	1488.5	1488.5
Gravedad específica - DSF		2.422	2.422
Gravedad específica - Material total		1.178	1.178
Caudal volumétrico - DSF	m ³ /h	122.6	122.6
Caudal volumétrico - Material total	m ³ /h	1263.8	1263.8
Concentración en volumen del DSF (Cv)	%	9.7	9.7
Concentración en peso del DSF (Cw)	%	20	20
Diámetro característico, d50	µm	37.5	37.5



- (1) : Alimentación del hidrociclón, ingreso del mineral para el deslameado
- (2) : Concentrado
- (3) : Proceso de evaporación natural
- (4) : Línea de transferencia del agua clarificada hacia poza de evaporación

Figura 5.1 : Diagrama de procesos

CAPITULO VI

DISEÑO DEL SISTEMA DE TRANSPORTE DE RELAVES

FINOS

6.1 PREMISAS DE DISEÑO

- Conforme lo indicado en el capítulo 3, El caudal a ser transportado o conducido es de 2,500 m³/h aprox. (caudal nominal = 2,527.6m³/h) y deberá ser realizado a través de dos (02) tuberías de mismo diámetro. Esta premisa es para otorgar facilidades a los trabajos de mantenimiento y operación a la línea de relaves cuando en la planta concentradora este fuera de servicio una de las dos líneas de concentrado.
- El material de la tubería a utilizar para el transporte de los relaves es HDPE. Esta solicitud proviene de: (1) En el capítulo 4, se describe lo conveniente que es usar este material para el transporte de relaves y (2) La compañía minera (VALE) estandariza el uso de tuberías HDPE para el transporte de relaves que están apoyadas sobre el terreno y recorren grandes distancias, estas consideraciones se aplican en todas sus operaciones mineras.
- Para determinar el caudal de diseño, se tomara un 20% más del caudal nominal. Dicho valor esta dentro del rango aceptado como buena práctica

de ingeniería y la compañía minera adopta este valor para todas sus instalaciones.

- Debido a la topografía, La selección de la tubería no está asociada exclusivamente al diámetro económico, sino que también se va a considerar en la selección del diámetro final, un diámetro que permita aminorar las pérdidas de carga y siempre supere las velocidades mínimas admisibles para el transporte de los relaves sin sedimentación en el fondo de la tubería.

6.2 DISEÑO DE LA LINEA DE IMPULSION

6.2.1 Caudal de diseño ($Q_{\text{diseño}}$)

Conforme lo indicado en la premisa 6.1 y en el sub-capítulo 4.13, se obtiene el siguiente cálculo:

$$\text{Caudal de diseño } (Q_{\text{diseño}}) = 1.2 * (\text{Caudal nominal}) = 1.2 * 1,263.8$$

$$Q_{\text{diseño}} = 1,516.6 \text{ m}^3/\text{h}$$

6.2.2 Trazado o ruteo de la tubería

El trazado de la tubería se muestra en el plano N°10. La tubería de relaves básicamente recorrerá 6,200m, transportando los relaves desde el tanque metálico hasta el tanque de sedimentación.

Se debe considerar que durante el recorrido de la tubería, esta deberá atravesar un terreno desértico con presencia de dunas, conforme se aprecian en los planos.

Para el trazado de la tubería se tuvo que presentar varias alternativas hasta obtener un trazo económico en:

- Menor longitud de tubería
- Menor movimiento de tierra (corte y relleno)
- Menores cambios de dirección, para evitar pérdidas de carga.
- Instalación de menor cantidad de válvulas de aire
- Menor cruce con instalaciones existentes (accesos principales y secundarios)

Por tanto, como resultado se obtuvo el trazo propuesto en los planos: plano N°11 hasta el plano N°22, donde se muestran el trazado en planta y sección e inclusive la ubicación de las válvulas de aire.

6.2.3 Línea de carga hidráulica

La línea de carga se traza partiendo del nivel 38.00msnm (en el tanque metálico). El nivel mencionado es el nivel de agua que el tanque debe permanentemente tener para que los relaves fluyan sin problemas a través de la tubería. El perfil de la energía o carga hidráulica del proyecto se muestra en el Anexo F.

6.2.4 Dimensionamiento de la tubería de relaves finos

La metodología de cálculo empleada para el dimensionamiento de tuberías, está basada en el uso de criterios y formulas establecidas en el Capitulo 4

En el Capitulo 5. Por tanto, los relaves finos están compuestos básicamente por la Ecuación 6.1.

Relaves finos (pulpa de mineral) = Agua + Sal + Mineral

6.1

Donde:

Agua + Sal = Líquido transportador (Agua salada)

Mineral : Es el mineral seco P_2O_5

El cálculo de la tubería se muestra en el Anexo D. Donde la tubería seleccionada es 22", la cual representa la menor pérdida de carga en la conducción y también tener un nivel del líquido en el tanque lo más mínimo posible.

6.2.5 Flujos de operación

La Tabla 6.1 se presentan los flujos para diferentes condiciones de operación que deberán ser adoptadas durante la operación y diseño del sistema de transporte de relaves, esta tabla fue elaborada a partir de los cálculos realizados en el Anexo D.

- El mínimo caudal es $1136.7 \text{ m}^3/\text{h}$, para que no haya sedimentación de los relaves en la tubería de 22in.
- El caudal de operación normal es el caudal nominal y esta es de $1263.8 \text{ m}^3/\text{h}$, y este caudal transportándolo a través de una tubería de 22in no habrá problemas de sedimentación debido que la velocidad del flujo es superior a la velocidad mínima requerida (1.6 m/s)
- Para el diseño de la tubería se toma el valor del caudal máximo. Esto representa que la tubería está calculada para transportar

como máximo 1,516.6 m³/h, en caso la operación supere este caudal habrá problemas de rebose en el tanque metálico

Tabla 6.1 : Flujos para diferentes condiciones de operación

Condición de la operación	Caudal (m ³ /h)	Velocidad (m/s)	Velocidad mínima (m/s)
Mínimo	1,136.7	1.7	1.6
Nominal	1,263.8	1.8	1.6
Máximo	1,516.6	2.2	1.6

6.2.6 Pérdidas de carga de diseño

Una vez calcula las perdidas de carga por el método propuesto en el Capítulo 4. A este valor se le debe multiplicar por un factor de seguridad (10% más de perdidas sobre las calculadas), Este factor va a absorber los cambios o consideraciones no asumidas como:

- Soldaduras de tuberías en HDPE, estas juntas internamente presentan barbas o resaltos que ocasionan perdidas en la conducción del fluido.
- Juntas bridadas en tubería, Existen varias juntas de este tipo tubería con tubería, tubería con válvulas, etc. Estas uniones como la anterior también ocasionan perdidas de carga.
- Cambios menores del diseño de la tubería durante la ejecución de la obra, Este tipo de cambios siempre existe en obra debido a muchos factores que obligan a tener cambios sin perjuicio de alterar de modo significativo la dimensión la tubería.

Para el caso, tenemos:

Perdida de carga total = 37.3 mcp

Perdida de carga de diseño = 1.1*37.3 = 41.4mcp

Por tanto, este valor 41.4mcp es la que utilizaremos para determinar la altura de carga o el nivel de pulpa mínimo que debe tener el tanque metálico y mantener el flujo a presión.

En el anexo D se adjunta un ejemplo de calculo de la tubería aplicando las ecuaciones mostradas en este informe.

CAPITULO VII

COSTOS

7.1 COSTOS DEL PROYECTO EN SUMINISTRO Y MONTAJE

El costo de la obra se valorizo (sin IGV) en 2, 709,029 \$ (Dólares Americanos), aproximadamente, conforme se detalla en la **Tabla 7.1**.

Cabe señalar que el proyecto Bayovar I, tuvo un costo total de 550 Millones de Dólares aprox. Por tanto, la sola instalación de implantar un sistema de transporte de relaves represento el 0.5% del costo total del proyecto.

A continuación se muestran los costos más representativos:

Tabla 7.1 : Planilla de cantidades y precios

PLANILLA DE CANTIDADES Y PRECIOS				
Descripción de actividades	Unidad	Cantidad	Precio unitario \$	Total \$
Obras civiles				
Excavación local común	m ³	12,780	4.8	61,344
Relleno local compactado con material seleccionado	m ³	40,134	19.22	771,367.8
Anclaje de tubería c/ mat de préstamo 22"	m	600	8.58	5,150.2
Suministro de equipos y componentes mecánicos (considera transporte a sitio)				
Tubería PEAD, PE100, PN6, ISO 4227, ø 22" c/acc.	m	12,400	112.95	1,400,580
Soportes para tuberías	kg	2,000	1.91	3,820
Válvula cuchilla 24"	u	2	8007.9	16,015.8
Montaje de equipos y componentes mecánicos (considera transporte a sitio)				
Tubería PEAD, PE100, PN6, ISO 4227, ø 22" c/acc.	m	12,400	35.35	438,340
Soportes para tuberías	kg	2,000	5.8	11,600
Válvula cuchilla 24"	u	2	405.4	810.8
Total				2,709,029

Notas

- ✓ Las cantidades fueron calculadas de los planos
- ✓ Los precios fueron tomados de la propuesta de la empresa contratista GyM, año 2010
- ✓ Los precios indicados en la tabla no consideran el IGV

CONCLUSIONES

1. Se determino que para el transporte de 2,500m³/h de relaves finos y conducirlos hasta cubrir una distancia de 6.2km, se deben realizar a través de dos (02) tuberías con diámetro 22" (560mm) y el material de las tuberías es HDPE, PE100 y con presión nominal de 10bar (PN10).
2. Las condiciones topográficas del lugar, en donde se instalaran las tuberías de conducción de relaves finos, favorecieron a la decisión de diseñar un sistema de conducción por gravedad con flujo a presión. De este modo también garantiza bajos costos operativos del sistema de conducción.
3. Se selecciono tuberías de HDPE (High-density polyethylene) o también denominados PEAD (polietilenos de alta densidad) porque son apropiados para el transporte de relaves mineros por sus propiedades de alta resistencia a la abrasión y corrosión.
4. La especificación de la tubería de HDPE se realizo conforme la normativa peruana NTP ISO 4427 y normativa internacional ISO 4427-2, ISO 12162, ISO 3126.
5. El diámetro de la tubería se determino verificando que la velocidad del fluido o relaves finos deberá ser mayor que la velocidad de sedimentación, menor que la velocidad máxima y la tubería que represente la menor pérdida de carga.

6. Para el cálculo de la tubería se desarrollo una hoja de cálculo debido que no encontré un software dedicado al cálculo hidráulico para el transporte de relaves.

7. Se tomaron todas las consideraciones pertinentes para el cumplimiento del EIA (Estudio de Impacto Ambiental) del proyecto (cumplimiento con la normativa técnica, trazo de la tubería se realizo sin afectación de accesos que son usadas por las comunidades). Es importante el cumplimiento del EIS para tener un desarrollo sustentable en la zona sin afectación negativa.

RECOMENDACIONES

1. Instalación de una tubería auxiliar con características similares a las calculadas (22", long. 6.2km y de HDPE) y entraría en funcionamiento toda vez que una de las dos líneas de tuberías no funcione, por motivos de sedimentación, mantenimiento y otros casos que ocasionen el fuera de servicio de una de las dos líneas.

BIBLIOGRAFIA

- Slurry Systems Handbook
Baha Abulnaga / McGraw-Hill Professional, 2002
- Design of Slurry Transport System
B.E.A. Jacobs / Taylor & Francis, 1998
- Slurry Handling: Design of solid-liquid systems
Nigel P. Brown and Nigel I. Heywood / Springer, 1991
- Tuberías a presión en los sistemas de abastecimiento de agua
Manuel Vicente Méndez / Universidad Católica Andrés Bello - Venezuela, 1995
- Plastic Piping Handbook
David Willoughby / McGraw-Hill Prof Med/Tech, 2001
- Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías
Crane / McGraw-Hill, 1992
- Hidráulica de tuberías y canales
Arturo Rocha Felices / Universidad Nacional de Ingeniería – Perú
- Piping handbook
Mohinder L. Nayyar / McGraw-Hill, 2000
- Criterios de Cálculos de Tuberías
Compañía Minera Antamina / Rev.0
- Criterios de Diseños Hidráulicos

Compañía de Ingeniería AMEC y Minera VALE / Rev.0

- Criterios de Diseños de Sistemas de Tuberías

Compañía de Ingeniería AMEC y Minera VALE / Rev.0

- Piping Design Criteria

Compañía de ingeniería Hatch y Minera Cerro Corona / Rev.11

- Critérios de Projeto para Hidráulica

Compañía de ingeniería Minerconsult y Minera VALE / Rev.3

- Criterios de Projeto para Tubulação

Minera VALE / Rev.5

- International Standard ISO 4427-1 : 2007

Plastics piping systems - Polyethylene (PE) pipes and fittings for water supply
/ Part 1: General

- International Standard ISO 4427-2 : 2007

Plastics piping systems - Polyethylene (PE) pipes and fittings for water supply
/ Part 2: Pipes

- International Standard ISO 4427-3 : 2007

Plastics piping systems - Polyethylene (PE) pipes and fittings for water supply
/ Part 3: Fittings

- Hidraulica de Tuberias

Juan Saldarriaga / McGraw-Hill, 1998

- Tesis: "Estudio de prefactibilidad para la recuperación de agua a partir de relaves de gran minería de cobre mediante la tecnología de relaves espesados"

Juan A. Cabrejos Salinas / Universidad Nacional de Ingenieria – Facultad
Ingenieria Geológica, minera y Metalúrgica – 2011

- Tesis: “Estimación de Parámetros Reologicos de Pulpas Minerales a diferentes Concentraciones de Solidos”

Ivan P. Gaitan Barreda / Universidad Nacional de Ingenieria – Facultad
Ingenieria Civil - 2010

- ASME code for pressure piping, 1994 edition / Slurry transportation piping systems - ASME B31.11

The American Society of Mechanical Engineers, New York

- AWWA - Manual of water supply practices, 1998

Steel pipe - A guide for design and installation - AWWA Manual M11

American Water Works Association, Denver - USA

- Warman International Inc., 1994

Warman slurry pumping handbook

Warman International Inc., Wisconsin - USA

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A

GRAFICO MC ELVAIN Y CAVE

ANEXO A

COEFICIENTE DE DURAND, F_L GRAFICO DE MC ELVAIN CAVE

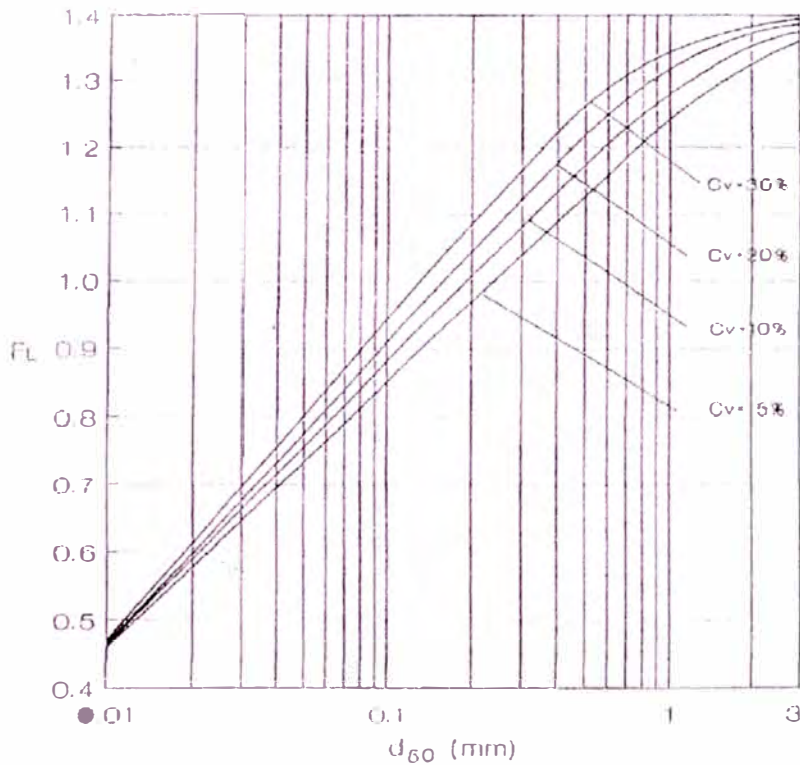
Ejemplo de calculo:

Datos de entrada

- Concentracion en volumen de solidos en la pulpa (C_v) (1)

9.700	%
37.500	micra
0.038	mm
- Granulometria de las particulas solidas (d_{50})

• Gráfico de Mc Elvain y Cave.



Datos de salida

Coeficiente de durand, F_L 0.70

Nota

(1) Ingresar valores de C_v entre 5% y 30%

ANEXO B

TABLAS DE COEFICIENTES DE PERDIDAS (K)

Anexo B

COEFICIENTE DE RESISTENCIA, k

Contenido :

Anexo B1	Coeficiente de perdidas, en accesorios
Anexo B2	Coeficiente de perdidas en curvas
Anexo B3	Coeficiente de perdidas en valvula compuerta

Anexo B1

COEFICIENTE DE RESISTENCIA, k

A-24. TABLA DEL FACTOR "K" (página 1 de 4)
Coefficientes de resistencia (K) válidos para válvulas y accesorios
 ("K" está basado en el uso de las tuberías cuyos números de cédula se dan en la página 2-10)

FACTORES DE FRICCIÓN PARA TUBERÍAS COMERCIALES, NUEVAS, DE ACERO, CON FLUJO EN LA ZONA DE TOTAL TURBULENCIA

Diámetro Nominal	mm	15	20	25	32	40	50	65, 80	100	125	150	200, 250	300, 400	450-600
	pulg	½	¾	1	1¼	1½	2	2½, 3	4	5	6	8, 10	12-16	18-24
Factor de fricción (f_r)		.027	.025	.023	.022	.021	.019	.018	.017	.016	.015	.014	.013	.012

FÓRMULAS PARA EL CÁLCULO DEL FACTOR "K" PARA VÁLVULAS Y ACCESORIOS CON SECCIONES DE PASO REDUCIDO

Fórmula 1

$$K_2 = \frac{0.8 \left(\sin \frac{\theta}{2} \right) (1 - \beta^2)}{\beta^4} = \frac{K_1}{\beta^4}$$

Fórmula 2

$$K_2 = \frac{0.5 (1 - \beta^2) \sqrt{\sin \frac{\theta}{2}}}{\beta^4} = \frac{K_1}{\beta^4}$$

Fórmula 3

$$K_2 = \frac{2.6 \left(\sin \frac{\theta}{2} \right) (1 - \beta^2)^2}{\beta^4} = \frac{K_1}{\beta^4}$$

Fórmula 4

$$K_2 = \frac{(1 - \beta^2)^2}{\beta^4} = \frac{K_1}{\beta^4}$$

Fórmula 5

$$K_2 = \frac{K_1}{\beta^4} + \text{Fórmula 1} + \text{Fórmula 3}$$

$$K_2 = \frac{K_1 + \sin \frac{\theta}{2} [0.8 (1 - \beta^2) + 2.6 (1 - \beta^2)^2]}{\beta^4}$$

Fórmula 6

$$K_2 = \frac{K_1}{\beta^4} + \text{Fórmula 2} + \text{Fórmula 4}$$

$$K_2 = \frac{K_1 + 2.5 \sqrt{\sin \frac{\theta}{2}} (1 - \beta^2) (1 - \beta^2)^2}{\beta^4}$$

Fórmula 7

$$K_2 = \frac{K_1}{\beta^4} + \beta \text{ (Fórmula 2 + Fórmula 4), cuando } \theta = 180^\circ$$

$$K_2 = \frac{K_1 + \beta [0.5 (1 - \beta^2) + (1 - \beta^2)^2]}{\beta^4}$$

$$\beta = \frac{d_1}{d_2}$$

$$\beta^2 = \left(\frac{d_1}{d_2} \right)^2 = \frac{a_1}{a_2}$$

El subíndice 1 define dimensiones y coeficientes para el diámetro menor. El subíndice 2 se refiere al diámetro mayor.

*Úse el valor de K proporcionado por el proveedor, cuando se disponga de dicho valor

ESTRECHAMIENTO BRUSCO Y GRADUAL



Si: $\theta \leq 4.5^\circ$ $K_2 = \text{Fórmula 1}$
 $45^\circ < \theta \leq 180^\circ$ $K_2 = \text{Fórmula 2}$

ENSANCHAMIENTO BRUSCO Y GRADUAL



Si: $\theta \leq 45^\circ$ $K_2 = \text{Fórmula 3}$
 $45^\circ < \theta \leq 180^\circ$ $K_2 = \text{Fórmula 4}$

Referencias

Flujo de fluidos en valvulas, accesorios y tuberías, preparado por la division de ingeniería de CRANE

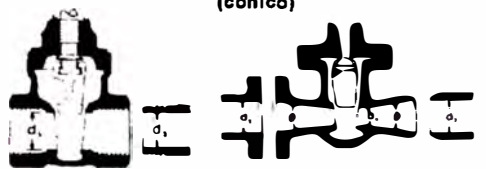
Anexo B

COEFICIENTE DE RESISTENCIA, k

A-24 TABLA DEL FACTOR "K" (página 2 de 4)
Coefficientes de resistencia (K) válidos para válvulas y accesorios


VÁLVULAS DE COMPUERTA

De cuña, de doble obturador o tipo macho (cónico)



Si: $\beta = 1, \theta = 0 \dots \dots \dots K_1 = 8 f_T$
 $\beta < 1$ y $\theta < 45^\circ \dots \dots \dots K_2 = \text{Fórmula 5}$
 $\beta < 1$ y $45^\circ < \theta < 180^\circ \dots \dots K_3 = \text{Fórmula 6}$

VÁLVULAS DE RETENCIÓN DE DISCO OSCILANTE




$K = 100 f_T$ $K = 50 f_T$


Velocidad mínima en la tubería para levantar totalmente el obturador

(m/seg) = $45 \sqrt{V}$ = $75 \sqrt{V}$
 (pie/seg) = $35 \sqrt{V}$ = $60 \sqrt{V}$
 U/L Registradas = $120 \sqrt{V}$ = $100 \sqrt{V}$

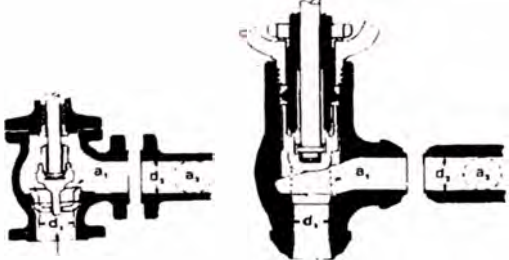
VÁLVULAS DE GLOBO Y ANGULARES



Si: $\beta = 1 \quad K_1 = 3-40 f_T$



Si: $\beta = 1 \dots \dots K_1 = 55 f_T$




Si: $\beta = 1 \dots \dots K_1 = 150 f_T$ Si: $\beta = 1 \dots \dots K_1 = 55 f_T$

Todas las válvulas de globo y angulares con asiento reducido o de manopla

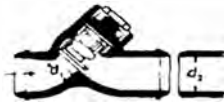
Si: $\beta < 1 \dots \dots K_2 = \text{Fórmula 7}$

VÁLVULAS DE RETENCIÓN DE OBTURADOR ASCENDENTE



Si: $\beta = 1 \dots \dots K_1 = 600 f_T$
 $\beta < 1 \dots \dots K_2 = \text{Fórmula 7}$


Velocidad mínima en la tubería para levantar totalmente el obturador = $50 \beta^2 \sqrt{V}$ m/seg $40 \beta^2 \sqrt{V}$ pie/seg



Si: $\beta = 1 \dots \dots K_1 = 55 f_T$
 $\beta < 1 \dots \dots K_2 = \text{Fórmula 7}$

Velocidad mínima en la tubería para levantar totalmente el obturador = $170 \beta^2 \sqrt{V}$ m/seg $140 \beta^2 \sqrt{V}$ pie/seg

VÁLVULAS DE RETENCIÓN DE DISCO BASCULANTE



Pasos	$\alpha = 5^\circ$	$\alpha = 15^\circ$
50 mm (2") a 200 mm (8")	$K = 40 f_T$	$120 f_T$
250 mm (10") a 350 mm (14")	$K = 30 f_T$	$90 f_T$
400 mm (16") a 1200 mm (48")	$K = 20 f_T$	$60 f_T$
Velocidad mínima en la tubería para abrir totalmente el obturador =	$100 \sqrt{V}$ m/seg	$40 \sqrt{V}$ pie/seg
	$80 \sqrt{V}$ m/seg	$30 \sqrt{V}$ pie/seg

Referencias

Flujo de fluidos en valvulas, accesorios y tuberias, preparado por la division de ingenieria de CRANE

Anexo B1

COEFICIENTE DE RESISTENCIA, k

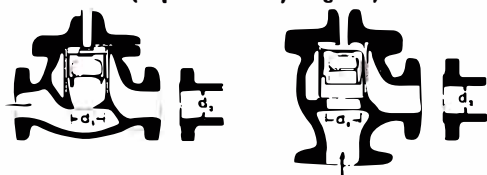
A - 4 B

APÉNDICE A - PROPIEDADES FÍSICAS DE ALGUNOS FLUIDOS Y CARACTERÍSTICAS DEL FLUJO EN VÁLVULAS, ACCESORIOS Y TUBERÍAS

CRANE

A-24. TABLA DEL FACTOR "K" (página 3 de 4)
Coeficientes de resistencia (K) válidos para válvulas y accesorios

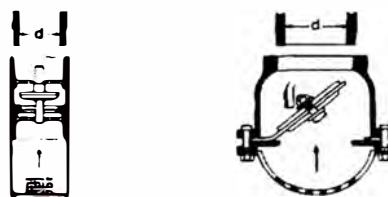
VÁLVULAS DE RETENCIÓN Y CIERRE (Tipos recto y angular)



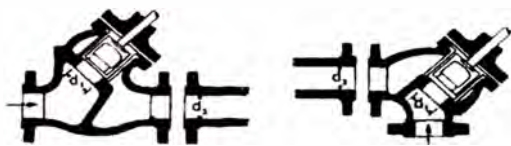
Si: $\beta = 1 \dots K_1 = 400 f_T$ $\beta = 1 \dots K_1 = 200 f_T$
 $\beta < 1 \dots K_2 = \text{Fórmula 7}$ $\beta < 1 \dots K_2 = \text{Fórmula 7}$
 Velocidad mínima en la tubería para levantar totalmente el obturador
 $m/\text{seg} = 70 \beta^2 \sqrt{V}$ $m/\text{seg} = 70 \beta^2 \sqrt{V}$
 $\text{pie}/\text{seg} = 55 \beta^2 \sqrt{V}$ $\text{pie}/\text{seg} = 55 \beta^2 \sqrt{V}$
 Velocidad mínima en la tubería para levantar totalmente el obturador
 $= 95 \beta^2 \sqrt{V}$ $= 75 \beta^2 \sqrt{V}$

VÁLVULAS DE PIE CON FILTRO

Obturador ascendente Obturador oscilante

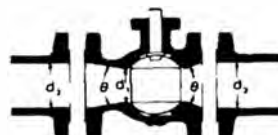


$K = 420 f_T$ $K = 75 f_T$
 Velocidad mínima en la tubería para levantar totalmente el obturador
 $m/\text{seg} = 20 \sqrt{V}$ $= 45 \sqrt{V}$
 $\text{pie}/\text{seg} = 15 \sqrt{V}$ $= 35 \sqrt{V}$



Si: $\beta = 1 \dots K_1 = 300 f_T$ $\beta = 1 \dots K_1 = 350 f_T$
 $\beta < 1 \dots K_2 = \text{Fórmula 7}$ $\beta < 1 \dots K_2 = \text{Fórmula 7}$
 velocidad mínima en la tubería para abrir totalmente el obturador
 $m/\text{seg} = 75 \beta^2 \sqrt{V}$ $\text{pie}/\text{seg} = 60 \beta^2 \sqrt{V}$

VÁLVULAS DE GLOBO



Si: $\beta = 1, \theta = 0 \dots K_1 = 3 f_T$
 $\beta < 1 \text{ y } \theta \geq 45^\circ \dots K_2 = \text{Fórmula 5}$
 $\beta < 1 \text{ y } 45^\circ < \theta < 180^\circ \dots K_2 = \text{Fórmula 6}$



$\beta = 1 \dots K_1 = 55 f_T$ $\beta = 1 \dots K_1 = 55 f_T$
 $\beta < 1 \dots K_2 = \text{Fórmula 7}$ $\beta < 1 \dots K_2 = \text{Fórmula 7}$
 Velocidad mínima en la tubería para levantar totalmente el obturador
 $m/\text{seg} = 170 \beta^2 \sqrt{V}$ $(\text{pie}/\text{seg}) = 140 \beta^2 \sqrt{V}$

VÁLVULAS DE MARIPOSA



Diámetro 50 mm (2") a 200 mm (8") $K = 45 f_T$
 Diámetro 250 mm (10") a 350 mm (14") $K = 35 f_T$
 Diámetro 400 mm (16") a 600 mm (24") $K = 25 f_T$

Referencias

Flujo de fluidos en valvulas, accesorios y tuberias, preparado por la division de ingenieria de CRANE

Anexo B

COEFICIENTE DE RESISTENCIA, k

CRANE

APÉNDICE A - PROPIEDADES FÍSICAS DE ALGUNOS FLUIDOS Y CARACTERÍSTICAS DEL FLUJO EN VÁLVULAS, ACCESORIOS Y TUBERÍAS

A - 4 9

A-24. TABLA DEL FACTOR "K" (página 4 de 4)
Coeficientes de resistencia (K) válidos para válvulas y accesorios

VÁLVULAS DE MACHO Y LLAVES

Paso directo tres entradas

Si: $\beta = 1$, $K_1 = 18 f_T$ Si: $\beta = 1$, $K_1 = 30 f_T$ Si: $\beta = 1$, $K_1 = 90 f_T$

Si: $\beta < 1$ $K_2 = \text{Fórmula 6}$

CODOS ESTÁNDAR

90° 45°

$K = 30 f_T$ $K = 16 f_T$

CURVAS EN ESCUADRA O FALSA ESCUADRA

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

CONEXIONES ESTÁNDAR EN "T"

Flujo directo $K = 20 f_T$
 Flujo desviado a 90° $K = 60 f_T$

CURVAS Y CODOS DE 90° CON BRIDAS O CON EXTREMOS PARA SOLDAR A TOPE

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

El coeficiente de resistencia K_{90} , para curvas que no sean de 90° puede determinarse con la fórmula:

$$K_B = (n - 1) (0.25 \pi f_T \frac{r}{d} + 0.5 K) + K$$

n = número de curvas de 90°
 K = coeficiente de resistencia para una curva de 90° (según tabla)

ENTRADAS DE TUBERÍA

Con resalte hacia el interior A tope

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 y más	0.04

*de cantos vivos Veanse los valores de K en la tabla

$K = 0.78$

CURVAS DE 180° DE RADIO CORTO

$K = 50 f_T$

SALIDAS DE TUBERÍA

Con resalte De cantos vivos Redondeada

$K = 1.0$ $K = 1.0$ $K = 1.0$

Referencias

Flujo de fluidos en valvulas, accesorios y tuberias, preparado por la division de ingenieria de CRANE

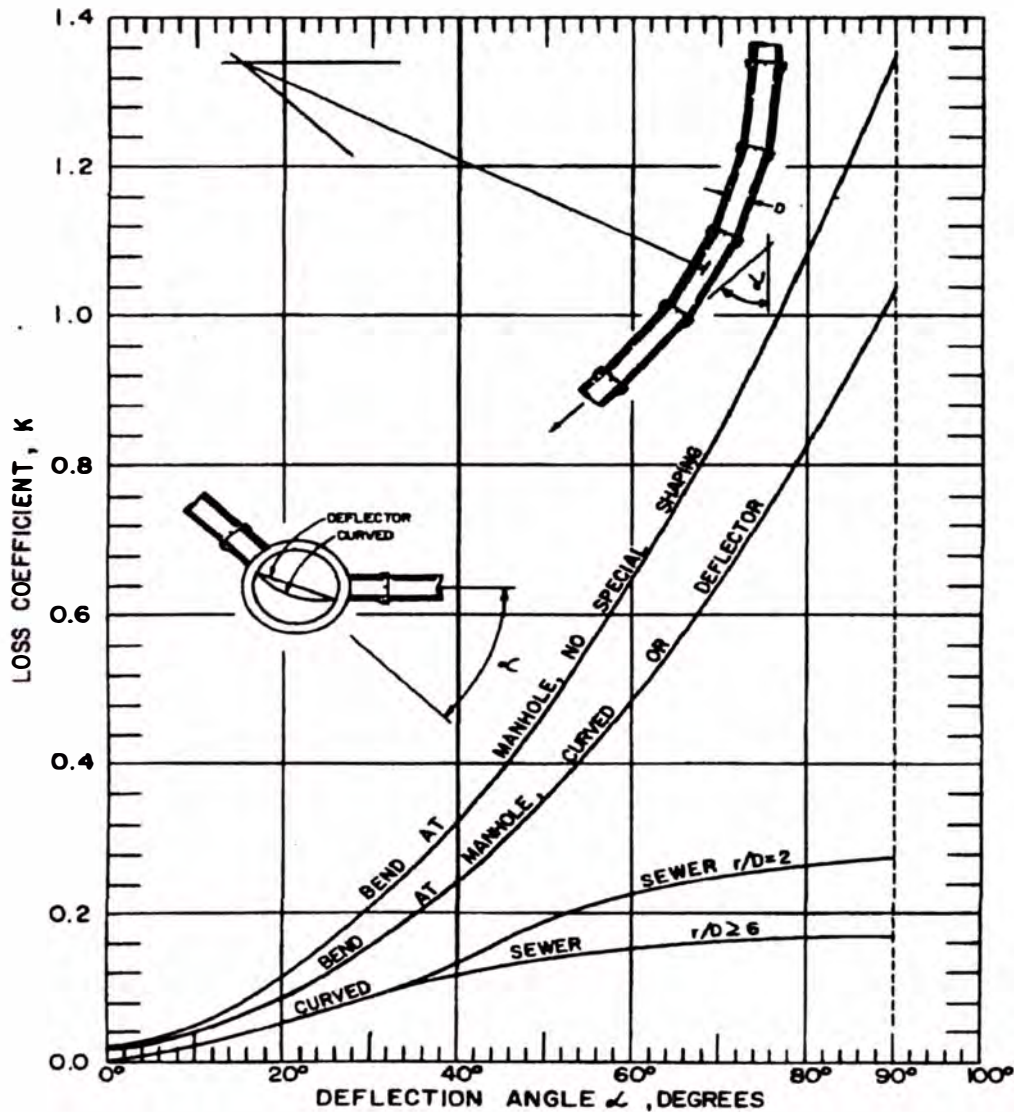
Anexo B2

COEFICIENTE DE RESISTENCIA, k CURVAS

Facilities Development Manual

Procedure 13-25-35

Sewer Bend Loss Coefficient



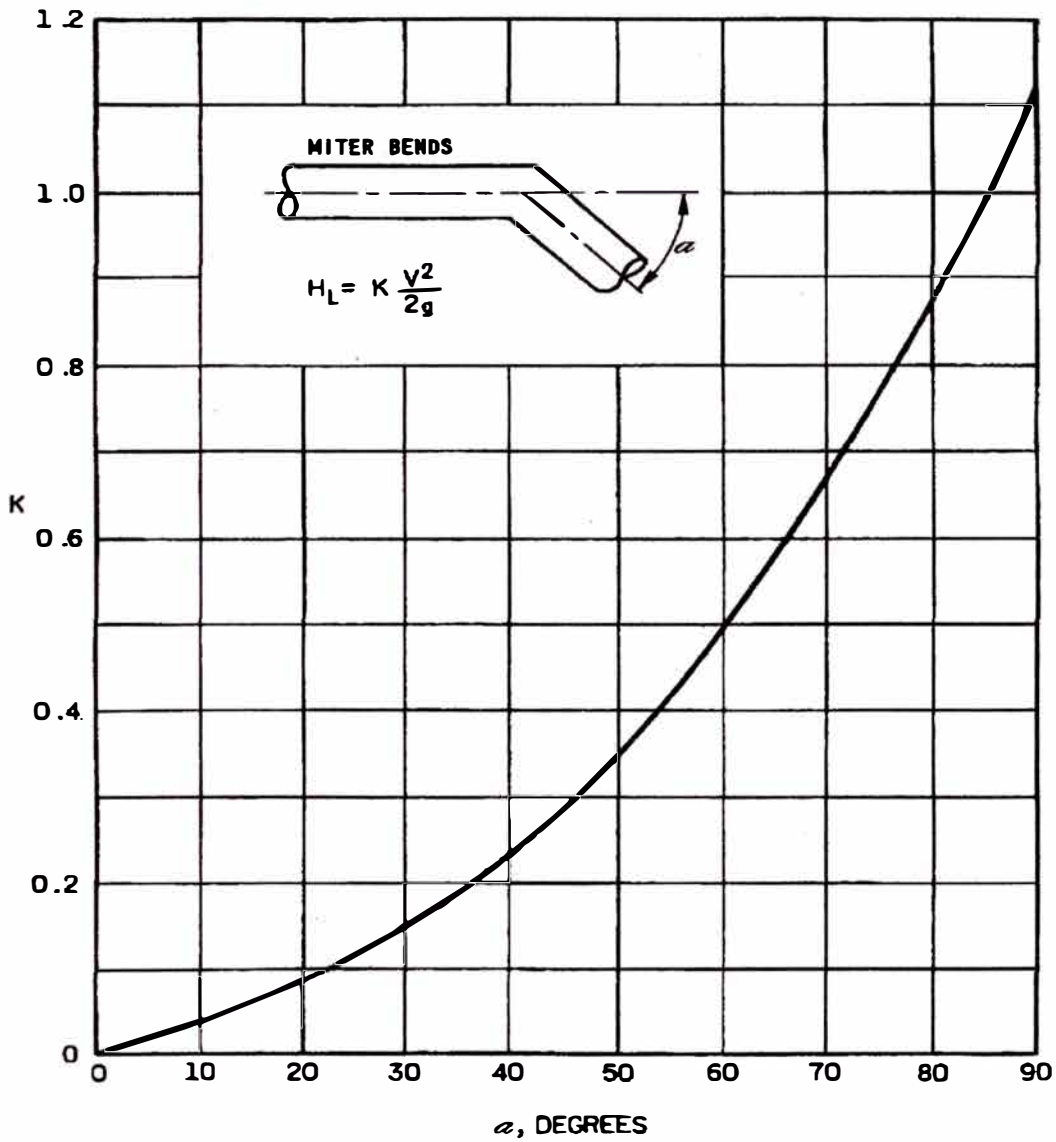
Source: Denver Regional Council of Governments,
"Urban Storm Drainage"

Referencias

* State of Wisconsin, department of transportation

Anexo B2

COEFICIENTE DE RESISTENCIA, k CURVAS



LOSS COEFFICIENTS FOR MITER BENDS

Source: Wis. Concrete Pipe Assoc., Curvilinear Alignments for Sewers

Referencias

* State of Wisconsin, department of transportation

Anexo B2

COEFICIENTE DE RESISTENCIA, k CURVAS

10

ENGINEERING MONOGRAPH NO. 3

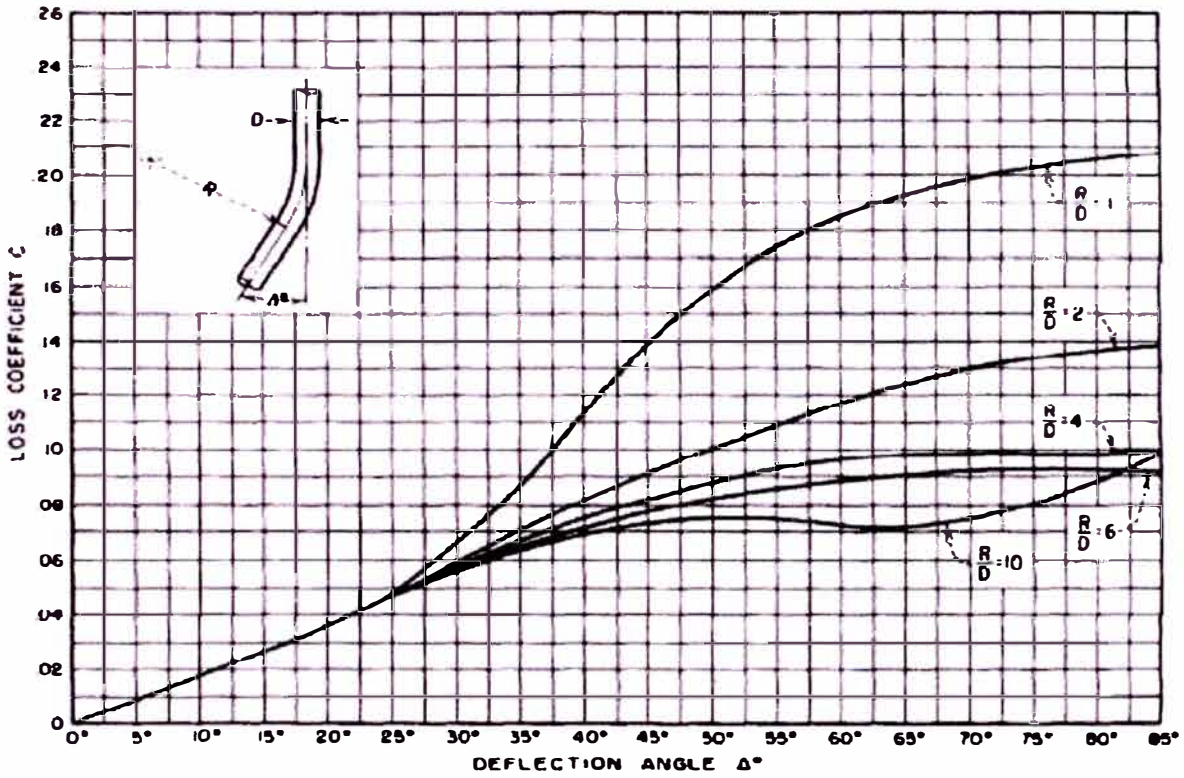


FIGURE 10.—Losses for various values of $\frac{R}{D}$ ratios and deflection angles up to 90°.

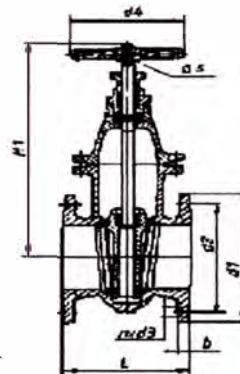
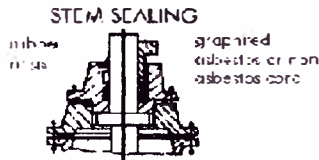
Anexo B3

COEFICIENTE DE RESISTENCIA, k VALVULAS COMPUERTA

VALVULA COMPUERTA (NORMA DIN)



- DESDE 2" A 20"
- PN4, PN6 Y PN 10
- CUERPO EN FIERRO FUNDIDO (GG25)
- AJUSTES EN BRONCE
- VASTAGO FIJO
- CONEXIÓN FLANGES (DIN)
- ORIGEN: ALEMANIA, ITALIA, RUMANIA



CONSTRUCTION: -acc. to DIN 3352, excepting DN 700/1200.

MATERIALS:

-body, bonnet, wedge, handwheel -grey cast iron 250 SR ISO 185
-stem -min. 11.5% Cr STAS 3583

-GG25DIN 1691

-(X20Cr13) DIN 17440

SEALING TYPE:

-body -wedge: -Fc/Fc - all cast iron;

-Ac/Ac - all copper alloy;

-lx/lx - all stainless steel

MAX. WORKING TEMPERATURE

-80°C - for rubber (NBR type) sealing

-120°C - for rubber (FPM type) sealing

-150°C - for klingerite/graphited asbestos or non asbestos cord sealing.

PACKING

-asbestos or non-asbestos cord

-rubber rings

SEALING

-body -bonnet: -asbestos or non-asbestos flat gasket
-rubber

Dimensión de Válvulas (mm)

PN	DN	L		Connectina flanges PN10 DIN2532				d4/s	Weight (Kg)	Power loss factor
		DIN3202	H1	d1	rxd3	b				
	40	140	255	150	110		18		14	
	50	150	263	165	125				16	0.4
	65	170	287	185	145	4x18	20		20	
10	80	180	310	200	160			160/12	25	
	100	190	358	220	180		22	200/14	32	
	125	200	402	250	210	8x18			51	0.39
	150	210	450	285	240		24		56	0.38
	200	230	515	340	295	8x22		250/17	78	0.37
6	250	250	605	395	350		26*		105	0.36
	300	270	692	445	400	12x22	28*	315/19	183	
	350	290	825	505	460	16x22	30*		280	0.35
4	400	310	866	565	515	16x26	32*	400/24	325	
	500	350	1060	670	620	20x26	34*		505	0.34
	600	390	1240	780	725	20x30	36*	500/27	-	
	700	430	1700	895	840	24x30	40*	640/30	-	0.32
2.5	800	470	1826	1015	950	24x33	44*		-	
	1000	550	2324	1230	1160	28x36	50*	560/-	-	
	1200	630	2975	1455	1380	32x39	56*	750/-	-	0.3

* Flange thickness according to PN6 (DIN2531)

Referencias

<http://www.valval.com/>

ANEXO C

DIMENSIONES DE LA TUBERIA HDPE

Anexo C

DIMENSIONES DE TUBERIAS HDPE - NORMA ISO

PE 100, Design Stress 8.0 MPa

Nominal size DN/OD	Wall series											
	SDR 26			SDR 17			SDR 11			SDR 9		
	Nominal pressures											
	PN 6.3			PN 10			PN 16			PN 20		
d_n mm	e_n mm	d_i mm	kg/m	e_n mm	d_i mm	kg/m	e_n mm	d_i mm	kg/m	e_n mm	d_i mm	kg/m
20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.3	15.4	0.14
25	-	-	-	-	-	-	2.3	20.4	0.18	2.8	19.4	0.22
32	-	-	-	-	-	-	2.9	26.2	0.29	3.6	24.8	0.34
40	2.0	36.0	0.25	2.4	36.2	0.31	3.7	32.6	0.45	4.5	31.0	0.53
50	2.0	46.0	0.32	3.0	44.0	0.47	4.6	40.8	0.69	5.6	38.8	0.82
63	2.5	58.0	0.48	3.8	55.4	0.75	5.8	51.4	1.09	7.1	48.8	1.30
75	2.9	69.2	0.69	4.5	66.0	1.06	6.8	61.4	1.53	8.4	58.2	1.83
90	3.5	83.0	0.99	5.4	79.2	1.52	8.2	73.6	2.20	10.1	69.8	2.64
110	4.2	101.6	1.45	6.6	96.8	2.24	10.0	90.0	3.26	12.3	85.4	3.91
125	4.8	115.4	1.87	7.4	110.2	2.87	11.4	102.2	4.23	14.0	97.0	5.06
140	5.4	129.2	2.36	8.3	123.4	3.59	12.7	114.6	5.26	15.7	108.6	6.34
160	6.2	147.6	3.09	9.5	141.0	4.69	14.6	130.8	6.91	17.9	124.2	8.25
180	6.9	166.2	3.85	10.7	158.6	5.92	16.4	147.2	8.73	20.1	139.8	10.40
200	7.7	184.6	4.77	11.9	176.2	7.31	18.2	163.6	10.80	22.4	156.2	12.90
225	8.6	207.8	5.99	13.4	198.2	9.28	20.5	184.0	13.60	25.2	174.6	16.30
250	9.6	230.8	7.41	14.8	220.4	11.40	22.7	204.6	16.70	27.9	194.2	20.10
280	10.7	258.6	9.24	16.6	246.8	14.30	25.4	229.2	21.00	31.3	217.4	25.10
315	12.1	290.8	11.80	18.7	277.6	18.00	28.6	257.8	26.60	35.2	244.6	31.70
355	13.6	327.8	14.90	21.1	312.8	23.00	32.2	290.6	33.70	39.7	275.6	40.30
400	15.3	369.4	18.80	23.7	352.6	29.00	36.3	327.4	42.80	44.7	310.6	51.20
450	17.2	415.6	24.30	26.7	396.6	36.80	40.9	368.2	54.30	50.3	349.4	64.70
500	19.1	461.8	30.00	29.7	440.6	45.30	45.4	409.2	66.90	55.8	388.4	79.90
560	21.4	517.2	37.70	33.2	493.6	56.90	50.8	458.4	83.80	-	-	-
630	24.1	581.8	47.70	37.4	555.2	71.90	57.2	515.6	106.00	-	-	-
710	27.2	655.6	60.50	42.1	625.8	91.40	-	-	-	-	-	-
800	30.6	738.8	76.70	47.4	705.2	116.00	-	-	-	-	-	-
900	34.4	831.2	97.00	53.3	793.4	147.00	-	-	-	-	-	-
1000	38.2	923.6	120.00	59.3	881.4	181.00	-	-	-	-	-	-
1200	45.9	1108.2	172.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1400	53.5	1293.0	234.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1600	61.2	1477.6	306.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Referencias

Fabricante de tuberías HDPE, "KWH Pipe"

Anexo C

DIMENSIONES DE TUBERIAS HDPE - NORMA ISO

PE 80, Design Stress 6.3 MPa

Nominal size DN/OD	Wall series											
	SDR 21			SDR 13.6			SDR 9			SDR 7.4		
	Nominal pressures											
	PN 6.3			PN 10			PN 16			PN 20		
d_n mm	e_n mm	d_i mm	kg/m	e_n mm	d_i mm	kg/m	e_n mm	d_i mm	kg/m	e_n mm	d_i mm	kg/m
36	-	-	-	-	-	-	1.8	12.4	0.09	2.2	11.6	0.10
20	-	-	-	-	-	-	2.3	15.4	0.14	2.8	14.4	0.16
25	-	-	-	-	-	-	2.9	19.4	0.20	3.5	18.0	0.25
32	-	-	-	2.4	27.2	0.24	3.6	24.8	0.33	4.4	23.2	0.39
40	-	-	-	3.0	34.0	0.36	4.5	31.0	0.52	5.5	29.0	0.61
50	2.4	45.2	0.36	3.7	42.6	0.56	5.7	38.8	0.80	6.9	36.2	0.95
63	3.0	57.0	0.57	4.7	53.6	0.89	7.1	48.8	1.28	8.9	45.8	1.49
75	3.6	67.8	0.82	5.5	63.8	1.26	8.5	58.2	1.79	10.3	54.4	2.13
90	4.3	81.4	1.17	6.6	76.6	1.80	10.2	69.8	2.58	12.3	65.4	3.06
110	5.3	99.4	1.80	8.1	93.8	2.66	12.4	85.4	3.84	15.1	79.8	4.56
125	6.0	113.0	2.30	9.2	106.6	3.42	14.1	97.0	4.95	17.1	90.8	5.98
140	6.7	126.6	2.88	10.3	119.4	4.28	15.8	108.6	6.21	19.2	101.6	7.50
160	7.7	144.6	3.77	11.8	136.4	5.59	18.1	124.2	8.25	21.9	116.2	9.78
180	8.6	162.8	4.74	13.3	153.4	7.09	20.3	139.8	10.4	24.6	130.8	12.4
200	9.6	180.8	5.87	14.7	170.6	8.69	22.6	155.2	12.9	27.3	145.4	15.2
225	10.8	203.4	7.41	16.6	191.8	11.3	25.4	174.8	16.3	30.8	163.4	19.3
250	11.9	226.2	9.07	18.4	213.2	13.9	28.2	194.2	20.1	34.2	181.6	23.8
280	13.4	253.2	11.4	20.6	238.8	17.4	31.6	217.4	25.2	38.3	203.4	29.9
315	15.0	285.0	14.4	23.2	268.6	22.0	35.5	244.6	31.9	43.0	229.0	37.8
355	16.9	321.2	18.7	26.1	302.8	27.9	40.0	275.6	40.5	48.5	258.0	48.0
400	19.1	361.8	23.7	29.5	341.2	35.4	45.1	310.6	51.4	54.7	290.6	60.9
450	21.5	407.0	30.1	33.1	385.8	44.8	50.7	349.4	65.0	61.5	327.0	77.1
500	23.8	452.2	37.1	36.8	426.4	55.4	56.4	388.4	80.1	-	-	-
560	26.7	506.6	46.4	41.2	477.6	69.4	-	-	-	-	-	-
630	30.0	570.0	58.6	46.4	537.4	87.7	-	-	-	-	-	-
710	33.8	642.2	74.6	52.2	605.6	111.0	-	-	-	-	-	-
800	38.1	723.8	94.5	58.9	682.4	141.0	-	-	-	-	-	-
900	42.9	814.2	120	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1000	47.7	904.6	148.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1200	57.2	1085.6	212.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Referencias

Fabricante de tuberías HDPE, "KWH Pipe"

ANEXO D

CALCULO DEL DIÁMETRO DE LA TUBERIA

PLANO 01

Anexo D

Ejemplo de calculo

Los datos de entrada o datos necesarios para el calculo de tuberias que transportan relaves se muestran en el Anexo D, CALCULO DE DIAMETRO DE TUBERIAS HDPE TRANSPORTANDO RELAVES, Estos datos son: Temperatura, densidad de la pulpa, densidad del agua, C_w , C_v , viscosidad, d_{50} , longitud de la tuberia, etc.

1 Determinacion del tipo de fluido y suspension

1.1 Determinacion del tipo de fluido

Para determinar si los relaves transportados es un fluido Newtoniano, debe cumplir las siguientes características:

- Concentracion en peso de los solidos en la pulpa (C_w) menor de 40% y
- Concentracion en volumen de los solidos en la pulpa (C_v) menor de 70%

Conforme los datos que se tienen de los relaves finos respecto a C_w y C_v es:
 $C_w = 9.7\%$ y $C_v = 20\%$

Por tanto, se determina que el tipo de fluido es **NEWTONIANO**

1.2 Determinación del tipo de suspensión

Se recuerda que existen varios tipos de suspensión de los sólidos en el medio líquido (suspensión homogénea, heterogénea y Pseudohomogénea). Para determinar si los relaves transportados es un fluido con suspensión homogénea, debe cumplir las siguientes características:

- Para suspensión homogénea, el diámetro medio (d_{50}) debe ser menor de 40 micras
- Para suspensión Pseudohomogénea, el diámetro medio (d_{50}) debe estar entre 40 y 150 micras
- Para suspensión Heterogénea, el diámetro medio (d_{50}) debe estar entre 150 y 1500 micras

Conforme los datos que se tienen de los relaves finos respecto a d_{50} es:
 $d_{50} = 37.5$ micras

Por tanto, se determina que el tipo de suspensión es **HOMOGENEA**

Conforme los calculo presentados arriba se concluye que el tipo de fluido y suspensión es:

Flujo newtoniano / Suspensión Homogénea

Anexo D
Ejemplo de calculo

2 Determinación del caudal de diseño

En los diagramas de procesos los flujos indicados son flujos o caudales nominales y este es el valor que se espera durante una operación normal, la cual es totalmente teórico. Por tanto, el caudal nominal es multiplicado por un factor superior a uno (factor de diseño o factor del proyecto) y con este valor se diseña para que la tubería este preparado para casos extraordinarios de sobreflujo por las tuberías o se requiera un aumento en la producción.

$$Q_d = Q \cdot FP$$

donde:

- FP Factor del proyecto
- Q Caudal nominal, m³/s
- Q_d Caudal de diseño, m³/s

Datos de entrada

• Caudal nominal	1263.800	m ³ /h
	0.351	m ³ /s
• Factor del proyecto	1.2	

Datos de salida

• Caudal de diseño	1516.56	m ³ /h
--------------------	---------	-------------------

Anexo D
Ejemplo de calculo

3 Determinación del diámetro de la tubería inicial o de arranque

Por ser un proceso iterativo el calculo de diámetros de tuberías, es necesario asumir un valor. Por tanto, el primer valor asumido o diámetro de arranque proviene de la formula:

$$d = \sqrt[3]{Q_d}$$

donde:

- d Diámetro interno de la tubería de arranque o diámetro de arranque, m
- Q_d Caudal de diseño, m³/s

Datos de entrada

• Caudal de diseño

1516.600	m ³ /h
0.421	m ³ /s

Datos de salida

• Diámetro de arranque

0.65	m
649	mm

Con este diámetro de 649mm se inicia el proceso de calculo en donde uno debe elegir un diámetro comercial, la mas cercana a la calculada. Por ser este un proceso iterativo se desarrollo una hoja de calculo (ver Anexo D, CALCULO DE DIAMETRO DE TUBERIAS HDPE TRANSPORTANDO RELAVES) y en esta hoja se asumen varios diámetros comerciales probables de solución y para cada caso se desarrolla la metodología de calculo.

no es propósito de la hoja "ejemplo de calculo" desarrollar los calculo para todos los diámetros. Por tanto, elegiremos la tubería de diámetro 22 pulgadas y continuaremos con el desarrollo.

Entonces el diámetro nominal asumido y la cual será evaluado si cumple será de:

22 pulgadas (560mm)

Las propiedades geométricas de una tubería HDPE con diámetro de 22" es de:

Conforme a la norma ISO 4427:

• Diámetro interno de la tubería

493.600	mm
---------	----

Anexo D
Ejemplo de calculo

4 Determinación de la velocidad del fluido

Datos de entrada

• Diámetro interno de la tubería (d)	493.6	mm
	0.494	m
• Caudal de diseño (Q_d)	1516.56	m^3/h
	0.421	m^3/s

Datos de salida

• Velocidad del fluido (v)	2.2	m/s
----------------------------	-----	-----

Anexo D
Ejemplo de calculo

5 Determinación del Coeficiente de perdida lineal, para flujo turbulento (f)

A continuación se presenta la metodología de calculo para determinar de modo automático el coeficiente de perdidas lineal. Los datos de entrada son valores determinados o datos de la tubería como rugosidad, viscosidad del fluido, diámetro interno de la tubería, etc.

Datos de entrada

• Diámetro interno de la tubería (d)	493.6	mm
	0.494	m
• Caudal de diseño (Q _d)	1516.56	m ³ /h
	0.421	m ³ /s
• Viscosidad cinemática del fluido (ν)	1.0	cSt
	0.0000010	m ² /s
• Rugosidad de la tubería (ε)	0.011	mm

Datos de salida

• Velocidad del fluido (v)	2.2015	m/s
• Numero de Reynolds (Re)		
$Re = \frac{V \cdot d}{\nu}$	1,090,746	
• Régimen de movimiento del fluido	Régimen Turbulento (Re > 4000)	
• Coeficiente de perdida lineal (f)		

Ecuación de Colebrook-White

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \cdot \log_{10} \left(\frac{\frac{\epsilon}{d}}{3.7} + \frac{2.51}{Re \cdot \sqrt{f}} \right)$$

Se aplicara métodos numéricos: Método Newton-Rapshon

$$f_{n+1} = f_n - \frac{g(f_n)}{g'(f_n)}$$

donde:

$$g(f_n) = \left(\frac{1}{\sqrt{f}} \right) + 2 \cdot \log_{10} \left(\frac{\frac{\epsilon}{d}}{3.7} + \left(\frac{2.51}{Re} \right) \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{f}} \right) \right)$$

Anexo D
Ejemplo de calculo

5 Determinación del Coeficiente de pérdida lineal, para flujo turbulento (f)

$$g'(f_n) = -\left(\frac{1}{2}\right) \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{f}}\right)^3 - \frac{1}{\ln(10)} \cdot \left[\frac{\left(\frac{2.51}{Re}\right) \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{f}}\right)^3}{\left(\frac{\varepsilon}{3.7 \cdot d}\right) + \left(\frac{2.51}{Re}\right) \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{f}}\right)} \right]$$

Primera aproximación (f_1) : Aplicando la ecuación de Manadili - 1997

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \cdot \log_{10} \left(\frac{\varepsilon}{3.7} + \frac{95}{Re^{0.983}} - \frac{96.82}{Re} \right)$$

f_1

0.012026

Iteraciones:

n	f_n	$g(f_n)$	$g'(f_n)$
1	0.012026	-0.01805881	-407.208
2	0.011981	0.00004921	-409.430
3	0.011981	0.00000000	-409.424
4	0.011981	0.00000000	-409.424
5	0.011981	0.00000000	-409.424

f

0.011981

Anexo D
Ejemplo de calculo

6 Cálculo de pérdidas por fricción, h_L

Datos de entrada

• Longitud de tubería (L)	6172.1	m
• Diámetro interno de la tubería (d)	493.6	mm
	0.494	m
• Caudal de diseño (Q)	1516.6	m ³ /h
	0.421	m ³ /s
• Coeficiente de pérdida lineal (f)	0.011981	
• Aceleración de la gravedad (g)	9.8	m/s ²

Datos de salida

• Sección interna de la tubería (A)	0.2	m ²
• Velocidad del fluido (v)	2.2015	m/s
• Altura de pérdidas primarias, (h_L)		

Ecuación de Darcy-Weisbach:

$$h_L = f \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g}$$

37.0	m
------	---

Anexo D
Ejemplo de calculo

7 Calculo de perdidas secundarias, h_k

En las tuberías, cualquier elemento, accesorio o dispositivo que ocasione turbulencia en el flujo (como: cambios de dirección, obstrucciones en el paso), origina perdidas de carga. Se determina por la formula:

$$h_k = k \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g}$$

V : Velocidad, m/s

g : Aceleración de la gravedad, m/s²

k : Coeficiente de resistencia (ver tablas adjuntas en el presente anexo C2)
El coeficiente k se obtiene experimentalmente. Este trabajo experimental viene siendo realizado hace varios años, por fabricantes y laboratorios de hidráulica, mereciendo especial atención las investigaciones de CRANE company.

h_k : Perdidas locales, mcf (mcf: metros de columna del fluido transportado)

A continuación se emplea la formula para una singularidad.

Datos de entrada

• Velocidad (V)	2.2	m/s
• Aceleración de la gravedad (g)	9.8	m/s ²

Descripción del accesorio	k
Codo de 45, Std, diámetro 12", roscado	0.2

Datos de salida

• Perdidas locales (h_k)	0.1	mcf
------------------------------	-----	-----

De este modo se trata para todas las singularidades que se encuentran a lo largo de la tubería. A continuación se describe las singularidades y sus respectivas coeficientes de perdidas. Estas singularidades son indicados en los planos.

Anexo D
Ejemplo de calculo

7 Calculo de perdidas secundarias, h_k

Descripción	k	Cantidad	h_k
Embocadura (Entrada)	0.5	1	0.12
Desembocadura (Salida)	1	1	0.25
Válvula cuchilla, totalmente abierta	0.25	1	0.06
Codo 45, $r=1.5d$	0.45	3	0.33
Tee, para conexión con ventosa	0.1	10	0.25
Curva hor., $\rho=80m$, $\Delta\theta=34^\circ$	0.08	1	0.02
Curva hor., $\rho=500m$, $\Delta\theta=33^\circ, 30^\circ, 31^\circ$	0.08	3	0.06
Curva hor., $\rho=200m$, $\Delta\theta=32^\circ, 30^\circ$	0.08	2	0.04
Curva vert., $\rho=40m/37m$, $\Delta\theta=26^\circ/22^\circ$	0.05	2	0.02
Curva vert., $\rho=99m/200m$, $\Delta\theta=3^\circ/2^\circ$	0.01	2	0.00

Perdida de carga totales por accesorios:

1.2

mcp

mcp : metros de columna de pulpa

mcf : metros de columna de fluido (para nuestro caso el fluido es pulpa)

mcp = mcf

Anexo D
Ejemplo de calculo

8 Calculo de Altura de perdidas de carga totales (h_{total}) y de diseño ($h_{diseño}$)

Datos de entrada

• Perdida de carga lineales	37.000	mcp
• Perdida de carga singulares o por accesorios:	1.200	mcp

Datos de salida

• Perdidas de carga totales	38.20	mcp
-----------------------------	-------	-----

De modo similar al factor de proyecto (factor que ayuda a calcular el caudal de diseño). También se tiene un factor, denominado, factor de seguridad para determinar la perdida de carga de diseño. Este factor es superior a la unidad y es importante su aplicación porque existen varios accesorios o factores que no son considerados para el calculo de la perdida de carga como son, juntas bridadas entre tuberías, juntas por termo fusión entre tuberías de HDPE, cambios de dirección o aumento de accesorios durante la instalación de la tubería. Por tanto:

• Perdida de carga total	38.200	mcp
• Factor del proyecto	1.1	
• Perdida de carga total de diseño	42.0	mcp

Anexo D
Ejemplo de calculo

9 Velocidad limite de deposito, en tuberías con flujo a presión (V_L)

Este parámetro es muy importante para seleccionar el diámetro de la tubería. Este parámetro indica si la velocidad en la tubería es la adecuada para que no haya sedimentación en el fondo de la tubería.

Dependiendo de la granulometría del relave se selecciona la formula mas adecuada para determinar la velocidad limite de deposito. Por tanto, se tiene:

- Aplicar la formula de **Durand** para diámetros menores de 8" y diámetro medio (d50) superiores a 200 micras.
- Aplicar la formula de **Durand modificada** para diámetros mayores de 8" y diámetro medio (d50) superiores a 200 micras.
- Aplicar la formula de **Wasp** para cualquier diámetro y diámetro medio (d50) menores a 200 micras.

Para nuestro caso la variable d50 es igual a 37.5 micras, por tanto se aplica la ecuación de Wasp, entonces :

Datos de entrada

• Factor de corrección, (F)	(2) 2.020	
• Aceleración de la gravedad (g)	9.810	m/s ²
• Diámetro interno de la tubería (d)	493.6	mm
	0.494	m
• Densidad de los sólidos, (ρ_s)	2.422	
• Densidad del liquido transportador, (ρ_l)	1.044	
• d50	37.500	μ m
	0.038	mm

Datos de salida

- Velocidad limite de deposito, V_L

$$V_L = F \cdot \left(\frac{d_{50}}{d} \right)^{\frac{1}{6}} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot d \cdot \left(\frac{\rho_s}{\rho_l} - 1 \right)}$$

1.5 m/s

Anexo D
Ejemplo de calculo

9 Velocidad limite de deposito, en tuberías con flujo a presión (V_L)

Donde, para determinar F es:

Datos de entrada

• Concentración de sólidos en volumen, en la pulpa

9.700 %

0.097

Datos de salida

• Factor de corrección, F

$$F = 3.32 \cdot \left(\frac{C_V}{100} \right)^{0.213}$$

2.0 2

Anexo D
Ejemplo de calculo

10 Velocidad mínima (V_{min})

Datos de entrada

• Velocidad limite de deposito (V_L) 1.500 m/s

Datos de salida

• Velocidad mínima de diseño, V_{min}

$V_{min} = 10\% * V_L$ (1) 1.65 m/s

Notas

(1) Es practica común en la industria asumir un 10% mas de VL. Ref. HATCH

Anexo D
Ejemplo de calculo

11 Selección de los diámetros probables

(condición de la selección: $V_{min} < V < V_{max}$)

Recordemos que al inicio del calculo de la tubería asumimos un diámetro y durante todo el proceso realizamos cálculos con el diámetro asumido que fue de 22 pulgadas (diámetro nominal) la cual tiene un diámetro interno de 493.6mm. Entonces debemos averiguar si la velocidad del flujo para este diámetro cumple la condición:

$$V_{min} < V < V_{max}$$

Por tanto,

Velocidad del fluido o del relave en la tubería : 2.2 m/s

Velocidad mínima : 1.65 m/s y

Velocidad máxima : 4 m/s

Como se aprecia: $1.65 < 2.2 < 4$, entonces el diámetro de 22" es adecuado para la conducción del relave.

como se aprecia en la hoja calculo de la tubería (ver Anexo D, CALCULO DE DIAMETRO DE TUBERIAS HDPE TRANSPORTANDO RELAVES) existen 03 diámetros que cumplen (18", 20" y 22") con esta condición. Por tanto, nosotros seleccionaremos la que tiene menor perdida de carga.

La tubería con menor perdida de carga es **22"**

Anexo D
Ejemplo de calculo

12 Calculo del golpe de ariete, ΔH

12.1 Velocidad de propagacion de la onda de presion (c)

Datos de entrada

• Espesor de la tuberia, t	33.200	mm
	0.033	m
• Modulo de elasticidad del material de la tuberia, E	125000	psi
	861850000	Pa
	0.862	x10 ⁹ N/m ²
• Diametro interno de la tuberia, d	493.600	mm
	0.494	m
• Concentracion en volumen, C _v	9.700	%
• Concentracion en peso, C _w	20.000	%
• Modulo de elasticidad de las particulas solidas, E _s	16.000	Gpa
• Modulo de elasticidad del fluido transportado, E _f	2.190	Gpa
• Densidad de los solidos, ρ _s	2422.000	kg/m ³
• Densidad del fluido, ρ _f	1044.000	kg/m ³

Datos de salida

- Velocidad de la onda de presion, a₀

$$a_0 = \sqrt{\frac{\frac{1}{C_v \cdot \rho_f + C_w \cdot \rho_s}}{\frac{C_v}{E_f} + \frac{C_w}{E_s} + \frac{d}{E \cdot t}}}$$

314.1 m/s

Anexo D
Ejemplo de calculo

12 Calculo del golpe de ariete, ΔH

12.2 Incremento de presion por golpe de ariete

Datos de entrada

• Aceleracion de gravedad (g)	9.800	m/s ²
• Velocidad del fluido	2.200	m/s
• Velocidad de la onda de presion, a ₀	314.100	m/s

Datos de salida

- Incremento de presion por golpe de ariete en mcp (metros de columna de pulpa)

$$\Delta p = \frac{a \cdot v}{g}$$

70.5 mcp

- Incremento de presion por golpe de ariete en mca (metros de columna de agua)

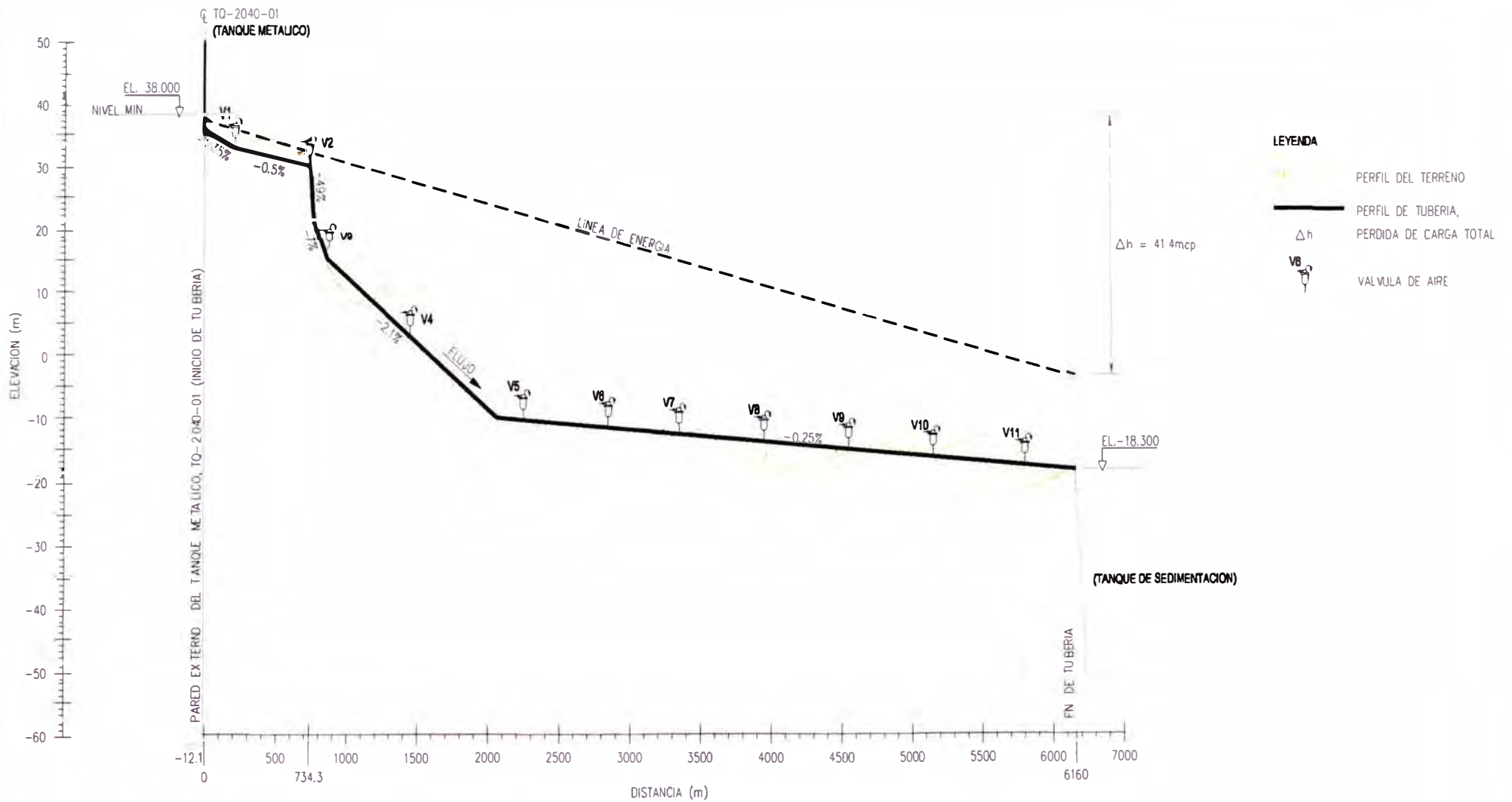
El valor de 70.5mcp se divide por un factor de correccion que es de 0.9, por tanto:

78.3 mca

Entonces la maxima presion que la tuberia debera resistir es de 78.3mca (7.8 bar), Por tanto, se debera seleccionar una tuberia con presion interna nominal superior a 7.8 bar. Para nuestro caso seleccionaremos una tuberia de PN10, la cual quiere decir que soportara presiones internas hasta 10 bar

ANEXO E

TUBERIA DE RELAVES FINOS / LINEA DE CARGA



DATOS DE DISEÑO

- CAUDAL NOMINAL	1263.8 m ³ /h
- CAUDAL DE DISEÑO	1516.6 m ³ /h
- VELOCIDAD FLUJO	2.2 m/s
- VELOCIDAD MIN.	1.6 m/s
- TUBERIA	HDPE, 560mm (DN22), ISO 4427 PE100, PN10/SDR17

ANEXO E

FIGURA :

**TUBERIA DE RELAVES FINOS
LINEA DE ENERGIA**

ELABORADO POR:

ESCALA:

REVISION:

FECHA:

24 / 07 / 2012

ANEXO F

PROPIEDADES DEL AGUA SALADA

Anexo F

DENSIDAD Y VISCOSIDAD DEL AGUA SALADA

Ejemplo de calculo:

Datos de entrada

• Flujo masico de sal (M_{sal})	74.7	t/h
• Flujo masico de agua (M_{agua})	1116.8	t/h
• Temperatura	33.4	°C

Datos de salida

• Salinidad		
Salinidad = M_{sal}/M_{agua}	0.0669	t/t
	66.89	‰ ⁽¹⁾
	66,888	ppm ⁽²⁾

• Densidad del agua salada ($\rho_{agua\ salada}$)

Fuente: El- Dessouky, Ettouny (2002): *Fundamentals of seawater desalination*

A.1. Seawater Density

The density correlation for seawater is given by

$$\rho = 10^3 (A_1 F_1 + A_2 F_2 + A_3 F_3 + A_4 F_4)$$

where

$$B = ((2)(X)/1000 - 150)/150$$

$$G_1 = 0.5$$

$$G_2 = B$$

$$G_3 = 2 B^2 - 1$$

$$A_1 = 4.032219 G_1 + 0.115313 G_2 + 3.26 \times 10^{-4} G_3$$

$$A_2 = -0.108199 G_1 + 1.571 \times 10^{-3} G_2 - 4.23 \times 10^{-4} G_3$$

$$A_3 = -0.012247 G_1 + 1.74 \times 10^{-3} G_2 - 9 \times 10^{-6} G_3$$

$$A_4 = 6.92 \times 10^{-4} G_1 - 8.7 \times 10^{-5} G_2 - 5.3 \times 10^{-5} G_3$$

$$A = ((2)(T) - 200)/160$$

$$F_1 = 0.5, F_2 = A, F_3 = 2 A^2 - 1, F_4 = 4 A^3 - 3 A$$

P _{agua salada}	1044.138	kg/m ³
--------------------------	----------	-------------------

Anexo F

DENSIDAD Y VISCOSIDAD DEL AGUA SALADA

- Viscosidad dinamica o absoluta del agua salada ($\mu_{\text{agua salada}}$)

A.3. Seawater Dynamic Viscosity

The correlation for the dynamic viscosity of seawater is given by

$$\mu = (\mu_W) (\mu_R) \times 10^{-3} \tag{A.3}$$

with

$$\ln(\mu_W) = -3.79418 + 604.129/(139.18+T)$$

$$\mu_R = 1 + A s + B s^2$$

$$A = 1.474 \times 10^{-3} + 1.5 \times 10^{-5} T - 3.927 \times 10^{-8} T^2$$

$$B = 1.0734 \times 10^{-5} - 8.5 \times 10^{-8} T + 2.23 \times 10^{-10} T^2$$

where μ in kg/m s, T in °C, and s in gm/kg. The above correlation is valid over the following ranges $0 \leq s \leq 130$ gm/kg and $10 \leq T \leq 180$ °C. Variations in the seawater viscosity as a function of temperature and salinity are given in Table A.3 and Fig. A.3.

$\mu_{\text{agua salada}}$

0.0009

kg/m.s

0.869

cP

- Viscosidad cinematica del agua salada ($\nu_{\text{agua salada}}$)

$\nu_{\text{agua salada}} = \mu_{\text{agua salada}} / \rho_{\text{agua salada}}$

0.0000008

m²/s

0.0083

Stokes

0.832

cSt

Notas

(1) ‰: Partes por mil

(2) ppm: Partes por millon

ANEXO P

REGISTRO FOTOGRAFICO

Anexo P

A continuación se muestran fotografías referentes a la tubería de relaves fino. Esta muestra es para tener una mejor idea o concepto de la instalación de la tubería, dimensiones y las condiciones del sitio

Figura P1 : Planta concentradora

Vista panorámica de la planta concentradora, se visualizan las dos líneas de procesamiento para obtener el concentrado y tramo inicial de la tubería de relaves finos (desde la progresiva: 0+000 hasta 0+200 aproximadamente)



Figura P2: Tubería de relaves finos (0+000 @ 0+700 aprox.)



Figura P3 : Tanque metálico



Figura P4 : Tanque metálico y Tubería de relaves finos



Figura P5 : Instalación típica



Figura P6 : Instalación típica para cruce de accesos



Figura P7 : Tubería de relaves en planta concentradora



Figura P8 :Tanque de sedimentación de los relaves finos

Se aprecia en la foto los equipos pesados que están retirando el material para la construcción del tanque. Dimensiones del tanque es 650mx650m aprox.



LISTA DE PLANOS

ANEXO D

CALCULO DE DIAMETRO DE TUBERIAS HDPE TRANSPORTANDO RELAVES

Proyecto	BAYOVAR I	Tipo de conduccion:	CONDUCCION A PRESION	Doc. :	
Localizacion del proyecto	BAYOVAR / PIURA / PERU	Fluido	RELAVES	Fecha :	2012 Rev. : 0
Servicio	Traspaso de los relaves finos desde el tanque metalico (TQ-2040-01) hasta el tanque de sedimentacion				

CONDICIONES DEL SITIO BAYOVAR / PIURA / PERU

• Temperatura	=	33,4 °C	• Aceleracion de la gravedad	=	9,81 m/s ²	• Modulo de elasticidad del agua	=	2,19 GPa
• Densidad del agua	=	995 kg/m ³ 0,99 t/m ³	• Viscosidad dinamica del agua	=	0,001 Pa.s 0,746 Cp			

FLUIDO RELAVES

• Viscosidad dinamica del liquido transp.	=	0,869 cP	• Peso de solidos en la pulpa (Cw)	=	20,0 %	• Viscosidad dinamica de la pulpa	=	1,17 cP 0,0011738 kg/m.s
• Densidad del liquido transportador	=	1.044,138 kg/m ³	• volumen de solidos en la pulpa (Cv)	=	9,7 % 0,097	• Viscosidad cinematica de la pulpa	=	9,963E-07 m ² /s 1,0 cSt
• Modulo de elasticidad del liquido trans	=	2,190 Gpa	• Gravedad especifico de los solidos	=	2,422	• Modulo de elasticidad del solido	=	16,000 Gpa
• Caudal nominal, Qn	=	1.283,8 m ³ /h	• Diámetro medio, d ₅₀	=	37,5 micra 0,0375 mm	• Densidad de la pulpa	=	1.178,2 kg/m ³

TUBERIAS HDPE

• Rugosidad de la tuberia, ε	=	0,0110 mm	• Longitud, L	=	6.172,1 m	• Modulo de elasticidad, tuberia HDPE (E)	=	125.000 psi
• Presion nominal normalizada	=	PN10	• Designacion del material y grado	=	PE100			

SINGULARIDADES ACCESORIOS

Descripcion	k	Cantidad
Embocadura (Entrada)	0,5	0
Desembocadura (Salida)	1,0	1
Valvula cuchilla, totalmente abierta	0,25	0
Codo 45, r=1.5d	0,45	0
Tee, para conexión con ventosa	0,10	10

Descripcion	do (mm)	l (mm)
Estrechamiento / Ensanchamiento gradual, θ° ≤ 45°		

Descripcion	k	Cantidad
Curva hor., ρ=80m, Δθ°=34°	0,08	1
Curva hor., ρ=500m, Δθ°=33°, 30°, 31°	0,08	3
Curva hor., ρ=200m, Δθ°=32°, 30°	0,08	2
Curva vert., ρ=40m/37m, Δθ°=26°/22°	0,05	2
Curva vert., ρ=99m/200m, Δθ°=3°/2°	0,01	2

CALCULO DEL DIAMETRO DE LA TUBERIA

• Tipo de fluido y suspension	Flujo newtoniano / Suspension Homogenea									
	649mm / 26in									
• Diametro de arranque ⁽¹⁾	649mm / 26in									
• Diametro exterior	mm	400	450	500	560	630	710	800	900	1000
• Diametro nominal, DN		16	18	20	22	24	28	32	36	40
• Espesor de la tuberia, t	mm	23,7	26,7	29,7	33,2	37,4	42,1	47,4	53,3	59,3
• Diametro interior, d	mm	352,6	396,6	440,6	493,6	555,2	625,8	705,2	793,4	881,4
• Caudal de diseño, Q _{diseño}	1,2 ⁽²⁾	1516,6m ³ /h / 0,4m ³ /s								
• Velocidad del fluido, V	m/s	4,3	3,4	2,8	2,2	1,74	1,4	1,1	0,9	0,7
• Numero Reynolds, Re		1.526.917	1.357.516	1.221.949	1.090.743	969.724	860.324	763.458	678.587	610.836
• Regimen del flujo		Turbulento	Turbulento	Turbulento	Turbulento	Turbulento	Turbulento	Turbulento	Turbulento	Turbulento
• Coeficiente de perdidas, f		0,011681	0,011763	0,011858	0,011981	0,012130	0,012303	0,012494	0,012699	0,012897
• Altura de perdidas por friccion / Darcy W.	mcp	194,0	108,5	64,6	37,0	20,8	11,6	6,5	3,7	2,2
• Altura de perdidas por friccion / Hazen-Williams	mca	150 ⁽⁴⁾	(198,7)	(112,1)	(67,1)	(38,6)	(21,8)	(12,2)	(6,8)	(3,8)
• Altura de perdidas por singularidades, h _k	mcp	2,5	1,5	1,0	0,6	0,4	0,2	0,2	0,1	0,1
• Altura de perdidas totales, h _{TOTAL}	mcp	196,4	110,0	65,6	37,7	21,2	11,8	6,6	3,8	2,3
• Altura de perdidas de diseño, h _{diseño}	mcp	1,1 ⁽⁵⁾	216,1	121,0	72,2	41,4	23,3	13,0	7,3	4,1
• Velocidad limite de deposito (Formula de Durand), V _L	(FL = 0.69) m/s	1,2	1,3	1,3	1,3	1,4	1,4	1,5	1,5	1,5
• Velocidad limite de deposito (Formula de Durand mod.), V _L	(FL = 0.69) m/s	1,5	1,6	1,6	1,7	1,7	1,8	1,8	1,9	1,9
• Velocidad limite de deposito (Formula de Wasp), V _L	(FL' = 2.02) m/s	1,3	1,4	1,4	1,5	1,5	1,6	1,7	1,7	1,8
• Para el calculo del diametro se aplicara la formula :		Wasp	Wasp	Wasp	Wasp	Wasp	Wasp	Wasp	Wasp	Wasp
• Velocidad minima, V _{min}	FV = 1,1 ⁽³⁾ m/s	1,5	1,5	1,6	1,6	1,7	1,8	1,8	1,9	2,0
• Velocidad maxima recomendada, V _{max}	m/s	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
• Selección de los diametros probables (condicion de la selección: V _{min} < V < V _{max})		-	18	20	22	-	-	-	-	-
• Incremento de presion por golpe de ariete, ΔH	mca	-	122,0	98,9	78,7	-	-	-	-	-
• Presion nominal normalizada, norma ISO 4427		-	PN16	PN10	PN10	-	-	-	-	-

Notas

- Por ser un proceso iterativo el calculo de diametros de tuberias, es necesario asumir un valor. Por tanto, el primer valor asumido o diametro de arranque proviene de la formula de BRESSE: $d=1.5 \cdot Q^{1/2}$
- El caudal de diseño corresponde al caudal máximo del proyecto, este caudal se determina incrementando en 20% el caudal nominal (Q_{diseño} = 1.2 * Q_{nominal}). Este caudal determinara la Potencia de la bomba.
- En la práctica se fijan velocidades minimas del flujo en relación con la velocidad límite de depósito de la siguiente forma: V_{min} = FV*V_L. Conforme la configuracion del trazado de la tuberia, el valor del factor FV puede ser: 0.9 / 1.1 / 1.15.
- Se realizan calculos por el metodo Hazen-William, solo para compararlos con los de Darcy. Los valores arrojados por el metodo Hazen-William no son considerados para los calculos de la tuberia.
- Factor de seguridad para determinar la perdida de carga de diseño.

Leyenda

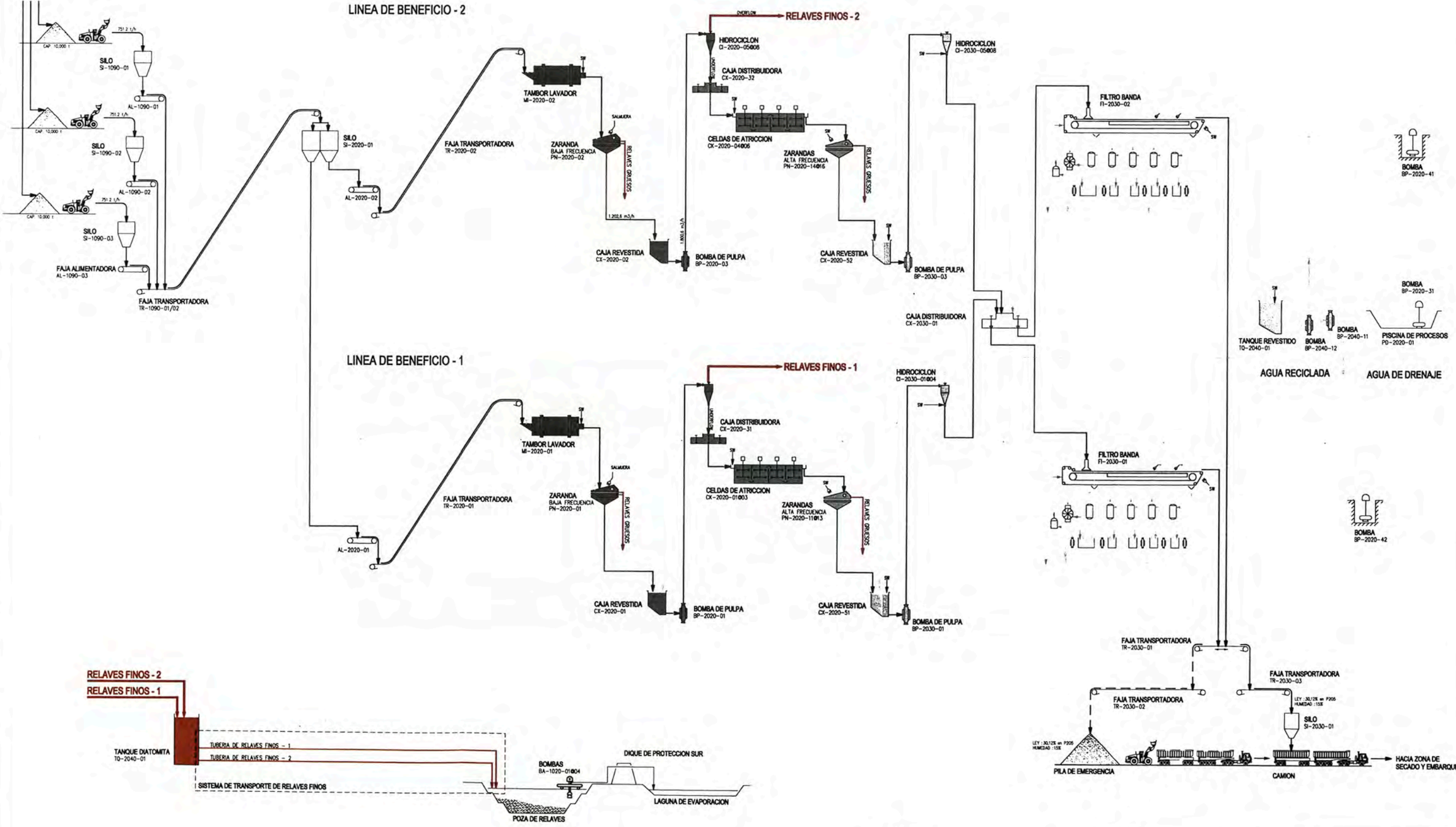
- Valores que son premisas para el calculo
- Celdas para ingreso de datos

PLANTA DE CONCENTRADO BAYOVAR

PRODUCCION : 3.9 M t/año, FOSFATO SECO - 1-3% HUMEDAD
 VIDA UTIL : 27 años
 ETAPAS DE PROCESAMIENTO :



MINERAL ROM
 MINERAL A PROCESO : CAPAS 105
 TIPO DE EXPLOTACION : TAJO ABIERTO
 CONCENTRACION : 17.5 % de P2O5



RELAVES FINOS - 2

RELAVES FINOS - 1

TANQUE DIATOMITA TQ-2040-01

SISTEMA DE TRANSPORTE DE RELAVES FINOS

BOMBAS BA-1020-01/004

DIQUE DE PROTECCION SUR

LAGUNA DE EVAPORACION

POZA DE RELAVES

FAJA TRANSPORTADORA TR-2030-01

FAJA TRANSPORTADORA TR-2030-02

FAJA TRANSPORTADORA TR-2030-03

LEY: 30.12% de P2O5 HUMEDAD: 15%

PILA DE EMERGENCIA

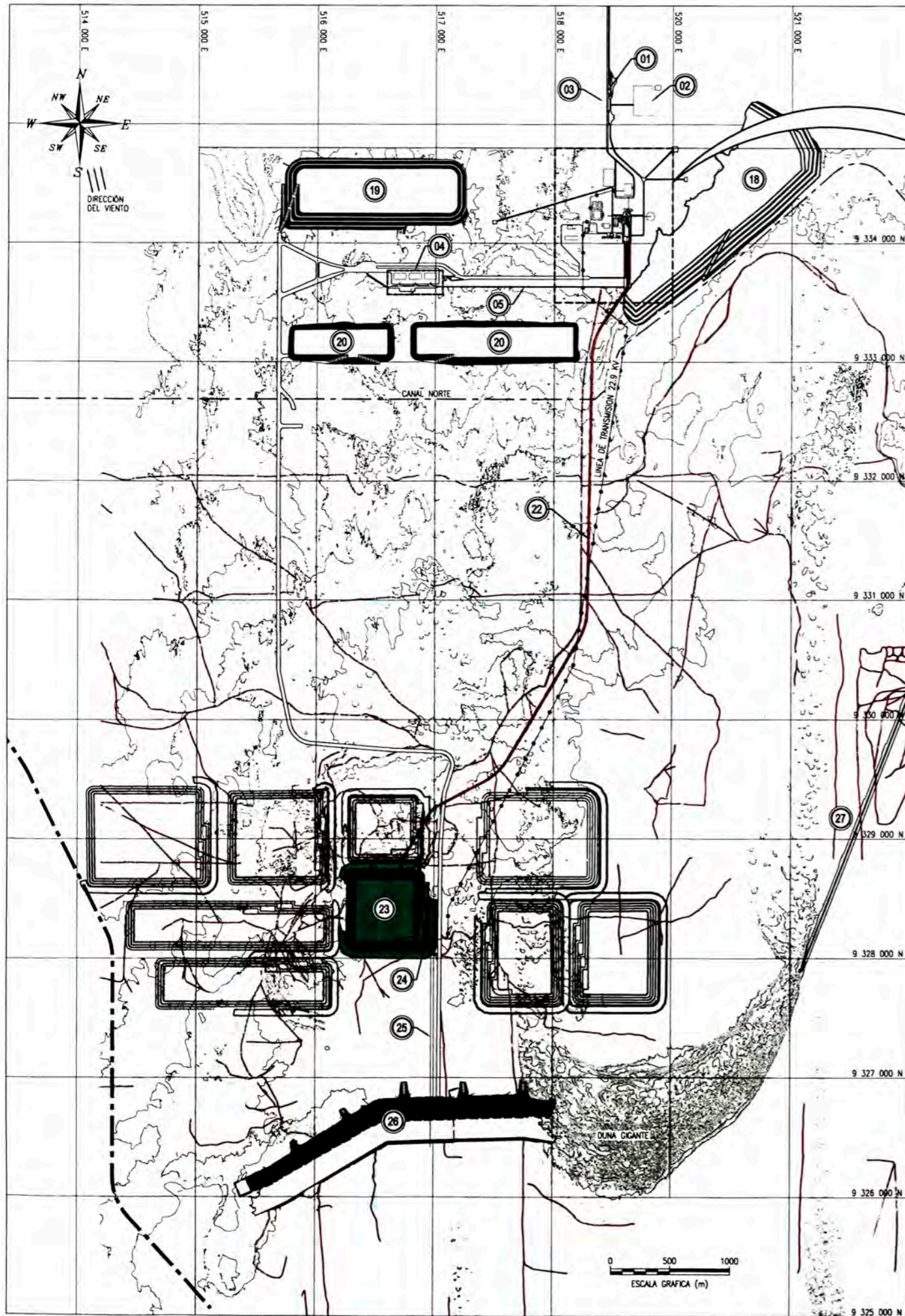
LEY: 30.12% de P2O5 HUMEDAD: 15%

CAMION

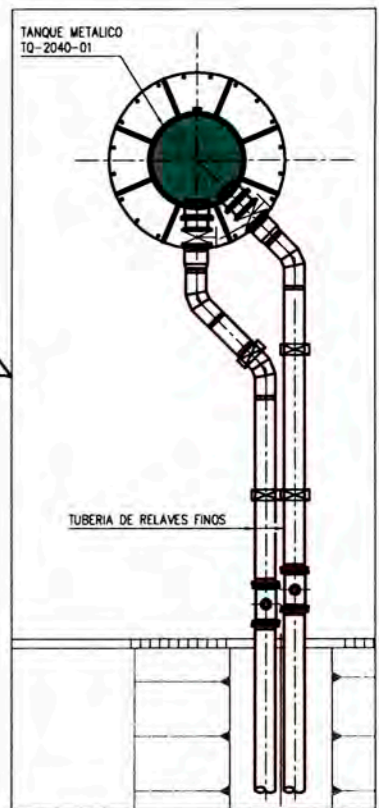
HACIA ZONA DE SECADO Y EMBARQUE

- LEYENDA**
- FLUJO PRINCIPAL
 - - - FLUJO PRINCIPAL ALTERNATIVO
 - FLUJO DE AGUA RECUPERADA
 - FLUJO DE RELAVES

CODIGO DEL PLANO:		PLANO N° 01	
TITULO DEL PLANO:			
PLANTA CONCENTRADORA - BAYOVAR I			
DIAGRAMA DE PROCESOS			
ELABORADO POR:	ESCALA:	REVISION:	FECHA:
CARLOS ALBERTO USCATA HUAMAN	SIN ESCALA	REV.0	24 / 07 / 2012



ZONA PLANTA CONCENTRADORA
ESC. 1:5000

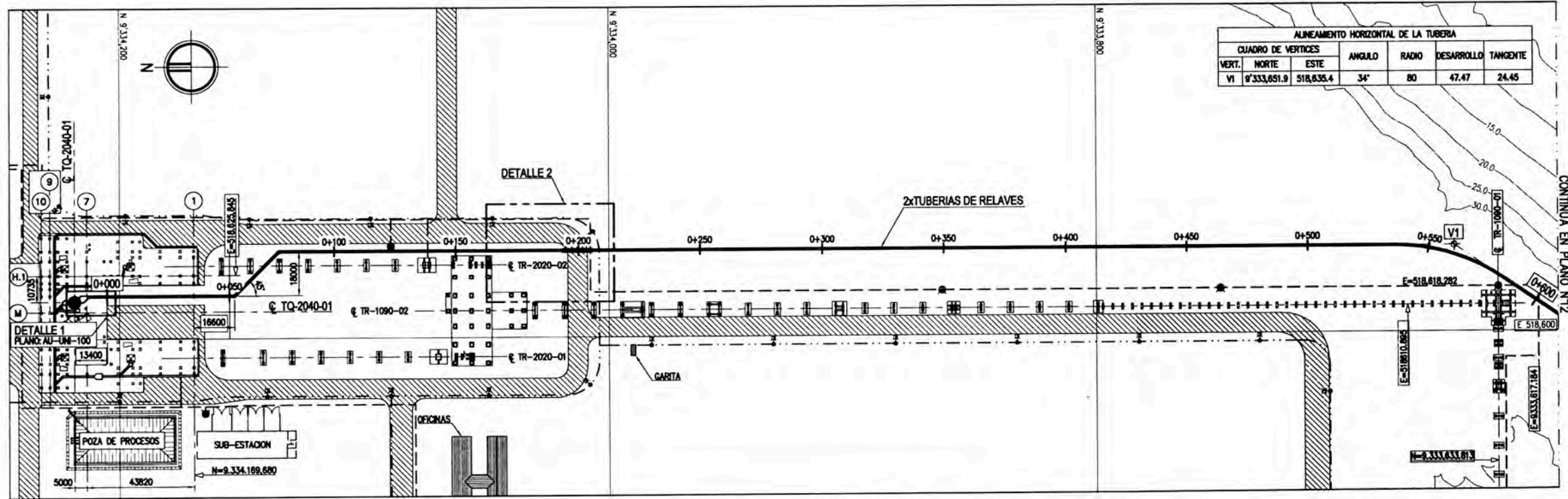


INICIO DE LA TUBERIA DE RELAVES FINOS
ESC. 1:100

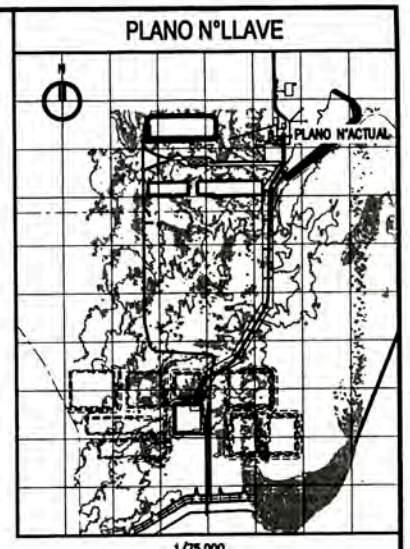
- LEYENDA**
- 01 GARITA DE ACCESO A PLANTA/MINA
 - 02 CAMPAMENTO MISKIMAYO
 - 03 TUBERIA, AGUA DE MAR
 - 04 AREA DE ALIMENTACION A PLANTA
 - 05 FAJA TR-1090-01
 - 06 FAJA TR-1090-02
 - 07 SILO
 - 08 FAJA
 - 09 FAJA
 - 10 AREA DE CLASIFICACION PRIMARIA
 - 11 AREA DE CLASIFICACION SECUNDARIA
 - 12 FAJA
 - 13 SILO SI-2030-01
 - 14 PISCINA DE AGUA DE MAR
 - 15 PLANTA DE DESALINIZACION
 - 16 TANQUE DE AGUA DESALINIZADA
 - 17 SUBSTACION PRINCIPAL - PLANTA
 - 18 PILA DE RELAVES GRUESOS
 - 19 BOTADERO DE DESMONTE
 - 20 PILA DE ESTERIL
 - 21 TANQUE DE RELAVES FINOS, TQ-2040-01
 - 22 TUBERIA DE RELAVES FINOS
 - 23 TANQUE DE SEDIMENTACION DE RELAVES FINOS
 - 24 ESTACION DE BOMBEO DE AGUA CLARIFICADA
 - 25 TUBERIA DE IMPULSION DE AGUA CLARIFICADA
 - 26 DIQUE SUR
 - 27 DIQUE ESTE

MINA Y PLANTA CONCENTRADORA
ESC. 1:20000

CODIGO DEL PLANO:		PLANO N° 10		
TITULO DEL PLANO:		MINA Y PLANTA CONCENTRADORA - BAYOVAR I TUBERIA DE RELAVES FINOS DISPOSICION GENERAL		
ELABORADO POR:	ESCALA:	REVISION:	FECHA:	
CARLOS ALBERTO USCATA HUAMAN	ESCALA INDICADA	REV.0	24 / 07 / 2012	

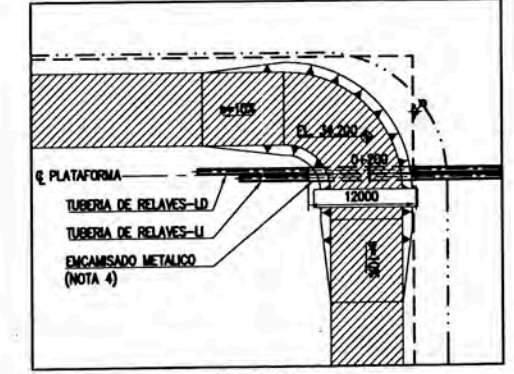
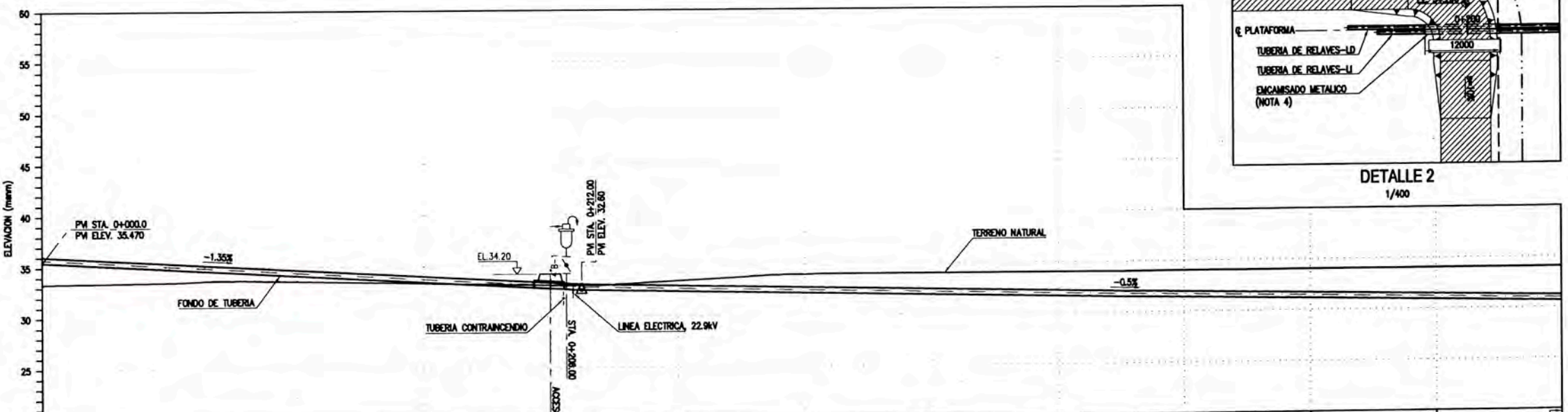


PLANTA
1/1,000



- NOTAS
- 1.- DIMENSIONES Y ELEVACIONES EN METROS (S.I.C.)
 - 2.- INSTALACIONES CERCANAS A LA TUBERIA DE RELAVES, SOLO SE APRECIAN LAS FUNDACIONES.
 - 3.- ENCAMISADO METALICO, TUBERIA DE ACERO 28", STD

- LEYENDA
- RED ELECTRICA, ILUMINACION
 - POSTE DE LUZ
 - ~ CURVAS DE NIVEL PRINCIPAL
 - ~ CURVAS DE NIVEL SECUNDARIA



DETALLE 2
1/400

KILOMETRAJE	0+000	0+050	0+100	0+150	0+154	0+200	0+250	0+300	0+350	0+400	0+450	0+500	0+550	0+600
COTA FONDO DE TUBERIA	35.470	34.795	34.120	33.445	32.770	32.118	31.468	30.818	30.168	29.518	28.868	28.218	27.568	26.918
COTA TERRENO	33.277	33.456	33.555	33.320	33.065	32.826	32.595	32.365	32.135	31.905	31.675	31.445	31.215	30.985
PENDIENTE			-1.35%									-0.5%		
TIPO DE SECCION			TIPO I									TIPO II		

PERFIL
HORIZONTAL : 1/1,000
VERTICAL : 1/250

PLANO N°11

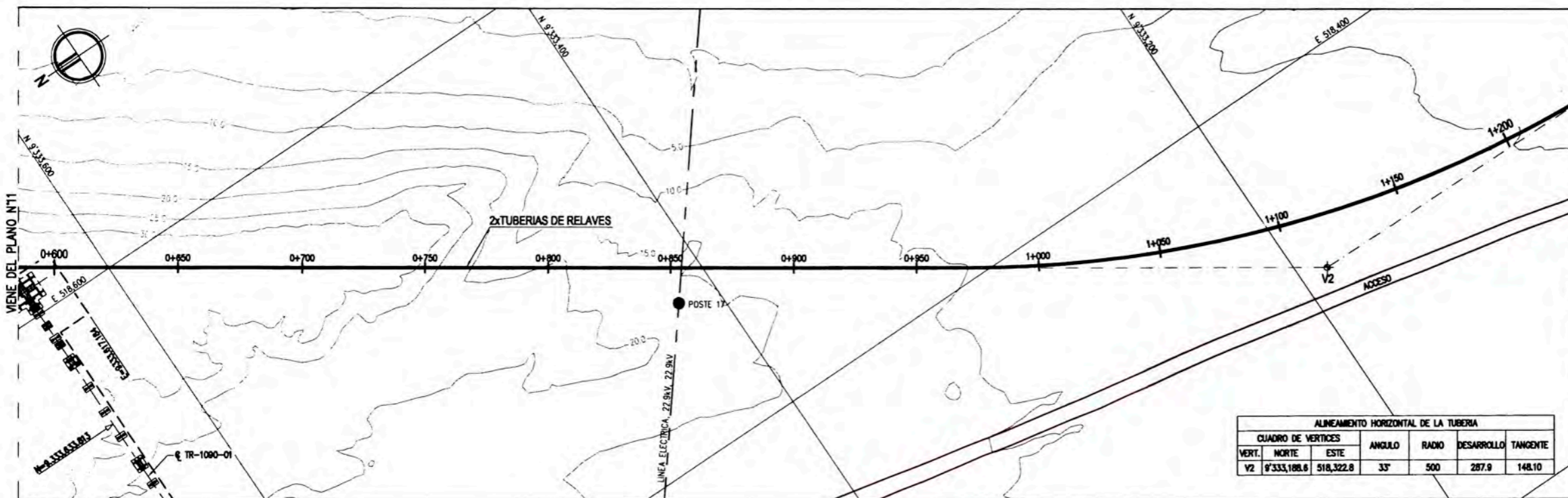
PLANTA CONCENTRADORA - BAYOVAR I
TUBERIA DE RELAVES FINOS
PLANTA Y PERFIL - HOJA 1/11

ELABORADO POR: CARLOS ALBERTO USCATA HUAMAN

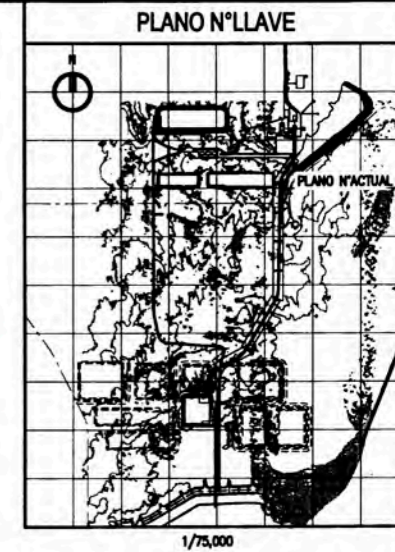
ESCALA: ESCALA INDICADA

REVISOR: REV.0

FECHA: 24 / 07 / 2012



PLANTA
1/1,000

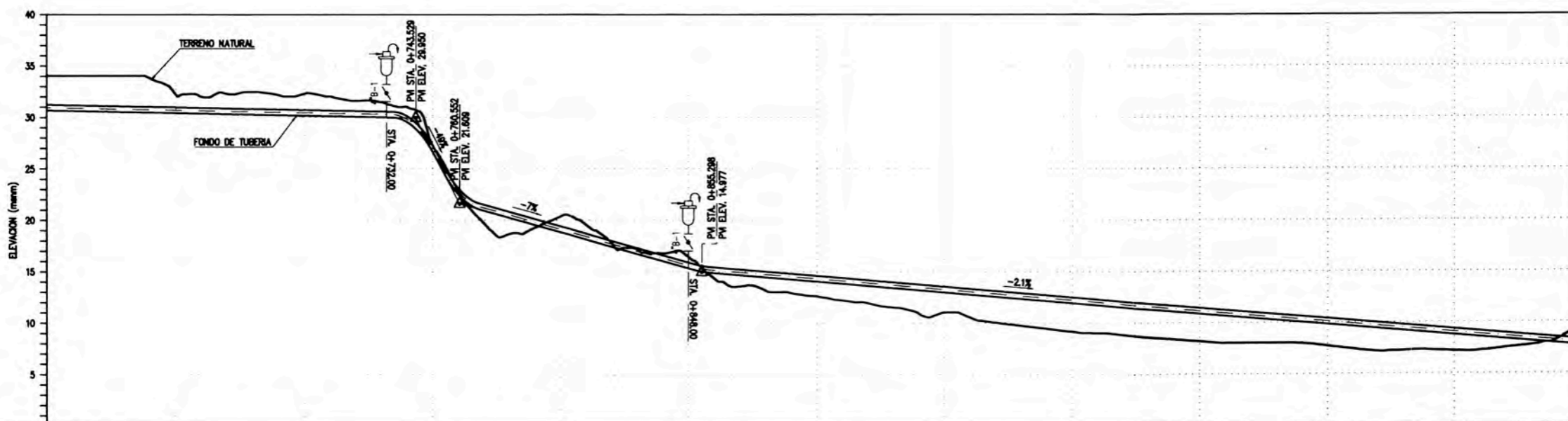


NOTAS

1.- DIMENSIONES Y ELEVACIONES EN METROS (S.I.C.)

LEYENDA

- RED ELECTRICA, ILUMINACION
- POSTE DE LUZ
- CURVAS DE NIVEL PRINCIPAL
- CURVAS DE NIVEL SECUNDARIA

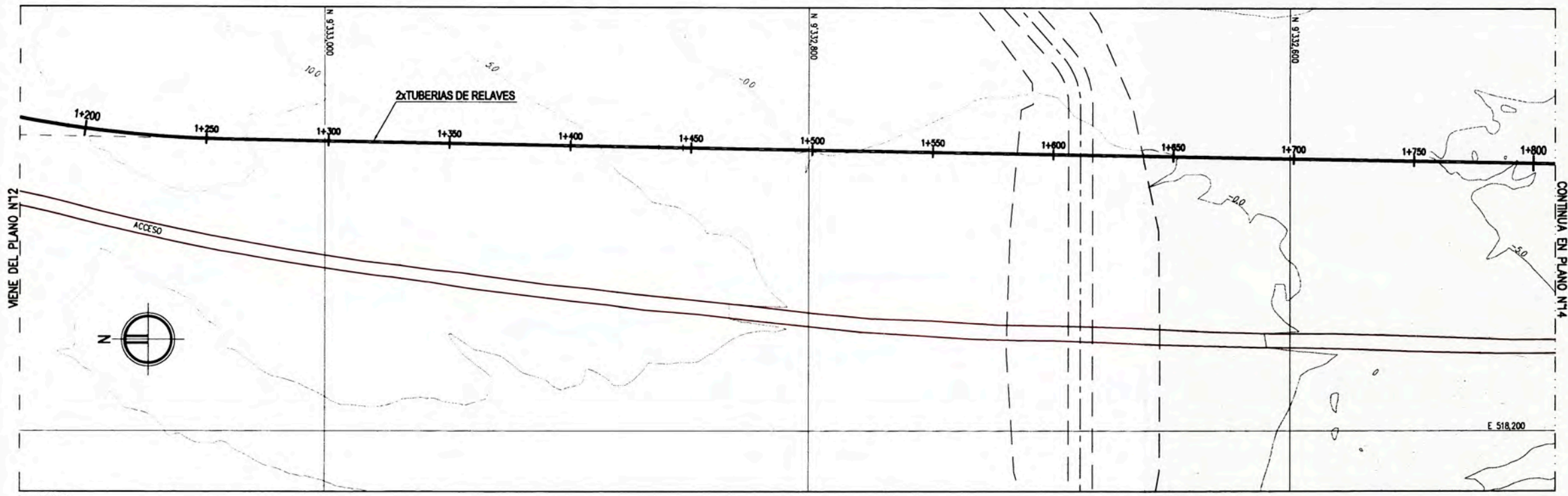


KILOMETRAJE	0+600	0+650	0+700	0+750	0+800	0+850	0+900	0+950	1+000	1+050	1+100	1+150	1+200
COTA FONDO DE TUBERIA	30.668	30.418	30.168	28.727	18.848	15.348	14.038	12.988	11.938	10.888	9.838	8.788	7.738
COTA TERRENO	34.000	32.229	32.278	27.381	20.368	16.431	12.590	11.008	9.130	8.169	7.680	7.161	6.571
PENDIENTE		-0.5%		-4%		-7%					2.1%		
TIPO DE SECCION			TIPO II		TIPO I		TIPO II				TIPO I		

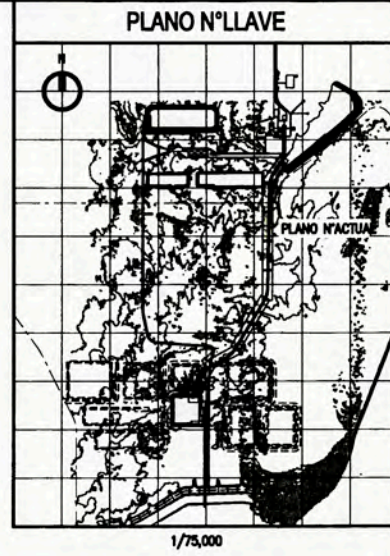
PERFIL

HORIZONTAL : 1/1,000
VERTICAL : 1/250

CÓDIGO DEL PLANO:		PLANO N°12	
TÍTULO DEL PLANO:		PLANTA CONCENTRADORA - BAYOVAR I TUBERIA DE RELAVES FINOS PLANTA Y PERFIL - HOJA 2/11	
ELABORADO POR:	ESCALA:	REVISOR:	FECHA:
CARLOS ALBERTO URCATA HUAMAN	ESCALA INDICADA	REV.0	24 / 07 / 2012

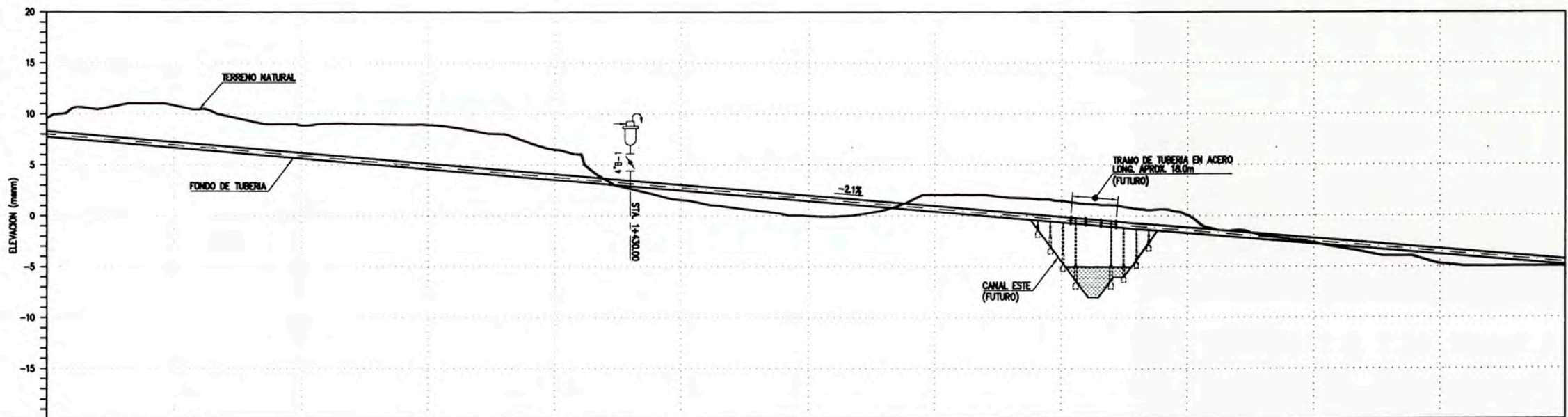


PLANTA
1/1,000



NOTAS
1.- DIMENSIONES Y ELEVACIONES EN METROS (S.L.C.)

- LEYENDA
- RED ELECTRICA, ILUMINACION
 - POSTE DE LUZ
 - ~ CURVAS DE NIVEL PRINCIPAL
 - ~ CURVAS DE NIVEL SECUNDARIA



KILOMETRAJE	1+200	1+250	1+300	1+350	1+400	1+450	1+500	1+550	1+600	1+650	1+700	1+750	1+800
COTA FONDO DE TUBERIA	7.738	6.688	5.638	4.588	3.538	2.488	1.438	0.388	-0.662	-1.712	-2.762	-3.812	-4.862
COTA TERRENO	9.571	10.820	8.638	8.928	6.488	1.531	-0.031	2.033	1.431	0.011	-2.868	-4.753	-5.000
PENDIENTE							2.1%						
TIPO DE SECCION	TIPO II			TIPO I			TIPO II		CANAL ESTE		TIPO II		TIPO I

PERFIL
HORIZONTAL : 1/1,000
VERTICAL : 1/250

PLANO N°13

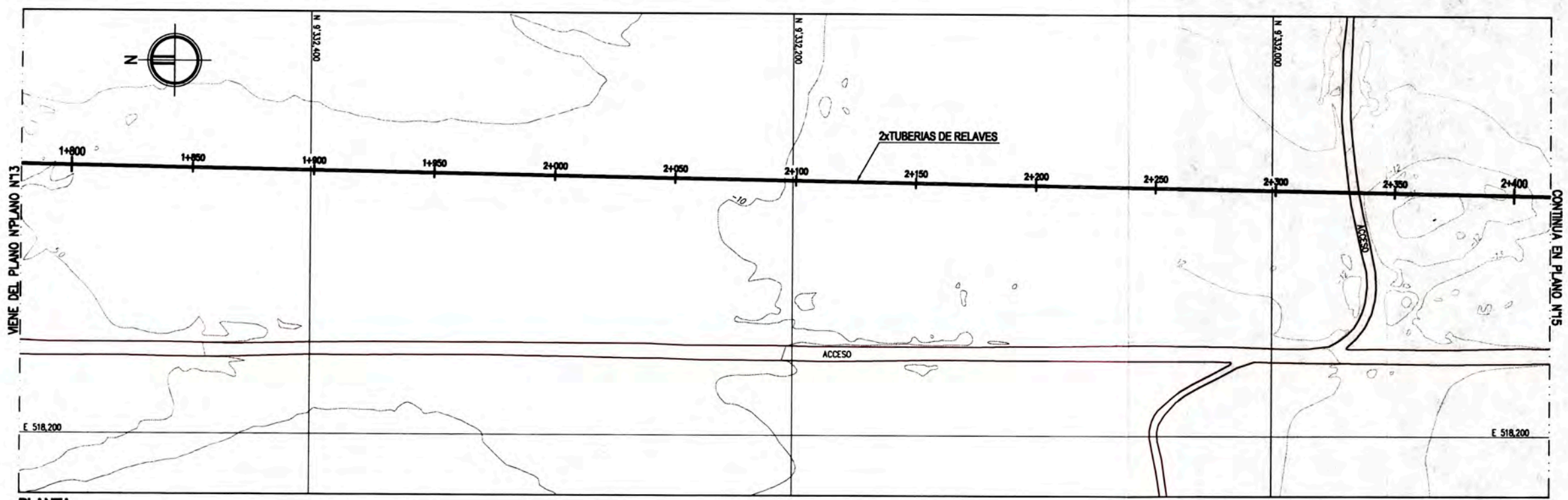
TITULO DEL PLANO:
**PLANTA CONCENTRADORA - BAYOVAR I
TUBERIA DE RELAVES FINOS
PLANTA Y PERFIL - HOJA 3/11**

ELABORADO POR: CARLOS ALBERTO USCATA HUAMAN

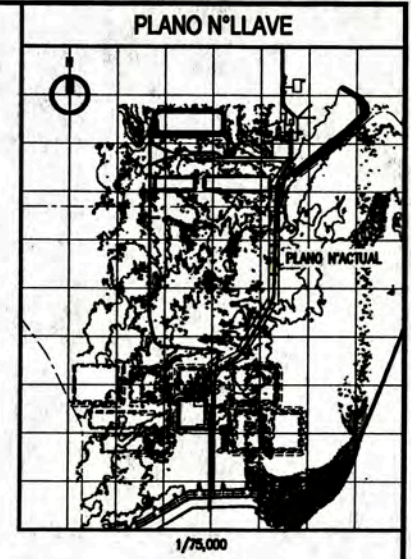
ESCALA: ESCALA INDICADA

REVISION: REV.0

FECHA: 24 / 07 / 2012

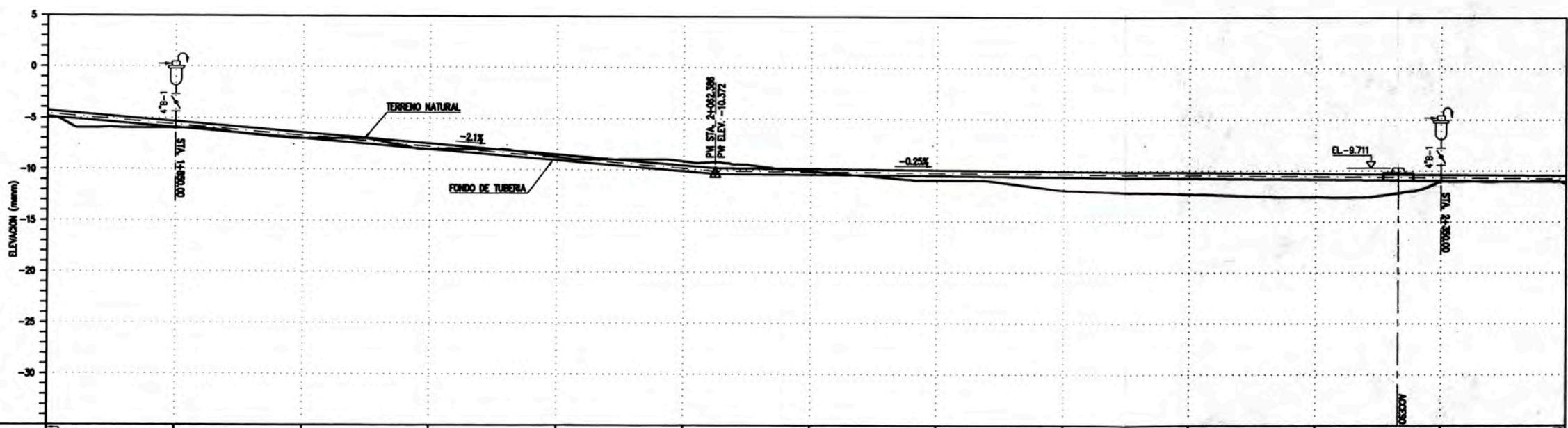


PLANTA
1/1,000



NOTAS
1.- DIMENSIONES Y ELEVACIONES EN METROS (S.L.C.)

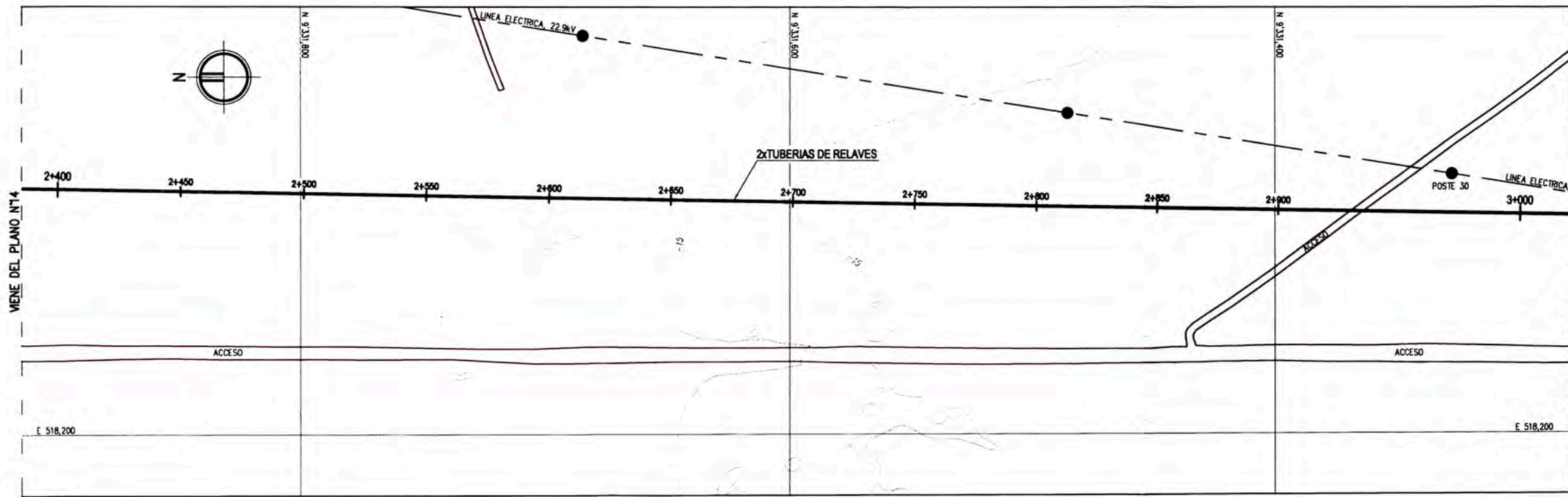
- LEYENDA
- RED ELECTRICA, ILUMINACION
 - ⊗ POSTE DE LUZ
 - ~ CURVAS DE NIVEL PRINCIPAL
 - ~ CURVAS DE NIVEL SECUNDARIA



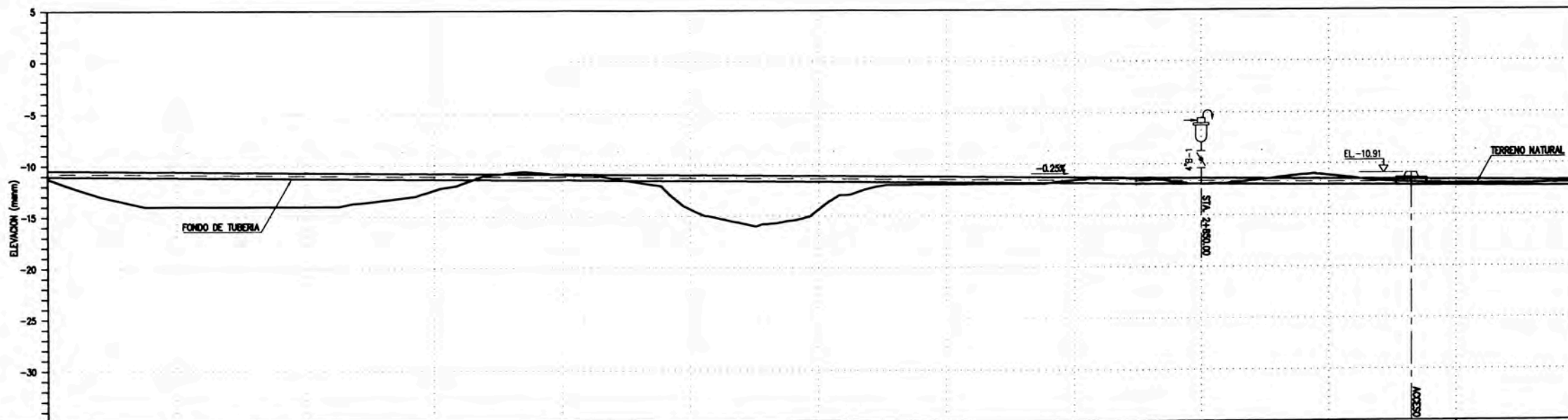
KILOMETRAJE	1+800	1+850	1+900	1+950	2+000	2+050	2+100	2+150	2+200	2+250	2+300	2+350	2+400
COTA FONDO DE TUBERIA	-4.862	-5.912	-6.962	-8.012	-9.062	-10.112	-10.447	-10.547	-10.647	-10.747	-10.847	-10.947	-11.047
COTA TERRENO	5.000	6.000	7.000	8.000	8.782	9.170	10.112	11.002	11.974	12.325	12.572	11.005	11.255
PENDIENTE	2.1%								-0.25%				
TIPO DE SECCION	TIPO I				TIPO II				TIPO I				

PERFIL
HORIZONTAL : 1/1,000
VERTICAL : 1/250

CODIGO DEL PLANO:		PLANO N°14	
TITULO DEL PLANO:		PLANTA CONCENTRADORA - BAYOVAR I TUBERIA DE RELAVES FINOS PLANTA Y PERFIL - HOJA 4/11	
ELABORADO POR:	ESCALA:	REVISOR:	FECHA:
CARLOS ALBERTO USCATA HUMAHU	ESCALA INDICADA	REV.0	24/07/2012

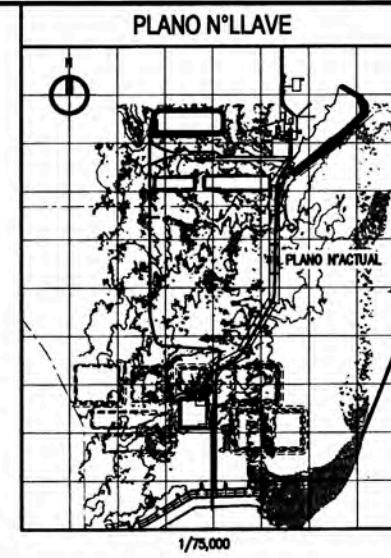


PLANTA
1/1,000



KILOMETRAJE	2+400	2+450	2+500	2+550	2+600	2+650	2+700	2+750	2+800	2+850	2+900	2+950	3+000
COTA FONDO DE TUBERIA	-11.047	-11.147	-11.247	-11.347	-11.447	-11.547	-11.647	-11.747	-11.847	-11.947	-12.048	-12.148	-12.248
COTA TERRENO	-11.255	-14.000	-14.000	-12.440	-10.956	-14.327	-14.375	-11.968	-11.577	-11.950	-11.181	-11.999	-11.915
PENDIENTE							-0.25%						
TIPO DE SECCION							TIPO I					TIPO II	

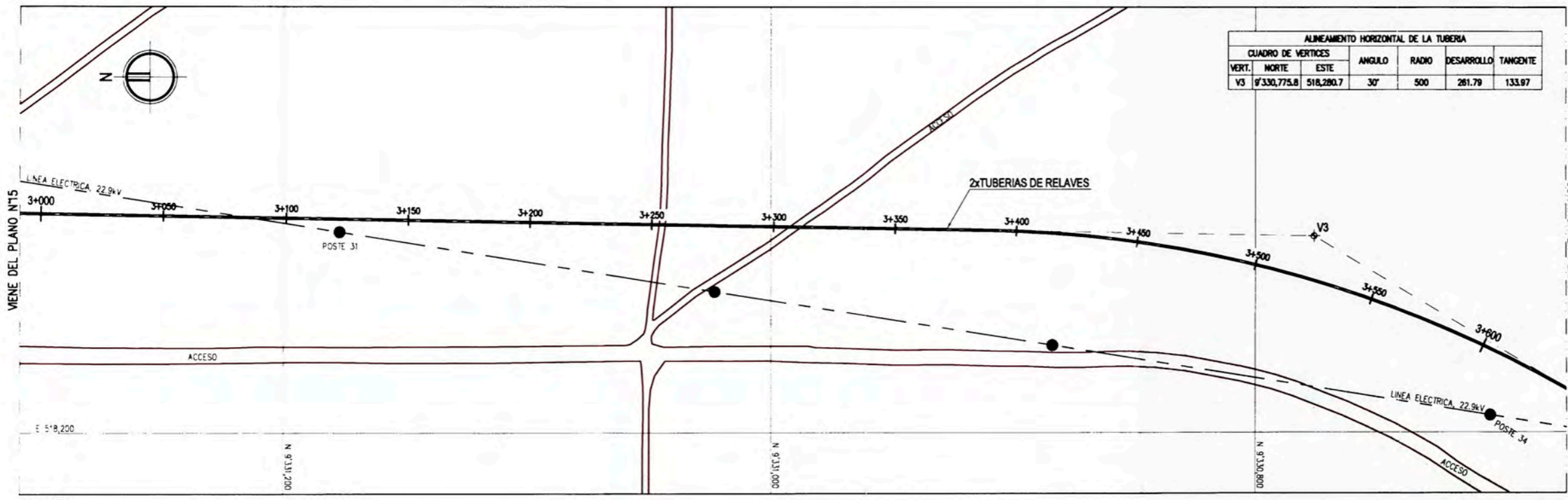
PERFIL
HORIZONTAL : 1/1,000
VERTICAL : 1/250



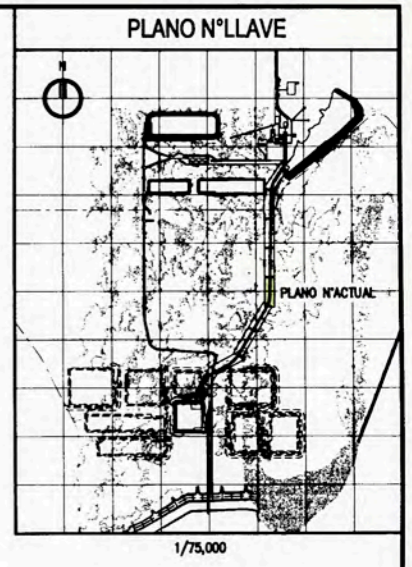
NOTAS
1.- DIMENSIONES Y ELEVACIONES EN METROS (S.L.C.)

- LEYENDA
- RED ELECTRICA, ILUMINACION
 - POSTE DE LUZ
 - 34.0 CURVAS DE NIVEL PRINCIPAL
 - CURVAS DE NIVEL SECUNDARIA

CODIGO DEL PLANO:				PLANO N°15			
TITULO DEL PLANO:				PLANTA CONCENTRADORA - BAYOVAR I TUBERIA DE RELAVES FINOS PLANTA Y PERFIL - HOJA 5/11			
ELABORADO POR:	ESCALA:	REVISOR:	FECHA:	ELABORADO POR:	ESCALA:	REVISOR:	FECHA:
CARLOS ALBERTO USCATA HUAMAN	ESCALA INDICADA	REV.0	24 / 07 / 2012	CARLOS ALBERTO USCATA HUAMAN	ESCALA INDICADA	REV.0	24 / 07 / 2012



ALINEAMIENTO HORIZONTAL DE LA TUBERIA					
CUADRO DE VERTICES		ANGULO	RADIO	DESARROLLO	TANGENTE
VERT.	NORTE				
V3	9°330,775.8	518,280.7	30°	500	281.79

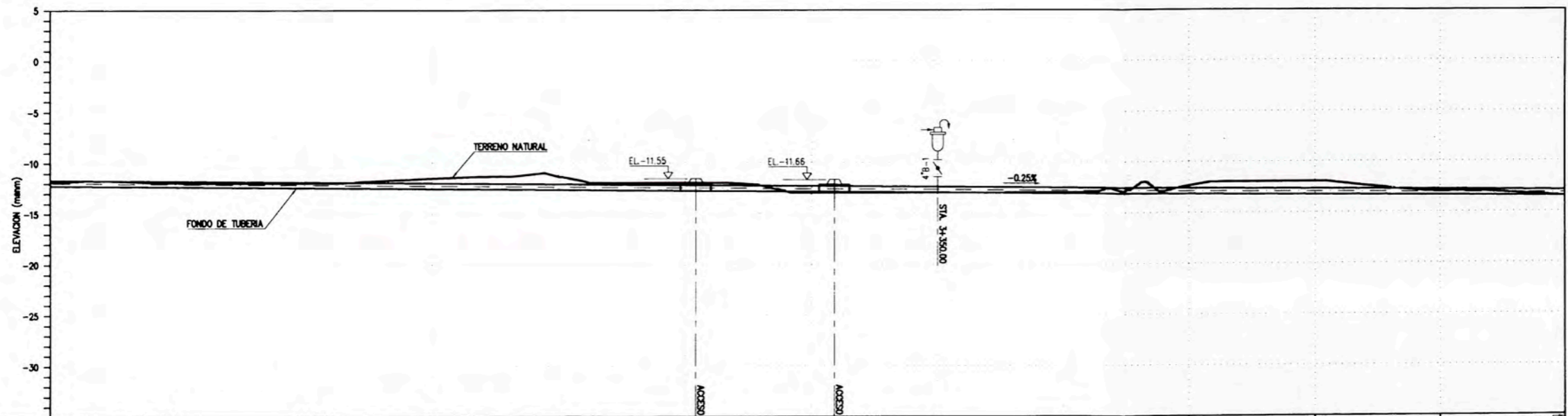


PLANTA
1/1,000

CONTINUA EN PLANO N°17

NOTAS
1.- DIMENSIONES Y ELEVACIONES EN METROS (S.I.C.)

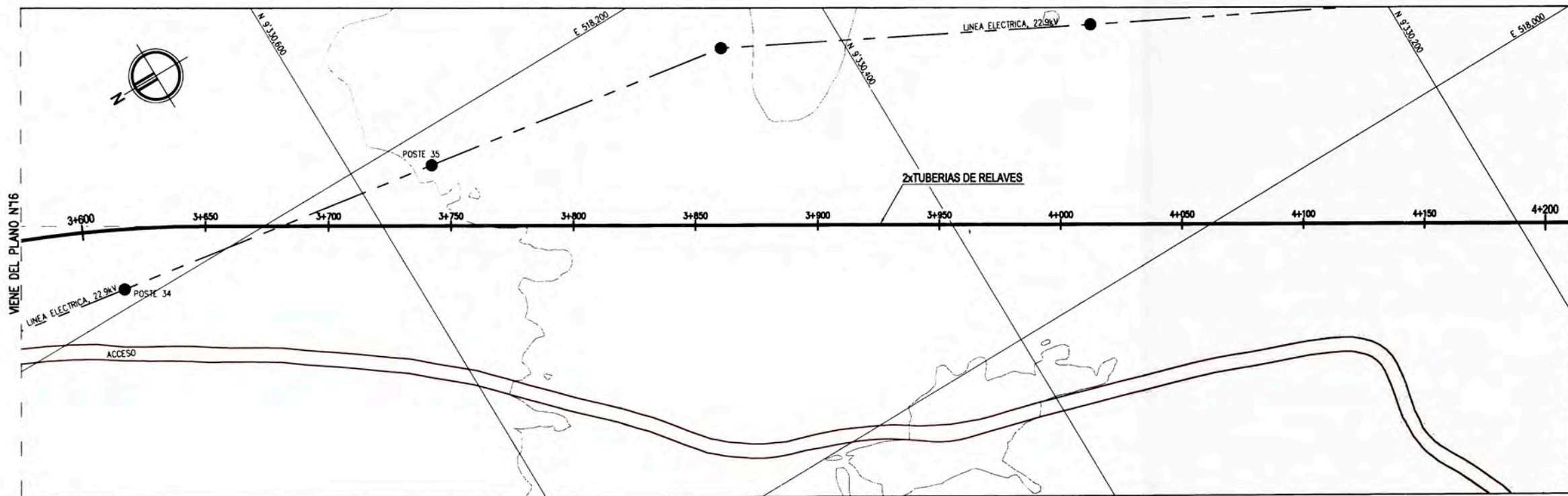
- LEYENDA
- RED ELECTRICA, ILUMINACION
 - POSTE DE LUZ
 - ~ CURVAS DE NIVEL PRINCIPAL
 - ~ CURVAS DE NIVEL SECUNDARIA



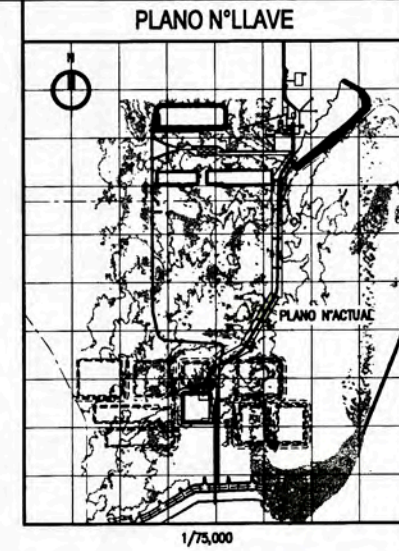
KILOMETRAJE	3+000	3+050	3+100	3+150	3+200	3+250	3+300	3+350	3+400	3+450	3+500	3+550	3+600
COTA FONDO DE TUBERIA	-12.248	-12.348	-12.448	-12.548	-12.648	-12.748	-12.848	-12.948	-13.048	-13.148	-13.248	-13.348	-13.448
COTA TERRENO	-11.915	-11.952	-12.000	-11.545	-11.382	-12.000	-13.000	-13.000	-13.000	-12.373	-12.000	-13.000	-13.480
PENDIENTE									-0.25%				
TIPO DE SECCION									TIPO II				

PERFIL
HORIZONTAL : 1/1,000
VERTICAL : 1/250

GEOMETRIA DEL PLANO: **PLANO N°16**
 TITULO DEL PLANO: **PLANTA CONCENTRADORA - BAYOVAR I
TUBERIA DE RELAVES FINOS
PLANTA Y PERFIL - HOJA 6/11**
 ELABORADO POR: CARLOS ALBERTO USCATA HUAMAN
 ESCALA: ESCALA INDICADA
 REVISION: REV.0
 FECHA: 24/07/2012



PLANTA
1/1,000

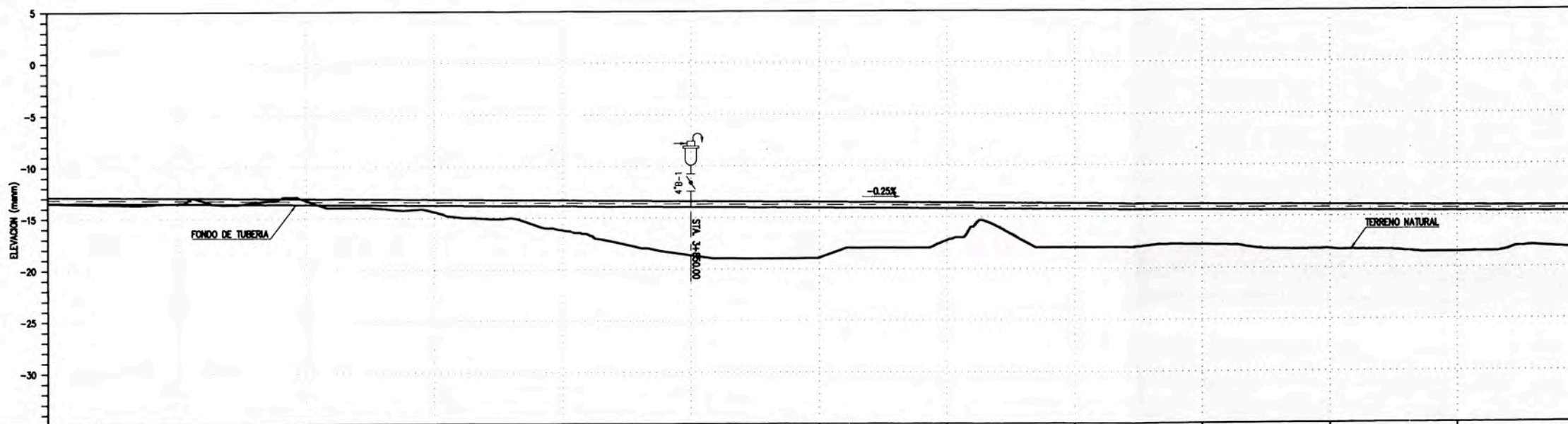


NOTAS

1.- DIMENSIONES Y ELEVACIONES EN METROS (S.I.C.)

LEYENDA

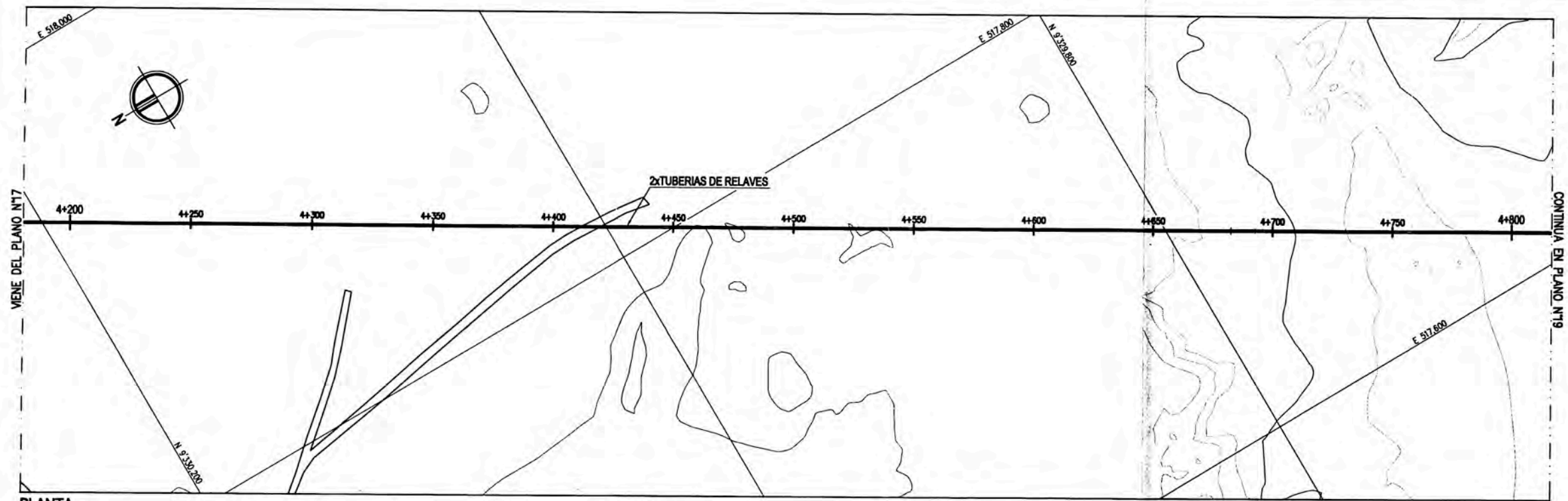
- RED ELECTRICA, ILUMINACION
- POSTE DE LUZ
- ~ CURVAS DE NIVEL PRINCIPAL
- ~ CURVAS DE NIVEL SECUNDARIA



KILOMETRAJE	3+600	3+650	3+700	3+750	3+800	3+850	3+900	3+950	4+000	4+050	4+100	4+150	4+200
COTA FONDO DE TUBERIA	-13.448	-13.548	-13.648	-13.748	-13.848	-13.948	-14.048	-14.148	-14.248	-14.348	-14.448	-14.548	-14.648
COTA TERRENO	-13.480	-13.544	-13.293	-14.422	-16.221	-18.667	-18.956	-17.271	-18.003	-17.741	-18.193	-18.551	-18.229
PENDIENTE							-0.25%						
TIPO DE SECCION		TIPO II						TIPO I					

PERFIL
HORIZONTAL : 1/1,000
VERTICAL : 1/250

CODIGO DEL PLANO:		PLANO N°17	
TITULO DEL PLANO:		PLANTA CONCENTRADORA - BAYOVAR I TUBERIA DE RELAVES FINOS PLANTA Y PERFIL - HOJA 7/11	
ELABORADO POR:	ESCALA:	REVISION:	FECHA:
CARLOS ALBERTO USCATA HUAMAN	ESCALA INDICADA	REV.0	24 / 07 / 2012

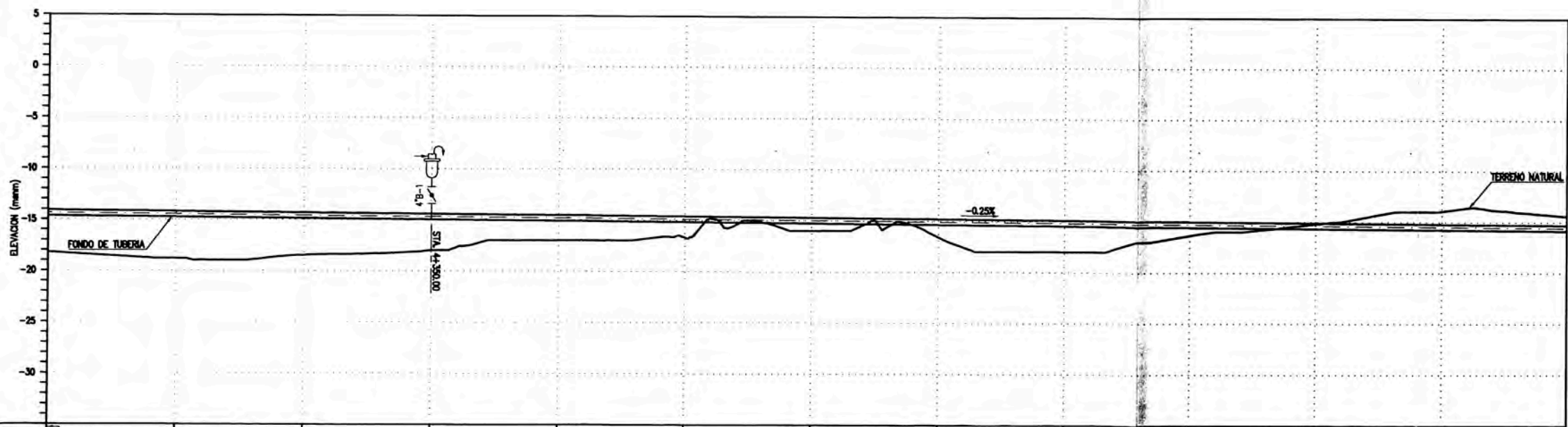


PLANTA
1/1,000



NOTAS
1.- DIMENSIONES Y ELEVACIONES EN METROS (S.L.C.)

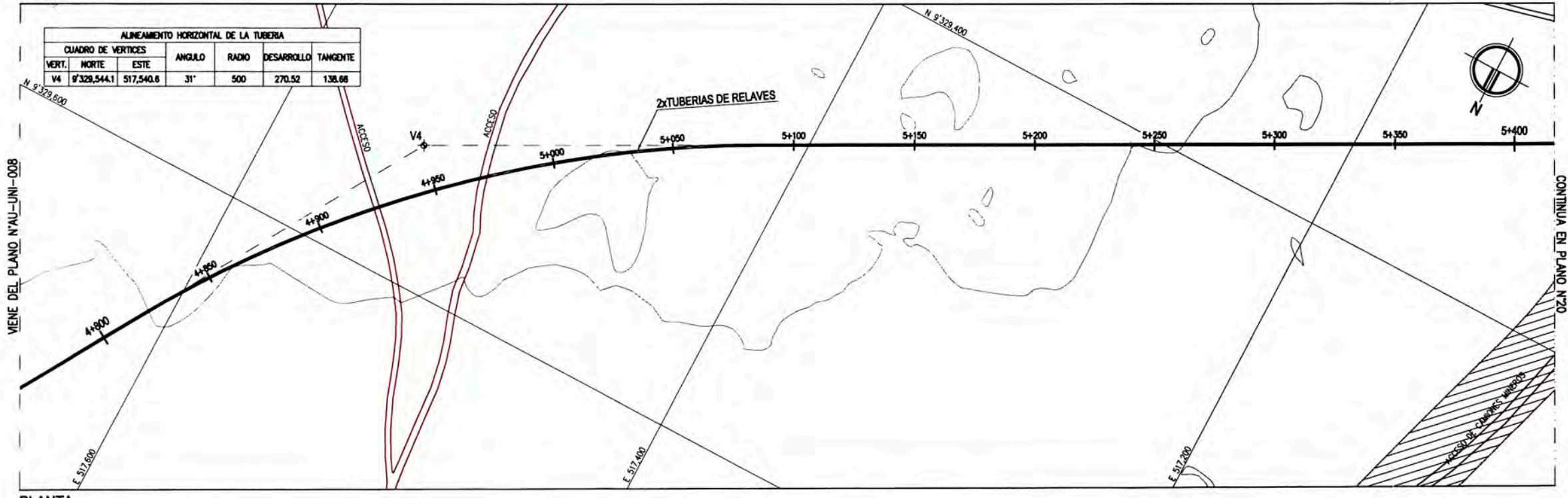
- LEYENDA
- RED ELECTRICA, ILUMINACION
 - POSTE DE LUZ
 - ~ CURVAS DE NIVEL PRINCIPAL
 - CURVAS DE NIVEL SECUNDARIA



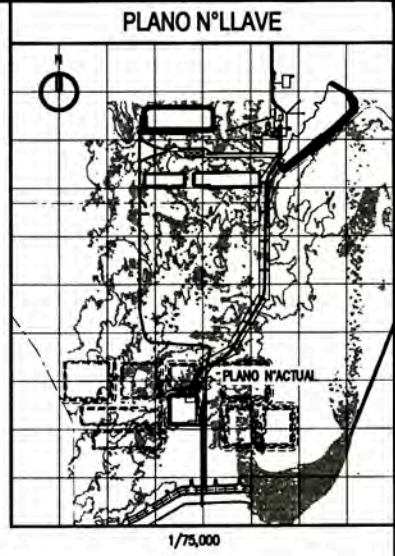
KILOMETRAJE	4+200	4+250	4+300	4+350	4+400	4+450	4+500	4+550	4+600	4+650	4+700	4+750	4+800
COTA FONDO DE TUBERIA	-14.648	-14.748	-14.848	-14.948	-15.048	-15.148	-15.248	-15.348	-15.448	-15.548	-15.648	-15.748	-15.848
COTA TERRENO	-18.229	-18.833	-18.477	-18.000	-17.003	-16.699	-16.004	-16.579	-18.000	-16.348	-15.187	-13.920	-14.424
PENDIENTE								-0.25%					
TIPO DE SECCION								TIPO I					

PERFIL
HORIZONTAL : 1/1,000
VERTICAL : 1/250

COORDO DEL PLANO:		PLANO N°18	
TITULO DEL PLANO:		PLANTA CONCENTRADORA - BAYOVAR I TUBERIA DE RELAVES FINOS PLANTA Y PERFIL - HOJA 8/11	
ELABORADO POR:	ESCALA:	REVISION:	FECHA:
CARLOS ALBERTO USCATA HUAMAN	ESCALA INDICADA	REV.0	24 / 07 / 2012

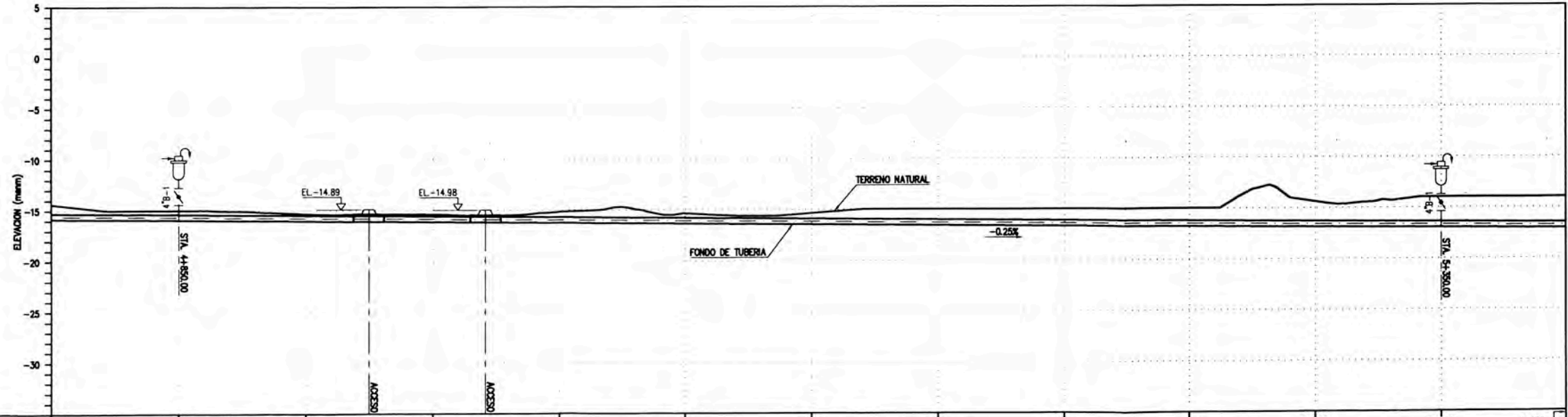


PLANTA
1/1,000



NOTAS
1.- DIMENSIONES Y ELEVACIONES EN METROS (S.L.C.)

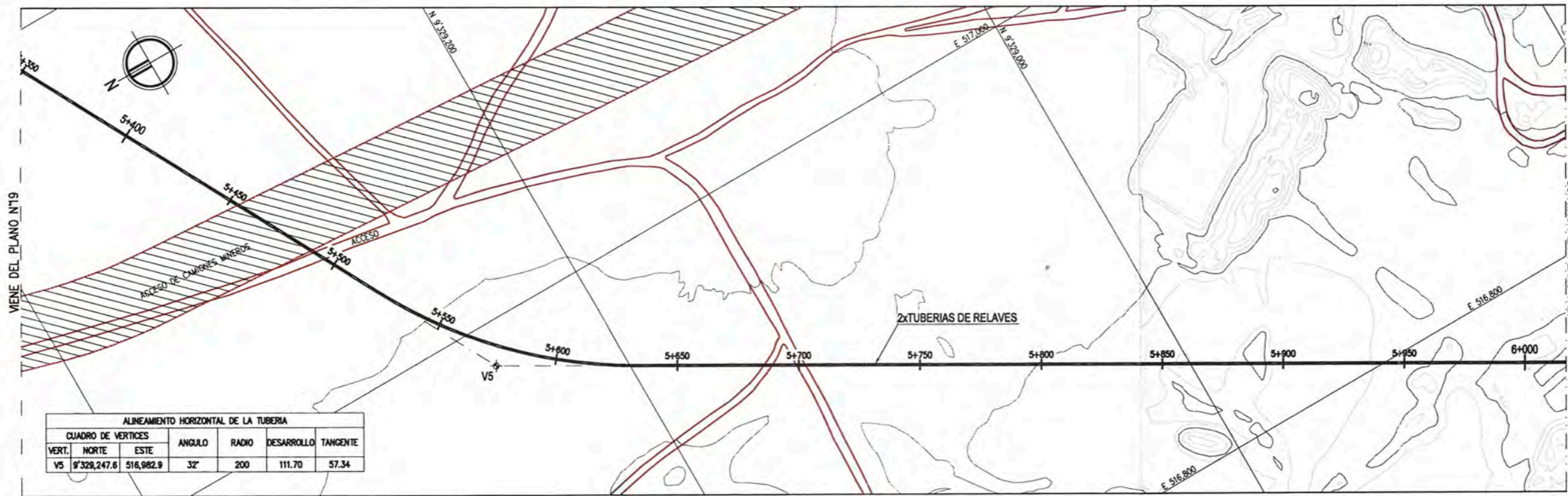
- LEYENDA
- RED ELECTRICA, ILUMINACION
 - POSTE DE LUZ
 - ~ CURVAS DE NIVEL PRINCIPAL
 - ~ CURVAS DE NIVEL SECUNDARIA



KILOMETRAJE	4+800	4+850	4+900	4+950	5+000	5+050	5+100	5+150	5+200	5+250	5+300	5+350	5+400
COTA FONDO DE TUBERIA	-15.848	-15.948	-16.048	-16.148	-16.248	-16.348	-16.448	-16.548	-16.648	-16.748	-16.848	-16.948	-17.048
COTA TERRENO	-14.424	-15.017	-15.384	-15.428	-15.200	-15.370	-15.368	-15.000	-15.000	-15.000	-14.385	-14.008	-14.007
PENDIENTE							-0.25%						
TIPO DE SECCION							TIPO I						

PERFIL
HORIZONTAL : 1/1,000
VERTICAL : 1/250

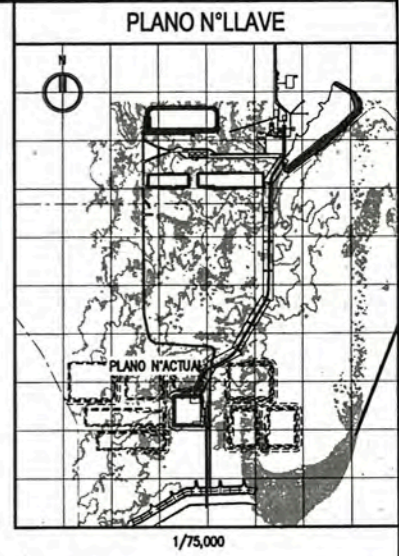
CODIGO DEL PLANO:		PLANO N°19	
TITULO DEL PLANO:		PLANTA CONCENTRADORA - BAYOVAR I TUBERIA DE RELAVES FINOS PLANTA Y PERFIL - HOJA 9/11	
ELABORADO POR:	ESCALA:	REVISION:	FECHA:
CARLOS ALBERTO USCATA HUAMAN	ESCALA INDICADA	REV.0	24 / 07 / 2012



ALINEAMIENTO HORIZONTAL DE LA TUBERIA

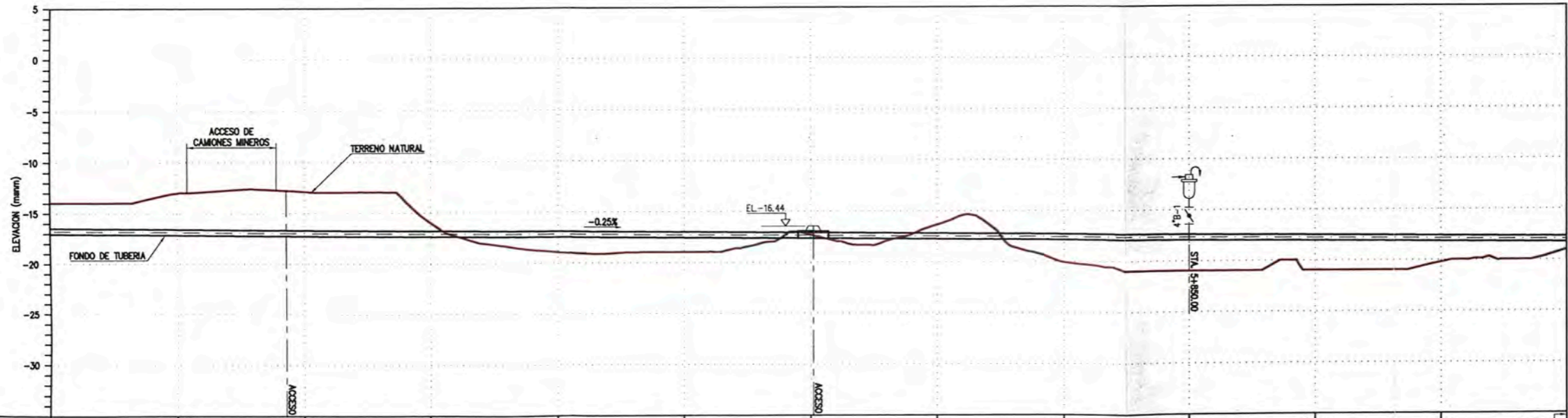
CUADRO DE VERTICES		ANGULO	RADIO	DESARROLLO	TANGENTE	
VERT.	NORTE					ESTE
V5	9'329,247.6	516,982.9	32°	200	111.70	57.34

PLANTA
1/1,000



NOTAS
1.- DIMENSIONES Y ELEVACIONES EN METROS (S.L.C.)

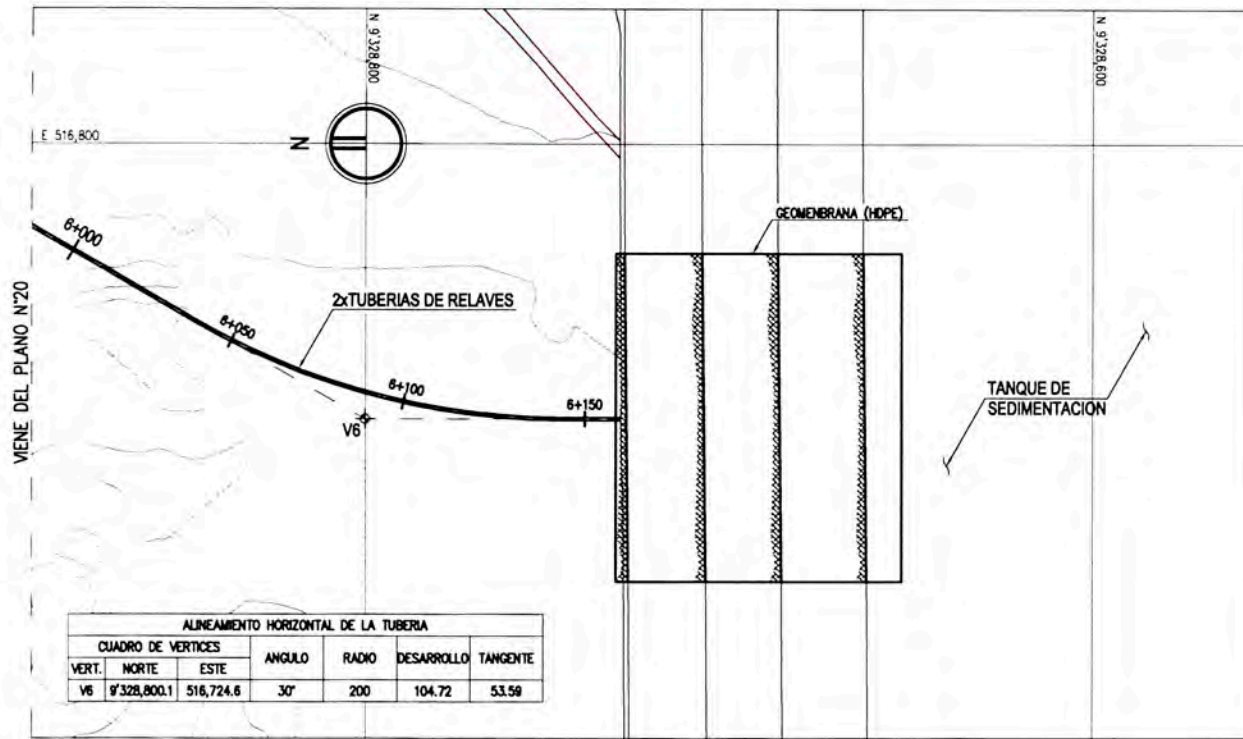
- LEYENDA
- RED ELECTRICA, ILUMINACION
 - o-x POSTE DE LUZ
 - ~34.0~ CURVAS DE NIVEL PRINCIPAL
 - ~ CURVAS DE NIVEL SECUNDARIA



KILOMETRAJE	5+400	5+450	5+500	5+550	5+600	5+650	5+700	5+750	5+800	5+850	5+900	5+950	6+000
COTA FONDO DE TUBERIA	-17.049	-17.149	-17.249	-17.349	-17.449	-17.549	-17.649	-17.749	-17.849	-17.949	-18.049	-18.149	-18.249
COTA TERRENO	-14.007	-13.031	-12.893	-18.012	-18.969	-18.996	-17.330	-18.364	-20.061	-21.000	-21.000	-20.237	-19.034
PENDIENTE							-0.25%						
TIPO DE SECCION	TIPO I			TIPO II			TIPO I			TIPO I			

PERFIL
HORIZONTAL : 1/1,000
VERTICAL : 1/250

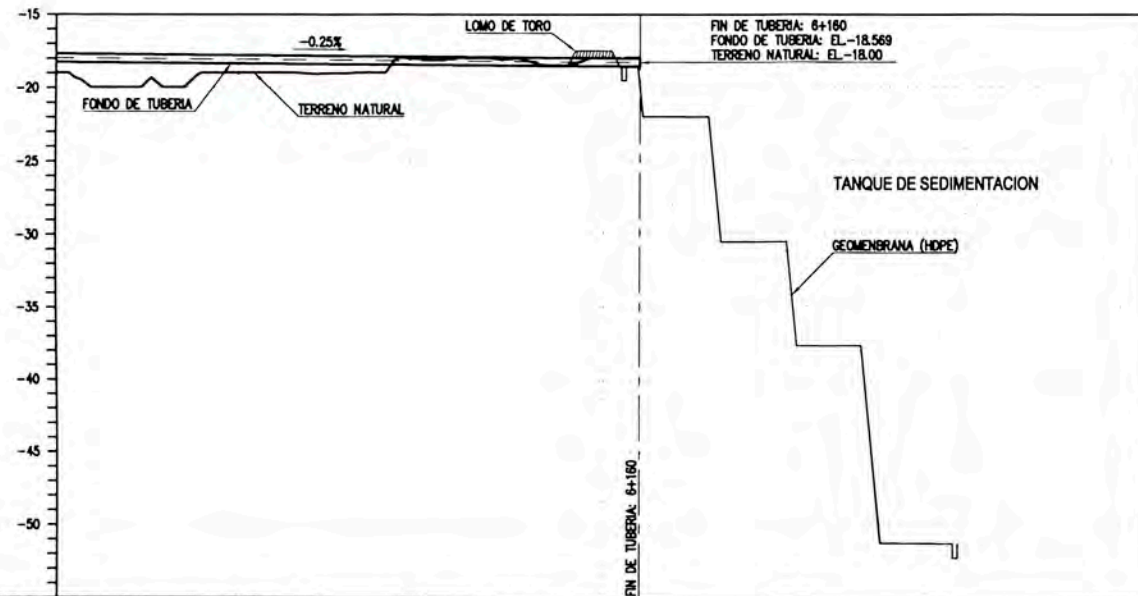
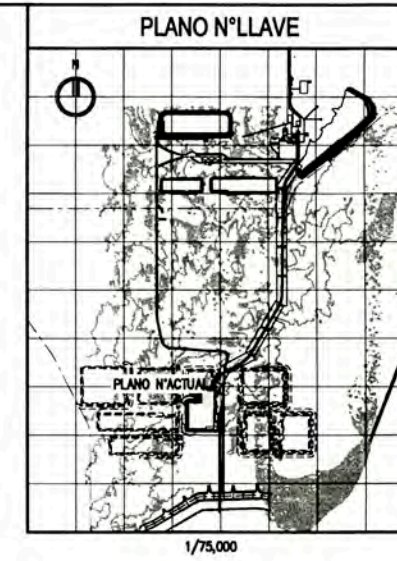
CODIGO DEL PLANO: **PLANO N°20**
 TITULO DEL PLANO: **PLANTA CONCENTRADORA - BAYOVAR I
TUBERIA DE RELAVES FINOS
PLANTA Y PERFIL - HOJA 10/11**
 ELABORADO POR: **CARLOS ALBERTO USCATA HUAMAN** ESCALA: **ESCALA INDICADA** REVISION: **REV.0** FECHA: **24 / 07 / 2012**



ALINEAMIENTO HORIZONTAL DE LA TUBERIA

CUADRO DE VERTICES		ANGULO	RADIO	DESARROLLO	TANGENTE	
VERT.	NORTE					ESTE
V6	9'328,800.1	516,724.6	30°	200	104.72	53.59

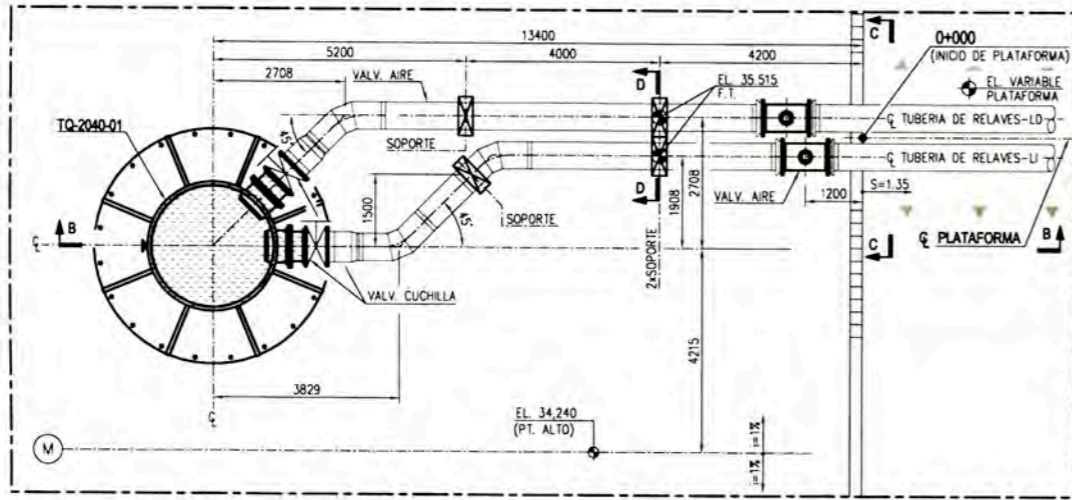
PLANTA
1/1,000



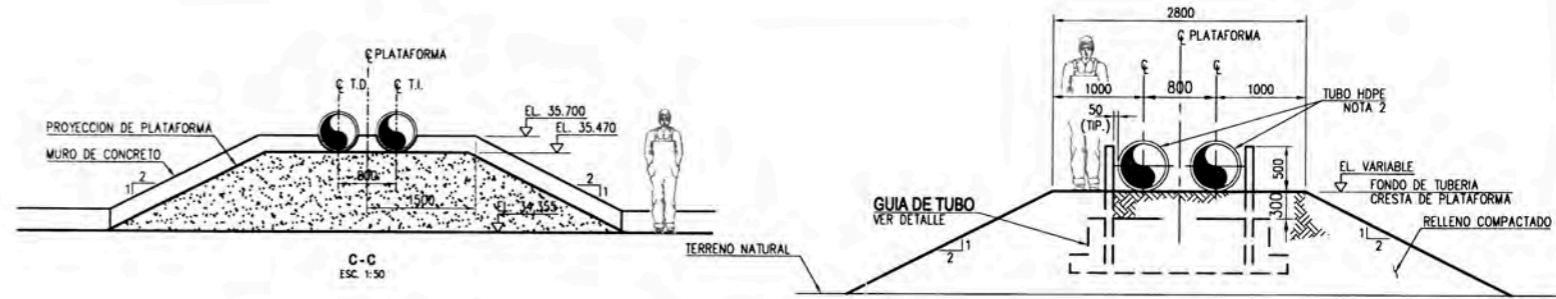
KILOMETRAJE	6+000	6+050	6+100	6+150
COTA FONDO DE TUBERIA	-18.249	-18.349	-18.449	-18.549
COTA TERRENO	-19.034	-19.001	-18.089	-18.000
PENDIENTE	-0.25%			
TIPO DE SECCION	TIPO			

PERFIL
HORIZONTAL : 1/1,000
VERTICAL : 1/250

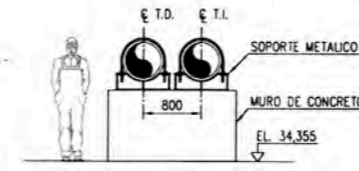
CODIGO DEL PLANO:			
PLANO N°21			
TITULO DEL PLANO:			
PLANTA CONCENTRADORA - BAYOVAR I TUBERIA DE RELAVES FINOS PLANTA Y PERFIL - HOJA 11/11			
ELABORADO POR:	ESCALA:	REVISION:	FECHA:
CARLOS ALBERTO USCATA HUAMAN	ESCALA INDICADA	REV.0	24 / 07 / 2012



DETALLE 1
ESC. 1:75

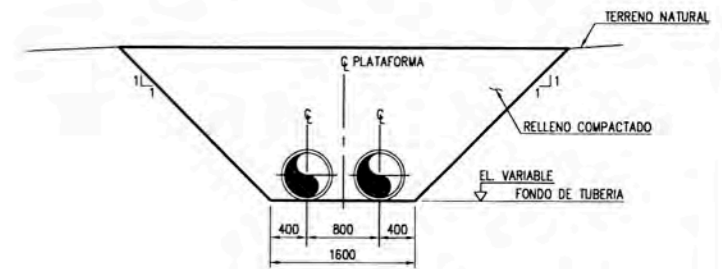


C-C
ESC. 1:50

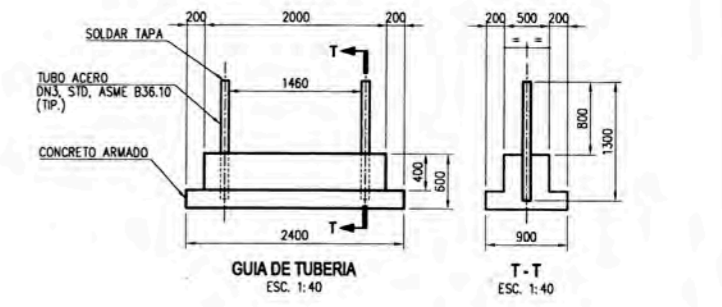


D-D
ESC. 1:50

TUBERIA SOBRE TERRENO
SECCION TIPO I
ESC. 1:40

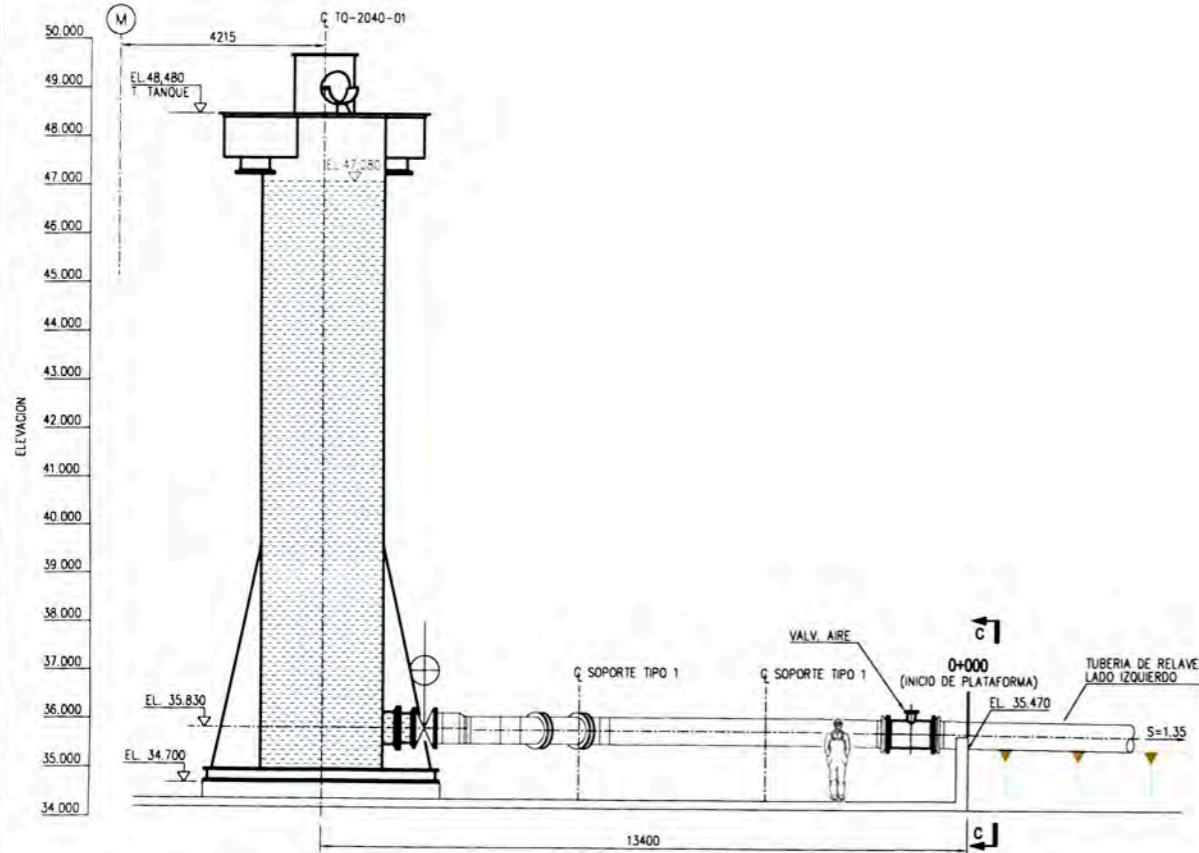


TUBERIA ENTERRADA
SECCION TIPO II
ESC. 1:40



GUIA DE TUBERIA
ESC. 1:40

T-T
ESC. 1:40



B-B
ESC. 1:75

COORDO DEL PLANO:			
PLANO N°22			
TITULO DEL PLANO:			
PLANTA CONCENTRADORA - BAYOVAR I TUBERIA DE RELAVES FINOS DETALLES Y SECCIONES			
ELABORADO POR:	ESCALA:	REVISION:	FECHA:
CARLOS ALBERTO USCATA HUAMAN	ESCALA INDICADA	REV.0	24 / 07 / 2012