

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE  
HUAMANGA**

**FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS, GEOLOGIA Y CIVIL**

**ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL DE INGENIERIA  
DE MINAS**



**PROYECTO DE TESIS:**

**OPTIMIZACION DEL USO DE RELAVE – ARENA EN EL  
RELLENO HIDRÁULICO EN LA U.E.A PARCOY DE LA  
EMPRESA CONSORCIO MINERO HORIZONTE S.A**

**PRESENTADO POR:**

**Bach. WALTER CORICAHUA CONDORI**


**AYACUCHO - PERU**

**JULIO, 2012**

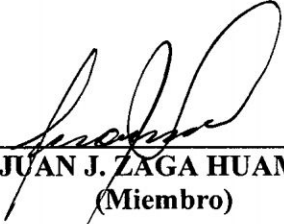
**“OPTIMIZACIÓN DEL USO DE RELAVE – ARENA EN EL RELLENO  
HIDRÁULICO EN LA U.E.A. PARCOY DE LA EMPRESA CONSORCIO  
MINERO HORIZONTE S.A.”**

**RECOMENDADO : 25 DE OCTUBRE DEL 2011**

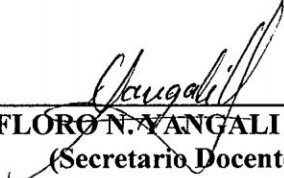
**APROBADO : 23 DE JULIO DEL 2012**

  
\_\_\_\_\_  
**Dr. Ing. N. HUGO GUTIÉRREZ OROZCO**  
(Presidente)

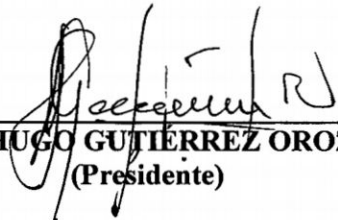
  
\_\_\_\_\_  
**Ing. EDMUNDO CAMPOS ARZAPALO**  
(Miembro)

  
\_\_\_\_\_  
**Ing. JUAN J. ZAGA HUAMÁN**  
(Miembro)

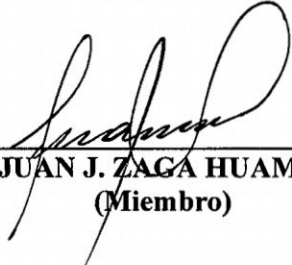
  
\_\_\_\_\_  
**Ing. FORTUNATO DE LA CRUZ PALOMINO**  
(Miembro)

  
\_\_\_\_\_  
**Ing. FLORO N. YANGALI GUERRA**  
(Secretario Docente)


Según el acuerdo constatado en el Acta, levantada el 23 de julio del 2012, en la Sustentación de Tesis presentado por el Bachiller Walter CORICAHUA CONDORI, con la Tesis Titulado “OPTIMIZACIÓN DEL USO DE RELAVE – ARENA EN EL RELLENO HIDRÁULICO EN LA U.E.A. PARCOY DE LA EMPRESA CONSORCIO MINERO HORIZONTE S.A.”, fue calificado con la nota de QUINCE (15) por lo que se da la respectiva APROBACIÓN.

  
Dr. Ing. N. HUGO GUTIÉRREZ OROZCO  
(Presidente)

  
Ing. EDMUNDO CAMPOS ARZAPALO  
(Miembro)

  
Ing. JUAN J. ZAGA HUAMÁN  
(Miembro)

  
Ing. FORTUNATO DE LA CRUZ PALOMINO  
(Miembro)

  
Ing. FLOR N. YANGALI GUERRA  
(Secretario Docente)

## **DEDICATORIA**

*Al Todopoderoso, por concederme  
la dicha de la vida, y todo lo que soy,  
por brindarme la sabiduría y, el  
conocimiento de su palabra.*

*A la memoria de mis padres: Rosa María,  
Condori Rojas y Máximo, a mi madre como  
muestra de gratitud, por la invaluable ayuda  
en mi formación profesional y logro de mis  
aspiraciones, por todo su amor y confianza  
permanente, por inculcarme sus valores y  
sabios consejos en todo momento.*

*A mi hija Brighit Nathaly Corichahua  
Torres por ser fuente inagotable de  
estimulo y superación.*

## **AGRADECIMIENTOS**

*En primer lugar quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mi asesor de tesis el Ing. Hugo, Gutiérrez Orosco no solo por el papel tan importante que ha jugado en el desarrollo de esta tesis sino también por el apoyo y guía en todos los aspectos de mi formación durante estos últimos años.*

*Debo mencionar especialmente a Consorcio Minero Horizonte S.A por toda la información cedida que ha resultado imprescindible para el desarrollo de esta tesis. Agradezco al Ing. Carlos Arbieta por la cesión de los datos.*

*Esta tesis ha sido realizada gracias a un training concedida por Consorcio Minero Horizonte S.A a través del departamento de seguridad y medio ambiente.*

*Quiero agradecer a toda mi familia y en especial a mi Madre Rosa María Condori Rojas por su apoyo y consejo.*

## RESUMEN

La presente tesis de investigación aporta información valiosa a cerca del proceso de estabilización de tajeos, aberturas dejadas luego del proceso de explotación de minerales, mediante la utilización de material fino proveniente del proceso de concentración de minerales, comúnmente llamado relave.

Actualmente hay gran incidencia del uso de relleno hidráulico con material de relave en las minas, todo por motivos de impacto ambiental.

El desarrollo de esta tesis se basa específicamente en la clasificación del relave por medio de hidrociclones los cuales son almacenados en los silos para su posterior aplicación en el relleno hidráulico de tajeos, realizando su transporte a través de tuberías impulsado por bombeo para lo cual se determina el tipo y dimensiones de tubería analizando y modificando el sistema de relleno para satisfacer la necesidad de la mina; asimismo la arena proveniente de canteras se clasifica a través de zarandas vibratorias basándose su análisis granulométrico en la aproximación de la curva de Talbot como alternativa para el empleo en el relleno hidráulico, cuyo transporte se efectúa aprovechando la fuerza de gravedad terrestre.

El resultado de la investigación demuestra que con la clasificación adecuada de relave por medio de hidrociclones se puede obtener pulpas

con densidades elevadas, asimismo la selección de tipo y dimensiones de tubería y la modificación del sistema de relleno ayuda a lograr el envío de pulpas a elevados zonas de la mina para satisfacer la necesidad de la mina de esta manera logrando mejorar e intensificar el uso de relave, dando lugar a la optimización del uso de relave, resultado de ello se consigue una buena velocidad de percolación, velocidad de sedimentación y ciclado continuo de la operación.

En el caso de material de cantera arena su utilización se extingue por dos casos el primero basándonos a los costos de inversión y operación de relleno tanto con material de relave y arena, el costo de operación de relleno usando material de relave es inferior a la de material de cantera arena, finalmente el segundo caso es el impacto ambiental negativo lo que consiste en la depredación de la cantera ocasionando el desequilibrio ecológico. Sin embargo esto no limita su aplicación en otras realidades de mina.

## INDICE GENERAL

TITULO	
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
RESUMEN	
INDICE GENERAL	I
INDICE DE CUADROS	X
INDICE DE FIGURAS	XIII
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO I. GENERALIDADES</b>	
1.1 Ubicación	4
1.1.1 Acceso y topografía	4
1.2 Reseña histórica	5
1.3 Clima	6
1.4 Tipos de evolución geomorfológico	7
1.4.1 Unidades geomorfológicos	7
1.5 Planteamiento del problema	8
1.5.1 Descripción del problema	8
1.5.2 Formulación del problema	9
1.5.2.1 Problema principal	9
1.5.2.2 Problema secundario	9
1.5.3 Objetivos	10
1.5.4 Hipótesis	11
1.5.5 Variables	12

1.5.6	Justificación	12
1.6	Antecedentes y marco teórico	13
1.6.1	Antecedente	13
1.6.2	Marco teórico	13
1.7	Descripción de la investigación	14
1.8	Metodología	15
1.8.1	Tipo de investigación	15
1.8.2	Nivel de investigación	16
1.8.3	Métodos de la investigación	16
1.8.4	Población y muestra	16
1.8.5	Técnicas e instrumentos	17
1.8.6	Procedimiento	17
1.9	Alcances y límites del estudio	18
<b>CAPÍTULO II. GEOLOGÍA Y MÉTODO DE MINADO</b>		
2.1	Geología local	19
2.1.1	Batolito de Pataz	20
2.2	Geología Regional	21
2.3	Geología estructural	23
2.3.1	Marco tectónico estructural	25
2.3.2	Características geológicas del bloque de Parcoy	26
2.3.3	Contexto estructural	27
2.4	Método de minado	28
2.4.1	Método de explotación corte y relleno ascendente	28

### **CAPÍTULO III. RELLENO HIDRÁULICO CON RELAVE**

3.1	Introducción	30
3.1.1	Ciclo de minado	31
3.1.2	Producción y necesidades de relleno	32
3.1.2.1	Necesidades de relleno	33
3.1.3	Rasgos característicos de las operaciones	34
3.1.3.1	La explotación y el relleno hidráulico	34
3.2	Propiedades físicas del relave	37
3.2.1	Características del material	38
3.2.2	Distribución granulométrica del relave	38
3.2.3	Proceso de lodización	41
3.2.3.1	Lodo homogéneo	41
3.2.3.2	Lodo heterogéneo	42
3.3	Función de distribución de partículas por tamaños en la alimentación a la etapa de concentración de mineral	42
3.4	Clasificación de relaves para relleno hidráulico	44
3.4.1	Introducción	44
3.4.2	Objeto de estudio	45
3.5	Procedimiento experimental	45
3.5.1	Equipo de prueba	45
3.5.2	Disposición de equipos de prueba	48
3.5.3	Preparación de muestras	49
3.6	Clasificación de partículas en hidrociclones	50
3.6.1	Clasificación del hidrociclón D-15	50

3.6.2	Clasificación del hidrociclón D-10	53
3.6.3	Clasificación del hidrociclón g - max	55
3.6.4	Discusión de resultados	58
3.6.5	Comparación de hidrociclones	58
3.7	Transporte hidráulico de sólidos por tuberías	68
3.7.1	Introducción	68
3.7.2	Conceptos fundamentales	68
3.7.2.1	Fases de un fluido de varios compuestos	68
3.7.2.2	Propiedades de un fluido	69
3.7.2.2.1	Densidad	69
3.7.2.2.2	Peso específico	69
3.7.2.2.3	Viscosidad	70
3.8	Criterios generales de diseño	70
3.8.1	Caracterización del sólido a transportar	70
3.8.1.1	Densidad del sólido	70
3.8.1.2	Granulometría del sólido	70
3.8.1.3	Forma de la partículas	71
3.8.2	Sedimentología del sólido a transportar	71
3.8.2.1	Sedimentación de esferas	72
3.8.2.2	Partículas naturales	73
3.8.2.3	Método de Heywood	74
3.8.3	Velocidad mínima de flujo	74
3.8.3.1	Velocidad crítica	74
3.8.4	Situación del sistema de relleno hidráulico, diseño y	76

	<b>cálculo de flujo del relleno hidráulico(RH)</b>	
3.8.4.1	<b>Introducción</b>	<b>76</b>
3.8.4.2	<b>Instalaciones de servicio de relleno hidráulico</b>	<b>77</b>
3.8.4.3	<b>La bomba Feluwa</b>	<b>78</b>
3.8.4.3.1	<b>Detalles técnicos de la bomba</b>	<b>82</b>
3.8.4.3.2	<b>Caudales de bombeo de la bomba Feluwa</b>	<b>83</b>
3.8.4.4	<b>Desplazamiento de Relleno hidráulico</b>	<b>84</b>
3.8.4.5	<b>Líneas de conducción y accesorios</b>	<b>86</b>
3.8.4.6	<b>Fundamentos de diseño y cálculo del flujo de RH</b>	<b>87</b>
3.8.4.6.1	<b>Símbolos que se emplean en el estudio</b>	<b>87</b>
3.8.4.6.2	<b>Gradiente hidráulica</b>	<b>87</b>
3.8.4.6.3	<b>Las pulpas de relleno hidráulico</b>	<b>91</b>
3.8.4.6.4	<b>Factor de resistencia al flujo de pulpas</b>	<b>93</b>
3.8.4.6.5	<b>Velocidad de depósito o crítica de la pulpa</b>	<b>94</b>
3.8.4.6.6	<b>Determinación del tipo y dimensiones de tubería</b>	<b>96</b>
3.8.5	<b>Descripción de la mecánica de flujo del sistema de relleno hidráulico actual</b>	<b>99</b>
3.8.5.1	<b>Cálculo de las condiciones del sistema actual</b>	<b>100</b>
3.8.5.2	<b>Efectos del sistema sobre sus componentes</b>	<b>101</b>
3.8.5.3	<b>Capacidad del sistema relleno hidráulico actual</b>	<b>102</b>
3.8.6	<b>Modificación de la mecánica de flujo del sistema</b>	<b>103</b>
3.8.6.1	<b>Objetivo</b>	<b>103</b>
3.8.6.2	<b>Evaluación de las alternativas de la modificación de la mecánica de flujo del sistema</b>	<b>104</b>

3.8.6.3	Efectos de caudales modificados en línea al nivel 2765 Golden hasta la zona milagros	105
3.8.6.4	Envío de pulpa a niveles superiores de la zona milagros	106
3.8.7	Diseño del sistema modificado	108
3.8.7.1	Ubicación de válvulas	109
3.8.7.2	Capacidad del sistema de relleno hidráulico modificado	116
3.8.7.3	Determinación de la mejor opción	118
3.8.7.4	Recomendaciones del sistema modificado	121
3.9	Resumen del sistema de relleno modificado	122

#### **CAPÍTULO IV. RELLENO HIDRÁULICO CON MATERIAL DE CANTERA**

4.1	Introducción	127
4.2	Análisis granulométrico	127
4.3	Estudios para la ubicación de la planta de relleno hidráulico con material de cantera	130
4.3.1	Máxima distancia horizontal (Mdh)	130
4.4	Cálculo de los parámetros de la pulpa de RH (Arena)	132
4.4.1	Velocidad crítica de deposición (Vc)	132
4.4.2	Velocidad de transporte (Vt)	133
4.4.3	Pérdida de carga (Lc)	133
4.4.4	Altura máxima (H2) que alcanza el Relleno Hidráulico respecto al nivel más bajo de interior mina	134
4.4.5	Gradiente hidráulico (GH)	135
4.4.6	Densidad de la pulpa	135
4.4.7	Caudal de relleno hidráulico que llega al tajeo (Q)	136

4.5	Preparado del tajeo	138
4.5.1	Rellenado del tajeo	138
4.5.2	Problemas en el proceso de relleno	139
4.5.3	Tiempo neto de relleno en el tajeo	140
4.5.3.1	Alimentación de la pulpa al tajeo	141
4.5.3.2	Condiciones de descarga	141

## **CAPÍTULO V. COSTOS**

5.1	Relleno hidráulico con arenas de cantera	144
5.1.1	Introducción	144
5.1.2	Costo de inversión en Relleno hidráulico con arena	145
5.1.2.1	Reservorio para agua	145
5.1.2.2	Tuberías	146
5.1.2.3	Planta	146
5.1.3	Costo de operación del Sistema de Relleno Hidráulico	147
5.1.3.1	Costo de depreciación de equipo	147
5.1.3.2	Costo de energía	147
5.1.3.3	Costo de mano de obra	148
5.1.3.4	Costo de mantenimiento	148
5.1.3.5	Costo de materiales	148
5.1.3.6	Costo de transporte de agregados	149
5.2	Relleno hidráulico con relave proveniente de la planta de concentradora de minerales	149
5.2.1	Introducción	149
5.2.2	Costo de inversión	150

5.2.2.1	Reservorio de agua	150
5.2.2.2	Tuberías	150
5.2.2.3	Planta	150
5.2.3	Costo de operación del sistema de Relleno Hidráulico con relave de planta de concentración de minerales	151
5.2.3.1	Costo de depreciación del equipo	151
5.2.3.2	Costo de energía	152
5.2.3.3	Costo de mano de obra	152
5.2.3.4	Costo de mantenimiento	153
5.2.3.5	Costo de materiales	153

## **CAPÍTULO VI. SISTEMA DE GESTIÓN EN SEGURIDAD Y MEDIO**

### **AMBIENTE**

6.1	Sistema de gestión	154
6.2	Sistema de gestión en seguridad y salud ocupacional	155
6.2.1	Comité de seguridad	156
6.2.2	Preparación y respuestas a emergencias	156
6.2.3	Capacitación	156
6.3	Aspectos de seguridad minera en operaciones de relleno	157
6.3.1	Introducción	157
6.3.2	Procedimiento de trabajo en la planta de RH relave	157
6.3.3	Procedimiento de operación de relleno hidráulico	158
6.3.3.1	Envío de pulpa de la planta RH relave hacia mina	158
6.3.3.2	Recepción de relleno hidráulico en el tajeo	159
6.3.3.3	Instructivo de mantenimiento de tuberías	161

6.4	Sistema de gestión en Medio ambiente	161
6.4.1	Introducción	162
6.4.2	Toxicidad del cianuro	163
6.4.3	Tratamiento del cianuro	164
6.4.4	Relaves cianurados	164
	<b>CONCLUSIONES</b>	165
	<b>RECOMENDACIONES</b>	167
	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	169
	<b>ANEXOS</b>	
Anexo N° 01	Características de los hidrociclones.	
Anexo N° 02	Análisis granulométrico de los hidrociclones	
Anexo N° 03	Rango de trabajo de las bombas Feluwa	
Anexo N° 04	Fundamentos de diseño y cálculo del flujo de RH	
Anexo N° 05	Cálculos de presión para envío de pulpa y otros	
Anexo N° 06	Resumen de producción y parámetros de relave final	
Anexo N° 07	Cálculos de parámetros de RH con arena	
Anexo N° 08	Cálculos de costos de inversión y operación de relleno hidráulico con material relave- arena.	
	<b>PLANOS</b>	
Plano N° 01	: Ubicación de CMHSA	
Plano N° 02	: Método de explotación C.R.A convencional	
Plano N° 03	: Método de explotación C.R.A preparación convenc.	
Plano N° 04	: Flow sheet de la Planta de Relleno Hidráulico	
Plano N° 05	: Flow sheet Manager de la planta de beneficio	

## ÍNDICE DE CUADROS

C1-CI	Acceso por vía aérea	4
C2-CI	Acceso por vía terrestre	5
C1-CIII	Parámetros de relleno hidráulico (RH)	33
C2-CIII	Necesidades de relleno hidráulico (RH)	33
C3-CIII	Alimento a hidrociclón de la Planta de RH	39
C4-CIII	Cuadro de distribución granulométrica serie Tyler	42
C5-CIII	Cuadro de elab. de matrices para la determinación de la pendiente (s), la cte (a), y el coeficiente de correlación (s)	43
C6-CIII	Cuadro de corrección por mínimos cuadrados	43
C7-CIII	Ápex y vórtex, ángulos con respecto a la horizontal	48
C8-CIII	Número de pruebas en función a variados ángulos con diferentes diámetros en el ápex y vórtex	49
C9-CIII	Parámetros de clasificación de los tres hidrociclones estudiados en relleno hidráulico	59
C10-CIII	Parámetros de clasificación de los hidrociclones	62
C11-CIII	Balance de operación entre el hidrociclón D-15 vertical y el g-max	62
C12-CIII	Análisis granulométrico previsto en la operación del g-max con ápex 1" y vórtex 3.5"	63
C13-CIII	Overflow del g-max	64
C14-CIII	Underflow del Gmax material para el relleno hidráulico	65
C15-CIII	Equipo de la planta de Relleno Hidráulico	65
C16-CIII	Caudales de bombeo de la bomba Feluwa	83

C17-CIII	Dimensiones de la sección de los tubos de fierro y HDPE	88
C18-CIII	Velocidad de flujo de agua en los tubos de 3 ½" a 5"	88
C19-CIII	Gradiente hidráulico para flujos de agua	91
C20-CIII	Parámetros hidráulicos del relave clasificado	91
C21-CIII	Gradiente hidráulico para pulpas de 1.600 a 1.700 Kg/L	93
C22-CIII	Velocidad crítica y de diseño de Relleno Hidráulico	95
C23-CIII	Velocidad alcanzada y comparación entre los requeridos para diseño	95
C24-CIII	Velocidad del flujo de agua en los tubos de 3 ½" a 5" para caudales de 177,182 y 200 gpm	96
C25-CIII	Efectos del flujo de pulpas para caudales de 177 y 182 gpm (Tramo inicial tubería de 3 1/2" Sch 80)	105
C25.1-CIII	Efectos del flujo de pulpas para caudales de 177 y 182 gpm (Tramo inicial tubería de 4" Sch 80)	106
C26-CIII	Envío de pulpa a niveles superiores de la zona Milagros	107
C26.1-CIII	Envío de pulpa al Nivel 2870	108
C26.2-CIII	Envío de pulpa al nivel 2825 cachica zona de mercedes para caudal de 177 y 182 gpm	113
C27-CIII	Tiempo de rellenado con sistema modificado	117
C28-CIII	Velocidad de flujo a 182 gpm y 177 gpm	119
C29-CIII	Producción y necesidades de relleno	122
C30-CIII	Alimentación de sólidos a los ciclones según distribución granulométrica	122
C31-CIII	Eficiencia de clasificación del ciclón	123

C32-CIII	Parámetros de relleno hidráulico	126
C1-CIV	Rangos de tamaño en que varían las partículas	128
C2-CIV	Cuadro de análisis granulométrico	129
C3-CIV	Cuadro de la densidad de la pulpa	135
C4-CIV	Toma de tiempos	136
C5-CIV	Parámetros de relleno hidráulico	137
C6-CIV	Alimentación de la pulpa	141
C7-CIV	Cuadro de condiciones iniciales y finales	142
C1-CV	Costo de inversión de la planta de RH con arena	145
C2-CV	Inversión en tuberías	146
C3-CV	Inversión en planta de relleno hidráulico	146
C4-CV	Resumen de costos de inversión	147
C5-CV	Costos de depreciación del equipo	147
C6-CV	Costo de energía	147
C7-CV	Costo de mano de obra	148
C8-CV	Costo de mantenimiento	148
C9-CV	Costo de materiales	148
C10-CV	Costos de transporte de materiales	149
C11-CV	Resumen de costos de operación	149
C12-CV	Costo de inversión en planta de RH de relave	150
C13-CV	Inversión en tuberías	150
C14-CV	Inversión en planta para RH con relave	151
C15-CV	Resumen de costo de inversión	151
C16-CV	Costo de depreciación del equipo	152

C17-CV	Costo de energía	152
C18-CV	Costo de mano de obra	152
C19-CV	Costo de mantenimiento	153
C20-CV	Costo de materiales	153
C21-CV	Resúmenes	153

## ÍNDICE DE FIGURAS

F1-CI	Plano de ubicación	6
F1-CII	Mapa geológico generalizado franja aurífera Pataz	22
F2-CII	Columna Lito-Estratigráfica-Área Parcoy-Pataz	23
F3-CII	Corte transversal del batolito de Pataz	24
F4-CII	Mapa estructural generalizado franja aurífera Pataz	25
F5-CII	Ubicación de clavos mineralizados	27
F6-CII	Plano esquemático del método de explotación corte y relleno ascendente (C.R.A)	29
F1-CIII	Vista integral Planta de relleno hidráulico con relave	36
F2-CIII	Colocación de poli yute	36
F3-CIII	Avances con cuadros preparados artesanalmente	37
F4-CIII	Flow-Chart de planta de relleno hidráulico	40
F5-CIII	Hidrociclón G-Max Ø 10"	46
F6-CIII	Hidrociclón de Ø 15" inclinado a 10° con respecto a la horizontal	46
F7-CIII	Hidrociclón de Ø 15" inclinado a 10° con respecto a la horizontal(Hz)	47

F8-CIII	Hidrociclón de Ø 15" inclinado a 45° con respecto a la Hz	47
F9-CIII	Clasificación de partículas según ángulo de inclinación	50
F10-CIII	Desplazamiento de partículas finas malla -200 hacia Underflow(UF)	51
F11-CIII	D-15 inclinación 10° variaciones del coeficiente de permeabilidad como función del peso recuperado en el UF	51
F12-CIII	D-15 inclinación 22.5° variaciones de Coeficiente de permeabilidad como función del peso recuperado en el UF	52
F13-CIII	D-15 posición vertical variaciones de coeficiente de permeabilidad como función del peso recuperado en el UF	52
F14-CIII	D-10 variación de la fineza de clasificación con la cantidad de Underflow obtenido.	53
F15-CIII	D-10 variaciones de la proporción de la malla -200 en función de la producción de Underflow	54
F16-CIII	D-10 Variación de coeficiente de permeabilidad en función a la producción del UF	54
F17-CIII	D-10 variación del porcentaje de la malla -400# en función al coeficiente permeabilidad	55
F18-CIII	G-max variación de la fineza de clasificación con la cantidad de underflow obtenido.	56
F19-CIII	G-max variación de la proporción de la malla -200# en función de la proporción de Underflow	56
F20-CIII	G-max variación de la proporción de la malla -400# en función de la productividad de Underflow	57

F21-CIII	G-max coeficiente de permeabilidad en función de la producción del Underflow	57
F22-CIII	Curvas trompos corregidos que comparan las eficiencias en el Underflow de los hidrociclones estudiados.	58
F23-CIII	Granulometría del Overflow de los hidrociclones que producen el mejor material para relleno hidráulico	59
F24-CIII	Granulometría Passing del Overflow de hidrociclones seleccionados	60
F25-CIII	Coeficientes de permeabilidad en hidrociclones	60
F26-CIII	Recuperación de Underflow por los hidrociclones	61
F27-CIII	Granulometría prevista en G-max	63
F28-CIII	Curva trompo prevista del G-max	64
F29-CIII	Vista panorámica de la planta de RH	66
F30-CIII	Histograma de densidades de relave de flotación	67
F31-CIII	Histograma de gravedades específicas de los sólidos de relave de flotación	67
F32-CIII	Flujo laminar (a) y Flujo turbulento (b)	72
F33-CIII	Vista de bomba de pistones de marca Feluwa	80
F34-CIII	Representación típica de la bomba Feluwa	81
F35-CIII	Corte transversal de la bomba de pistones	82
F36-CIII	Alcances de caudal y de presión de la bomba Feluwa	84
F37-CIII	Bifurcación de salida de la bomba con ramales dirigidos a Rumpuy 2750 y a Golden 2765	85
F38-CIII	Válvulas de cuchillas instaladas en la bifurcación	86

F39-CIII	Fracción de sólidos en peso y en volumen	92
F39.1-CIII	Densidad de la pulpa en relación a la fracción de sólidos en volumen	92
F40-CIII	Curva empírica para el cálculo de la velocidad crítica	98
F41-CIII	Distribución de líneas del sistema de RH actual	100
F42-CIII	Trazo de la línea que se dirige de la planta hacia Golden 2765	109
F43-CIII	Vista panorámica del tendido de la línea mirando desde el Nivel de Golden 2765	110
F44-CIII	Tramo actual de la tubería de relleno hidráulico instalada en superficie en el nivel de ingreso al Túnel Golden	110
F45-CIII	Distribución desde el punto elevado de tramo troncal	112
F46-CIII	Chimenea de bajada de líneas al nivel Bernabé 2700	115
F47-CIII	Presión en la línea bombeado al nivel 2825 milagros pulpas de 1,600 a 1,700 gr/L	115
F48-CIII	Presión en la línea bombeado pulpas de 1,700 gr/L a Lourdes y Sissy	116
F1-CIV	Arena de cantera	128
F2-CIV	Análisis granulométrico bajo molienda	129
F3-CIV	Triángulo de referencia	131
F4-CIV	Diferencia de cotas	132
F5-CIV	Tanque agitador	136
F1-CVI	Modelo de sistema de gestión	154

## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación, aplicada al relleno hidráulico de la operación minera de la U.E.A Parcoy, tiene por finalidad el estudio y análisis del material de relave – arena para el relleno hidráulico, su transporte hidráulico a través de tuberías ya sea empleando bombas para el envío de pulpas en el caso del material de relave y por gravedad para el caso del material de cantera (arena), y su costo de operación de cada uno de ellos de manera superflua. Todo ello para la optimización del uso de relave – arena en el relleno hidráulico el cual garantice la continuidad del ciclo de minado y cubra las necesidades de relleno en la mina.

El presente trabajo de investigación abarca seis capítulos, en los cuales se desarrollan temas relacionados con el contenido propio del estudio y temas referenciales que complementa dicho estudio como se aprecia a continuación:

En el **primer capítulo**, se aborda los temas relacionados a la ubicación de la mina, reseña histórica, su clima y sus tipos de evolución geomorfológicas. También aborda los aspectos metodológicos del trabajo de la investigación, empezando por la descripción de la realidad problemática; formulación de los problemas, los objetivos, las hipótesis y sus respectivas variables e indicadores; tipos y nivel de la investigación; método y diseño; población y muestra; técnicas e instrumentos de recolección de datos; justificación y los alcances y límites del estudio.

En el **segundo capítulo**, se desarrolla la geología local, regional, características geológicas del bloque Parcoy y su respectivo método de explotación como temas referenciales para la mejor percepción de la investigación.

En el **tercer capítulo**, aborda el relleno hidráulico con material de relave proveniente del tratamiento de la concentración de minerales en el que desarrolla el contenido del marco teórico empezando por los aspectos teóricos del estudio, conceptualización del desarrollo del proyecto y finalmente el análisis e interpretación de los resultados.

En su desarrollo mencionamos la producción y necesidades de relleno, rasgos característicos de las operaciones, las propiedades físicas del relave, su granulometría y su clasificación por medio de hidrociclones para la producción de Underflow en mayor cantidad con una granulometría y densidad de pulpa que facilite la percolación en el proceso de rellenado en los tajeos; asimismo se desarrolla el transporte hidráulico de sólidos por tuberías en el que se determina el factor de resistencia al flujo de pulpas, lo cual nos permite el cálculo de la gradiente hidráulica para pulpas, esto nos permite determinar la velocidad crítica y de diseño de la pulpa para la elección del tipo y dimensiones de tubería; asimismo se desarrolla el envío de pulpa a la mina por bombeo efectuado por la bomba Feluwa, verificación del sistema de relleno ligado al caudal y presión de bombeo de la bomba para la determinación de las válvulas y tuberías de la instalación en función a la presión que soporta y por consiguiente plantear su respectiva

modificación de las instalaciones del sistema de relleno para satisfacer la necesidades de relleno.

En el **cuarto capítulo**, se desarrolla el relleno hidráulico con material de cantera considerado como tema referencial y posible alternativa de relleno hidráulico en la U.E.A Parcoy, en este capítulo el análisis granulométrico se efectúa basándose en la curva de Talbot en el que se determina si el material requiere o no molienda para su aplicación como relleno; en ello también se realiza cálculos de los parámetros más importantes de la pulpa tal como es la velocidad crítica, velocidad de transporte, pérdida de carga, altura máxima que alcanza el relleno hidráulico respecto al nivel más bajo del interior mina, gradiente hidráulico, densidad de pulpa, caudal de relleno hidráulico que llega al tajeo y el tiempo neto de relleno.

En el **quinto capítulo**, desarrollamos los costos de inversión y operación de relleno de manera superflua del material relave – arena, considerado como tema referencial que ayudará a determinar en función al costo la incidencia de uso como relleno.

En el **sexto capítulo**, se desarrolla aspectos de seguridad y medio ambiente lo cual está considerado como tema referencial.

Al final, se muestran las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas, anexos y planos.

## CAPITULO I

### GENERALIDADES

#### 1.1 UBICACIÓN

La U.E.A Parcoy, mina aurífera de Consorcio Minero Horizonte SA (CMHSA), se encuentra ubicada en la confluencia de los ríos Parcoy y Llacuabamba, en las cercanías de Retamas, anexo del mismo nombre, distrito de Parcoy, provincia de Pataz, departamento de La Libertad, localizado en la franja occidental de la cordillera oriental de los Andes del Perú. Con una cota que oscila entre los 2600 y 4100 msnm.

Coordenadas Geográficas: Longitud Oeste: 77° 36'

Latitud Sur : 08° 00'

Coordenadas UTM: N: 9'110,900.00 - 9'116,000.00

E: 25,000.00 - 229,000.00

#### 1.1.1 ACCESO Y TOPOGRAFIA

C1-CI ACCESO POR VIA AEREA (Fuente: CMHSA)

DE:	DISTANCIA	A:	TIEMPO
Lima	470 Km	Aeródromo desvió Pías	1hr 15 min
Trujillo	400 Km	Aeródromo desvió Pías	45 min

Aeródromo Desvió Pías – Retamas (vía terrestre) 01 hora

## C2-CI ACCESO POR VIA TERRESTRE

(Fuente: CMHSA)

PARTIDA	LLEGADA	TIEMPO	DISTANCIA
Trujillo	Huamachuco	8.0 Hr	270 Km
Huamachuco	Chagual	12.0 Hr	80 Km
Chagual	Retamas(Parcoy)	4.0 Hr	45 Km
TOTAL :		24.0 Hr	395 Km

Topografía abrupta, con cerros elevados y empinados hacia las partes más elevadas ha tenido una mayor repercusión y los agentes modeladores como son la erosión glaciaria y fluvio-glaciaria.

### 1.2 RESEÑA HISTORICA

En 1934 se fundó el Sindicato Minero Parcoy (SIMPAN) que inició sus actividades al año siguiente, por el Ing Eulogio Fernandini.

En 1960 el precio del oro se estancó a US\$ 35/onza, valor que no permitía cubrir los costos de operación, por tanto haciendo la producción de oro menos rentable, por lo cual paralizaron las exploraciones sólo dedicándose a la explotación hasta que se agotó el mineral.

En 1978, con la promulgación de la ley de la promoción aurífera, surgió el interés de los ingenieros Rafael Navarro Grau y Jaime Uranga, para trabajar los relaves dejados por la operación de SIMPAN. Dando buenas perspectivas y se rehabilitaron 19 concesiones antiguas: Bernabé, Cabana, Ichigrande, Pucalabor, Carmencita, Retamas, etc. y también dos concesiones nuevas Horizonte N°8 y Horizonte N°12.

El Consorcio recién inició sus operaciones propiamente mineras el año de 1982, alcanzando en 1998 una producción de 800 TMD.

En la actualidad realiza labores de exploración, desarrollo, y explotación de minerales auríferos que procesa metalúrgicamente a una escala de 900 a 1,100 TMD en la concentradora local.

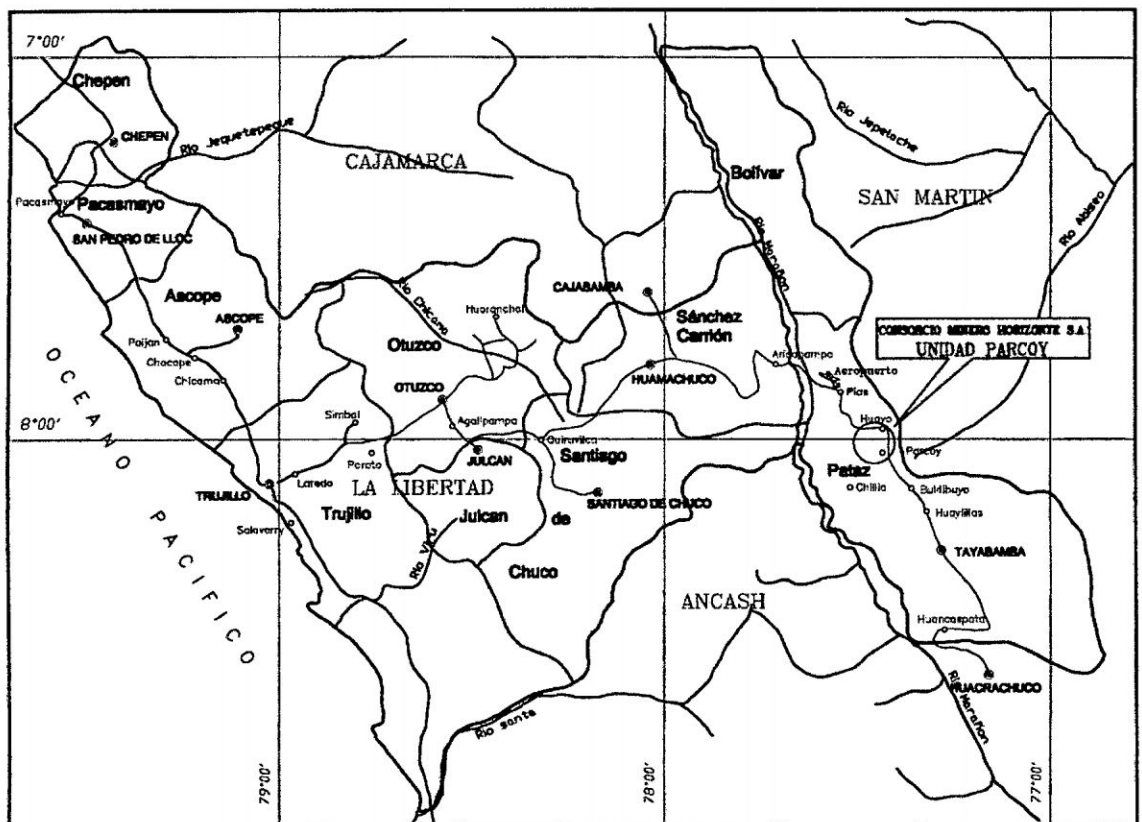
### 1.3 CLIMA

El clima de la zona está representado por dos estaciones. Abril-Octubre: Estación de invierno, época seca y temperatura 10° C. Noviembre – marzo: Estación húmeda con precipitaciones pluviales en forma de granizo o nieve y temperatura 0° a 18° C.

El clima varía considerablemente entre los 1,000 y 3,000 msnm presentando un medio templado.

En los alrededores de la mina existe una vegetación típica de puna como es el ichu, arbustos y plantas silvestres.

#### F1-CI PLANO DE UBICACIÓN CMHSA



## **1.4 TIPOS DE EVOLUCIÓN GEOMORFOLÓGICO:**

**Procesos endógenos:** Presencia de fallas, plegamientos e intrusiones.

**Procesos exógenos:** meteorización mecánica y química esto se produce por las sustancias que se producen en el agua, produciendo acidez y lixiviación de los minerales contenidos en las rocas los que van a permitir finalmente alterar a la roca su composición original.

### **1.4.1 UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS**

Fisiográficamente la zona es un valle en formación que está ligado principalmente a los eventos orogénicos ocurridos desde del Cretácico y son sometidos a meteorización física y química. Esta afectada profundamente por la acción erosiva de las aguas de escorrentía, por lo que se encuentran relieves empinados, principalmente en épocas lluviosas, lo que limita el desarrollo de la agricultura en la zona.

Se pueden observar tres unidades geomorfológicas.

**Cordillera Oriental:** Caracterizados por geoformas positivas que llegan a tener altitudes de 4,000 msnm; las cuales se alinean con el flanco oriental de la cordillera de los Andes.

**Valles:** Son geoformas negativas y angostas, por las que discurre el río Parcoy, el cual desemboca en la laguna de Pías.

**Terrazas:** Formados por materiales acarreados de las cabeceras de las quebradas hacia el río Parcoy, formando las terrazas, las que forman muestran un relieve suave y abundante vegetación.

## **1.5 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.**

### **1.5.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.**

El proyecto de investigación se desarrolla en la U.E.A Parcoy de Consorcio Minero Horizonte S.A, ubicado en el distrito de Parcoy, provincia de Pataz, departamento de la Libertad ubicada a 2,840 msnm, hago referencia que el método de explotación en la unidad minera es de corte relleno ascendente convencional, por lo que para estabilizar el macizo rocoso dejados por los vacíos de la explotación es menester estabilizarlo con diversos métodos tanto temporales (madera), como definitivos como el relleno hidráulico (material de relave proveniente de la concentración de minerales o utilizando material de cantera como es la arena, esta última por su ventaja en la velocidad de percolación),

La dificultad que experimenta el relleno hidráulico con relave en los tajeos, es la cantidad de lamas que van con el material de relleno y que luego evacuan por los efluentes de la mina. Otro problema es el tiempo de demora en la percolación del agua, velocidad de sedimentación, y otro final, la cantidad de material recuperado para relleno.

Por lo que se plantea realizar el análisis granulométrico del material de cantera para su uso en el relleno hidráulico como alternativa.

Asimismo las frecuentes paralizaciones dificultan el relleno con relave sin que se haya logrado cubrir el requerimiento de material de relleno, aunque la bomba está ajustada para abastecer un caudal de 200 gpm para pulpas de mediana densidad, ésta por las condiciones de instalación sólo puede ser utilizada hasta una presión de 36 bares.

La Bomba Feluwa envía a la mina la pulpa que recibe del acondicionador inyectándola por una de las líneas de distribución de tuberías que conducen el relleno hidráulico hacia tres niveles en dirección a las labores.

En este sentido la deficiencias en el relleno hidráulico, es por la falta de mejoramiento en el uso de relave - arena, por lo que para contribuir satisfactoriamente en su uso se realiza la clasificación de relave con hidrociclones, previo análisis granulométrico, asimismo se realiza la evaluación de las instalaciones de las líneas de conducción y su respectivo bombeo de pulpa, para la satisfacción de la necesidad de la mina con un material de relleno apropiado.

El proyecto en si trata de dilucidar en cuál de los dos tipos de relleno se intensificaría su uso, el relleno utilizando el material de cantera o el relave proveniente de la concentración de minerales, ya que ambos presentan ventajas y desventajas durante la operación.

## **1.5.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.5.2.1 PROBLEMA PRINCIPAL**

¿En qué medida la optimización del uso de relave – arena se constituye en el relleno hidráulico para estabilizar el macizo rocoso dejado por los espacios vacíos de la explotación durante la operación minera y qué estrategias se recomendaría para su uso intenso y mejoramiento?

### **1.5.2.2 PROBLEMAS SECUNDARIOS**

¿En qué medida el actual uso de relave – arena en el relleno hidráulico, reúne las condiciones para ser empleado en la operación minera?

¿De qué manera la clasificación de los hidrociclones coadyuva en el relleno hidráulico con material proveniente de la concentración de minerales o relave, y la explotación de arena proveniente de cantera?

¿De qué manera la distribución óptima del tamaño de partículas contribuye en el uso de relave – arena?

¿En qué medida está afectando las lamas en la operación de relleno hidráulico?

¿Cómo se puede obtener el caudal y presión de operación óptimo de una bomba para mejorar el relleno hidráulico?

¿De qué manera los costos de operación en el relleno hidráulico coadyuvan para la elección del tipo de relleno?

### **1.5.3 OBJETIVOS**

#### **a) OBJETIVO GENERAL**

Determinar y analizar en qué medida el uso óptimo de relave – arena se constituye en el relleno hidráulico durante la operación minera.

#### **b) OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Conocer en qué medida el relave – arena en el actual sistema de relleno hidráulico reúne las condiciones para su uso óptimo.
- Conocer cómo la clasificación de relave y acondicionamiento de bombeo de pulpa hacia la mina contribuye en el uso óptimo de relave – arena para el relleno hidráulico.
- Establecer en qué medida la clasificación de relave, coadyuva en la velocidad de percolación.

- Determinar en qué medida la granulometría del material, la densidad de pulpa contribuye en el uso óptimo de relave – arena para el relleno hidráulico.
- Determinar los costos de operación de relleno hidráulico en el uso de relave – arena.
- Optar el título profesional de Ingeniero de Minas.

#### **1.5.4 HIPOTESIS**

##### **a) HIPOTESIS GENERAL**

La optimización del uso de relave - arena en el relleno hidráulico y la aplicación de estrategias recomendadas, mejoraría el uso de relleno hidráulico durante la operación minera favoreciendo la estabilidad del macizo rocoso

##### **b) HIPOTESIS ESPECIFICOS**

- La clasificación de relave - arena y acondicionamiento de bombeo de pulpa hacia la mina contribuye en el uso óptimo de relave – arena para el relleno hidráulico.
- La clasificación adecuada del relave, coadyuva en la mejora de la velocidad de sedimentación y obtención adecuada de la velocidad de percolación en el relleno hidráulico.
- El control adecuado en la granulometría del material y la densidad de pulpa contribuye en el uso óptimo de relave para el relleno hidráulico.
- El costo de relleno hidráulico de una Tonelada métrica de relleno resultaría más económico utilizando el relave que utilizando material de cantera.

### **1.5.5 VARIABLES**

#### **a) VARIABLE INDEPENDIENTE**

X: La clasificación de relave – arena para el relleno hidráulico (%) y el sistema de bombeo de la Bomba Feluwa (%).

##### **Indicadores**

X1= Nivel de contenido de grueso y fino en el relave (%).

X2= Nivel de velocidad de percolación (cm/hr).

X3= Nivel de velocidad de sedimentación (m/s ó pies/s).

X4= Establecimiento de la densidad de pulpa (kg/L ó g/L).

X5= Nivel de caudal (gpm) y presión de bombeo (bar).

#### **b) VARIABLE DEPENDIENTE**

Y: Mejoramiento en el uso de relave – arena (%).

##### **Indicadores**

Y1= Relave clasificado adecuadamente (%)

Y2= Adecuada velocidad de percolación (cm/hr).

Y3= Mayor velocidad de sedimentación (m/s ó pies/s).

Y4= Flujo de pulpa de mayor densidad (kg/L ó g/L).

Y5= Caudal (gpm) y presión de bombeo (bar) de la Bomba Feluwa dentro del diseño del fabricante.

### **1.5.6 JUSTIFICACIÓN**

El presente trabajo pretende enfocar la investigación en la utilización del relave – arena en el relleno hidráulico de espacios vacíos dejados como producto de la explotación de tajeos, así de esta manera mitigar los pasivos ambientales, evitando en lo posible almacenar relaves en superficie, para lo cual este trabajo desarrolla la investigación tanto en el relleno de relave

ambientales, evitando en lo posible almacenar relaves en superficie, para lo cual este trabajo desarrolla la investigación tanto en el relleno de relave mismo, en los equipos utilizados y en su infraestructura, este trabajo dar a conocer las bondades del relleno hidráulico como medio de sostenimiento o estabilización de la masa rocosa.

## **1.6 ANTECEDENTES Y MARCO TEORICO**

### **1.6.1 ANTECEDENTES**

Actualmente en muchas unidades mineras que existen en el Perú, no efectúan correctamente las operaciones de minado, es decir descuidan la operación de relleno, dejando pasivos ambientales con consecuencias negativas para el medio ambiente en el proceso de concentración de minerales, el 70% de las minas en la escala de pequeña y el 40% en mediana minería en operaciones subterráneas, no efectúan correctamente la operación unitaria de relleno de tajos, un porcentaje de ellos estabilizan con descajes de sus labores, con material estéril provenientes de las labores de avance, en otros casos utilizan el material de cantera, afectando así al medio ambiente como es el caso de la Compañía Minera Poderosa que el relleno de tajos<sup>o</sup> lo efectúa con material de cantera, es decir deja pasivos ambientales a largo plazo, y el material de relave lo acumula en canchas o áreas ubicadas casi a orillas del río Marañón y muchas veces desaguan hacia este, actualmente la minería en lo posible cuida el medio evitando así atentar contra el medio ambiente.

### **1.6.2 MARCO TEORICO**

El uso de relave - arena en el relleno hidráulico durante la operación minera para su optimización en esta área de investigación responde principalmente

a la clasificación de relave en hidrociclones y al análisis mismo de la mecánica de fluidos, para determinar las propiedades físicas del relave, el comportamiento mismo del relleno, y otros parámetros fundamentales para el proceso de relleno como la velocidad crítica, velocidad de percolación, coeficiente de uniformidad, velocidad de sedimentación, Densidad relativa o gravedad específica, investigaciones en los análisis granulométricos del relleno hidráulico (relave y material de cantera), basándose en la curva de Talbot en lo que respecta a material de cantera, de tal manera que se tenga como objetivo específico la obtención de la mejor granulometría de partículas para nuestro propósito. Evaluación de las líneas de servicio y del bombeo de pulpa hacia la mina. El desarrollo de esta investigación se plasma en los capítulos III, IV y V.

### **1.7 DESCRIPCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

En esta etapa se describe de manera detallada la secuencia y el proceso de desarrollo de la investigación de la siguiente forma:

a) Proceso de estabilización de la masa rocosa utilizando el relleno hidráulico empleando el material de cantera (arena) alternativa planteada:

- Conocer la producción diaria de la mina.
- Determinar los espacios vacíos a rellenar.
- Calcular la cantidad de material a utilizarse en el relleno de tajos determinando las propiedades del material a través del análisis granulométrico ajustado a la curva de Talbot.
- Dimensionamiento de tajos<sup>o</sup>, equipos de transporte, materiales y personal de operación.
- Calcular los costos de operación de manera sucinta.

el relleno con material de cantera a diferencia de que con el relleno con relave el proceso es más cuidadoso en la clasificación del material de relave, es decir realizar ensayos de análisis granulométricos del relave y seleccionar la mejor distribución de tamaño de partículas que sean óptimas para este proceso teniendo en cuenta variables principales como la velocidad de percolación, velocidad de sedimentación, velocidad crítica, coeficiente de uniformidad y la selección de los equipos de planta de relleno hidráulico, como se puede ver en este proceso de relleno con relave se tienen en cuenta muchas variables y evidentemente este proceso requiere de mayor atención en el proceso de ejecución del proyecto.

c) Evaluación de las líneas de servicio relleno hidráulico con relave y su respectivo bombeo empleando la bomba Feluwa para llegar a las zonas más altas con una presión mayor a 36 bares. En las operaciones mismas detallaremos los equipos e instrumentos utilizados en ambos procesos de relleno con arena y relave.

## **1.8 METODOLOGIA**

**1.8.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN:** El presente trabajo es una investigación científica por lo que se utilizará el análisis e interpretación de los conocimientos del relleno hidráulico con relave – arena valiéndonos de la mecánica de fluidos.

Que consistirá en un diagnóstico del sistema de relleno hidráulico con relave, análisis y evaluación del material de relleno tanto con material proveniente de la concentración de minerales y de cantera, así como de las líneas de servicio y bombeo de pulpa hacia la mina.

proveniente de la concentración de minerales y de cantera, así como de las líneas de servicio y bombeo de pulpa hacia la mina.

**1.8.2 NIVEL DE INVESTIGACIÓN:** El presente trabajo, es una investigación descriptiva y explicativa, por cuanto se presentará la realidad actual del sistema de relleno hidráulico con relave, a través de análisis y evaluación. En cuanto se refiere al relleno con material de cantera se explica las ventajas y desventajas para su utilización.

### **1.8.3 MÉTODOS DE LA INVESTIGACIÓN.**

- **Inductivo.** Permitirá pasar enunciados de hechos particulares a enunciados generales.
- **Deductivo.** Implica, que va a permitir extraer consecuencias de un principio, proposición o supuestos ejemplo análisis y evaluación de material de relleno y respectivo bombeo deduciendo el logro de los resultados esperados.
- **Analítico.** El método analítico consiste en examinar la aplicación de clasificación de material para relleno y el bombeo de pulpa.
- **Diseño.** Por su diseño es descriptivo.

### **1.8.4 POBLACIÓN Y MUESTRA.**

**1.8.4.1 Ámbito de de estudio:** U.E.A Parcoy “Consortio Minero Horizonte”.

**1.8.4.2 Unidad de Estudio:** Planta de relleno hidráulico.

#### **1.8.4.3 Población:**

- Material de relleno relave – arena.

#### **1.8.4.4 Muestra**

- Relave – arena.

## **1.8.5 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS**

### **1.8.5.1 TÉCNICA:** Es la observación.

- Observación directa e indirecta.
- Observación participante y no participante.
- Observación no estructurada.
- Observación de campo y de laboratorio.
- Observación individual y de grupo.

### **1.8.5.2 INSTRUMENTOS:**

- **Ficha bibliográfica o hemerográficas.-** Permite la recopilación de datos: de libros, revistas, boletines, Internet, informes memoria, relacionados con la temática de la investigación.
- **Fotografías y otros.-** Aplicando las técnicas e instrumentos, las fotografía y informaciones obtenidas serán ordenadas y clasificadas.

### **1.8.6 PROCEDIMIENTO:**

- Análisis granulométrico por varias etapas en el control de la distribución de las partículas.
- Selección y clasificación de hidrociclones hasta lograr la granulometría óptima.
- Estudio de los parámetros del material de relleno y la aplicación a la realidad
- Determinación de caudal y presión de bombeo de la Bomba Feluwa según especificación técnica del fabricante.

## **1.9 ALCANCES Y LIMITES DEL ESTUDIO**

Como en todo proyecto de investigación los alcances están dados para estudiantes de la especialidad y como guía práctica para la ejecución de otros trabajos de investigación en esta área.

El proyecto se limita en el desarrollo de los procesos debido a que se trabaja con datos aproximados que evidentemente dará a conocer de manera sucinta los elementos que intervienen en la investigación de esta área.

La parte de relleno con material de cantera y lo referente a los costos de operación de relleno se toca de manera sucinta por ser una variable de comparación a favor del relleno hidráulico con relave, puesto que este último ofrece mayor ventajas a pesar de su alto costo de inversión inicial.

La geología se verá de manera referencial ya que el trabajo consiste netamente en el mejoramiento del uso de relave – arena en el relleno hidráulico.

## **CAPITULO II**

### **GEOLOGIA Y METODO DE MINADO**

#### **2.1 GEOLOGIA LOCAL**

Las rocas más antiguas que se han determinado en la región son las filitas y meta volcánicos precámbricos pertenecientes al Complejo del Marañón, sus afloramientos están presentes desde las riberas del río Marañón hasta la margen izquierda del río Llacuabamba, encima de estas rocas se encuentran las rocas volcánico - sedimentarias del Grupo Mitu del Pérmico, constituidas por rocas volcánicas que se encuentran intercaladas con lutitas, areniscas, encima reposa los estratos pertenecientes al Grupo Pucará del Triásico-Jurásico, que consiste de calizas grisáceas, encima se depositan las rocas sedimentarias cretáceas conformadas por el Grupo Goyllarisquisga y las formaciones Crisnejas y Chota, en el cuaternario afloran los depósitos aluviales.

El Batolito de Pataz, se encuentra ampliamente distribuido en el sector y conforma una franja de orientación noroeste-sureste.

Complejo marañón (Filitas, meta volcánicos y Pizarras), Volcánicos lavasen (Lavas Andesíticas y Dacíticas), Grupo ambo (Areniscas, Lutitas y Conglomerados), Rupo mitu (Areniscas y Conglomerados de Andesitas), Grupo pucara (Calizas, lutitas), Grupo goyllarisquizga (Areniscas, Cuarcitas, lutitas), Formación crisnejas (Calizas, Areniscas y Lutitas).

Formación chota (Areniscas y Conglomerados), Depósitos cuaternarios (Vial, Coluvial y Aluvial).

### **2.1.1 BATOLITO DE PATAZ**

La composición litológica del Batolito es acida a intermedia, caracterizado por granodiorita. Diorita y cuarzo-monzonita. Diques aplíticos, microdioríticos y andesíticos posteriores afectan al Batolito y en algunos casos cortan algunas vetas. La textura de las rocas plutónicas es variable, son comunes tonalitas y granodioritas con zonación a bordes dioríticos, así como pulsaciones más jóvenes de cuarzo-monzonita. En los bordes y cúpulas se observan xenolitos de microdiorita.

El batolito de Pataz aflora con un rumbo promedio de N30°W (lineamiento andino). Estructuralmente, el batolito está sumamente fracturado y fallado, probablemente porque es un cuerpo tabular estrecho, que se emplazó en una zona de falla extensional, que subsecuentemente se reactivó como una zona de falla inversa oblicua. (E. Nelson). Su longitud reconocida en la región es de 120 Km aproximadamente y con un ancho de 2 Km. En el sector de Parcoy, este macizo rocoso está controlado por dos lineamientos mayores de orientación N30°W. La edad datada en varios estudios, destacando la data de Schreiber et al. (1990), el cual por el método de  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  definió edades entre 305 Ma. – 321 Ma. Estudios más recientes de Haerberlin et al (1992) por el mismo método, registraron edades entre 322 Ma. – 328 Ma.

## **2.2 GEOLOGÍA REGIONAL**

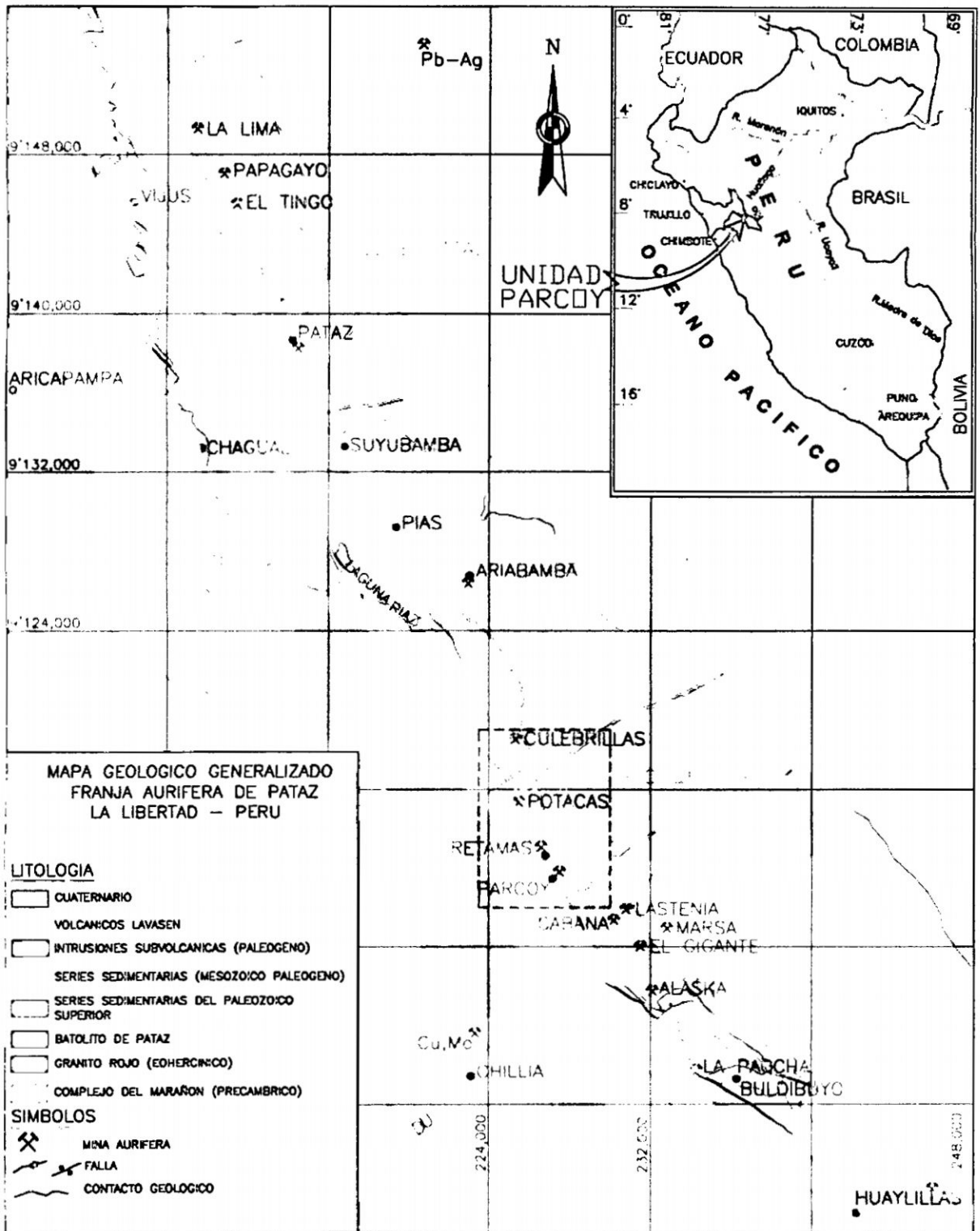
Regionalmente la geología del distrito, está dominada por tres franjas:

El basamento precámbrico del complejo marañón al este, el batolito Carbonífero de Pataz, y los estratos deformados del Pérmico a Cenozoico a oeste. El contacto occidental del Batolito es una falla cenozoica orientada  $350^{\circ}/85^{\circ}$ ; esta falla es paralela a las vetas occidentales.

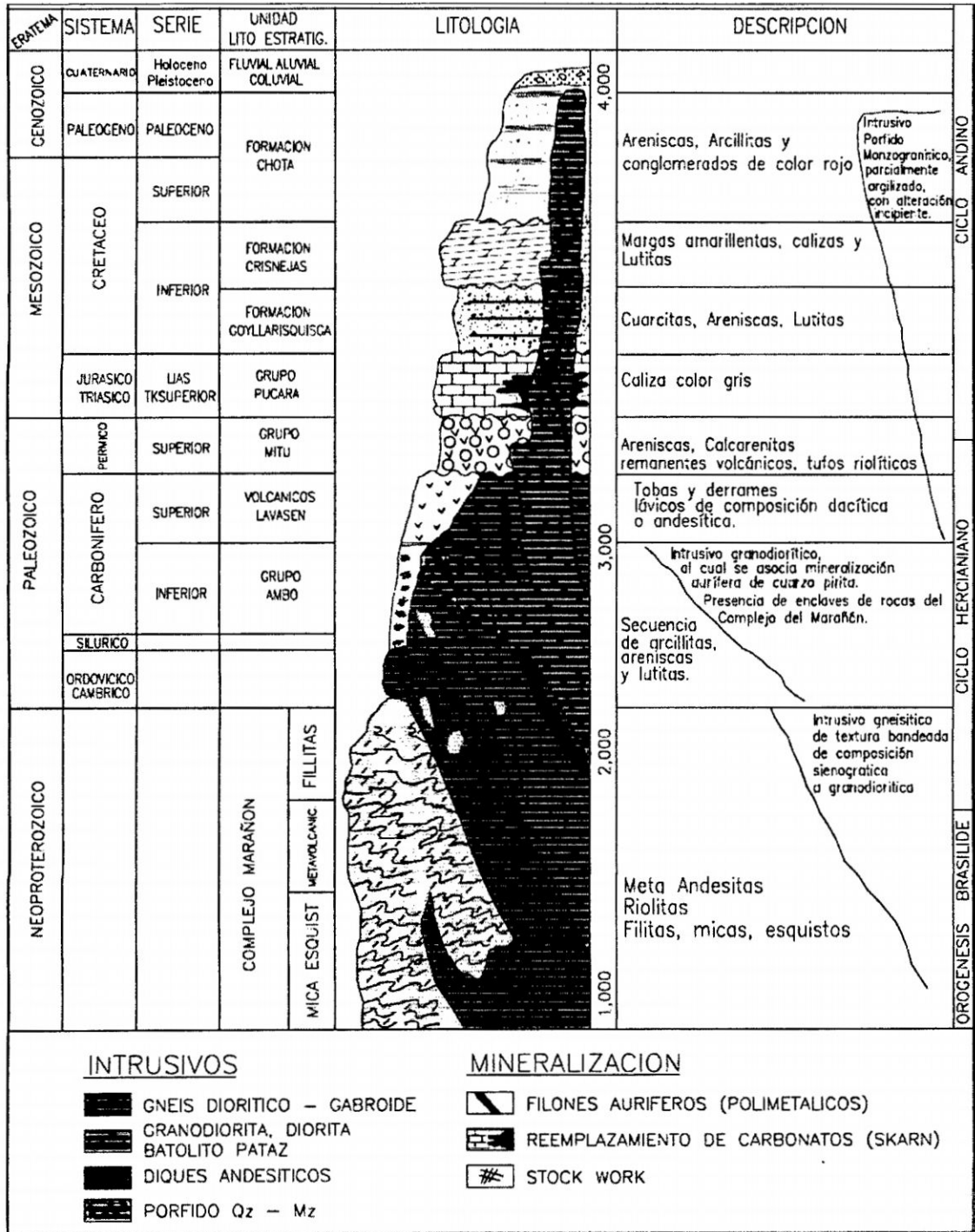
Esta zona aurífera está ligada a las rocas intrusivas conocidas como el Batolito de Pataz de aproximadamente 50 Km. de extensión entre Vijuz al norte y Buldibuyo al sur, con un ancho promedio de 2 Km. que ha intruido a las metamórficos del paleozoico, está limitado por el NE con el complejo Marañón y Volcánicos Lavasen; y por el SW con las rocas sedimentarias de la Formación chota.

Rocas metamórficas precambrianas, (Complejo Marañón - al Este), Secuencia volcánico – sedimentaria paleozoica (Ambo, volcánico lavasen y mitu), Secuencia sedimentaria mesozoica (Pucará, Goyllarisquizga, Crisnejas y Chota), Batolito de Pataz (principal metalotecto - vetas auríferas) y depósitos cuaternarios.

# F1-CII MAPA GEOLOGICO GENERALIZADO FRANJA AURIFERA DE PATAZ



F2-CII COLUMNA LITO – ESTRATIGRAFICA – AREA PARCOY – PATAZ

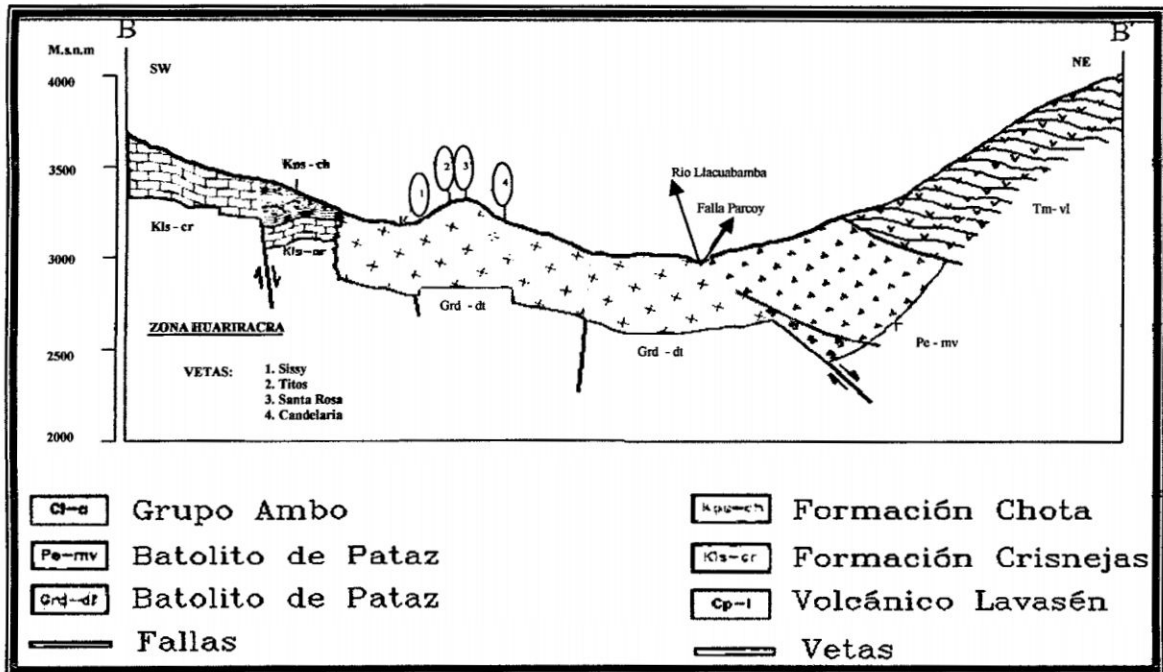


2.3 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

El Batolito de Pataz ha sido afectado por los diversos eventos tectónicos desde los últimos 300 M.a. de la historia Geológica, este batolito no presenta fuerte foliación, pareciera que intruyó la corteza superior en una zona extensional, dicha zona es reactivada una y otra vez mientras ocurrían

las orogenias. Los eventos pre-mineral incluyen deformación y metamorfismo del Complejo Marañón que pertenece al Proterozoico siendo sus direcciones de compresión no muy reconocidas, presentando una traza de acortamiento NW-Se en el periodo Ordovícico, trazas de acortamiento en dirección NE-SW en el periodo Devoniano superior y una extensión NW-SE durante la intrusión del Batolito en el Missisipiano. Es probable que el contacto Occidental sea una falla que pertenece al periodo Cenozoico, como indican las estriaciones, esta falla es del tipo denominado "strike slip" porque hace un salto sobre su rumbo y es casi paralela a todas las vetas occidentales. Las diversas fuerzas tectónicas acaecidas originaron fallas de cizalla, y se aprecia un movimiento sinestral en el mayor de los casos. En líneas generales se puede decir que existen dos sistemas estructurales que controlan la mineralización:

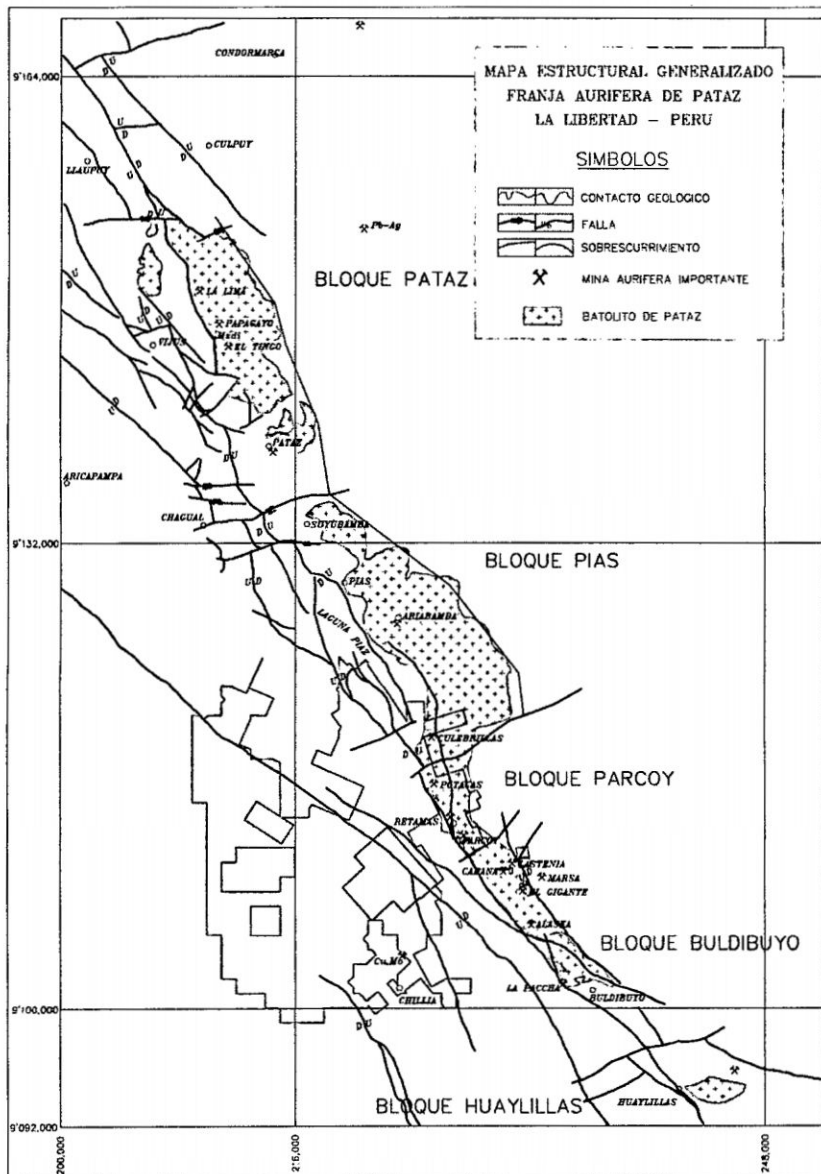
F3-CII CORTE TRANSVESAL BATOLITO DE PATAZ



### 2.3.1 MARCO TECTONO-ESTRUCTURAL

Regionalmente el área ha sido afectada por diferentes eventos tectónicos acaecidos en los últimos 320 M.a. dando como resultado una marcada complejidad estructural y fallamientos en Bloques. Bloque Huaylillas (Mina La Estrella), Bloque Buldibuyo (Minas de Marsa, Alaska, Gigante, etc), Bloque Parcoy (Minas de CMHSA (Bernabe, Golden, Rumpuy, Potacas, etc.), Bloque Pías (Minas Ariabamba y Culebrillas), Bloque Pataz (Minas de Poderosa, La Lima, Papagayo, El Tingo, etc.)

F4-CII MAPA ESTRUCTURAL GENERALIZADO FRANJA AURIFERA DE PATAZ



### **2.3.2 CARACTERISTICAS GEOLOGICAS DEL BLOQUE PARCOY**

El Batolito de Pataz, que alberga los principales clavos mineralizados, está conformado por rocas calcoalcalinas del Paleozoico superior, que intruyen a rocas del Complejo Marañón (al Este), e infrayace discordantemente a rocas sedimentarias clásticas del Mesozoico (al Oeste) y a rocas volcánicas continentales (al Este). Está controlado por un fallamiento de dirección andina (NW-SE), afectado posteriormente por sistemas estructurales de dirección antiandina (NE-SW) que estarían controlando bloques estructurales con mayor o menor grado de erosión. La revisión de las labores y las perforaciones diamantinas nos permiten indicar que se tienen 12 tipos de facies intrusivas, predominando la granodiorita, monzogranito y diorita.

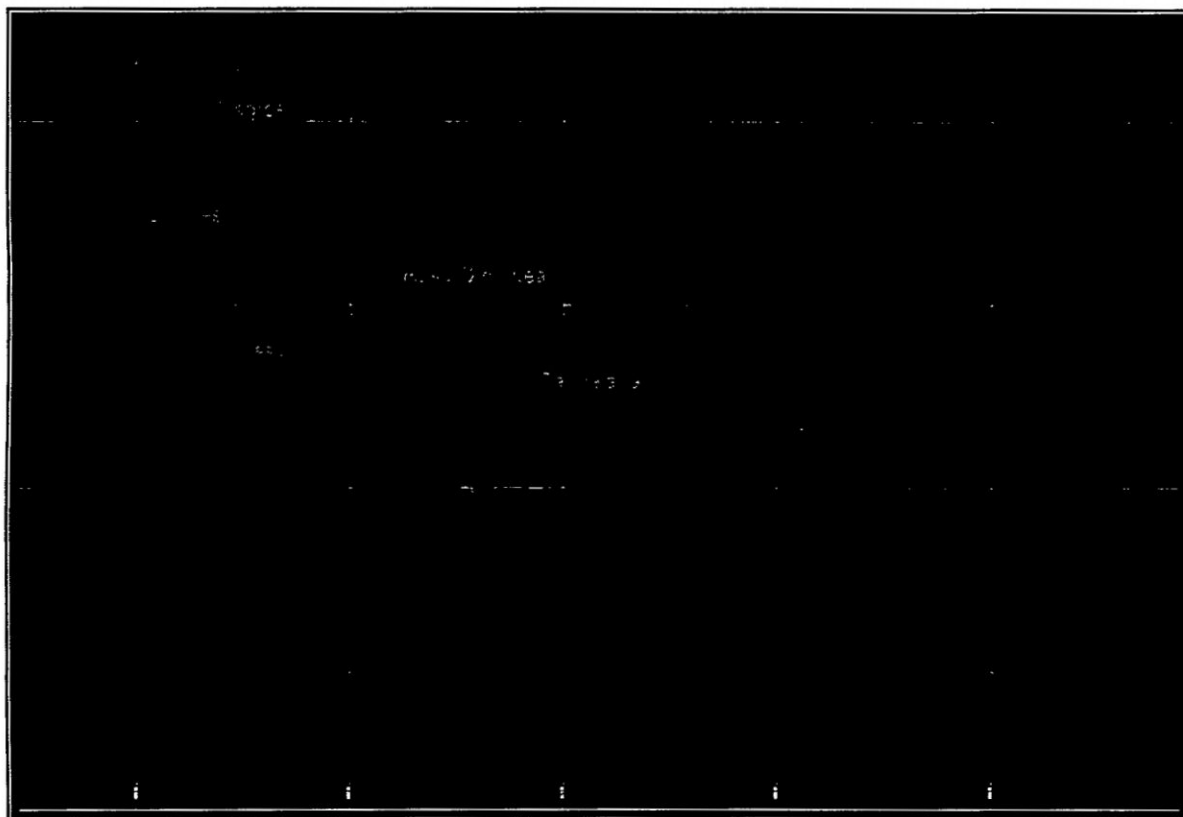
Las vetas presentan una dirección NW, reconociéndose tres sistemas principales de estructuras y fracturamiento premineral, de rumbo promedio N15°W paralelo al batolito, dentro de los cuales se desarrollaron vetas de cizalla, tensionales, splits y sigmoides:

Al Oeste: Estructura Sissy - Lourdes – Milagros

Al centro: Estructura Titos – Rosa Orquídea – Rosarito – Carmencita

Al Este: Estructura Candelaria - Encanto

## F5-CI UBICACIÓN DE CLAVOS MINERALIZADOS



### 2.3.3 CONTEXTO ESTRUCTURAL

Contacto-falla Oeste (Sed. Mesozoicos), Contacto-falla Este (Complejo Marañón, Volcánicos Lavasen), Estructuras (en "echellon", mega-cimoides, splits), Estructuras pre-mineralización con Vetas (NW-SE), Fallas post-mineralización NW-SE, E-W, NE-SW y NS.

Estructuras Mineralizadas:

Yacimiento mesotermal

Edad Mineralización 312-314 Ma Ar/Ar Sericita

4 "CLAVOS" (Zona Cizalla):

Milagros, Lourdes, Rosa-Orquídea, Candelaria

1 "CLAVO" mineralizado: Sissy

Vetas: 7 Km. long., 1.8 m ancho,

Clavos: 350 m long., 750 m profundidad, 1.8 - 2.5 m ancho.

Buzamiento: 35° - 90° E un promedio de 63° E.

Controles: Inflexiones en vetas. Milagros, Rosa-Orquídea, Split1 Candelaria

Uniones Split 2 - Candelaria y Lourdes - Split Lourdes.

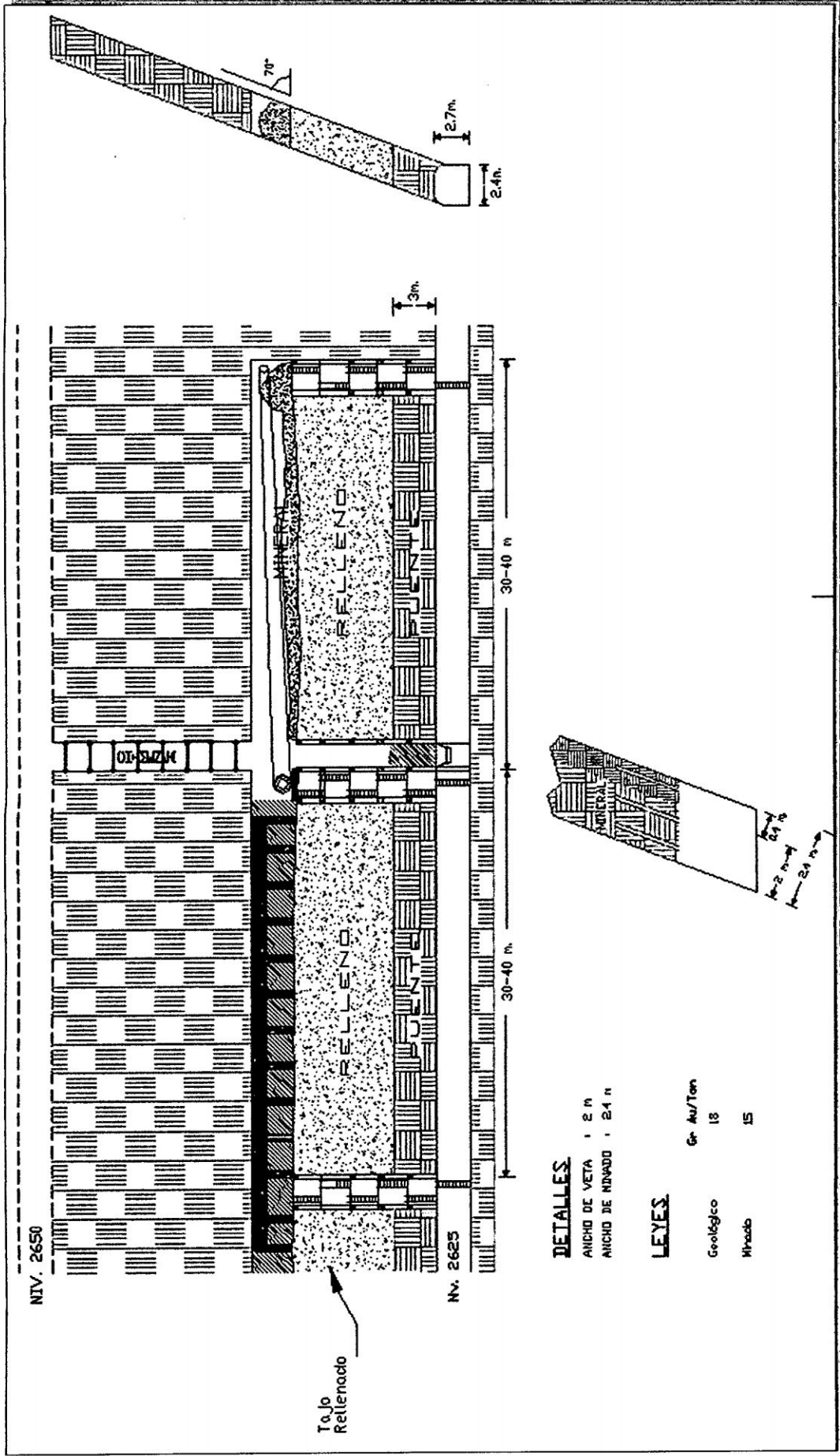
## **2.4 MÉTODO DE MINADO**

### **2.4.1 MÉTODO DE EXPLOTACIÓN - CORTE Y RELLENO ASCENDENTE**

Los bloques de mineral preparados para la explotación con corte y relleno ascendente convencional (C&RAC) son de 40m x 20m con estructuras mineralizadas (vetas) con potencias entre 0.60 m - 1.0 m y buzamiento entre 20° a 30° E. El inicio de la explotación es a partir del sub nivel base dejando un puente de 3m respecto a la galería principal. Se realiza una chimenea de preparación central que servirá como cara libre al realizar la explotación. Durante el avance ascendente se dejan pilares de 2m x 6m adyacentes a las chimeneas principales y un puente de 3m x 40m paralela a la galería los cuales son extraídos al final de la explotación.

A continuación presentamos el plano esquemático del método de explotación en corte y relleno ascendente.

F6-CII PLANO ESQUEMATICO DEL METODO DE EXPLOTACION CORTE Y RELLENO ASCENDENTE



## **CAPITULO III**

### **RELLENO HIDRÁULICO CON RELAVE**

#### **3.1 INTRODUCCIÓN**

Antes de profundizar el desarrollo de este tema, haremos referencia a la secuencia de preparación de tajos después de la limpieza, luego daremos a conocer los parámetros y variables que intervienen en esta investigación precisamente a las definiciones, esta especialidad de relleno hidráulico actualmente está de boga por que apoya definitivamente a la preservación del medio ambiente, para profundizar la investigación de este campo básicamente debemos conocer aspectos fundamentales de hidráulica o mecánica de fluidos, conminución de minerales, concentración por gravimetría, fluidos o transporte de fluidos, de esta manera tendremos una clara comprensión de lo que se está tratando, por otro lado se hará pruebas de análisis granulométricos para determinar la distribución óptima de tamaños de partículas y de esta forma tener una gradación granulométrica para efectos de cálculo.

De manera referencial describimos el ciclo de minado.

### **3.1.1 CICLO DE MINADO**

**3.1.1.1 PERFORACIÓN Y VOLADURA:** Como los cortes se realizan por rebanadas horizontales, la perforación se hace a lo largo del rumbo empleando las maquinas Jackleg BBC16 y BBC32 de ATLAS COPCO y SECO S250 de BOART LONGYEAR con barrenos cónicos de 2', 4' y 6'.

La voladura controlada es fundamental para evitar sobre rotura, crear condiciones inseguras en la labor y el menor consumo de madera para sostener, por eso en los taladros superiores se utilizan carrizos como espaciadores y taladros vacíos como pre corte.

**3.1.1.2 LIMPIEZA:** En la limpieza manual se utilizan las carretillas hasta el canal de rastrillaje en donde se encuentran los Winches eléctricos JOY de 7.5 HP, 10 HP y de 15HP con sus Scrapers de 28", 32" y 36" respectivamente.

**3.1.1.3 SOSTENIMIENTO:** Como sostenimiento temporal se utilizan los puntales de seguridad con plantillas y cuadros de madera con redondos de Ø 8" así como también los pernos de anclaje y los Split set con malla electro soldada.

Concluido con los cortes horizontales, se procede al barrido de finos y lavado de la labor. Los finos recuperados son llenados en sacos de rafia para su muestreo y posterior envío a planta.

Finalmente la labor es entregada al área de servicios generales para su respectiva preparación y programación de relleno hidráulico (de aquí en adelante "RH").

### **3.1.2 PRODUCCIÓN Y NECESIDADES DE RELLENO**

Se describe superficialmente el mecanismo de funcionamiento de la planta de relleno hidráulico (de aquí en adelante RH).

El relave de la planta concentradora es dirigido hacia la zona de recepción de la planta de relleno hidráulico donde se clasifica el material por cicloneo, eliminándose la fracción fina (Overflow). La fracción gruesa o underflow es depositada en dos silos de 350 metros cúbicos de capacidad que podrían cubrir las necesidades regulares de la mina por tres días. En la F29-CIII, se observa los dos silos receptores de material para relleno hidráulico y, en la parte superior, claramente se observa el hidrociclón de 15 pulgadas que recibe y clasifica el material de relaves que descarga la Planta Concentradora.

Para su utilización, el material depositado en los silos vuelve a ser mezclado con agua que se inyecta por la base de los silos y desde estos por gravedad, es dirigido hacia una tolva que se ubica bajo dos tanques, materiales que deben dosificarse en la misma tolva para pasar al tanque acondicionador.

El material de relave seleccionado recibe, de ser necesaria una cantidad adicional de agua para alcanzar la densidad predeterminada, mezclándose uniformemente en el acondicionador desde donde desciende hacia la bomba de pistones Feluwa.

**La densidad de la pulpa bombeada oscila entre 1.450 – 1.600 Kg/L,** tomadas empleando la balanza Mercy y el vaso de medida.

### 3.1.2.1 NECESIDADES DE RELLENO

Las cifras de la producción y necesidades de relleno actual, así como las de operaciones a niveles proyectados son las siguientes:

#### C1 - CIII PARAMETROS DE RELLENO (Fuente: CMHSA)

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD
Eficiencia del proceso de relleno	#	0.95
Factor de materia enviado a silos	#	0.85
Densidad del relleno depositado a Tajos	Ton /m3	1.45
Factor de Producción de Relaves de flotación	#	0.9
Producción del Underflow del ciclón	%	0.58
Factor de llenado en Tajeos	#	0.9
Días trabajados por mes	días	29
Peso específico mineral	Ton /m3	3.00
Aportes de Tajeos	%	0.85
Gravedad específica del relave clasificado	Ton / m3	2.66
Esponjamiento del relave depositado	%	83.45
Factor de velocidad flujo horizontal	#	1.30
Factor de velocidad flujo vertical ascendente	#	1.50

#### C2 - CIII NECESIDADES DE RELLENO (Fuente: CMHSA)

0. Producción diaria (TMS)	900	1,100	1,200	1,500
1. Producción Mensual (TMS):	26,100	31,900	34,800	43,500
2. Extracción de Tajeos (TMS): (1) x 0.85	22,185	27,115	29,580	36,975
3. Vacíos formado en Tajeos m <sup>3</sup> : (2) / 3	7,395	9,038	9,860	12,325
4. Relleno Hidráulico necesario (m <sup>3</sup> ): (3) x 0.9	6,656	8,135	8,874	11,093
5. Material clasificado para relleno (TMS)	13,624	16,652	18,166	22,707
6. Material enviado a silos de RH (TMS): (5) x 0.85	11,581	14,154	15,441	19,301
7. Capacidad de relleno (m <sup>3</sup> ): (6) x 0.95 / 1.45	7,587	9,273	10,116	12,645

Las minas se encuentran en un nivel de producción de 900 a 1,100 TMS diarias con proyección entre 1,200 y 1,500 TMS.

### **3.1.3 RASGOS CARACTERISTICOS DE LAS OPERACIONES**

Consortio ha operado en la región la mina por métodos convencionales de explotación horizontal y de transporte a base de rieles durante casi los 25 años.

Las zonas de explotación se ubican generalmente a distancias de más de 1,000 m. de las respectivas bocaminas, lugares a los que se accede a lo largo de las galerías abiertas en dimensiones adecuadas al tráfico de locomotoras a batería y carros mineros de un metro cubico de capacidad.

Las operaciones de explotación minera que están evolucionando notoriamente en el aspecto tecnológico se realizan en un terreno cuarcítico de mediano a bajo rango de estabilidad.

Dentro de su modernización las operaciones han adoptado avanzados sistemas de estabilización y refuerzo de terreno, empleando relleno hidráulico, utilizan herramientas avanzadas de excavación de galerías, chimeneas y tajeos, los cuales están siendo diseñados para la aplicación de métodos trackless, es decir, en los que se utiliza equipo montado sobre llantas.

#### **3.1.3.1 LA EXPLOTACIÓN Y RELLENO HIDRÁULICO**

Las operaciones que maneja el U.E.A Parcoy ha evolucionado en el mismo sentido que las empresas nacionales más solventes de la mediana minería. Como todas ellas, el U.E.A Parcoy encontró en el relleno hidráulico el medio para sustituir eficientemente el complicado proceso de relleno con material detrítico o de voladura.

En su objeto por establecer un eficaz servicio aparente a su problemática, el Consorcio construyó una planta de relleno hidráulico, planta que

implementó con una bomba de pistones y dotó de las más modernas herramientas.

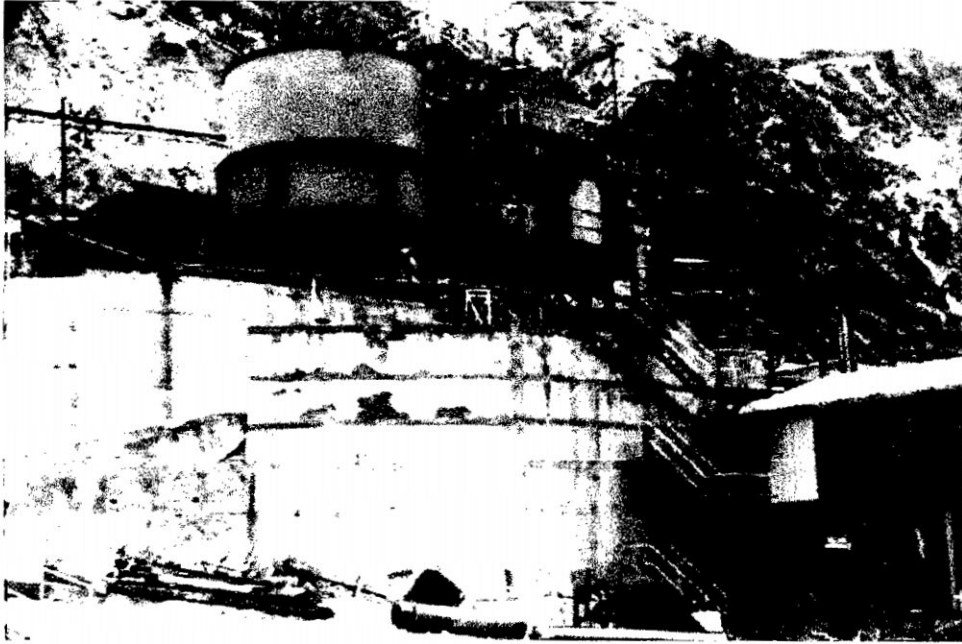
En la F1 - CIII muestra panorámicamente la Planta de Relleno Hidráulico, desde los silos en la parte superior hasta el edificio de la bomba Feluwa que se ve en la parte inferior al lado derecho.

El asunto de la aplicación del relleno hidráulico en las minas del consorcio es en todo los casos un complejo reto. Cuando los tajeos se explotan en vetas estrechas el trabajo de preparación siempre es meticuloso y requiere de instalación de líneas para rellenar reducidos volúmenes en la F2 - CIII se observa el trabajo de colocación de las malla filtrante (poli yute).

El problema es mayor cuando se explota tajeos de veta ancha; pues en estos casos el terreno exige armado de cuadros en una práctica que opinamos debe ser mejorada utilizando los elementos estándares. En el proceso actual debe hacerse preparaciones especiales para rellenar cada uno de los conjuntos longitudinales de cuadros, ya que aumenta la inestabilidad cuando se amplía el área por el intento de completar la explotación de un piso.

En el lado derecho de la F3-CIII se ve la malla poliyute de relleno completado de una fila de cuadros, tarea que ahora es imprescindible realizar para poder alcanzar precarias condiciones de estabilidad de manera que se proceda a explotar la nueva fila. A la izquierda de la misma F3-CIII se ve un poste ya parado para armar el cuadro correspondiente.

**F1-CIII** *Vista integral de la Planta de Relleno Hidráulico del Consorcio en la Unidad Minera Parcoy. Al extremo izquierdo están los tanques de agua seguidos de los silos de material de relleno. Abajo a la derecha, la casa de la Bomba Feluwa.*



**F2-CIII** *Colocación de poliyute que hace el papel de malla filtrante, tarea especial que debe realizarse correctamente para evitar la fuga de material sólido.*



**F3 - CIII** *Difícil tarea de avance con cuadros preparados artesanalmente, método con que ese material no consigue sostener adecuadamente, debiéndose utilizar elementos completos de cuadros estándar para mejorar la estabilidad, hacia un lado se ve el poliyute en una fila rellena.*



Uno de los elementos característicos de la instalación minera en rieles que mas limita la aplicación de los recursos modernos consiste en la estrechez de la sección de las galerías y la inapropiada instalación de las líneas de servicios que resultan ser afectadas por efecto de la operación de las nuevas máquinas.

### **3.2 PROPIEDADES FÍSICAS DEL RELAVE**

Para un mejor entendimiento, se incluye cuadros de análisis de mallas, el relave actual de la concentradora formado en un 48% de cuarzo y sílice, y sus similares lleva una molienda del orden de los 50 – 55% malla 200, material muy fino para emplearse en rellenos hidráulicos, por lo tanto es necesario eliminar los finos .

### **3.2.1 CARACTERISTICAS DEL MATERIAL**

El material de los relaves de la planta concentradora está constituido por una importante proporción de minerales y rocas de alto contenido de sílice. La fracción gruesa clasificada por cicloneo está formada, de acuerdo a su propia constitución, por arenas de alta dureza, característica que debe ser particularmente considerada para los fines de diseño de modo que los conductos de relleno hidráulico no sean afectados excesivamente a causa de la abrasión.

El mineral es de una gravedad específica de 3.0 mientras que el relave clasificado es de 2.66 de arenas cuarcíferas que se emplazan como relleno a una densidad in-situ de 1.45 Kg/L, lo que significa que el esponjamiento del material sólido de relleno al emplazarse en su lugar de destino es de 83% de su volumen original.

### **3.2.2 DISTRIBUCIÓN GRANOLUMETRICA DE RELAVES**

A partir de este ítem se realizarán cálculos más analíticos tanto en los análisis granulométricos, así como en sus pruebas mismas para determinar la distribución más óptima del tamaño de las partículas, de tal forma que contenga mayor cantidad de partículas gruesas y tenga un buen coeficiente de permeabilidad con una mayor velocidad de percolación que es lo que se busca en este trabajo, con fines de comparación de análisis granulométricos representaremos varios cuadros de distribución, ejecutándose la clasificación con varios hidrociclones como parte referencial y la selección del hidrociclón óptimo.

En el C3-CIII presentamos la distribución granulométrica del alimento al hidrociclón, es decir el relave de entrada hacia el hidrociclón producto de la

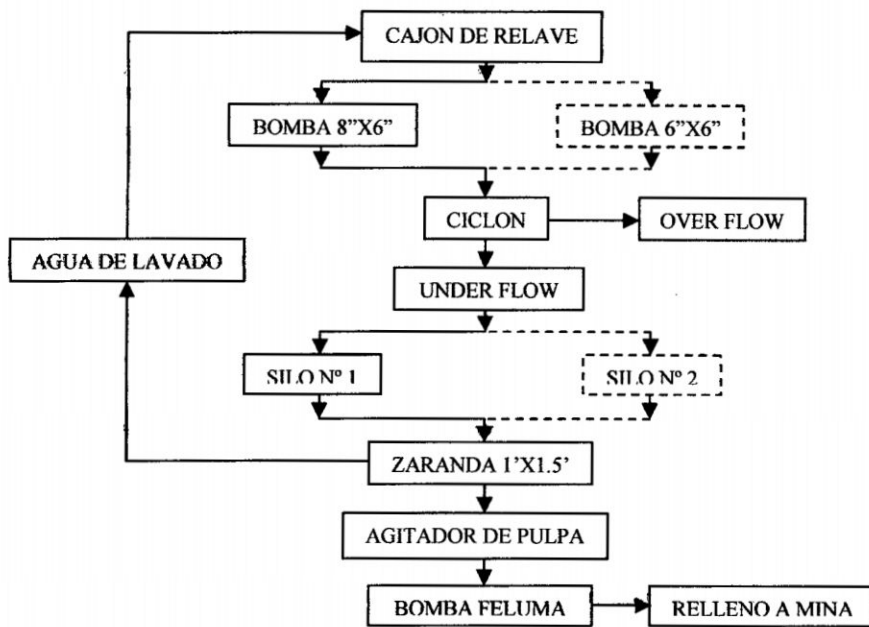
concentración de minerales de la planta de tratamiento de minerales, debemos diferenciar los tipos de distribución de partículas una de entrada hacia el hidrociclón que es la distribución granulométrica adecuada del tratamiento de minerales, y otra la clasificación misma para el relleno hidráulico.

**C3 – CIII ALIMENTO A HIDROCICLÓN DE LA PLANTA DE RELLENO (Fuente: CMHSA)**

PARAMETROS	UNIDADES	VALOR
Tiempo de operación	Horas / día	24
Sólidos para alimento al Hidrociclón	Toneladas métricas secas / hora	49.5
	Toneladas métricas secas / día	1,187
Gravedad Especifica de los Sólidos		2.70
Porcentaje de Sólidos	%	38.6
Densidad de Pulpa	Gramos / Litro	1,321
Flujo de Pulpa	Metros Cúbicos / hora	97
Granulometría Acumulado Passing		
Malla 40	%	99.8
Malla 50	%	98.9
Malla 70	%	93.0
Malla 100	%	81.1
Malla 140	%	68.3
Malla 200	%	55.4
Malla 270	%	45.1
Malla 400	%	38.3
Malla 500	%	30.1

Para tener mejor comprensión al respecto presentamos el Flow sheet de la Planta de R.H (Ver Plano N° 02), asimismo a continuación ilustramos el diagrama de flujo del proceso de relleno hidráulico en el siguiente diagrama:

**F4 - CIII FLOW CHART PLANTA DE RELLENO HIDRÁULICO (Fuente: CMHSA)**



El cajón de relaves es el área donde se almacena el relave producto del tratamiento de minerales, desde este punto impulsan el material mediante dos bombas centrífugas el hidrociclón donde este clasifica las partículas apropiadas para el relleno hidráulico, la serie de mallas utilizadas es el ASTM, TYLER los cuales son secuencia de mallas de distribución de partículas, cabe recalcar de manera referencial que la distribución de partículas para el tratamiento de minerales se realiza con el método de GATES GAUDIN SCHUHMANN (Ver C4-CIII, C5-CIII y C6-CIII).

Como se mencionó anteriormente la clasificación del ciclón se realizan en la separación de partículas de acuerdo a la secuencia de mallas por porcentajes, para lograr una buena clasificación se harán regulaciones tanto en el ápex como el vórtex en el diámetro de los mismos y así de esta, manera lograr la mayor cantidad de partículas de granulometría adecuada en la malla 200 en el mayor porcentaje posible para lograr una buena velocidad de percolación del material de relleno, luego de este proceso el material clasificado es depositado en dos silos de 350 metros cúbicos de

capacidad, capacidad de almacenamiento suficiente para el almacenamiento de relleno para unos tres días según requerimiento de relleno hidráulico de mina, pasando al siguiente proceso del área de zarandeo de 1'x1.5' activado por un motor de 30 Hp donde clasifica por cuestión de seguridad el material de cierto materiales extraños que podrían haber ingresado hacia los silos de almacenamiento, luego este material ingresa hacia la cámara de agitación de pulpas accionado por un motor de 25 Hp, esta cámara tiene la finalidad de homogenizar la pulpa de acuerdo a la densidad apropiada para el relleno en los tajos, como parte del proceso de lodización a continuación se define.

### **3.2.3 PROCESO DE LODIZACION**

Llamado también adición de la fase líquida. Tiene por finalidad la formación de lodo o pulpa mediante la adición del agua, cuyo volumen será función del material a transportarse.

En general, el proceso de lodización se efectúa en un agitador donde los sólidos son mezclados con el agua. En el caso de concentrados de hierro y asfalto se emplean chorros de agua a alta velocidad sobre el material.

El lodo formado podrá ser clasificado en homogéneo o heterogéneo dependiendo del tamaño y gravedad específica de las partículas sólidas.

#### **3.2.3.1 LODO HOMOGÉNEO**

Es este caso el lodo se comporta como un fluido plástico de Bingham, es decir que el agua ve afectadas sus propiedades por la presencia de sólidos.

Ejemplos: arcillas, lodos de alcantarillado, óxido de torio, etc.

### 3.2.3.2 LODO HETEROGÉNEO

Mezcla en la cual el líquido conserva su individualidad, es decir que el líquido y las partículas sólidas se comportan independientemente.

Ejemplos: arenas, concentrados de minerales, relaves, etc.

Luego de haberse agitado bien la pulpa en el proceso de lodización, este pasa hacia la bomba impulsora de pistones de marca Feluwa, y que desde este punto el relleno hidráulico va hacia los tajos.

### 3.3 FUNCION DE DISTRIBUCION DE PARTICULAS POR TAMAÑOS EN LA ALIMENTACIÓN A LA ETAPA DE CONCENTRACIÓN DE MINERALES

#### FUNCIONES DE DISTRIBUCIÓN POR TAMAÑOS GATES GAUDIN SCHUMANN

##### FUNCIÓN DE GATES - GAUDIN - SCHUMANN

FUNCION GGS %Ac(-) = 100 (X/Xo)^S

X = Tamaño de partícula cobertura de malla en micrones

Xo = Tamaño máximo de partícula de la distribución en micras

S = Constante

Log %Ac(-) = log 100 (X/Xo)^s

Linealizando

Log %Ac(-) = Slog X + log(100/Xo^s)

y = bx + C

Log %Ac(-) = Log %Ac pasante

s = Pendiente de la recta

log X = log de la abertura de malla

log (100/Xo^s) = Punto de intersección de la recta con el eje de las ordenadas

#### C4 - CIII CUADRO DE DISTRIBUCIÓN GRANULOMETRICA – SERIE TYLER

SERIE TYLER		PESO RET. ( g )	% Peso	% Ac(+) Retenido	% Ac (-) Pasante
MESH	MICRAS (μ)				
4	4750	0.80	0.16	0.16	99.84
6	3350	1.30	0.26	0.42	99.58
10	1680	2.25	0.45	0.87	99.13
14	1400	6.70	1.34	2.21	97.79
16	1180	4.20	0.84	3.05	96.95
18	1000	6.30	1.26	4.31	95.69
20	850	6.95	1.39	5.70	94.30
30	600	24.60	4.92	10.62	89.38
40	425	39.30	7.86	18.48	81.52
50	300	83.55	16.71	35.19	64.81
70	212	123.15	24.63	59.82	40.18
100	150	40.15	8.03	67.85	32.15
150	105	47.10	9.42	77.27	22.73
200	74	28.35	5.67	82.94	17.06
-200		85.30	17.06	100.00	0.00
		500.00	100.00		

Nº Lectura (N)

14

**C5 - CIII CUADRO DE ELABORACION DE MATRICES PARA LA DETERMINACION DE LA PENDIENTE (s), LA CONSTANTE (a), Y EL COEFICIENTE DE CORRELACION (r)**

X : Abertura (um)	% Ac(-) y	X :[Log X]	Y :[Log % Ac(-)]	XY	X^2	Y^2
4750	99.84	3.677	1.999	7.351	13.518	3.997
3350	99.58	3.525	1.998	7.044	12.426	3.993
1680	99.13	3.225	1.996	6.438	10.403	3.985
1400	97.79	3.146	1.990	6.262	9.898	3.961
1180	96.95	3.072	1.987	6.102	9.436	3.946
1000	95.69	3.000	1.981	5.943	9.000	3.924
850	94.30	2.929	1.975	5.784	8.581	3.899
600	89.38	2.778	1.951	5.421	7.718	3.807
425	81.52	2.628	1.911	5.024	6.908	3.653
300	64.81	2.477	1.812	4.488	6.136	3.282
212	40.18	2.326	1.604	3.731	5.412	2.573
150	32.15	2.176	1.507	3.280	4.735	2.272
105	22.73	2.021	1.357	2.742	4.085	1.840
74	17.06	1.869	1.232	2.303	3.494	1.518
<b>Sumatorias</b>		<b>38.8510</b>	<b>25.300</b>	<b>71.912</b>	<b>114.211</b>	<b>46.650</b>

NΣXY	1078.678	a=log(100/x0^s)	<b>0.6069</b>
ΣXΣY	1022.598	s=b	<b>0.4325</b>
NΣX^2	1713.166	log100/X0^s	<b>0.6069</b>
(ΣX)^2	1633.711	r	<b>0.8901</b>
ΣX^2ΣY	2889.520		
ΣXΣXY	2906.619	Log %Ac(-) = Slog X + log(100/Xo^s)	
NΣY^2	699.747		
(ΣY)^2	640.081	y = bx + C	

Tamaño promedio part (xprom)= (Xo\*S)/(S+1)

La ecuación de la recta será Y= 0.6069 + 0.4325\*logx

Cálculo de Xo^S, según ecuación a=log (100/Xo^S)

Xo=(100/10<sup>a</sup>)^(1/s)

Xo = **1375.848843**

**C6 - CIII CORRECCIONES POR MINIMOS CUADRADOS.**

X : Abertura de la malla (um)	% Ac(-) Corregido	Log X	Log %Ac(-) Corregido
4750	239.78	3.677	2.380
3350	187.40	3.525	2.273
1680	115.14	3.225	2.061
1400	101.24	3.146	2.005
1180	89.73	3.072	1.953
1000	79.84	3.000	1.902
850	71.18	2.929	1.852
600	55.67	2.778	1.746
425	43.64	2.628	1.640
300	34.13	2.477	1.533
212	26.71	2.326	1.427
150	20.93	2.176	1.321
105	16.27	2.021	1.211
74	12.71	1.869	1.104

### **3.4 CLASIFICACIÓN DE RELAVES PARA RELLENO HIDRÁULICO**

#### **3.4.1 INTRODUCCIÓN**

Ahora procederemos a efectuar pruebas de análisis granulométricos probando con varios hidrociclones, variando el diámetro de los ápex y vórtex de 1.5 a 3.5 pulgadas en ambos casos, de tal forma se obtenga un buen porcentaje de partículas gruesas que es lo que se busca en el material de relleno, con la finalidad de obtener una buena velocidad de sedimentación y percolación, en términos resumidos se trata de mejorar la calidad del producto clasificado con propósitos de relleno, casi a menudo uno de los problemas que se presenta es la cantidad de lama que va con el material de relleno, y que evacuan luego por los afluentes de la mina, otro problema es la demora en la percolación del agua, y otro final es la cantidad de material recuperado para relleno que anteriormente mencionamos.

Para ello se efectuaron muestreos sucesivos de todos los productos de clasificación y procesamiento respectivo de cada muestra, se realizaron pruebas con diversas variables de forma repetitiva, de modo que pueda hacerse trabajo estadístico con ellas y pueda comprobarse por redundancia las tendencias de comportamiento. En el caso de la percolación, se utilizó un método desarrollado en el Laboratorio Metalúrgico para determinar el Coeficiente de Permeabilidad como valor relativo a nivel de laboratorio, estableciéndose que los coeficientes mayores que los determinados para el hidrociclón de uso habitual (15" vertical), tienen mejor percolación. Asimismo, en este reporte se denomina partículas finas a las que se ubican por debajo de 200 ó 400 mallas, porque implican medida indirecta de las partículas más finas o lamas que disminuyen la velocidad de percolación. Tomando en cuenta trabajos anteriores, se considera que las partículas en

el rango de 400 mallas, no traban la percolación, sino las lamas por debajo de 10 micrones, que están presentes en lo que genéricamente se denomina fracciones -200 ó -400 mallas.

### **3.4.2 OBJETO DE ESTUDIO**

Establecer el mejor equipo para clasificar los relaves de flotación y obtener un buen producto de Underflow para relleno hidráulico, basado en conceptos de percolación y cantidad de producto para relleno.

### **3.5 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL**

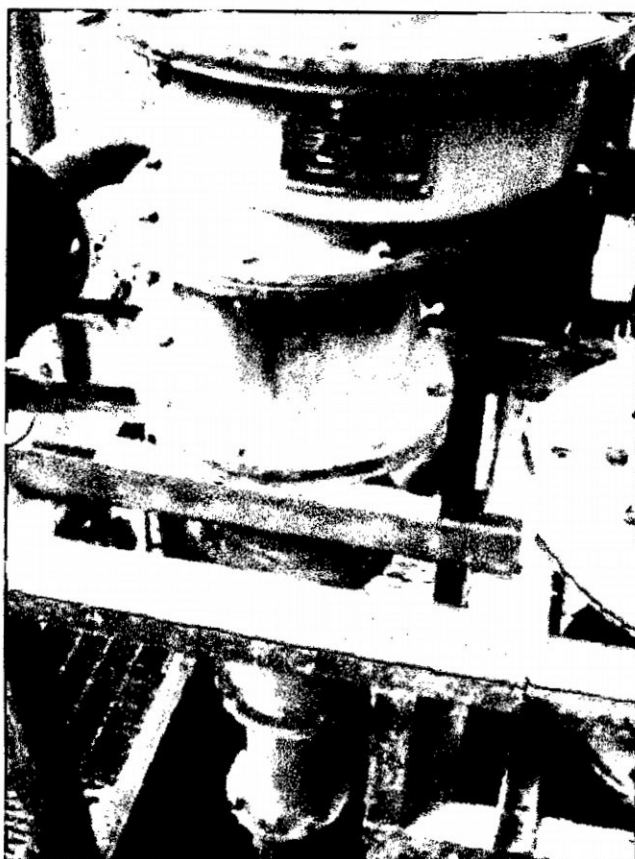
Las pruebas se hicieron en la planta de relleno hidráulico y las muestras tomadas, fueron procesadas en el laboratorio metalúrgico los que fueron facilitados para el manejo estadístico.

#### **3.5.1 EQUIPOS DE PRUEBA**

Se realizarán pruebas haciendo algunos arreglos en los hidrociclones, el hidrociclón de uso habitual es de 15" inclinado, se harán pruebas con tres tipos de hidrociclones, el hidrociclón ya mencionado, el otro del tipo Krebs 10 pulgadas de diámetro, y finalmente el otro hidrociclón de muestra es de marca Krebs de tipo g-max 10 pulgadas. (Ver característica en Anexo N° 01)

Cabe recalcar que inicialmente en el montaje de la planta de relleno hidráulico hubieron deficiencias claras en operación como la baja velocidad de percolación, si observamos en las figuras, el hidrociclón se encuentra montado sobre los silos de almacenamiento, para efectos de prueba se tuvieron que instalarse en posiciones inclinadas, horizontal y ubicadas en otro punto.

F5-CIII HIDROCICLÓN G-MAX Ø 10"



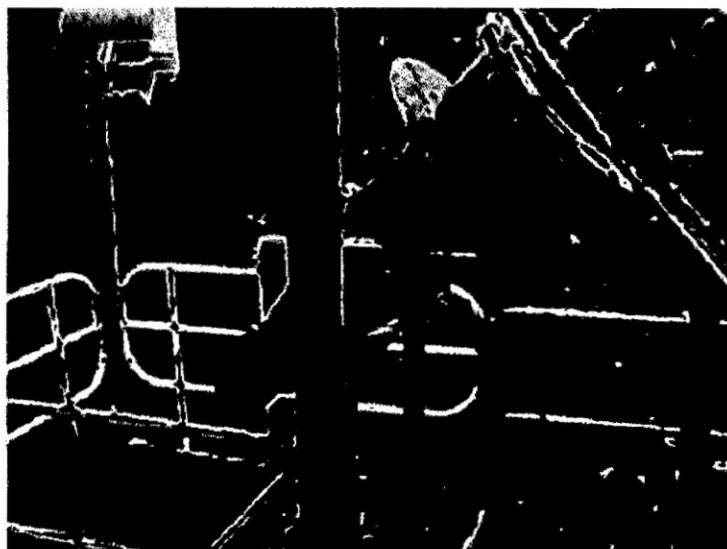
F6-CIII HIDROCICLÓN Ø15" INCLINADO 10° CON RESPECTO A LA HORIZONTAL



**F7-CIII HIDROCICLÓN DE Ø 15" INCLINADO 22.5° CON RESPECTO A LA HORIZONTAL.**



**F8-CIII HIDROCICLÓN DE Ø15" INCLINADO 45° CON RESPECTO A LA HORIZONTAL**



Incluyendo a esto también se utilizaron equipos de laboratorio, que son materiales básicos de laboratorio químico.

A continuación presentamos las calibraciones de los orificios del ápex y vórtex en diferentes diámetros que mostramos en el cuadro adjunto, y ángulos con respecto a la horizontal, se hicieron más de 134 pruebas con diversos hidrociclones y parámetros evaluados.

**C7-CIII APEX Y VORTEX, ANGULOS CON RESPECTO A LA HORIZONTAL** (Fuente: CMHSA)

HIDROCICLONES	ANGULO	Ø VORTEX (Pulg)	Ø APEX (Pulg)
D - 10	VERTICAL	3.0	1.00
			1.50
		3.5	1.00
			1.50
D - 15	VERTICAL	3.8	1.50
			1.75
			1.80
		5.8	1.50
			1.75
			1.80
D - 15	45°	3.8	1.50
			1.80
		5.8	1.50
			1.80
D - 15	22.5°	3.8	1.50
			1.80
		5.8	1.50
			1.80
D - 15	10°	3.5	1.50
			1.50
		3.8	1.80
			1.50
gMAX	VERTICAL	3.0	1.00
			1.50
			2.00
		3.5	1.00
			1.50
			2.00

*Prueba con distintos hidrociclones, con diferentes ángulos, y variados diámetros en el apex y vortex*

### 3.5.2 DISPOSICIÓN DE EQUIPOS DE PRUEBA

En el lugar del ciclón D-15 en stand by, se ubicaron los ciclones D-10, D-10 GMAX, y el mismo D-15 inclinado. Estos equipos están dispuestos montados sobre una estructura metálica existente, y para los ciclones D-10 y D-10 GMAX se fabricaron entradas que provenían de un distribuidor cerrado donde se ubicaba el manómetro.

En la tabla siguiente se muestra pruebas realizadas con los hidrociclones por arreglo de equipo y número de prueba

**C8-CIII NÚMERO DE PRUEBAS EN FUNCIÓN A VARIADOS ANGULOS, CON DIFERENTES DIAMETROS EN EL APEX Y VORTEX (Fuente: CMHSA)**

HIDROCICLON	PRUEBAS M
<b>10" ø</b>	
Apx 1.0"; Vtx 3.0"	12,13,95,97,101,103,105
Apx 1.0"; Vtx 3.5"	22
Apx 1.5"; Vtx 3.0"	87,89,91,93
Apx 1.5"; Vtx 3.5"	17,18,19,20,79,80,99
<b>15" ø Vertical</b>	
Apx 1.5"; Vtx 3.8"	1,50,51,64,65,81,82,83
Apx 1.5"; Vtx 5.8"	5,60
Apx 1.8"; Vtx 5.8"	7,9,10,11
<b>15" ø Inc:10°</b>	
Apx 1.5"; Vtx 3.5"	94,96,98,100,102,104
Apx 1.5"; Vtx 3.8"	85,88
Apx 1.5"; Vtx 5.8"	84,86
Apx 1.8"; Vtx 3.8"	90,92
<b>15" ø Inc:22.5°</b>	
Apx 1.5"; Vtx 3.8"	75,76
Apx 1.5"; Vtx 5.8"	68,69
Apx 1.8"; Vtx 3.8"	66,73,74
Apx 1.8"; Vtx 5.8"	67,70,71,72
<b>15" ø Inc:45°</b>	
Apx 1.5"; Vtx 5.8"	54,55
Apx 1.8"; Vtx 3.8"	61
Apx 1.8"; Vtx 5.8"	56,57
<b>GMAX 10"</b>	
Apx 1.0"; Vtx 3.0"	37
Apx 1.0"; Vtx 3.5"	46,47,77,78,106,107,108,109,110,111,112,113,114,115,116,117
Apx 1.5"; Vtx 3.0"	27,31
Apx 1.5"; Vtx 3.5"	23,25,26,48,118,119,120,121,122,123,124,125
Apx 2.0"; Vtx 3.0"	32,34
Apx 2.0"; Vtx 3.5"	43,44,45,49,126,127,128,129,130,131,132,133,134
Apx 2.5"; Vtx 3.0"	35,36

### 3.5.3 PREPARACIÓN DE MUESTRAS

Las muestras fueron llevadas en balde de la planta de RH al laboratorio, allí fueron pesadas y se determino el volumen de pulpa.

Luego la pulpa fue filtrada y pesada en seco. Una porción de 500 g, se utilizó para la determinación granulométrica por húmedo y ro tap. La porción restante sirvió para determinar la gravedad específica y hacer pruebas de percolación en el caso del underflow.

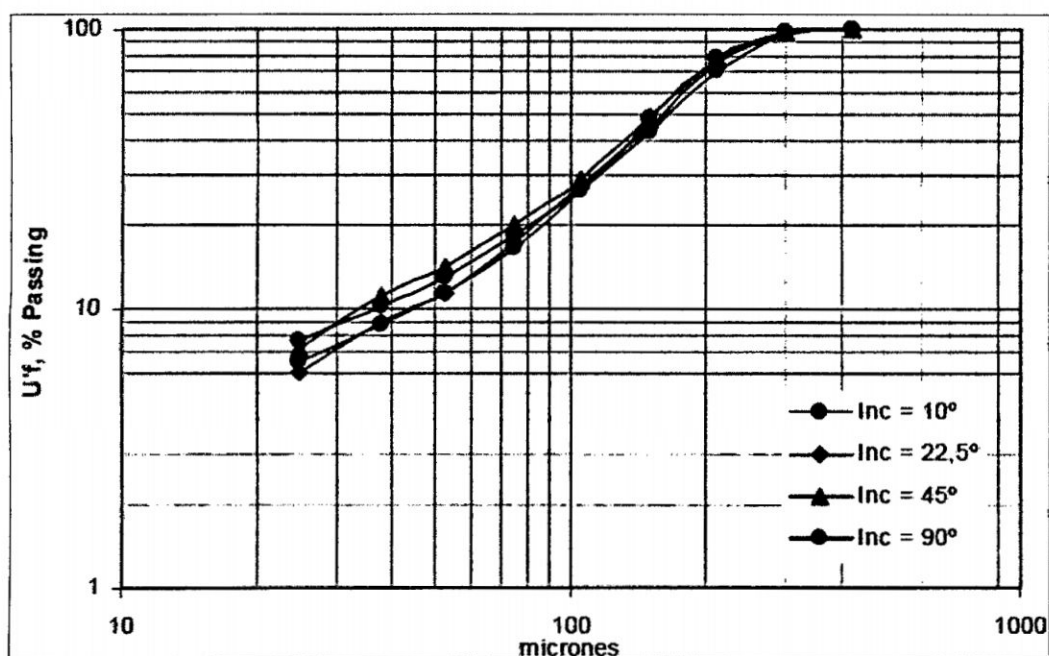
### 3.6 CLASIFICACIÓN DE PARTÍCULAS EN HIDROCICLONES

#### 3.6.1 CLASIFICACIÓN EN EL HIDROCICLÓN D-15

A una inclinación de  $10^\circ$  la densidad de pulpa llega hasta 1,880 g/L, siendo en posición vertical entre 1,668 – 1,786 g/L. sin embargo, el efecto principal de la inclinación es la disminución del desplazamiento de los finos al underflow F9 - CIII es decir que hay variaciones en la clasificación del hidrociclón con respecto al ángulo de inclinación.

En el diagrama siguiente F9 - CIII, podemos observar el comportamiento de la clasificación con respecto al ángulo de inclinación del clasificador.

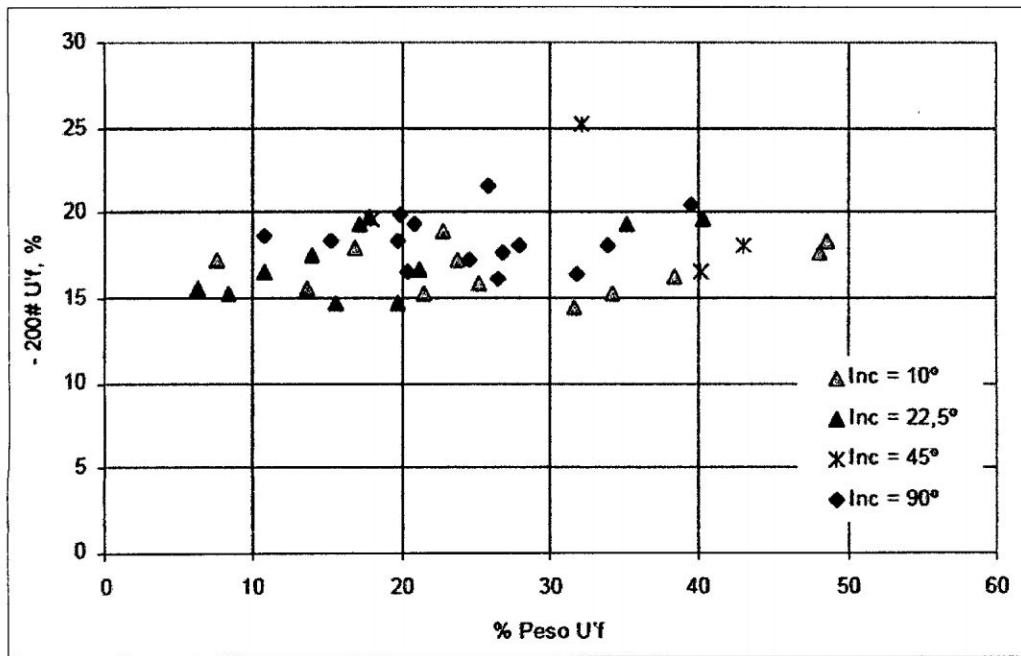
#### F9-CIII CLASIFICACIÓN DE PARTICULAS SEGÚN ANGULO DE INCLINACIÓN



Y el de la F10 - CIII, vemos el desplazamiento de las partículas finas -200# al underflow por efecto de la inclinación del hidrociclón D-15.

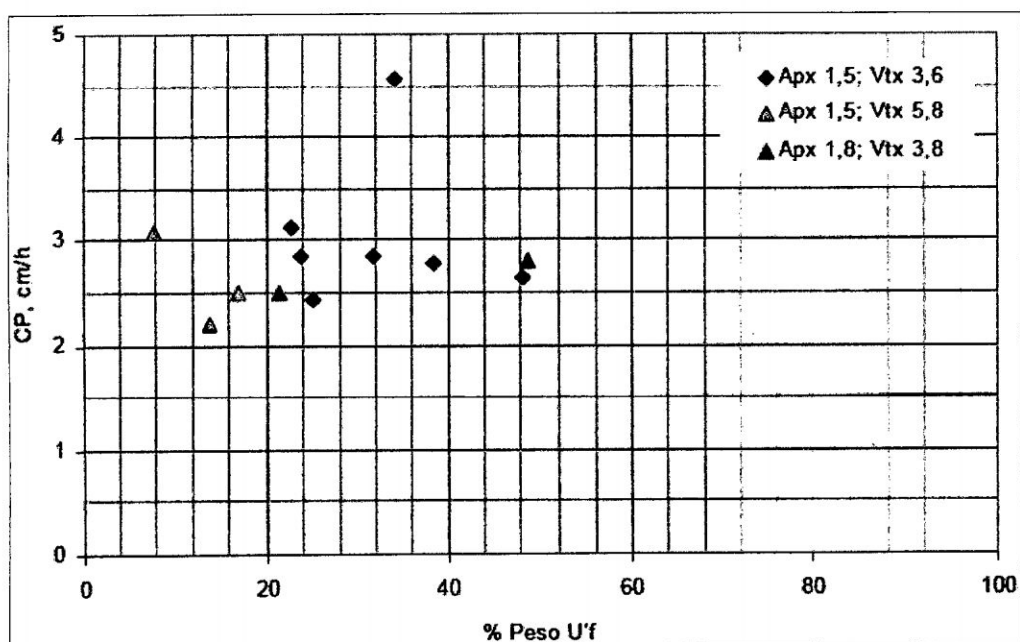
Ver análisis granulométricos de los hidrociclones en (Anexo N° 02)

**F10-CIII DESPLAZAMIENTO DE PARTICULAS FINAS MALLA -200 HACIA UF**

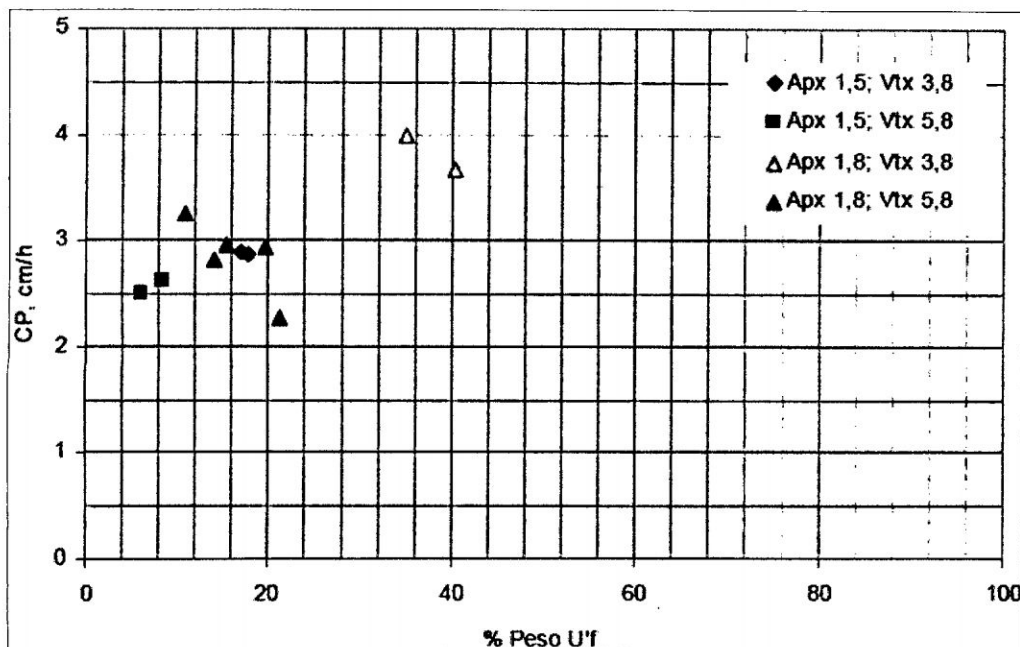


Se puede establecer que la inclinación del hidrociclón con respecto a la horizontal entre 10 y 22.5° ayuda a incrementar el C.P con una recuperación de underflow entre 10 y 40%, en rango más amplio que los obtenido con el hidrociclón en posición vertical, 20 – 35%.

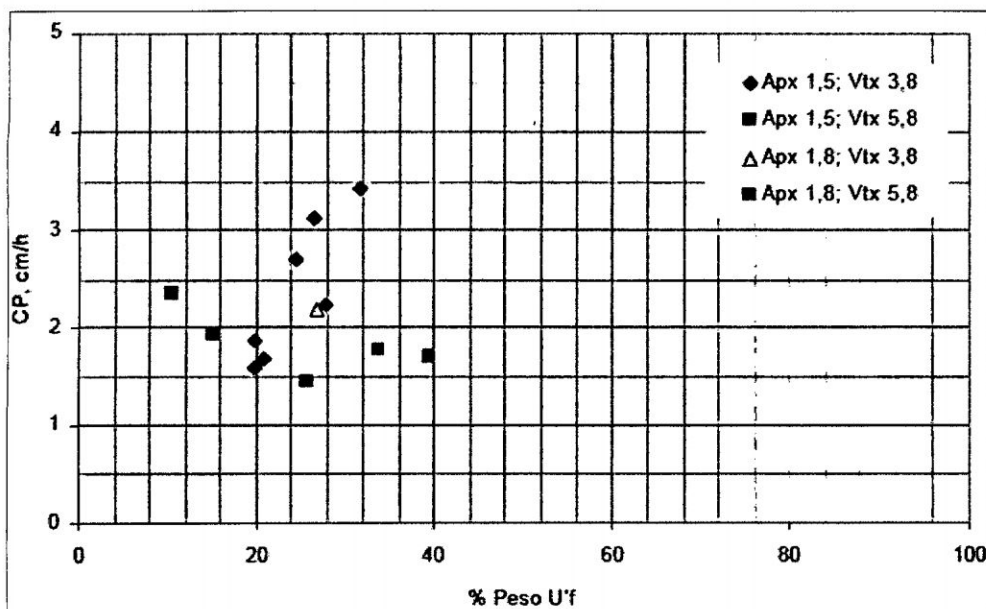
**F11-CIII D-15 INCLINACIÓN 10° VARIACIÓN DEL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD COMO FUNCIÓN DEL PESO RECUPER. EN EL UNDERFLOW**



**F12-CIII D-15 INCLINACIÓN 22.5° VARIACIÓN DEL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD COMO FUNCIÓN DEL PESO RECUPERADO EN EL UNDERFLOW**



**F13-CIII D-15 POSICIÓN VERTICAL VARIACIÓN DEL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD COMO FUNCIÓN DEL PESO RECUPERADO EN EL UNDERFLOW**



**Observación**

La variación de los diámetros de los ápex y vórtex interviene más que nada en la cantidad de underflow a obtenerse, pero no influyen en el coeficiente de permeabilidad.

En el caso de este hidrociclón sería operar a  $10^\circ$  de la horizontal, para que produzca coeficientes de permeabilidad de 2.5 a 3.0 con una recuperación en underflow entre 20 y 40 %, resaltamos que el ápex tendría un diámetro de 1.5" y el vórtex 3.5".

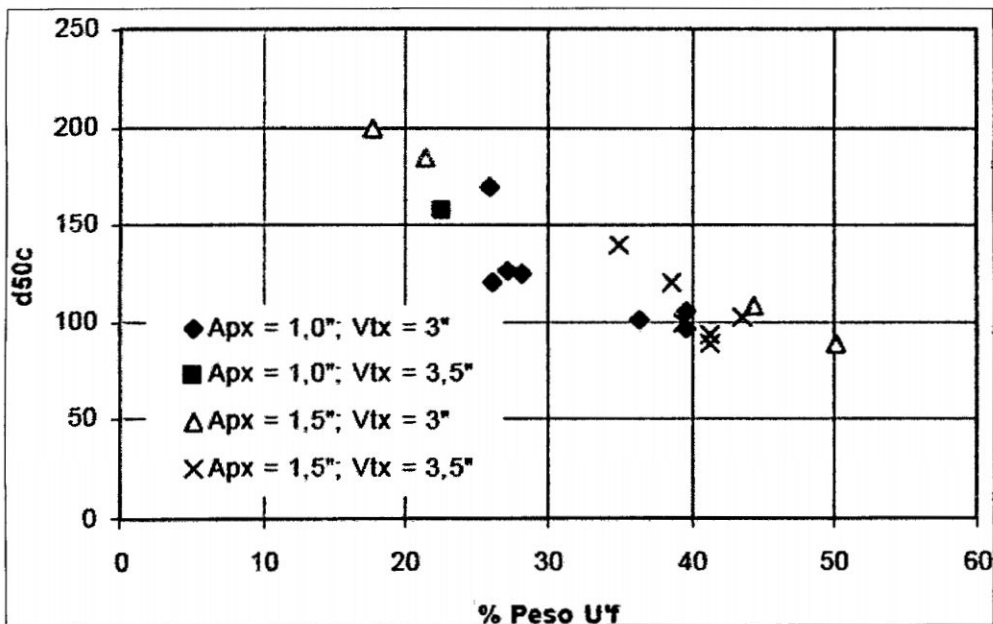
### 3.6.2 CLASIFICACIÓN EN EL HIDROCIKLÓN D-10

Como en los demás casos el objetivo es buscar un abundante underflow con buen coeficiente de permeabilidad, como mencionamos anteriormente las variables principales en el hidrociclón son el ápex y el vórtex, es decir las combinaciones entre 1 y 1.5 pulgadas y vórtex de 3 a 3.5 pulgadas.

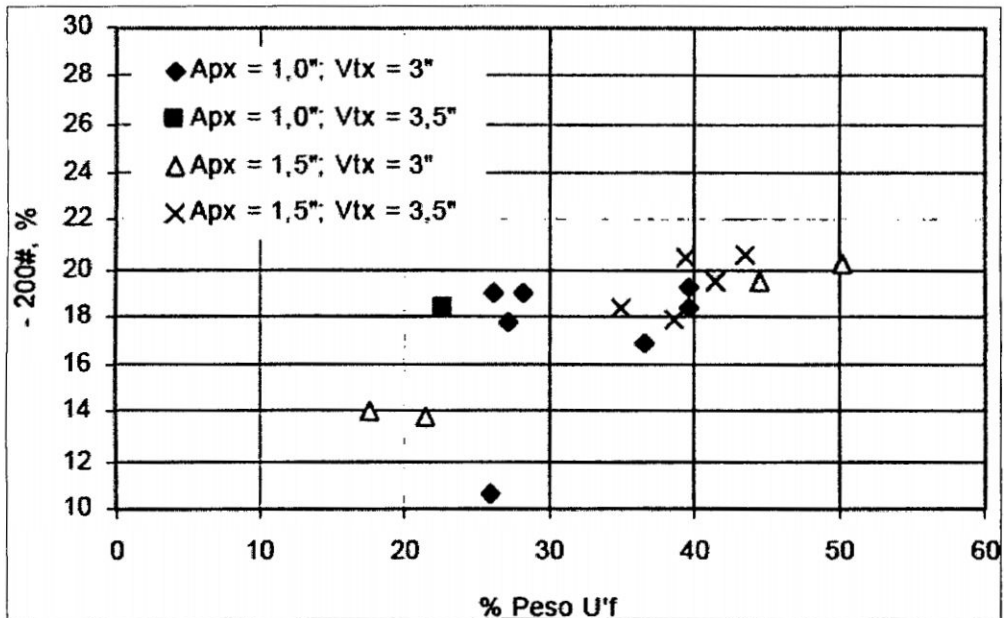
#### Observación

Este hidrociclón no se inclinó por que en equipos de poco diámetro y poca longitud la inclinación no influye en la clasificación de partículas.

**F14-CIII D-10 VARIACIÓN DE LA FINEZA DE CLASIFICACIÓN CON LA CANTIDAD DE UNDERFLOW OBTENIDO.**

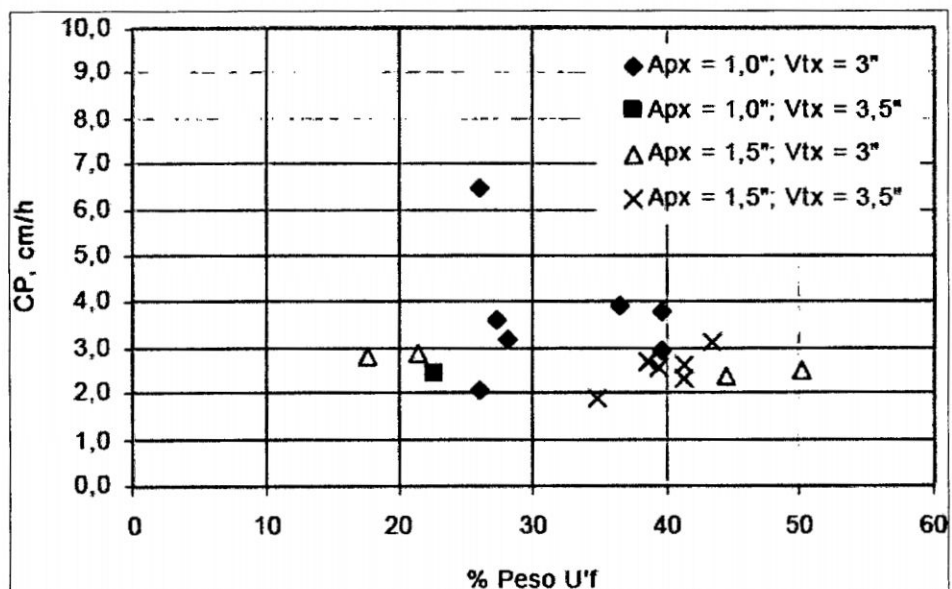


**F15-CIII D-10 LA VARIACIÓN DE LA PROPORCIÓN DE LA MALLA -200# EN FUNCIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE UNDERFLOW.**

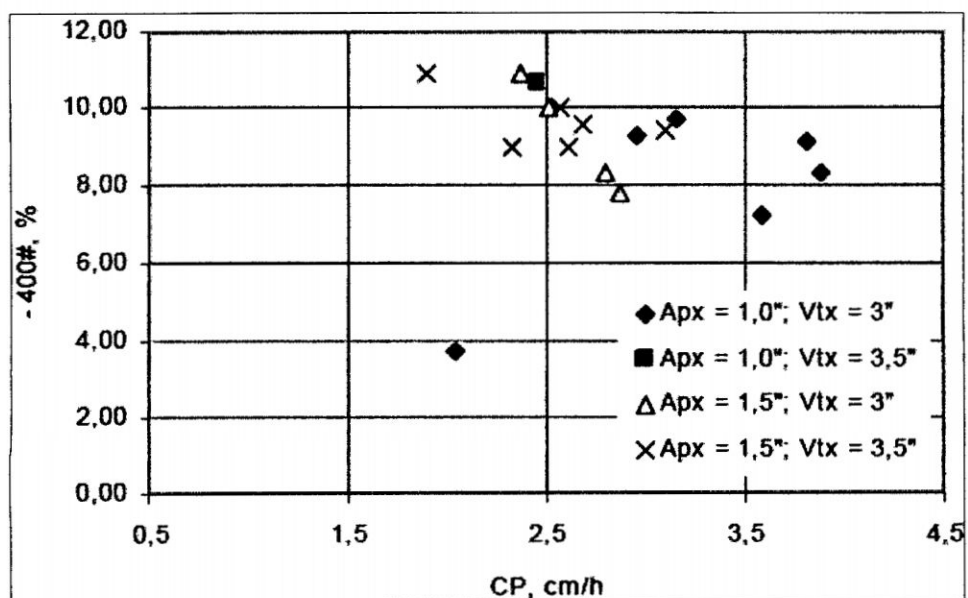


La percolación es mayor cuando se clasifica con ápex de 1" y vortex de 3", pero con ápex de 1.5" y vortex de 3.5" se obtiene mayor peso de U'f el C.P decrece, es decir como volvemos a repetir si se desea obtener una buena percolación se requiere no clasificar fino, es decir no obtener gran cantidad de U'f.

**F16-CIII D-10 VARIACIÓN DEL C.P EN FUNCIÓN DE LA PRODUCCIÓN DEL U'F**



### F17-CIII D-10 VARIACIÓN DEL PORCENTAJE -400# EN FUNCIÓN DEL C.P.



#### Observación

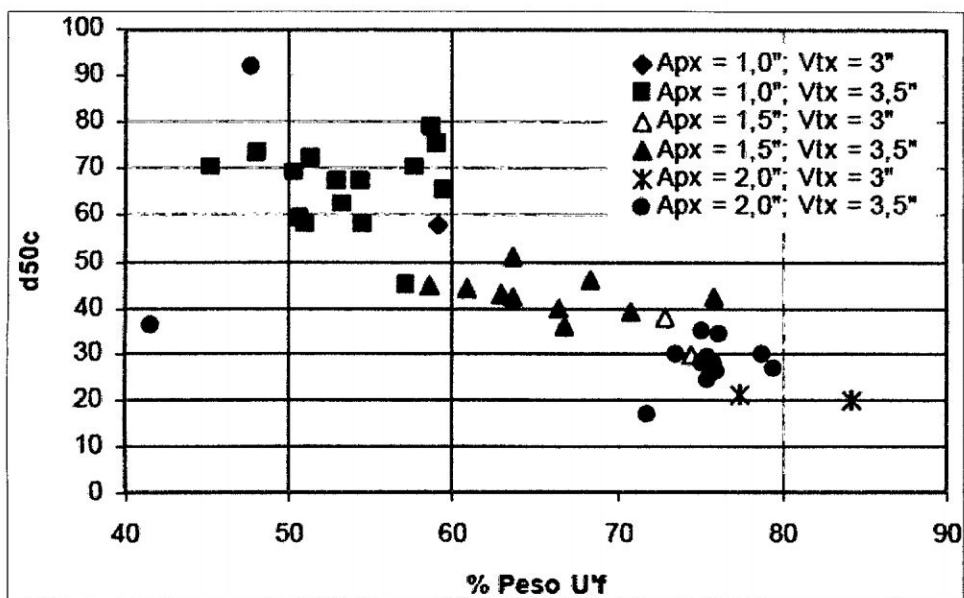
Los parámetros apropiados que permitirían obtener un buen material con este hidrociclón, deben basarse principalmente en el coeficiente de permeabilidad.

#### 3.6.3 CLASIFICACIÓN CON EL HIDROCICLÓN G - MAX

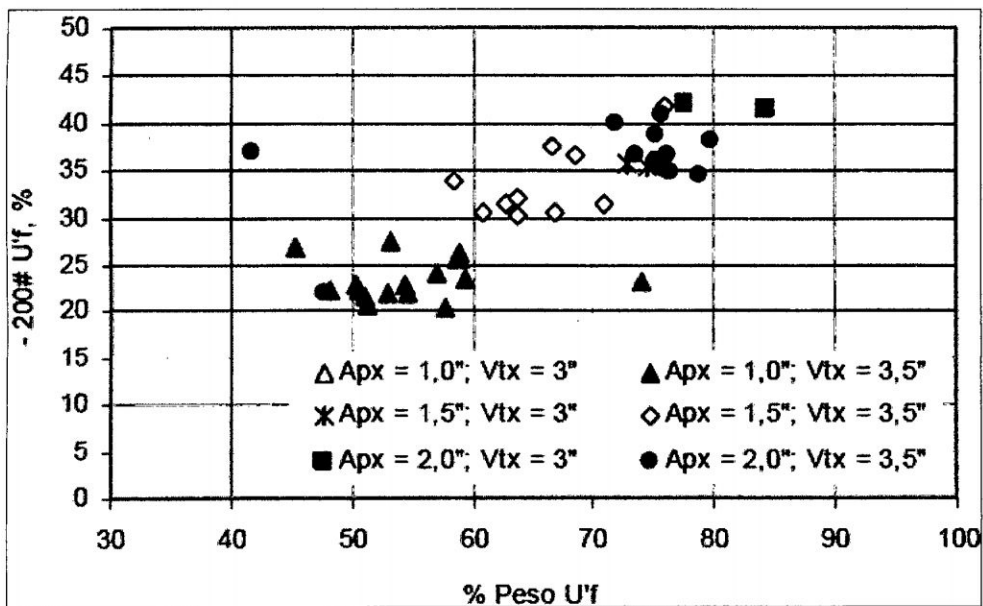
Como los otros hidrociclones, el G-Max también sigue la tendencia de hacer la clasificación más fina en tanto recupera más el material por el underflow, dependiendo del ápex y vortex utilizado.

Para evitar redundancia como ya hemos visto en los demás casos de los hidrociclones aquí solo veremos figuras donde indican las variaciones de fineza y proporción en función de los  $U_f$  de la producción.

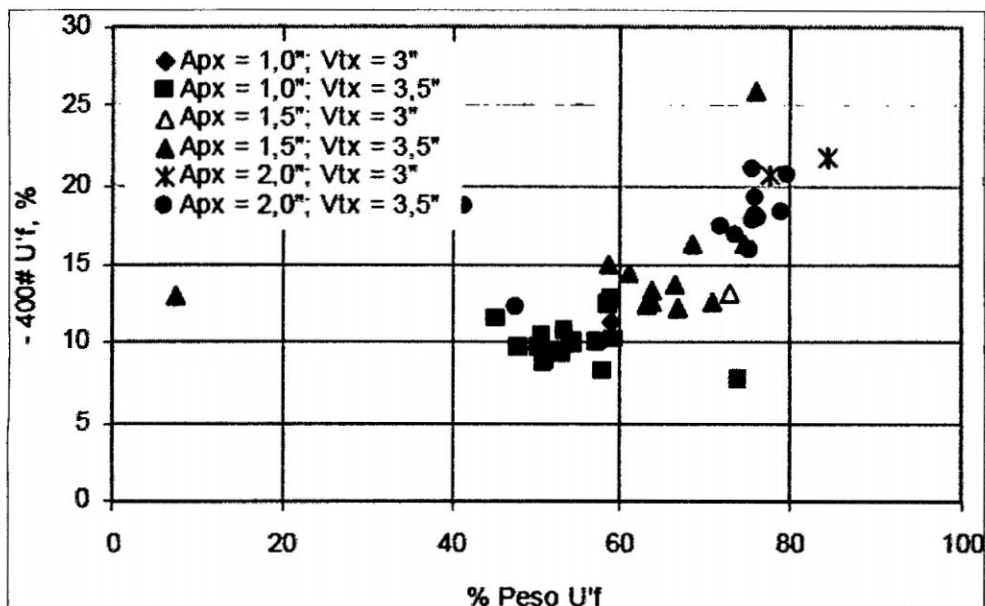
**F18-CIII G-MAX VARIACIÓN DE LA FINEZA DE CLASIFICACIÓN CON LA CANTIDAD DE U'F OBTENIDO**



**F19-CIII G-MAX VARIACIÓN DE LA PROPORCIÓN DE -200# EN FUNCIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE U'F.**

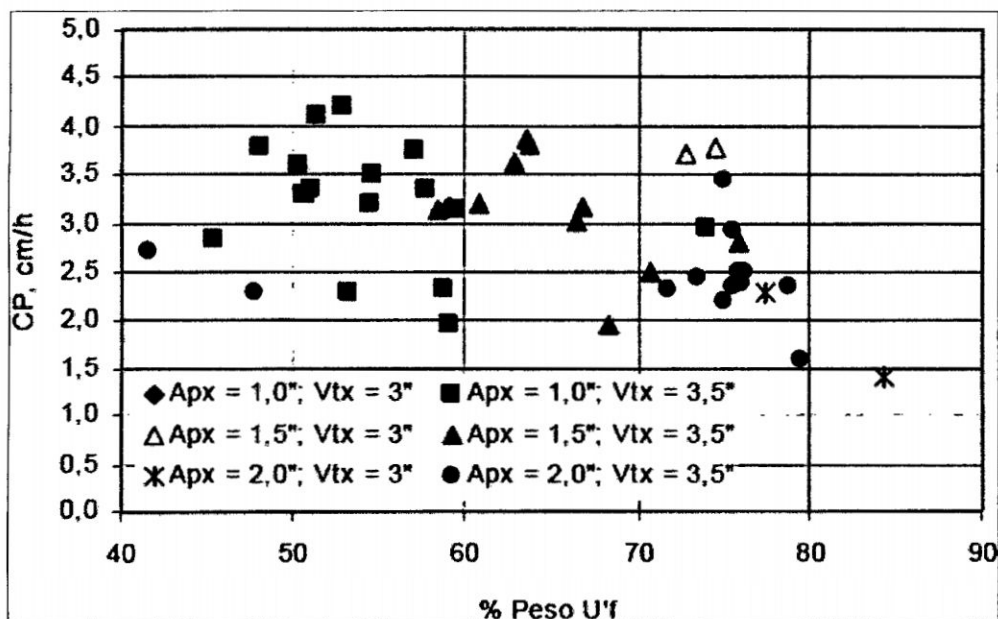


**F20-CIII G-MAX VARIACIÓN DE LA PROPORCIÓN DE -400# EN FUNCIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD DE U'f**



La obtención de mayores recuperaciones de U'f significa reducción del C.P.

**F21-CIII G-MAX C.P EN FUNCIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE UNDERFLOW**



En la figura se observa que con un ápex de 1" y un vórtex de 3.5 se alcanzan coeficientes entre 2.5 y 4.5 en un rango de recuperación de material de 50 y 60%. Con ápex de 1.5" y vórtex de 3.5" se logran recuperaciones del orden de 60 y 70%, pero el C.P. disminuye entre 3 y 4.

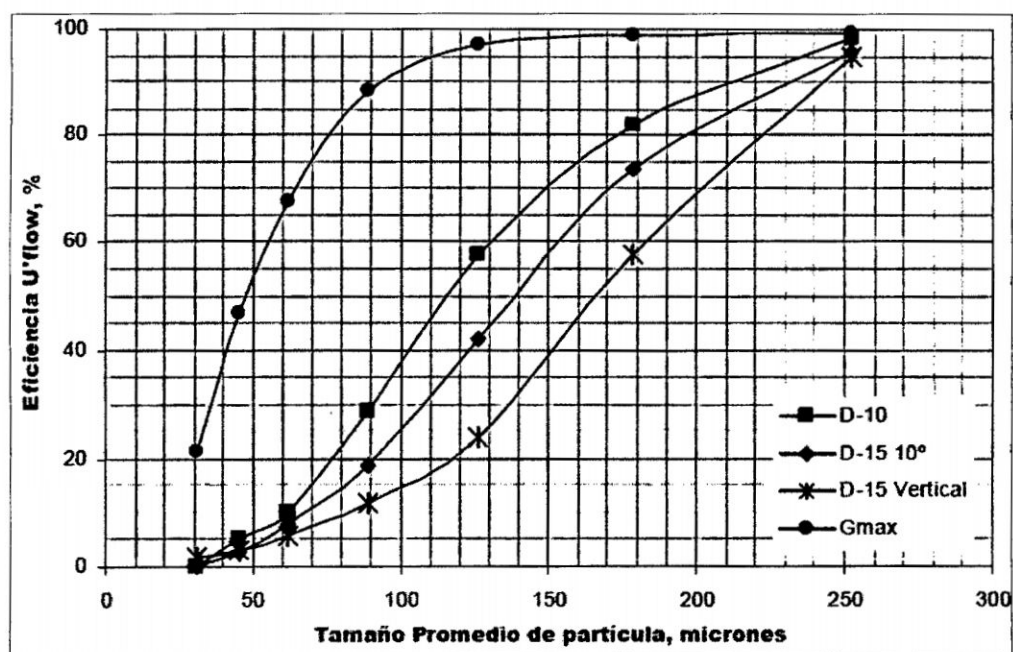
Con ápex 2" y vórtex de 3.5" se recupera entre 70 y 80% pero el coeficiente cae entre 2 y 3. Estas aseveraciones se corroboran en la F24 - CIII en la parte baja esta es la combinación entre 1" y 3.5" y hacia la parte alta se incrementan ambos parámetros manteniendo los rangos de recuperación mencionados. Atendiendo la necesidad de obtener un producto que tenga las bondades de una velocidad de percolación suficiente, elegiríamos trabajar con el G-MAX con ápex de 1" y un vortex de 3.5", podríamos así recuperar en el underflow entre 50 y 60% de la carga alimentada al hidrociclón con coeficientes de permeabilidad entre 3 y 4 cm/h.

### 3.6.4 DISCUSION DE RESULTADOS

### 3.6.5 COMPARACIÓN DE HIDROCIKLONES

De las pruebas hechas con los tres hidrociclones, dos de ellas convencionales de 10 y 15 pulgadas, y la otra de nueva generación de 10 pulgadas de diámetro denominado por sus fabricantes G-MAX.

**F22-CIII CURVAS TROMPOS CORREGIDOS PROMEDIO QUE COMPARAN LAS EFICIENCIAS EN UNDERFLOW DE LOS HIDROCIKLONES ESTUDIADOS**



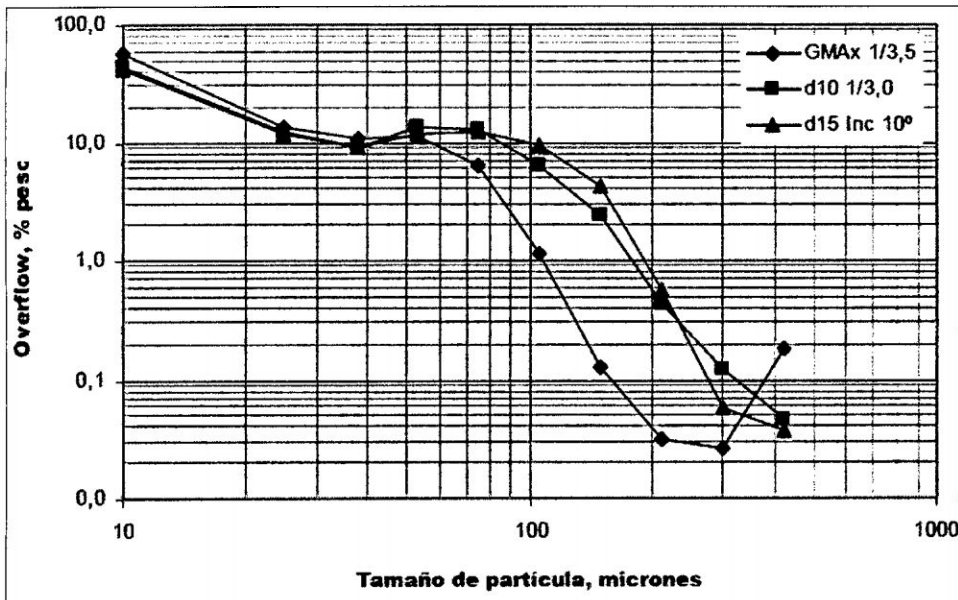
Definitivamente los tres tuvieron comportamientos diferentes durante la clasificación de relaves de flotación. La clasificación es más fina con el hidrociclón G-MAX, y va engrosando hacia el de 10" de diámetro, y luego al de 15". Con este último hidrociclón se logra la mayor fineza con una inclinación de 10°. Observe los parámetros de clasificación de los tres hidrociclones estudiados en relleno hidráulico.

**C9-CIII PARAMETROS DE CLASIFICACIÓN DE LOS TRES HIDROCICLONES ESTUDIADOS EN RELLENO HIDRAULICO. (Fuente: CMHSA)**

PARAMETRO	UNIDAD	GMAX	D-10	D-15 A 10°	D-15 VERTICAL
d <sub>50c</sub>	u <sub>c</sub>	47	115	139	165
% Peso U'f	%	68	35	29	25
Carga Circulante	%	211	54	41	33
% -500#, O'f	%	69	44	41	38

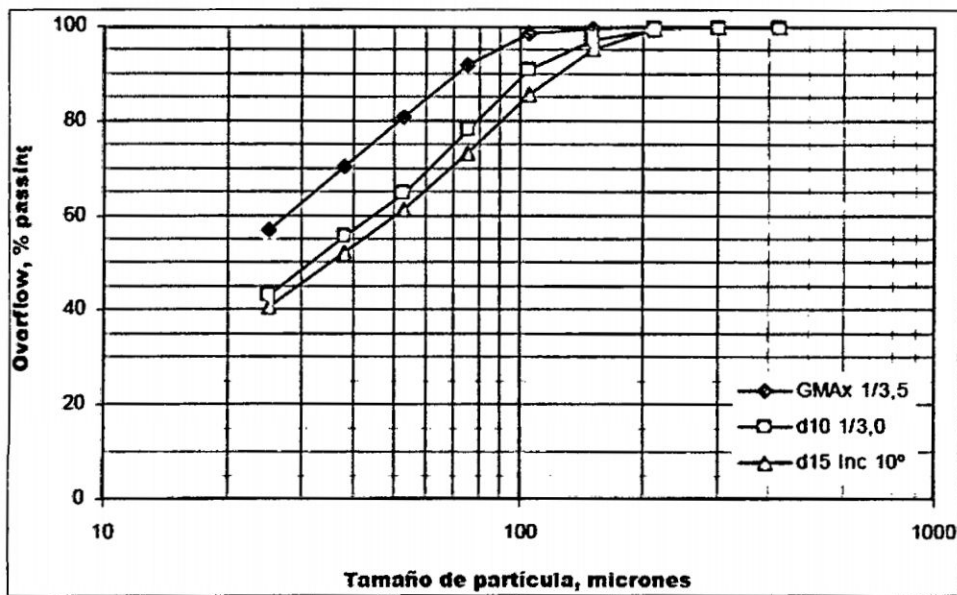
Si bien observamos y hacemos comparaciones en los diagramas adjuntos el G-MAX tiene la tendencia de obtener la mayor cantidad de sólidos para el underflow, al final queda el hidrociclón de uso actual D-15 con una inclinación de 10°, para mejor comprensión presentamos un resultado en el diagrama donde se ve el mejor material clasificado de los tres hidrociclones.

**F23-CIII GRANULOMETRIA DEL OVERFLOW DE LOS HIDROCICLONES QUE PRODUCEN EL MEJOR MATERIAL PARA RELLENO HIDRAULICO**

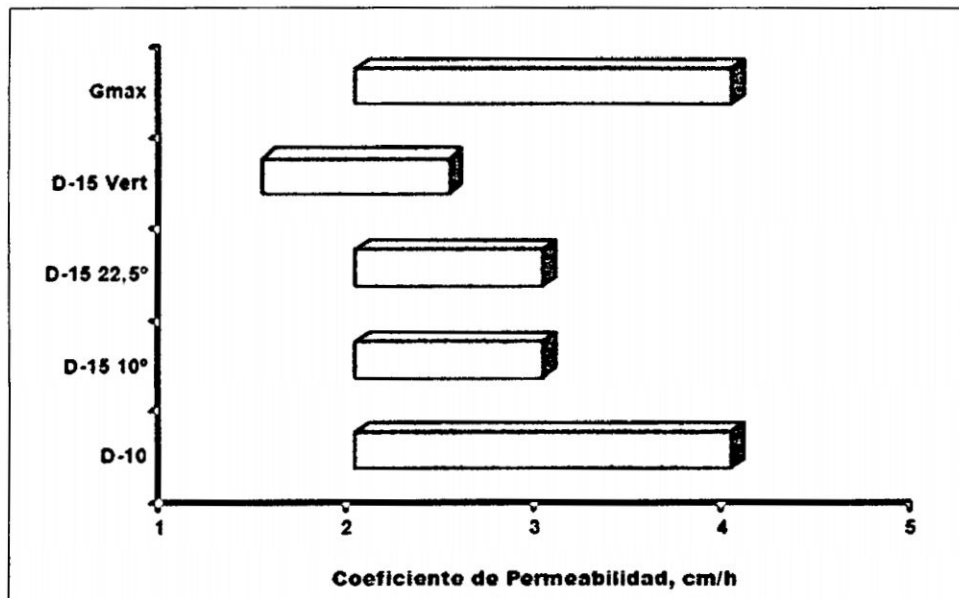


Esta característica operativa hace que el hidrociclón G-MAX produzca un underflow con buena percolación. Se obtiene gran cantidad de material en este producto, pero las partículas más finas que influyen nocivamente la percolación se reportan en mayoría al Overflow, y se establece en el underflow una proporción de partículas -500 mallas similar a la alcanzada con el D-15 vertical de aceptable percolación.

**F24-CIII GRANULOMETRÍA PASSING DEL OVERFLOW DE HIDROCICLONES SELECCIONADOS**



**F25-CIII COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD EN LOS HIDROCICLONES**

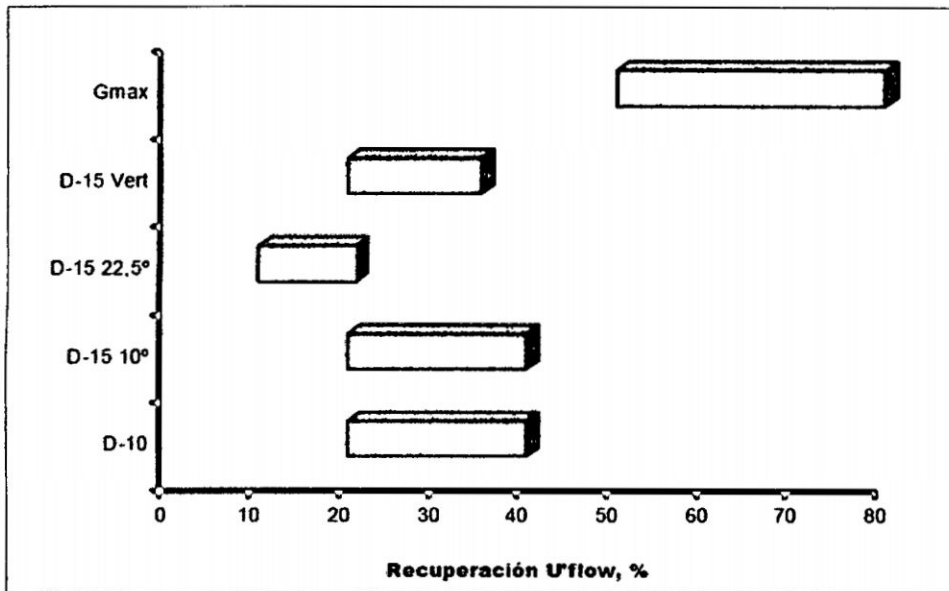


En la F25 – CIII se observa el coeficiente de permeabilidad en cm/h, efectuados por los hidrociclones.

Es necesario también representar la cantidad de recuperación de underflow ejecutados por los hidrociclones y notamos claramente cuál es el mejor equipo y en función a estos resultados seleccionaremos el hidrociclón adecuado para el proceso de relleno hidráulico.

En resumen se seleccionan por tres parámetros mencionados anteriormente.

### F26-CIII RECUPERACIÓN DE UNDERFLOW POR LOS HIDROCICLONES



Bajo estos parámetros se construyen dos gráficos adjuntos. En la figura anterior se puede ver que el hidrociclón de uso cotidiano presenta el menor coeficiente de permeabilidad.

La barra indica el rango en el que el underflow producido por este hidrociclón percola. Los hidrociclones que presentan rango más amplio de coeficiente de permeabilidad, y alcanzan niveles más altos, son el hidrociclón D-10 y el G-MAX, teniendo en cuenta estas características, la elección estaría compartido el G-MAX y en segundo lugar estaría el D-10.

A continuación en el C10 - CIII, presentamos los parámetros de clasificación de los hidrociclones.

**C10-CIII PARÁMETROS DE CLASIFICACIÓN DE LOS HIDROCICLONES (Fuente: CMHSA)**

PARAMETRO	UND	MIN	PROM	MAX
Relave Flotación	t/d	1,181	1,187	1,194
Recup. Sólido U'f Hid. 15" Vertical	%	20.19	24.54	28.90
Recup. Sólido U'f gMAX	%	54.15	65.75	75.72
Densidad Pulpa U'f Hid. 15" Vertical	g/L	1,668	1,727	1,786
Densidad Pulpa U'f gMAX	g/L	1,735	1,745	1,761

**C11-CIII BALANCE DE OPERACIÓN COMPARADA ENTRE EL HIDROCICLÓN D-15 VERTICAL Y EL G-MAX (Fuente: CMHSA)**

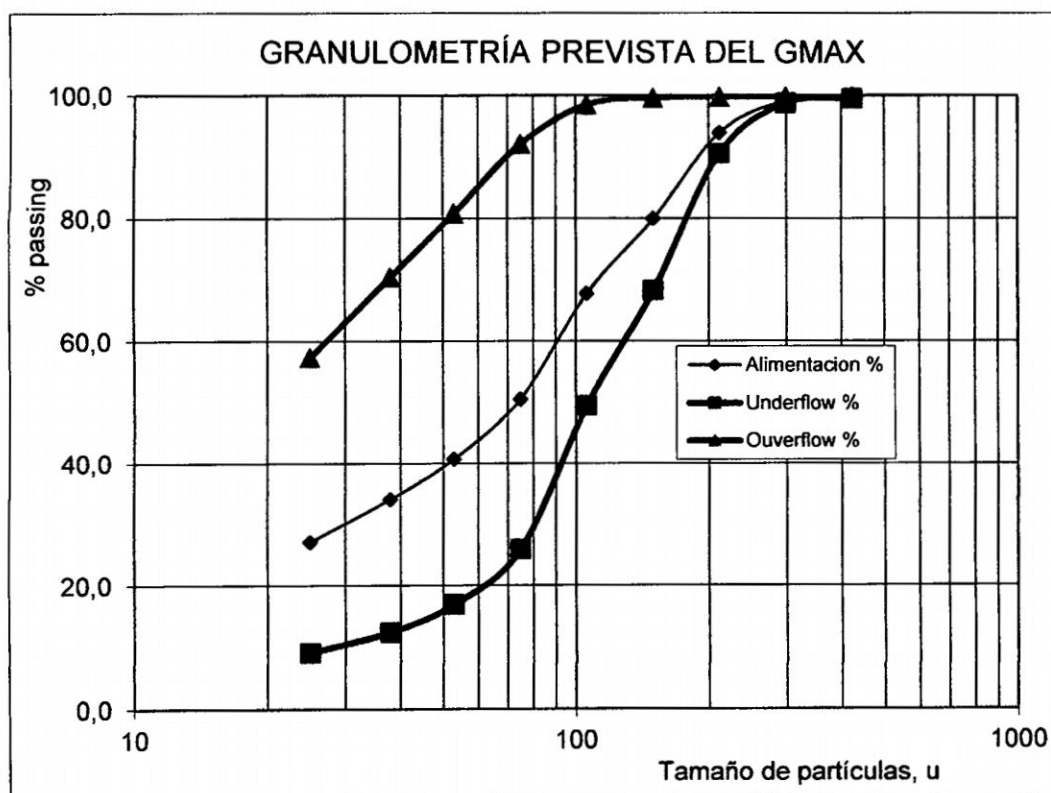
DESCRIPCIÓN	UNIDADES	D-15 PROMEDIO	Gmax PROMEDIO
<b>Alimento a Hidrociclón</b>			
Flujo Sólidos	t/d	1,187	1,187
Flujo Sólidos	t/h	49.47	49.47
Sp Gr Sólidos		2.70	2.70
Porcentaje de Sólidos	%	38.63	38.63
Flujo Agua	m <sup>3</sup> /h	78.60	78.60
Flujo Pulpa	m <sup>3</sup> /h	96.94	96.94
Densidad Pulpa	g/L	1,321	1,321
<b>Underflow Hidrociclón</b>			
Recuperación de Sólidos	%	20.19	54.15
Flujo Sólidos	t/h	9.99	26.79
Flujo Sólidos	t/d	240	643
Sp Gr Sólidos		2.71	2.71
Porcentaje de Sólidos	%	63.43	67.07
Flujo Agua	m <sup>3</sup> /h	5.76	13.15
Flujo Pulpa	m <sup>3</sup> /h	9.44	23.03
Densidad Pulpa	g/L	1,668	1,735
Coefficiente de Permeabilidad	cm/h	2.2	3.2
<b>Overflow Hidrociclón</b>			
Flujo Sólidos	t/h	39.49	22.68
Sp Gr Sólidos		2.69	2.68
Porcentaje de Sólidos	%	35.15	25.74
Flujo Agua	m <sup>3</sup> /h	87.50	73.91
Flujo Pulpa	m <sup>3</sup> /h	9.44	23.03
Densidad Pulpa	g/L	1,284	1,192

Evaluando el otro parámetro, la cantidad de material grueso producida por cada uno de estos equipos, es notorio que el G-MAX tiene la mayor recuperación. Por lo que el hidrociclón más recomendable sería el G-MAX.

**C12-CIII ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO PREVISTO EN LA OPERACIÓN DEL G-MAX  
CON ÁPEX 1º Y VORTEX 3.5**

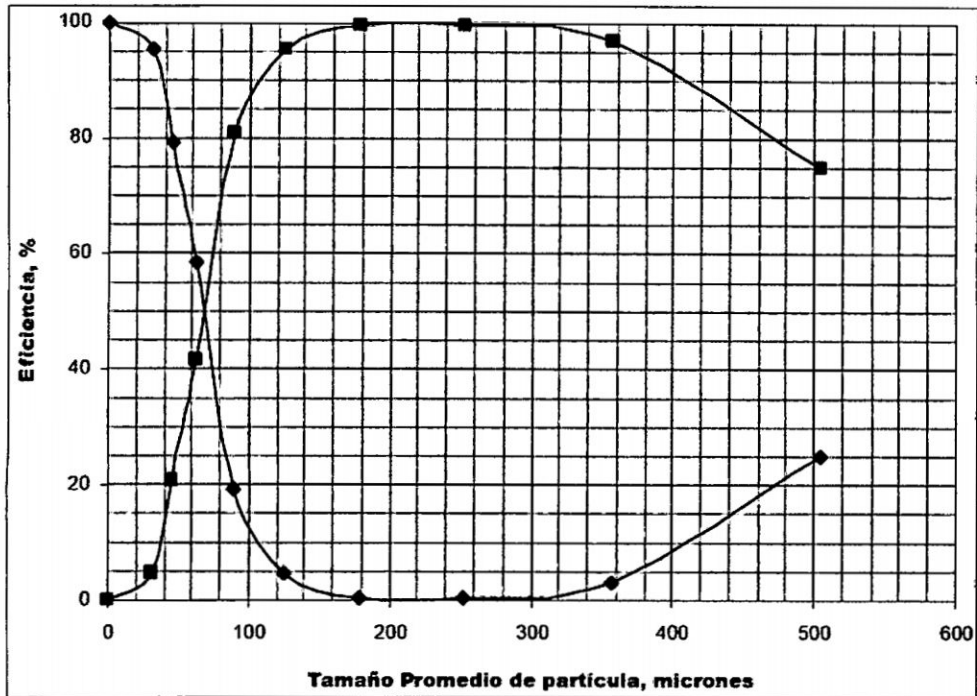
MALLAS		ALIMENTO			UNDERFLOW			OVERFLOW		
Nº	micrón	%	%cum	%pass	%	%cum	%pass	%	%cum	%pass
40	425	0.4	0.4	99.6	0.5	0.5	99.5	0.2	0.2	99.8
50	300	0.5	0.9	99.1	0.8	1.2	98.8	0.0	0.2	99.8
70	212	5.1	6.0	94.0	8.1	9.4	90.6	0.0	0.2	99.8
100	150	14.0	20.0	80.0	22.3	31.7	68.3	0.1	0.4	99.6
140	106	12.2	32.2	67.8	18.8	50.5	49.5	1.1	1.5	98.5
200	75	17.2	49.4	50.6	23.6	74.1	25.9	6.4	7.9	92.1
270	53	9.9	59.3	40.7	9.0	83.1	16.9	11.3	19.2	80.8
400	38	6.7	66.0	34.0	4.5	87.6	12.4	10.4	29.6	70.4
500	25	7.0	72.9	27.1	3.4	90.9	9.1	13.1	42.7	57.3
-500		27.1	100.0		9.1	100.0		57.3	100.0	
<b>TOTAL</b>		<b>100</b>			<b>100</b>			<b>100</b>		

**F27-CIII GRANULOMETRÍA PREVISTA DEL G-MAX**



Las características de clasificación con el hidrociclón G-MAX serían cercanas a las mostradas en la tabla anterior.

**F28-CIII CURVA TROMPO PREVISTA DEL G-MAX**



Después de las pruebas realizadas llegamos a la conclusión de que el hidrociclón G-MAX es el más apropiado por tener una buena clasificación de partículas adecuadas para el relleno hidráulico (proveniente del relave), basados en conceptos de percolación y cantidad de producto para el relleno hidráulico.

**C13-CIII OVERFLOW DEL G-MAX (Fuente: CMHSA)**

PARAMETROS	UNIDADES	VALOR
Tiempo de Operación	Horas / día	24
Sólido en Overflow	Toneladas métricas secas / hora	22.7
	Toneladas métricas secas / día	544
Gravedad Específica de los Sólidos		2.68
Porcentaje de Sólidos	%	25.7
Densidad de Pulpa	Gramos / Litro	1,192
Flujo de Pulpa	Metros Cúbicos / hora	74

**C14-CIII UNDERFLOW DEL G-MAX. MATERIAL PARA RH (Fuente: CMHSA)**

PARAMETROS	UNIDADES	VALOR
Tiempo de operación	Horas / día	24
Recuperación de Sólidos (Base Alimento)	%	54 – 62
Sólidos en Underflow	Toneladas métricas secas / hora	26.8
	Toneladas métricas secas / día	643
Gravedad Especifica de los Sólidos		2.71
Porcentaje de Sólidos	%	67.1
Densidad de Pulpa	Gramos / Litro	1,735
Flujo de Pulpa	Metros Cúbicos / hora	23
Coefficiente de Permeabilidad	Centímetros / hora	3.2
Granulometría Acumulado Passing		
Malla 40	%	99.5
Malla 50	%	98.8
Malla 70	%	90.6
Malla 100	%	68.3
Malla 140	%	49.5
Malla 200	%	25.9
Malla 270	%	16.9
Malla 400	%	12.4
Malla 500	%	9.1

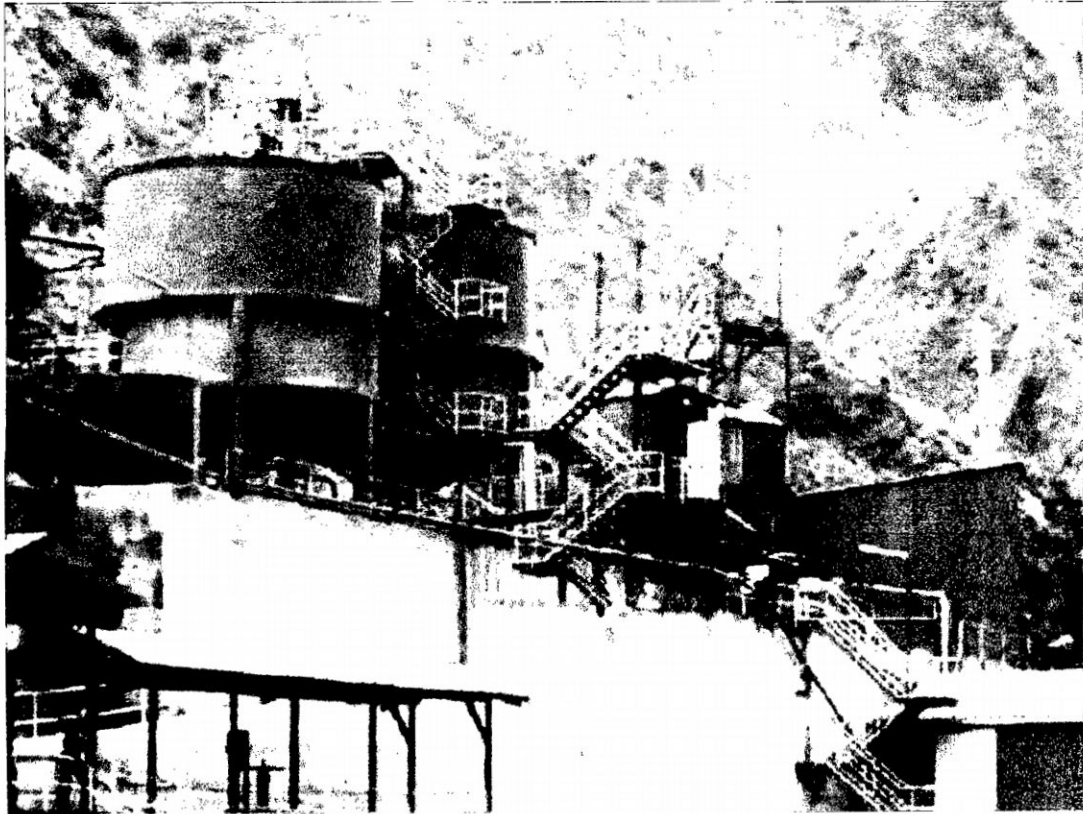
A continuación mostramos en la siguiente tabla los equipos de la planta de relleno hidráulico.

**C15-CIII EQUIPOS DE LA PLANTA RELLENO HIDRAULICO (Fuente: CMHSA)**

EQUIPO	CANT.	MARCA	CAPACIDAD	POTENCIA (Hp)
Bomba ASH 8"x6"	1	VULCO - ASH		100.00
Bomba ASH 6"x6" (Stand By)	1	VULCO - ASH		40.00
Ciclón D -15. 15" Ø	2	KREBS		
Manómetro de Alimento a Ciclones	1	WIKA	0 –160 PSI	
Silo de Relaves Truncocónico 25' Øx(20.5'+6.6')	2	CMHSA	300 m <sup>3</sup>	
Zaranda Vibratoria 1' x 1.5'. 6#	1	COMESA	45 m <sup>3</sup> /h	3.00
Agitador – Repulpador 10' x 10'	1	DENVER – FIMA	25 m <sup>3</sup>	30.00
Tanque de Agua Nº 1&2. 10' x 10'	2	CMHSA	25 m <sup>3</sup>	
Bomba de Presión de Agua	1	HIDROSTAL		4.00
Bomba TOYO FELUMA	1	FELUWA	45.5 m <sup>3</sup> /h	200.00

Estos equipos están dispuestos en el orden de cómo aparecen ploteados en el diagrama de flujo de relleno hidráulico mostrados anteriormente, posteriormente en el análisis del diseño de transporte de pulpas se calcularán los requerimientos de potencia de los mismos.

## F29-CIII VISTA PANORÁMICA DE LA PLANTA DE RELLENO HIDRÁULICO

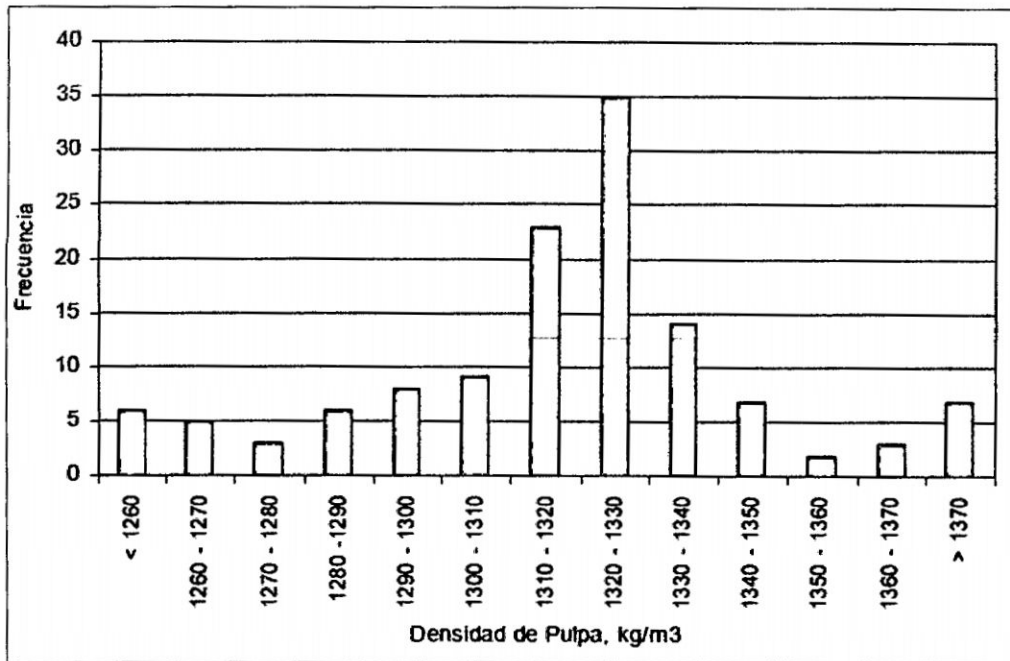


Finalmente de estas pruebas llegamos a las siguientes conclusiones:

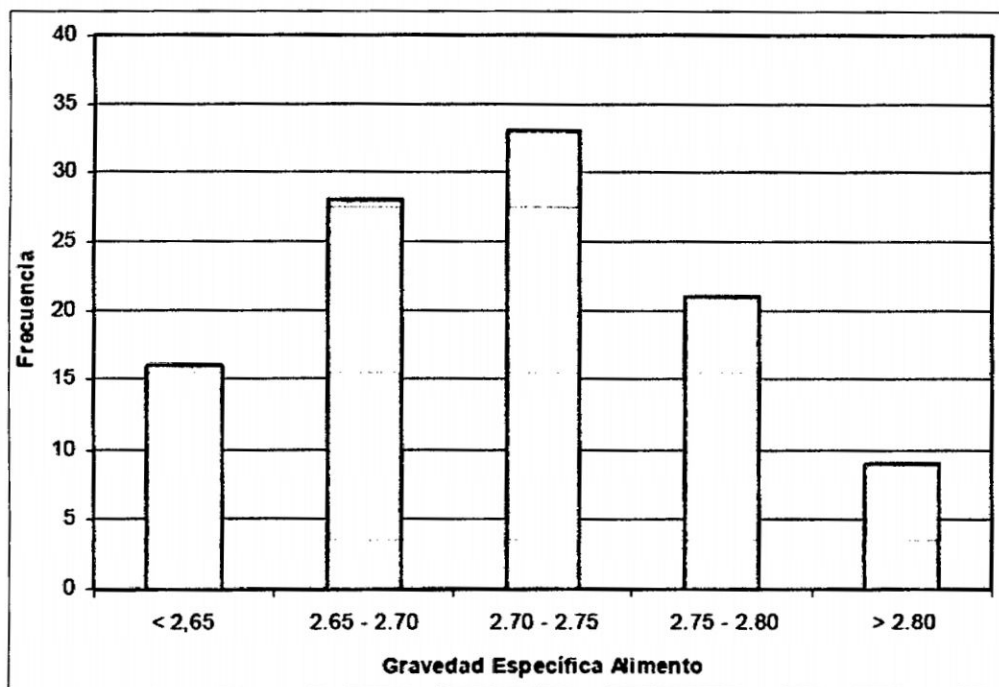
- a) Se hizo pruebas de percolación utilizándose métodos desarrollados con pruebas de hidrociclones y cuantificados en el laboratorio metalúrgico para determinar el C.P como valor relativo en laboratorio.
- b) Partículas finas en al rango de la malla 400 no traban la percolación.
- c) Partículas finas por debajo de la malla 200 y en un porcentaje considerable disminuyen la velocidad de percolación. Es decir que con partículas menores a 10 micras traban la percolación.
- d) Con 4% de la malla -400# se obtiene un coeficiente de permeabilidad alrededor de 6 cm/hr, mientras que con el coeficiente habitual es de aproximadamente en un rango de 2 cm/hr.
- e) De acuerdo a las 128 pruebas, se determinó que la densidad de la pulpa del relave de flotación tiene un promedio de 1321.12 +/- 8.62 g/L, con

95% de certeza, también se determinó que la gravedad específica del sólido del relave de flotación tiene un promedio de 2.6971 +/- 0.0242, con un grado de certeza de 95%, ver en los gráficos adjuntos.

**F30-CIII HISTOGRAMA DE DENSIDADES DEL RELAVE DE FLOTACIÓN**



**F31-CIII HISTOGRAMA DE GRAVEDADES ESPECÍFICAS DEL SÓLIDO DE RELAVE DE FLOTACIÓN**



- f) En el caso del hidrociclón de uso habitual D-15, debido a la inclinación la densidad de pulpa sube hasta 1,880 g/L, pero el efecto de inclinación del hidrociclón disminuye el desplazamiento de finos hacia el underflow.
- g) A medida que se tenga en el underflow partículas del orden de la malla 400, aumenta la velocidad de percolación y por ende baja el margen de permeabilidad.
- h) Es necesario ver la gradación granulométrica de los finos que ingresan a la concentración de minerales, y consecuentemente es necesario también optimizar la gradación granulométrica de los sólidos que entran a la planta de relleno hidráulico, tal como se hizo las pruebas de optimización de análisis granulométricos para determinar la mejor concentración de sólidos hacia el underflow.

### **3.7 TRANSPORTE HIDRAULICO DE SOLIDOS POR TUBERÍAS**

#### **3.7.1 INTRODUCCIÓN**

Es este ítem se da a conocer conceptos fundamentales de la hidráulica de tuberías, ya que para profundizar la investigación existen numerosos textos a cerca de la hidráulica clásica, describiremos las características de los fluidos, así como aspectos fundamentales de fluido dinámica, y la hidráulica clásica, que forman parte del marco teórico indispensable para abordar el tema del transporte hidráulico de sólidos a grandes distancias.

#### **3.7.2 CONCEPTOS FUNDAMENTALES**

##### **3.7.2.1 FASES DE UN FLUIDO DE VARIOS COMPUESTOS**

Los elementos y compuestos de la naturaleza se presentan en tres posibles fases: fase sólida, fase líquida, y fase gaseosa. Un fluido puede contener más de una fase y seguir comportándose como tal.

Los fluidos según sus características pueden ser:

- **Unifásicos:** Líquido, gas, el agua o el aire.
- **Bifásicos:** Líquido-gas, líquido sólido o gas-sólido. Ejemplos de fluidos bifásicos son: Líquidos espumosos, pulpas mineras (relaves, concentrados minerales), y aire con partículas.
- **Multifásicos:** fluidos que contienen los tres estados, como son las pulpas espumosas (agua, aire y sólidos).

Y para fines de comprensión de la hidráulica clásica, se asume que el fluido tiene el comportamiento propio de este, sin importar la calidad de las fases que pudiese tener.

### 3.7.2.2 PROPIEDADES DE UN FLUIDO

Un fluido tiene como propiedad su volumen, masa, peso, densidad y otras propiedades, lo que aquí se define los más relevantes.

#### 3.7.2.2.1 DENSIDAD

La densidad  $\rho$  de un fluido se define como la razón de su masa por unidad de volumen. La densidad de flujo de relleno hidráulico oscila entre 1.600 a 1.700 *kg/litro*

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Donde:

$m = \text{masa (Kg)}$

$V = \text{Volumen (m}^3\text{)}$

$\rho = \text{Densidad (Kg/m}^3\text{)}$

#### 3.7.2.2.2 PESO ESPECÍFICO

El peso específico  $\gamma$  de una sustancia es el peso por la unidad de volumen.

$$\gamma = \rho * g$$

$\rho$  = Densidad (Kg/m<sup>3</sup>)

$g$  = Aceleración de gravedad (9.806 m/s<sup>2</sup>)

### **3.7.2.2.3 VISCOSIDAD**

La viscosidad, es la propiedad que requiere mayor consideración en el estudio del escurrimiento de los fluidos. Es la propiedad de un fluido mediante el cual este ofrece resistencia al esfuerzo tangencial.

Normalmente al aumentar la temperatura. La viscosidad de un fluido disminuye, así mismo, para presiones normales, la viscosidad es siempre independiente de la presión y depende solo de la temperatura.

## **3.8 CRITERIOS GENERALES DE DISEÑO**

### **3.8.1 CARACTERIZACIÓN DEL SÓLIDO A TRANSPORTAR**

En la industria minera, los sólidos habitualmente transportados son: mineral molido, concentrado de mineral o relaves.

En el transporte hidráulico de pulpas las características del material son altamente determinantes del diseño del sistema de conducción. Por ello es importante tener bien definidas las siguientes cualidades.

#### **3.8.1.1 DENSIDAD DEL SÓLIDO**

Las densidades para el Relleno Hidráulico fluctúan entre 1650 a 1700 g/L.

Para efectos de cálculo se considerará una densidad de 1700 g/L.

#### **3.8.1.2 GRANULOMETRÍA DEL SÓLIDO**

Se debe conocer la curva granulométrica del sólido a transportar para condiciones de operación media y extremas, y determinar valores característicos de ella como son el d<sub>90</sub>, d<sub>50</sub>.

Estos parámetros ya fueron calculados anteriormente por lo que sería redundante abordar el tema.

En el cuadro anterior C12-CIII observamos el análisis granulométrico adecuado de acuerdo a la selección del hidrociclón óptimo, vemos las clasificaciones tanto en la alimentación al hidrociclón, el underflow y el Overflow respectivamente

### **3.8.1.3 FORMA DE LAS PARTÍCULAS**

Conocer la forma media de las partículas (esférica, angulosa, redondeada, etc.). Existen coeficientes que las caracterizan como el factor de forma de COREY (FF). La geometría de las partículas procesadas por chancado y molienda son laminares angulosas y sub angulosas.

### **3.8.2 SEDIMENTOLOGÍA DEL SÓLIDO A TRANSPORTAR**

Una partícula sólida aislada, en un flujo de menor densidad, tiende a caer aumentando su velocidad hasta llegar a una velocidad de equilibrio entre las fuerzas de gravedad y las fuerzas de resistencia del fluido, esta velocidad de equilibrio se denomina velocidad de sedimentación.

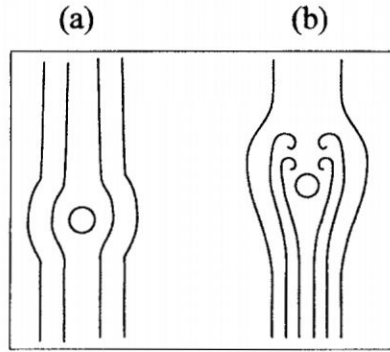
La velocidad de sedimentación ( $W$ ) es función del tamaño o diámetro de la partícula que sedimenta ( $d$ ), del peso específico relativo entre el sólido y el fluido ( $S$ ), y de la viscosidad del fluido ( $\mu$ ).

Es decir:

$$W = W(d, S, \mu)$$

Dependiendo de las características del fluido y de la velocidad de sedimentación, es posible que las partículas sólidas decanten en régimen laminar o estratificado, o en régimen turbulento o con estelas de remolinos.

**F32 – CII FLUJO LAMINAR (a) Y FLUJO TURBULENTO (b)**



**3.8.2.1 SEDIMENTACIÓN DE ESFERAS**

En una esfera de densidad  $\rho_s$ , la fórmula general de la velocidad de sedimentación es:

$$W = \frac{1}{\sqrt{Cd}} \sqrt{\frac{4}{3} * gd(S-1) \dots \alpha}$$

Donde:

$W$  = Velocidad de sedimentación

$Cd$  = Coeficiente de arrastre

$g$  = Aceleración de gravedad

$S$  = Densidad relativa de la pulpa (parámetro adimensional)

$d$  = Diámetro de tubería

En el caso de un flujo de sedimentación muy lenta, partículas muy pequeñas y livianas existe una solución analítica denominada ecuación de Stokes:

$$W = \frac{1}{18} * \frac{gd^2(S-1)}{\nu} \quad \text{Con } Cd = \frac{24}{Re}$$

Esta ecuación es válida para  $Re < 0.1$ , ( $Re = \frac{Wd}{\nu}$ )

Otras relaciones de  $Cd$  a usarse son:

**Régimen de transición**

$$Cd = 18.5 * Re^{-0.6} \text{ Válida para } 2 < Re < 5 \times 10^2$$

### Régimen turbulento

$$Cd = 0.44 \text{ válida para } 5 \times 10^2 < Re < 2 \times 10^5$$

La ecuación del régimen de transición requiere el cálculo iterativo, esto puede evitarse transformando la función en:

$f(Cd, Re) = 0$ , a las nuevas variables  $(Cd Re^2)$  y  $(Re/Cd)$  en las funciones siguientes:

$$(Cd \cdot Re)^{1/3} = \left[ \frac{4g^*(\rho_s - \rho)\rho}{3\mu^2} \right]^{1/3} \quad d = \alpha d$$

$$(Re/Cd)^{1/3} = \left[ \frac{3\rho^2}{4g^*(\rho_s - \rho)\mu} \right]^{1/3} \quad W = \beta W$$

Los factores  $\alpha$  y  $\beta$  correspondientes a los paréntesis de estas ecuaciones, son funciones solo de las propiedades físicas del sistema sólido - fluido, de modo que las nuevas variables equivalen a una correlación directa de "d" vs "W".

Si consideramos  $S = 1.7$ ,  $g = 9.806 \text{ m/s}^2$ , y un diámetro de tubería SCH-80 de  $0.0972 \text{ m}$  la velocidad de sedimentación en la ecuación "α" será  $(Vs) = 1.23 \text{ m/s}$ , que es la velocidad de equilibrio entre las fuerzas de gravedad y la velocidad del fluido.

### 3.8.2.2 PARTÍCULAS NATURALES

Las partículas naturales que se encuentran en los procesos industriales tienen habitualmente formas irregulares, cuya caracterización es difícil incluso en términos estadísticos.

La manera mas usual de medir el tamaño es hacer pasar la muestra del material granulado a través de una serie de tamices o mallas, cuya abertura

es decreciente, de esta forma se separa el material en fracciones de tamaños comprendidos entre cada dos mallas sucesivas y, del cual se puede obtener un tamaño promedio.

Respecto al coeficiente de forma hay una variedad de métodos propuestos, todos los cuales son de difícil aplicación práctica.

### **3.8.2.3 MÉTODO DE HEYWOOD**

Establece curvas corregidas para la función  $\alpha.d$  vs  $\beta.w$ , escogiendo como parámetro un factor de forma  $k$  definido por:  $k = \text{volumen de la partícula}/d^3$

En esta relación  $d$  está definido como el diámetro de un círculo de igual área que la mayor sección de la partícula.

Factor de forma:  $k = k_e \sqrt{ab}$ , en que,

$a > b > c$  son las dimensiones triaxiales de las partículas.

$K_e = 0.38$  para partículas angulosas de forma piramidal.

$K_e = 0.47$  para partículas angulosas de forma prismoidal.

$K_e = 0.51$  para partículas sub angulosas.

$K_e = 0.54$  para partículas redondeadas.

### **3.8.3 VELOCIDADES MINIMAS DE FLUJO**

En este trabajo trataremos de conceptualizar por varias definiciones y con varias fórmulas lo referente a velocidad mínima de flujo, llamado también velocidad crítica, o velocidad límite.

#### **3.8.3.1 VELOCIDAD CRÍTICA ( $V_c$ )**

Es la velocidad límite ( $V_L$ ), es el parámetro que determina la mínima velocidad de flujo para que no exista riesgo de depositación u obstrucción de tubería.

Llamado también como la velocidad mínima, se define como el promedio de velocidades bajas o límites que permiten que una partícula durante su transporte en un medio líquido no se sedimente.

En la bibliografía existen más de 200 fórmulas para el cálculo de la velocidad límite, la gran mayoría corresponden a extrapolaciones de trabajos de laboratorio y son poco aplicables a nivel industrial.

Los modelos más tradicionales para predecir  $V_L$  son los siguientes:

### **Formula de Vocadlo y Sagoo**

$$V_L = 8.4 * C_v[(S - 1)gDW]^{1/3}$$

Donde:

$V_L =$  Velocidad límite

$C_v =$  % de solido en volumen

$S =$  Densidad relativa de la pulpa (parámetro adimensional)

$g =$  Aceleración de gravedad ( $m/s^2$ )

$D =$  Diámetro de la tubería en pies

$W =$  Velocidad de sedimentación o percolación ( $m/s$ )

### **Fórmula de Mc Elvain y Cave**

$$V_L = F_L \sqrt{2gD(S - 1)}$$

En que:

$F_L = f(d_{50}, C_v)$

También la formula mas utilizada es la de **Durand y Condolios**

$$V_C = FL \left[ \frac{2gD(S_s - \rho)}{\rho} \right]^{1/2}$$

O la formula de Steel:

$$V_c = FL[2gD(S_s - 1)]^{1/2}$$

Donde:

$V_c$  = Velocidad crítica

$F_L$  = Parámetro que depende  $C_v$  y de "d" (adimensional)

$g$  = Aceleración de la gravedad 32.2 pies/seg

$D$  = Diámetro de la tubería en pies

$S_s$  = Gravedad específica de los sólidos en suspensión

$C_v$  = % de sólidos en volumen

$d$  = diámetro de partícula

$$C_v = \frac{\rho - 1}{S_s - 1}$$

$\rho$  = Densidad de la pulpa

$S_s$  = Gravedad específica del sólido en suspensión

La velocidad crítica calcularemos más adelante basándonos en la ecuación de Durand y Condolios.

### **3.8.4 SITUACIÓN DEL SISTEMA DE RELLENO HIDRÁULICO, DISEÑO Y CÁLCULO DE FLUJO DEL RELLENO HIDRÁULICO**

#### **3.8.4.1 INTRODUCCION**

Dado las definiciones para el transporte hidráulico de sólidos por tuberías, antes de efectuar los cálculos de los parámetros para el diseño y/o selección de tuberías haremos una breve descripción de la situación del sistema de relleno hidráulico.

El relleno hidráulico se aplica normalmente para ocupar el espacio dejado por la explotación de un corte horizontal. La tarea es más eficiente cuando los cortes son de mayor volumen; pues además de requerirse menos

trabajo en la preparación por unidad de mineral extraída, el tiempo durante el cual se emplaza el relleno es extenso y permite flexibilidad en los trabajos de preparación de los tajeos que siguen el programa de servicio.

El proceso de relleno es el más complejo y difícil cuando los espacios a rellenar son estrechos, como es el caso de los tajeos de las minas del consorcio.

El trabajo preparatorio en minas de vetas como las de la U.E.A Parcoy es extenso. La habilitación para el cambio de frente es frecuente; el lavado de la línea es imprescindible al terminar de rellenar cada frente y principalmente el tiempo de aplicación por cada frente es reducido. Por ese motivo el tiempo dedicado expresamente a emplazar relleno hidráulico en las operaciones más eficientes de este tipo de minería se estima que se encuentra en alrededor del cincuenta por ciento del tiempo total.

La eficacia del servicio depende de lo acertado de la programación de los tajeos, de la oportunidad y calidad con la que se efectúa los trabajos preparatorios tanto en los tajeos que se va a rellenar como en el tendido de las líneas.

#### **3.8.4.2 INSTALACIONES DE SERVICIO DE RELLENO HIDRAULICO**

El sistema de relleno hidráulico del consorcio consiste básicamente en una planta donde se clasifica material aparente que se acondiciona para ingresar a una bomba de pistones de marca Feluwa la que envía la pulpa de relleno hidráulico hacia las labores en la mina.

Las tuberías a través de las cuales se envía relleno hidráulico a la mina son de cuatro pulgadas fierro Schedule 80 y de high density poliethylene (HDPE) de diámetro interior y exterior iguales a la de fierro aunque en el área de

operación existe abundante material HDPE cuyo diámetro exterior es un cuarto de pulgada menor al estándar.

Las tuberías de HDPE alcanzan una resistencia a la **presión** cercana a **veinte bares** mientras que las de fierro soportan **presiones** de **ochenta bares**. El límite de resistencia está principalmente focalizado en los acoplamientos entre tubos.

El sistema actual de distribución consiste en dos líneas de fierro que se dirigen a los niveles 2750 Rumpuy y 2765 Golden hacia donde se envían pulpas de densidad limitada para evitar atoro de tuberías y mantener la presión en la bomba hasta a un límite de 36 bar.

Una tercera línea es la de HDPE que ingresa al nivel 2700 Bernabé, por debajo de la cota de la bomba que es de 2,715 msnm, para bifurcarse en el interior de la mina, por el sur hacia los niveles inferiores de la zona Candelaria y por el norte hacia las ricas zonas de Lourdes y Milagros. La presión en la bomba cuando envía pulpas de relleno de 1.600 Kg/L por esta línea se reporta en 16 bares.

En un capítulo que se trata más adelante se analizan las condiciones en las que trabaja las líneas de relleno hidráulico tendidas entre la planta y las áreas de la mina. A continuación se realiza una breve descripción de la bomba Feluwa.

#### **3.8.4.3 LA BOMBA FELUWA**

Las bombas de pistones tienen un campo de empleo muy particular, el que no puede ser alcanzado por la de otro tipo. Mediante la utilización de las bombas de pistones se puede enviar variados caudales de agua o pulpas hasta alcanzar cabezas hidráulicas de más de 300 bar Las bombas de este

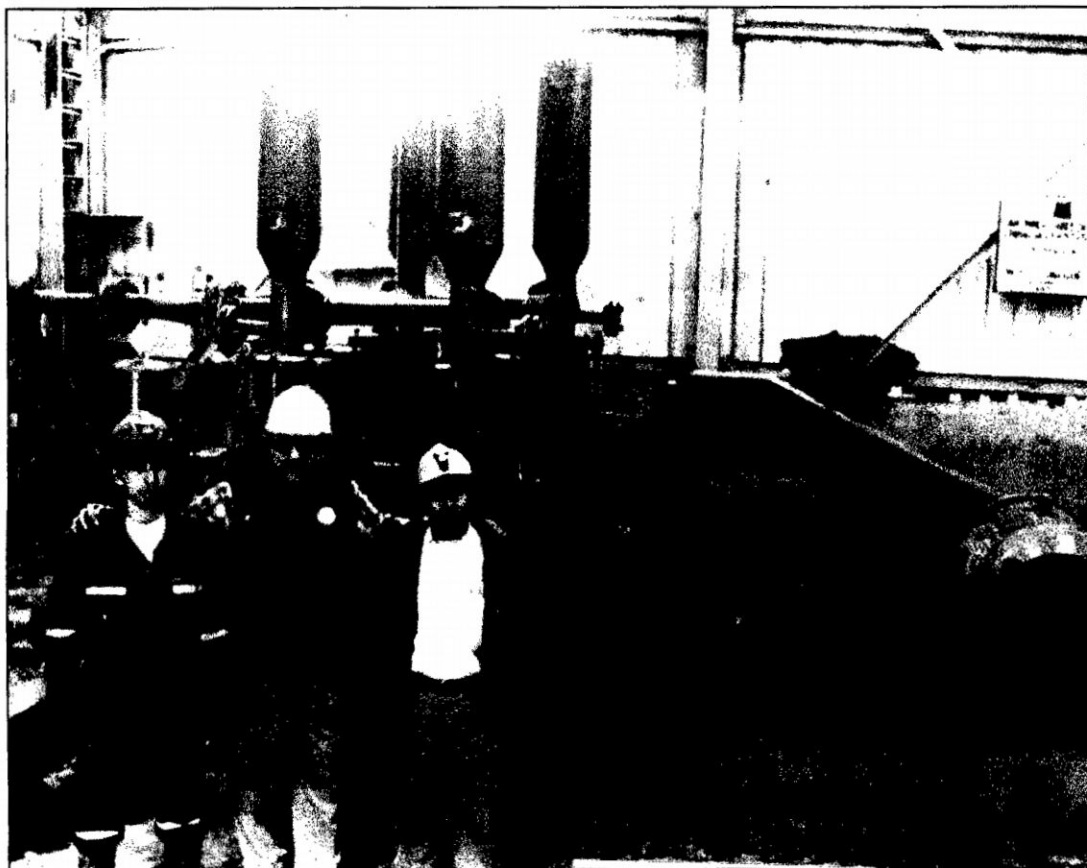
tipo que se fabricaban hace 20 años y que se empleaban para bombear sólidos sufrían rápido deterioro por la abrasión en los cilindros y pistones a causa del contacto con el material sólido, contacto que era invisible aunque se intentaba diluir las mezclas con las inyecciones agua limpia directamente hacia los cilindros.

El desarrollo de las bombas HDP (hose – diaphragm-piston), en las que se ha conseguido que los pistones impulsen la carga sin tener que entrar en contacto con ella, revolucionando la industria y particularmente puso al alcance de la minería una excelente herramienta por el cual se puede transportar relaves a elevadas alturas y distancias.

Varias empresas fabrican bombas especiales para transportar sólidos entre las que se encuentran las pastas y pulpas de relleno hidráulico. La tecnología ha llegado a desarrollar las bombas del tipo HDP que se fabrican normalmente entre uno y cuatro pistones para cubrir diversos rangos de caudales y presiones que en su mayor caudal van hasta 600 gpm a 30 bar, y de 80 gpm a 320 bar en sus bombas diseñadas para alcanzar mayor presión.

En (Anexo N° 03) se muestra sintéticamente los alcances de la bomba HDP en general, los de las bombas Feluwa del tipo 4SM de dos pistones y, adicionalmente para comparación, el de los rangos particulares de la bomba que se tiene instalada en la mina.

La pieza fundamental del sistema de relleno hidráulico en la unidad minera consiste en la bomba de pistones HDP de marca FELUWA DEL TIPO ZGL 110/135-2K 180 – 4SM 460HD, la que en su construcción original, se acopla normalmente a un motor de 110 HP, (Ver en F33-CIII).



*F33 – III Vista de la bomba de pistones de marca Feluwa, instalada en la planta de relleno hidráulico del Consorcio Minero Horizonte, para la alimentación de RH hacia los tajos explotados, rangos de presión hasta más de 50 bares.*

Por información de fábrica la bomba puede ser instalada para bombear **158 gpm** hasta una presión en la bomba de 792 PSI (**54.6 bares**), o **182 gpm** 770 PSI (**53.1 bar**), para continuar hacia tramos de escasos incrementos de caudal con un severo descenso en la presión de la inyección.

Se verifica la instalación y se encuentra que la bomba Feluwa trabaja a **36 bar** a **200 gpm**, luego se plantea la habilitación del sistema para que el diseño de la nueva instalación sea ajustada a un 95% de la presión reportada por la fábrica y se pueda de esa manera obtener mejores resultados de la instalación.

La bomba que tiene 460 mm de diámetro de diafragma, es de dos pistones que por el caudal que se ha medido en la mina se calcula que son de 240

mm de diámetro de cabeza, con un desplazamiento de diseño de 135 mm que, en el caso de la que está instalada en la mina se midió que había sido ajustado a 120 mm.

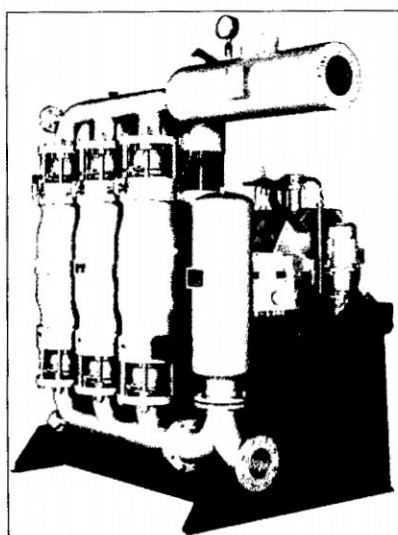
Las modificaciones mas resaltantes de la instalación consisten, primero en la del diámetro de la cabeza del pistón que hace que la bomba alcance las regiones de más alto caudal que puede permitir su construcción y, segundo del motor que supuestamente hubiera sido de 110HP , pero que previendo el caudal que se había dispuesto impulsar, ha sido reemplazado por otro de 220HP conectado a la bomba por fajas y poleas, y de éstas transmiten el movimiento por un sistema reductor que acciona sobre los pistones.

Se inspecciona el funcionamiento de la bomba y se comprobó que los pistones se movían a 68 Strokes por minuto cada uno, lo que significa que la capacidad de flujo está ajustada a 200 gpm o 45.5 m<sup>3</sup>/hr de pulpas sin importar su densidad, cifra que se ha reportado regularmente.

ZGL 100/135 - 2 K 200 - 4 SM 460

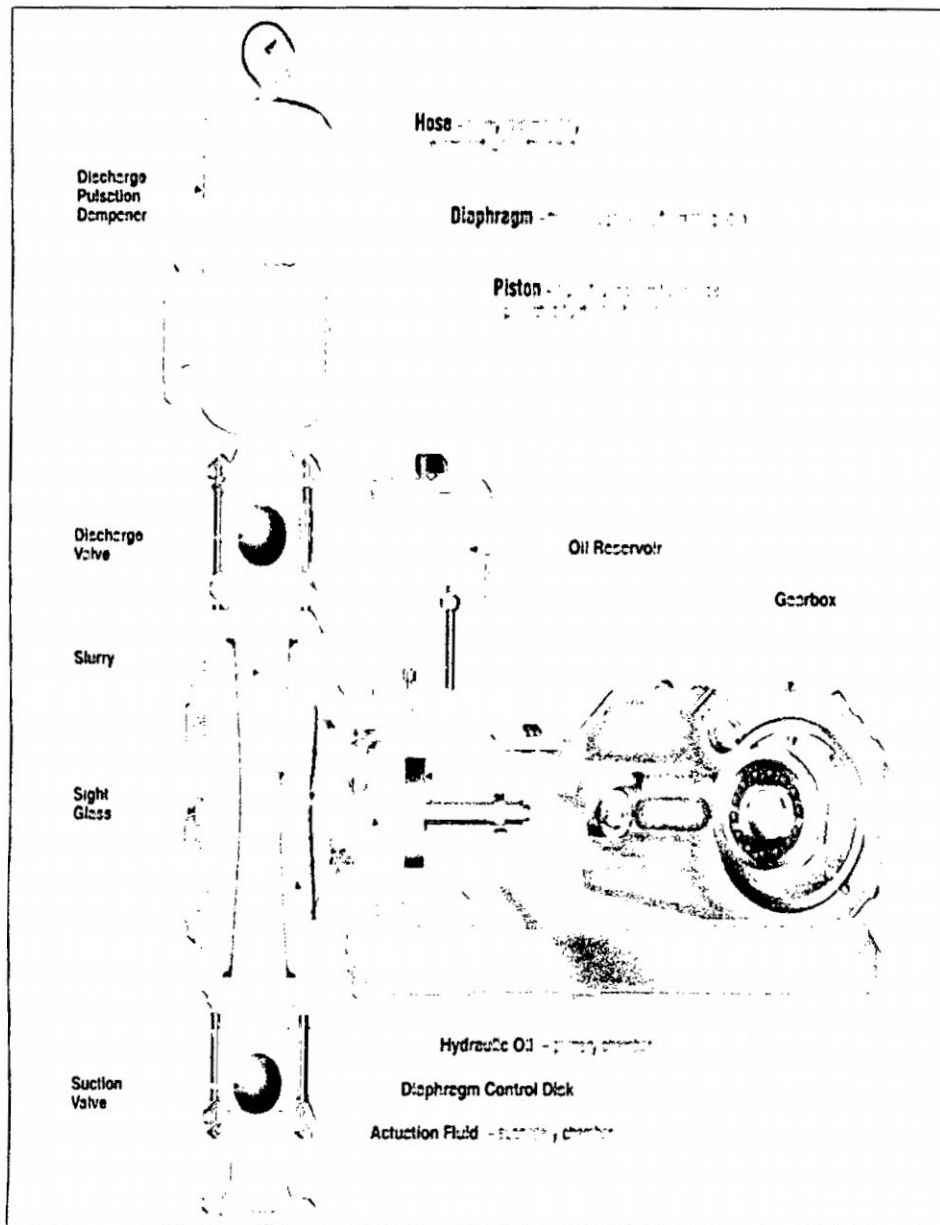
Q = 50 m<sup>3</sup> / hr, H = 40 bar, p = 132 Kw – 200HP y Medio: efluentes de relave

**F34 - CIII REPRESENTACIÓN TIPICA DE LA BOMBA FELUWA**



### F35-CIII CORTE TRANSVERSAL DE LA BOMBA DE PISTONES

#### TOYO HOSE DIAPHRAGM PISTON (HDP) PUMP



### 3.8.4.3.1 DETALLES TÉCNICOS DE LA BOMBA (BOMBA FELUWA)

#### TOYO PUMPS CORPORATION NORTH AMERICA

Fabricante	: FELUWA PUMPEN GMBH
Modelo	: ZGL110/135-2K180-4SM460HD
Serie	: 14041
Tipo de bomba	: Pistón de membrana de manguera
Carrera	: 135mm
Redactor	: $i = 1/4.714$

Diámetro de pistón : 180 mm  
 Diámetro de polea bomba : 1010 mm  
 Diámetro eje : 86 mm  
 Diámetro Polea motor : 275 mm  
 RPM pistón : 1207  
 Carreras : 62.7/min  
 8 fajas SPC-5000LW (C195)

**MOTOR**

Marca : US-MOTORS N° HD 2873/Z04Z018044OR-1  
 Potencia (HP) : 200  
 Voltaje : 460V – 236A  
 RPM : 1190  
 Rodamiento : 6226 – 6220

Los alcances de la bomba Feluwa instalada en la planta de relleno hidráulico de la U.E.A Parcoy, de acuerdo a la información proporcionada, son los siguientes:

**3.8.4.3.2 CAUDALES DE BOMBEO DE LA BOMBA FELUWA**

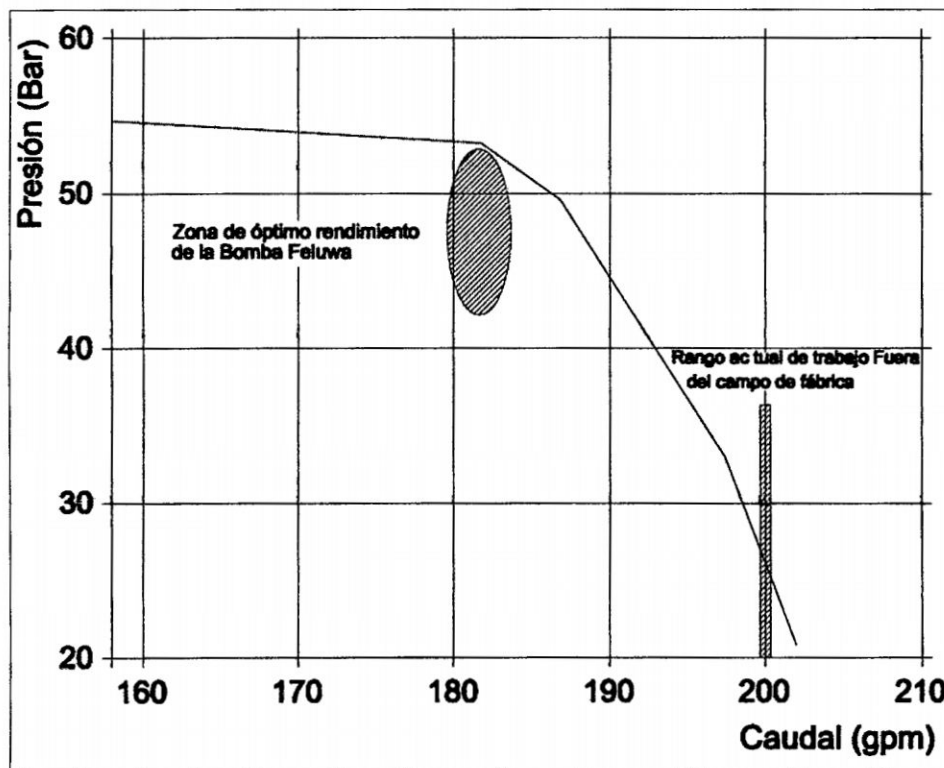
**C16-CIII CAUDALES DE BOMBEO DE LA BOMBA FELUWA (Fuente: CMHSA)**

CAUDAL gpm	PRESIÓN bar	PRESIÓN PSI	COLUMNA m de agua
158	54.61	792.0	564.1
177	53.41	774.6	551.7
182	53.08	770.0	548.4
187	49.57	719.0	512.1
188	48.19	699.0	497.9
192	41.02	595.0	423.8
197	31.99	464.0	330.5
200	25.17	365.0	260.0
202	20.62	299.0	212.9

Valores que se han transcrito en la F36 - CIII, en la que se muestra el rango en el que actualmente está funcionando la bomba, **36 bar a 200 gpm**, rango que supera en 43% el nivel de presión de diseño, peligrosamente fuera del

campo garantizado por la fábrica, no pudiendo aspirarse a alcanzar resultados más elevados sin exponer el equipo a fallar.

#### F36-CIII ALCANCE DE CAUDAL Y PRESIÓN DE LA BOMBA FELUWA DE CMHSA



#### 3.8.4.4 DESPLAZAMIENTO DEL RELLENO HIDRÁULICO

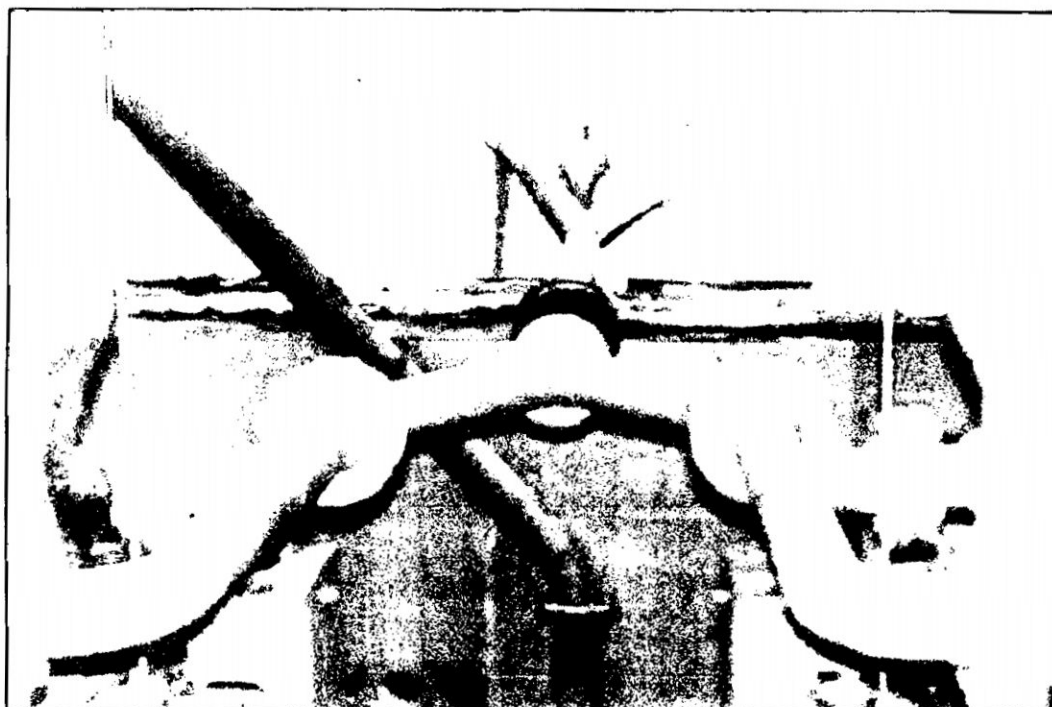
El material es impulsado por la bomba Feluwa a una línea que se bifurca a la misma salida de la bomba, como se ve en la F37 - CIII, bifurcación donde el flujo es manejado por el accionamiento manual a dos válvulas de cuchilla (una a cada línea).

Estas válvulas aunque son adecuados para el manejo de pulpas de relave, han sido construidas de manera que garantice su uso hasta 20 bares de presión. La práctica local ha hecho que estas válvulas soporten cargas de trabajo alrededor de 35 bar, lo que pudieran hacer que podría fallar, en la F38 - CIII se observa las 2 válvulas instaladas a la salida del edificio de la bomba.

Y es que las válvulas de cuchilla estándar de mayor resistencia de fabricación comercial no exceden de capacidad de las que están instaladas a la salida de la bomba, por lo que, en el análisis de los elementos para determinar las acciones a tomar, se considerará que tanto la bomba como este y todo tipo de material y accesorios que se instale trabajen a las cargas y capacidades para los que han sido fabricadas.

Una tercera línea que también se ve en la F38 - CIII, se deriva de uno de los ramales y termina en un tapón, el que se retira para conectar a una tubería de HDPE, para que, tomada la precaución de cerrar las dos válvulas, el material bombeado se dirija al nivel 2700 Bernabé en dirección a las labores ubicadas en ese nivel en las áreas de Lourdes, Candelaria y Sissy.

**F37-CIII BIFURCACIÓN DE SALIDA DE LA BOMBA CON RAMALES DIRIGIDOS A RUMPUY 2750 Y A GOLDEN 2765**





#### **3.8.4.5 LINEAS DE CONDUCCION Y ACCESORIOS**

Los conductos, sean tuberías de fierro, o de algunas aleaciones, son fabricados dentro de los rangos que están claramente definidos por los estándares. Los conductos y los accesorios que se fabrican ajustados a los estándares garantizan su correcta instalación y eficaz utilización.

En los análisis de investigación y operación se comprueba deficiencias de fabricación, o al menos incompatibilidad, en dos casos, las ranuras de dimensiones incorrectas y variadas ubicaciones en los tubos de fierro y el diámetro exterior de la tubería de 4" HDPE que es de 4 3/8" en vez del diámetro que señala el estándar que es de 4 1/2".

En el primer caso las coplas stylo 77 no pueden quedar ajustadas a las ranuras y, en el segundo, los acoplamientos stylo 995 no llegan a morder los extremos de los tubos que se desea acoplar y se sueltan al menor incremento de presión en la línea con consecuencias indeseables.

### 3.8.4.6 FUNDAMENTOS DE DISEÑO Y CÁLCULO DEL FLUJO DE RELLENO HIDRAULICO

#### 3.8.4.6.1 SIMBOLOS QUE SE EMPLEAN EN EL ESTUDIO

Los símbolos utilizados en las formulas del estudio son los siguientes:

Cs	: Porcentaje de sólidos en volumen	Ca	: Porcentaje de agua en volumen
Ps	: Porcentaje de sólidos en peso	D	: Diámetro interior de tuberías (ft)
dm	: Densidad de la pulpa, Kg/L	fs	: Factor de resistencia al flujo de pulpas
Gs	: Gravedad específica de los sólidos	$\mu$	: Tamaño de partículas, mm
n	: Factor de resistencia de conducto	P	: Presión, bar
P	: Presión, PSI	q	: Caudal, m <sup>3</sup> /hr
Q	: Caudal, gpm	Rf	: Resistencia por fricción, m
Rh	: Resistencia por altura, m	Sm	: Gradiente hidráulica para pulpas
Rt	: Resistencia total, m	Vr	: Velocidad de depósito, ft/seg
St	: Gradiente hidráulica para agua	V	: Volumen, m <sup>3</sup>
V	: Velocidad media del flujo, ft/seg		
Vd	: Velocidad de diseño, ft/seg		

#### 3.8.4.6.2 GRADIENTE HIDRÁULICA

Esta es la pérdida de presión a causa de la fricción del líquido en su desplazamiento dentro del conducto y se expresa como un factor de longitud.

Los valores de gradiente hidráulica pueden calcularse sobre la base del caudal o de la velocidad del flujo y de la sección del conducto.

La experimentación encuentra su principal referencia para el cálculo en la fórmula de Manning que, utilizando los símbolos que se presenta en el punto 3.8.4.2, se expresa como sigue:

$$S = \left[ \frac{v * n}{0.590 * D^{2/3}} \right]^2$$

Fórmula en la que se utiliza un valor para "n" de 0.012 que se ha visto en el que corresponde a las características de las líneas de relleno hidráulico instaladas y que aplicamos para el cálculo de la gradiente hidráulica para flujos de entre 177 y 200 gpm dentro de tubería de fierro de 3 ½, 4 y 5 pulgadas Schedule 80 y en tubería de 4 pulgadas Schedule 120.

Las dimensiones de la sección de los tubos valores se muestran en el C17 - CIII. En el C18 - CIII se muestra la velocidad resultante para los flujos entre 158 y 202 galones por minuto los caudales a los que el fabricante ha emitido las curvas de trabajo de la bomba instalada.

### Observaciones

Es muy necesario detallar las dimensiones de las tuberías, los diámetros interiores, exteriores, así como el espesor del mismo. (Ver Anexo N° 04)

### C17-CIII DIMENSIONES DE LA SECCIÓN DE LOS TUBOS DE FIERRO Y HDPE

TABLA I					
DIAMETRO DE TUBERIA (PULG)	3 ½"	4"	4"	5"	4"
Schedule	80	80	120	80	HDPE
Diámetro externo (pulg.)	4.000	4.500	4.500	5.563	4.500
Diámetro interior (pulg.)	3.364	3.826	3.152	4.813	3.750
Espesor de la pared (pulg.)	0.318	0.337	0.674	0.375	0.375
Profundidad de la ranura (*) (pulg.)	0.083	0.083	0.083	0.084	.....
Diámetro interior (pies)	0.2803	0.3188	0.2627	0.4011	0.2917

También se hicieron pruebas de velocidades de flujo de pulpa en el interior de tuberías en los diferentes diámetros y están representados en una tabla para su mejor comprensión, que luego presentamos a continuación.

### C18-CIII VELOCIDAD DEL FLUJO DE AGUA EN LOS TUBOS DE 3 ½ A 5 PULGADAS

(Ver cálculo en Anexo N° 04)

TABLA II					
DIAMETRO NOMINAL	3 ½"	4"	4"	5"	4"
Schedule	80	80	120	80	HDPE
CAUDAL (GPM)					
158	5.70	4.41	6.49	2.79	5.27
177	6.39	4.94	7.27	3.12	5.90
182	6.57	5.08	7.48	3.21	6.07
187	6.75	5.22	7.68	3.30	6.23
188	6.79	5.25	7.72	3.31	6.27
192	6.93	5.36	7.89	3.38	6.27
197	7.11	5.50	8.10	3.47	6.57
200	7.22	<b>5.58</b>	8.22	3.53	<b>6.67</b>
202	7.29	5.64	8.30	3.56	6.73

De lo calculado de la C18 - CIII se encuentra que el caudal medido de **200 gpm** se desplaza en la línea de 4" Schedule 80 a una **velocidad media** de **5.58** pies por segundo (fps) y de **6.67** fps en la tubería de HDPE de 4".

Así mismo, se calcula que la velocidad media dentro del tubo de 5" es demasiado baja, aún en los caudales mas elevados por lo que se descarta su utilización para el objeto del servicio mientras se cuente con la bomba actualmente instalada.

La optimización de los resultados del sistema apunta al bombeo de pulpas de la mayor densidad que se pueda manejar de manera que se alcance el mayor volumen del relleno posible.

Al comprobarse que el caudal que actualmente se bombea es tan alto que, por las curvas enviadas sobre el funcionamiento de la bomba, el sistema no debería utilizarse a presiones mayores a 25 bares. En la práctica se ha tomado el límite de 36 bares para operar la bomba, lo que significa que se está operando fuera de los rangos admitidos en el diseño de la bomba.

El criterio que se debe aplicar es que la bomba debe funcionar al caudal más elevado posible que permita que la bomba ingrese dentro del campo para el que ha sido diseñado y construida de manera que pueda someterse a las presiones de diseño y, consecuentemente, se bombee pulpas de mayor densidad en la búsqueda de los mejores resultados posibles, los que también se calcula más adelante.

En el análisis de la curva provista por el fabricante (Ver Anexo N° 03) se observa que a 182 gpm se puede elevar la presión en la bomba hasta 53.08 bar que es de un nivel del 97.2% de la presión a 158 gpm, caudal

demasiado reducido para ser tomado como opción para diseñar la modificación del sistema.

El análisis conduce que se podría lograr flexibilidad en el caudal de 177 gpm, el que con la opción de caudal de 182 gpm se evalúen en sus posibles resultados y se comparan con el flujo de 200 gpm, al que actualmente se encuentra ajustada la bomba.

Para conocer el posible funcionamiento y resultados del sistema en evaluación pasa por el cálculo de las condiciones hidráulicas de las opciones en comparación. El primer elemento a calcular es el de la resistencia de los conductos a los flujos previstos, es decir a determinar las gradientes hidráulicas que caracterizarían a los diversos caudales y diámetro de los tubos que se han determinado para efectuar el cálculo comparativo.

La gradiente hidráulica se calcula, en principio, por la aplicación de la fórmula de Manning a los rangos señalados de caudales de agua aproximadamente de 12 grados centígrados y de la velocidad media que se alcanza en la tubería de cada uno de los diámetros que se ha computado.

En todos los casos se ha considerado utilizar el factor "n" de 0.012 por ser el que mas se ajusta al tipo de conducto que se considera en la evaluación.

La temperatura del agua prácticamente no altera la resistencia al flujo cuando ésta se encuentra en el rango entre 4 y 20 grados centígrados.

Los resultados computados de los valores de gradiente hidráulica se pueden ver en el C19 - CIII, la que se muestra a continuación.

**C19-CIII GRADIENTE HIDRÁULICO PARA FLUJOS DE AGUA (Ver cálculo en Anexo N° 04)**

CAUDAL (GPM)	177	182	200
Tubo de 3 ½" de Sch 80	0.0921	0.0973	0.1176
Tubo de 4" Sch 80	0.0463	0.0490	0.0391
Tubo de 4" HDPE	0.0744	0.0788	0.0951
Tubo de 4" Sch 120	0.1304	0.1376	0.1662

Valores que son la base para determinar la resistencia que caracterizaría al flujo de pulpas de densidades reales entre 1.600 y 1.700 Kg/L, suficientemente altas para bombeo de material sólido cuya máxima concentración teórica es de 1.903 Kg/L.

**3.8.4.6.3 LAS PULPAS DE RELLENO HIDRAULICO**

Las pulpas de relleno hidráulico preparadas con partículas de material sólido de 2.66 de gravedad específica tienen la proporción de sólidos que se muestra a continuación. (Ver cálculo en Anexo N° 04)

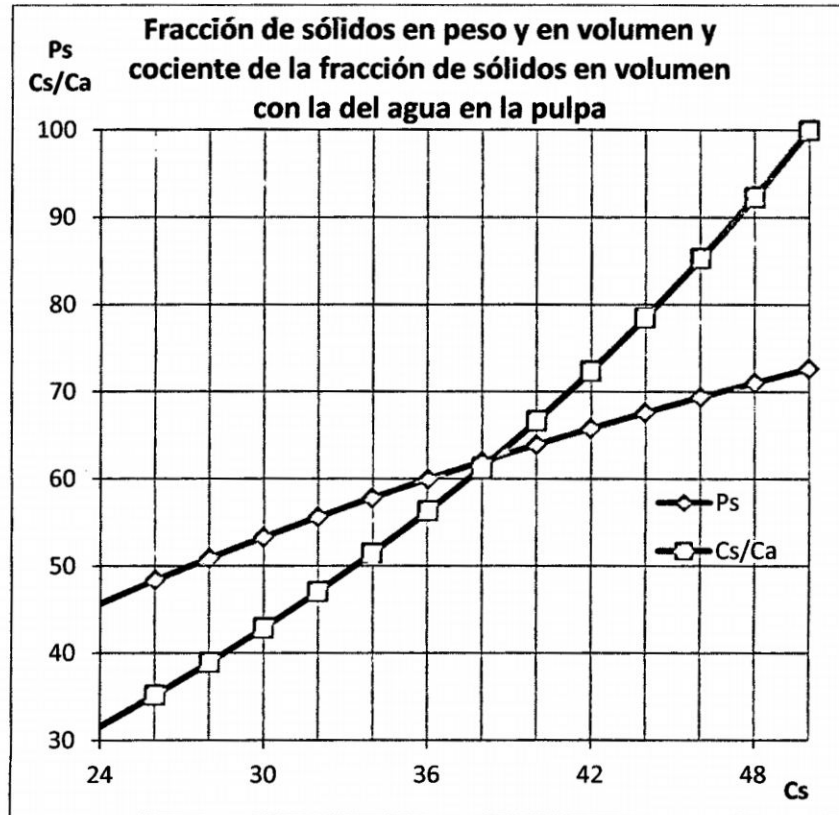
**C20-CIII PARAMETROS HIDRAULICOS DEL RELAVE CLASIFICADO (Fuente: CMHSA)**

Cs	dm	Ps	Cs/Ca
24	1.398	45.650	0.3158
26	1.432	48.310	0.3514
28	1.465	50.850	0.3889
30	1.498	53.270	0.4286
32	1.531	55.590	0.4706
34	1.564	57.810	0.5152
36	1.598	59.940	0.5625
38	1.631	61.980	0.6129
40	1.664	63.940	0.6667
42	1.697	65.830	0.7241
44	1.730	67.640	0.7857
46	1.764	69.380	0.8519
48	1.797	71.060	0.9231
50	1.830	72.680	1.0000

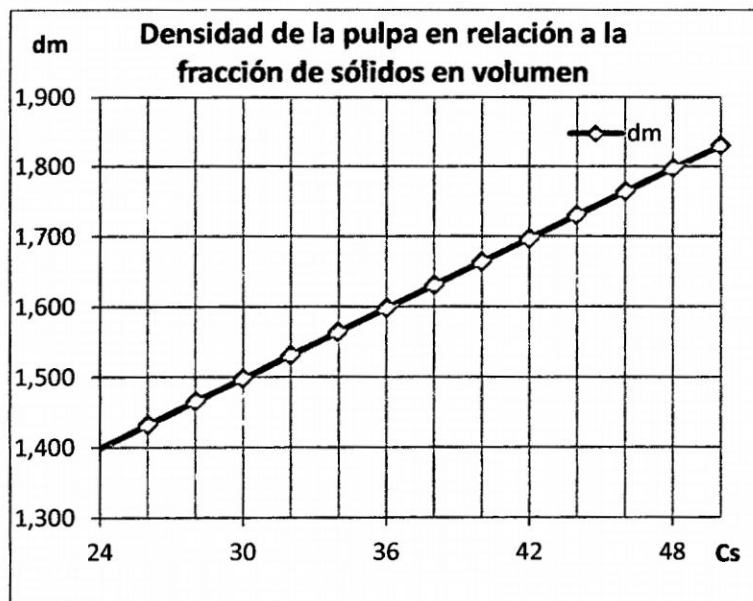
En la F39 – CIII podemos ver la relación entre la densidad que tendrá la pulpa ( $d_m$ ) como resultado del valor de la fracción volumétrica de los sólidos de relave clasificados ( $C_s$ ), que son de una gravedad específica de 2.66 del material.

Así mismo, en la F39.1 – CIII vemos la relación de la fracción de sólidos en peso ( $P_s$ ), y del cociente entre las fracciones volumétricas de los sólidos con respecto a la del agua ( $C_s/C_a$ ) en relación con el valor de la fracción volumétrica de los sólidos de relave clasificados ( $C_s$ ).

F39-CIII FRACCIÓN DE SOLIDOS EN PESO Y EN VOLUMEN (Ver datos Anexo N° 04)



F39.1-CIII DENSIDAD DE LA PULPA EN RELACIÓN A LA FRACCIÓN DE SOLIDOS EN VOLUMEN (Ver datos en Anexo N° 04)



### 3.8.4.6.4 FACTOR DE RESISTENCIA AL FLUJO DE PULPAS

La gradiente hidráulica que se calcula y la que se muestra en el C19 – CIII es la que corresponde a un flujo de agua en caudales determinados que se desplaza a través de tubería de 3 ½ y de 4”.

La gradiente hidráulica se incrementa en relación con la proporcionalidad volumétrica del contenido de sólido con referencia al agua con la que forma la pulpa. En el caso del material utilizado para el relleno en la unidad minera la relación de incremento de gradiente hidráulica de pulpas con respecto a la del flujo de agua se calcula experimentalmente en 1.27 para pulpas de 1.400 Kg/L, 1.41 para 1.500, 1.63 para 1.600 y 1.98 para pulpas de 1.700 Kg/L de densidad, calculándose que el límite teórico de densidad de mezcla es de hasta 1.903 Kg/L, mezcla en la que las partículas sólidas, de acuerdo a la densidad relativa in-situ, llegan al límite de saturación del espacio.

De acuerdo a las características de las pulpas de relleno hidráulico, la resistencia al flujo de estas se calcula aplicando a la gradiente hidráulica encontrada para el flujo de agua un factor de 1.63 para pulpas de 1.600 Kg/L, 1.79 para pulpas de 1.650 Kg/L y de 1.98 para pulpas de 1.700 Kg/L. Efectuado el cómputo se encuentra que la gradiente hidráulica para pulpas de las densidades indicadas a los caudales de entre 177 y 200 gpm es como se muestra a continuación. (Ver cálculo en Anexo N° 04)

**C21-CIII GRADIENTE HIDRAULICA PARA PULPAS DE 1.600 A 1.700 Kg/L. (Fuente: CMHSA)**

DENSIDAD	1.600 Kg/L			1.650 Kg/L			1.700 Kg/L		
CAUDAL (gpm)	177	182	200	177	182	200	177	182	200
<b>Tubo de 3 ½” Sch 80</b>	0.1501	0.1587	0.1916	0.1648	0.1742	0.2104	0.1823	0.1927	0.2328
<b>Tubo de 4” Sch 80</b>	0.0755	0.0799	0.0964	0.0829	0.0877	0.1058	0.0918	0.097	0.1171
<b>Tubo de 4” HDPE</b>	0.1213	0.1284	0.1551	0.1333	0.1411	0.1703	0.1494	0.156	0.1884
<b>Tubo de 4” Sch 120</b>	0.2125	0.2243	0.1551	0.2333	0.1411	0.2975	0.2581	0.2725	0.3291

### **3.8.4.6.5 VELOCIDAD DE DEPÓSITO O CRÍTICA DE LA PULPA**

La velocidad de las pulpas debe ser lo suficientemente alta para evitar el depósito de material en la línea y tan baja como para evitar el deterioro del conducto por abrasión.

El material sólido desplazado hidráulicamente debe concentrarse dentro de una granulometría que limite la proporción de partículas de tamaño mayor, principalmente en los casos que el material tenga alta gravedad específica.

La planta concentradora del Consorcio tiene la particularidad de procesar el mineral en solo una etapa de molienda, lo que hace que, si bien el tamaño de la partícula promedio ( $d_{60}$ ) sea teóricamente manejable, la ocurrencia de una fracción, hasta ahora calculada en 17% de material en tamaño de más de 300 micrones ( $\mu$ ), afecta al flujo obligando a aplicar una velocidad mayor a lo deseable para arrastrar ese rango de partículas en los tramos ascendentes donde podría estancarse, depositarse y causar el estrechamiento del conducto y el taponeo del mismo.

Se ha calculado la velocidad de depósito de la partícula de tamaño medio de materiales de la gravedad específica del tipo de material que se ha colectado para utilizarlo como R.H, que algunos denominan velocidad crítica, pues aunque el concepto hidráulico de velocidad crítica es otro, el término crítico señala precisamente la condición a la que puede llevar el depósito de material sólido en la línea por limitación en la velocidad del flujo. La velocidad "crítica" se ha calculado para el material de gravedad específica de 2.66 del material seleccionado para el relleno en partículas de la granulometría media descrito en el punto (3.2.2).

La práctica orienta que la velocidad crítica o de depósito sea multiplicada por un factor de 1.3 para la conducción de pulpas en tramos horizontales o descendentes y de 1.5 en tramos ascendentes o verticales.

Las velocidades de flujo de caudales de 177, 182, y 200 gpm se muestran para poder comparar con el resultado del cálculo de la velocidad crítica y de diseño, es decir aquella que debe ser superada para los fines de construcción, para poder hacer la comparación de los resultados esperados y hacer la debida elección. Los parámetros de comparación son los siguientes: (Ver cálculo en Anexo N° 04)

**C22-CIII VELOCIDAD CRÍTICA Y DE DISEÑO DEL RELLENO HIDRÁULICO (pies/seg)**

DENSIDAD	1.600 Kg/L					1.700 Kg/L				
Tamaño nominal	3 1/2"	4"	4"	5"	4"	3 1/2"	4"	4"	5"	4"
Schedule	80	80	120	80	HDPE	80	80	120	80	HDPE
Velocidad crítica	3.516	3.750	3.404	4.207	5.388	3.625	3.866	3.509	4.336	3.698
Vel. De diseño flujo horizontal	4.571	4.875	4.425	5.469	4.664	4.712	5.026	4.562	5.637	4.808
Vel. De diseño flujo ascendente	5.275	5.625	5.106	6.310	5.381	5.430	5.799	5.264	6.504	5.547

Las velocidades de flujo de caudales de 177, 182 y 200 gpm que ya han sido calculados se muestra a continuación para poder comparar con los resultados del cálculo de la velocidad crítica y de diseño.

**C23-CIII VELOCIDAD ALCANZADA Y COMPARACIÓN CON RANGOS REQUERIDOS PARA DISEÑO (Ver cálculo en Anexo N° 04)**

Tamaño nominal	3 1/2	4	4	5	4
Schedule	80	80	120	80	HDPE
Caudal GPM					
177	<u>6.39</u>	<u>4.94</u>	<u>7.27</u>	3.12	<u>5.90</u>
188	<u>6.57</u>	<u>5.08</u>	<u>7.48</u>	3.21	<u>6.07</u>
200	<u>7.22</u>	<u>5.08</u>	<u>8.22</u>	3.53	<u>6.67</u>

**X,XX** No supera velocidad del diseño horizontal

**X,XX** Entre velocidad de diseño horizontal y ascendente

**X,XX** Supera la velocidad del diseño ascendente

Cuadro en que se muestra en negrita a los valores superiores a lo que se han calculado para diseñar líneas horizontales y descendentes y, en negrita y subrayado los valores que superan el cálculo establecido para el diseño de líneas verticales ascendentes.

### 3.8.4.6.6 DETERMINACIÓN DEL TIPO Y DIMENSIONES DE TUBERIA

En el punto 3.8.4.6.5 se ha señalado las velocidades que alcanzan los flujos de comparación y sea determinado las velocidades que superan la recomendación de diseño en los diferente tipos y dimensiones de tubería.

El resultado de cómputo fue el siguiente:

**C24-CIII VELOCIDAD DEL FLUJO DE AGUA EN LOS TUBOS DE 3 ½" A 5" PARA CAUDALES DE 177,182 Y 200 gpm. (Ver cálculo en Anexo N° 04)**

Tamaño nominal	3 1/2	4	4	5	4
Schedule	80	80	120	80	HDPE
Caudal GPM					
177	<b>6.39</b>	<b>4.94</b>	<b>7.27</b>	3.12	<b>5.90</b>
188	<b>6.57</b>	<b>5.08</b>	<b>7.48</b>	3.21	<b>6.07</b>
200	<b>7.22</b>	<b>5.08</b>	<b>8.22</b>	3.53	<b>6.67</b>

X,XX No supera velocidad del diseño horizontal

X,XX Entre velocidad de diseño horizontal y ascendente

X,XX Supera la velocidad del diseño ascendente

De la observación de resultado se concluye:

a) Que la velocidad media del flujo en la tubería de 5" Schedule 80 sería demasiado lenta para poderla considerarlo dentro de las posibilidades de utilización ajustadas al equipamiento actualmente existente.

b) Que las tuberías de fierro de 3 ½" **Schedule 80**, las de 4" **Schedule 120** y las de 4" **HDPE** satisfacen holgadamente las condiciones de flujo esperadas para los tres niveles de flujos evaluados. Sin embargo, las tuberías de fierro de 3 ½" no son materiales estándar y si se tendría que

usar, habría que hacer una búsqueda para conocer si hay productores o proveedores que puedan disponer en stock. Por otro lado las tuberías de 4" HDPE solo pueden ser utilizados en tramos donde la presión no supere los 20 bares.

c) Que las tuberías de 4" **Schedule 80** no son recomendables para ser instalado en líneas verticales ascendentes para el bombeo de pulpas de más de 1.600 Kg/L, sin embargo, siguen siendo del tipo que más se adapta para su uso en líneas horizontales o descendentes de las pulpas indicadas, con la ventaja de ser el tipo de conducto que menos sufriría la abrasión y la que mejor resultado daría del empleo energético.

### **Observación**

Para evitar cálculos continuos en la determinación de la velocidad de depósito (velocidad crítica) a continuación presentamos un ejemplo de cálculo utilizando la ecuación mencionada en el ítem 3.8.3.1.

Para nuestro caso utilizamos la ecuación de Durand y Condolios.

Las velocidades críticas, están calculadas en el cuadro de velocidades, a continuación calcularemos solo de manera demostrativa utilizando la ecuación citada.

$$V_c = FL * \sqrt{\frac{2 * g * D * (\delta - \rho)}{\rho}} \dots\dots\dots (1)$$

Donde:  $V_c$  = Velocidad crítica

$FL$  = Parámetro que depende  $C_v$  y de "d" (adimensional)

$g$  = Aceleración de la gravedad 32.2 ft/s.

$D$  = Diámetro de la tubería en pies

$\delta$  = Gravedad específica del sólido

$\rho$  = Densidad de la pulpa.

$C_v$  = % de sólidos en volumen

$d$  = diámetro de partícula: 4M – 50M (4.7mm – 0.3mm)

Reemplazando datos en (I):

$$V_c = FL * (2 * 32.2 * 0.33 * (2.66 - 1.9)) / 1.9)^{1/2} = FL * (2.97) \dots \dots \dots (II)$$

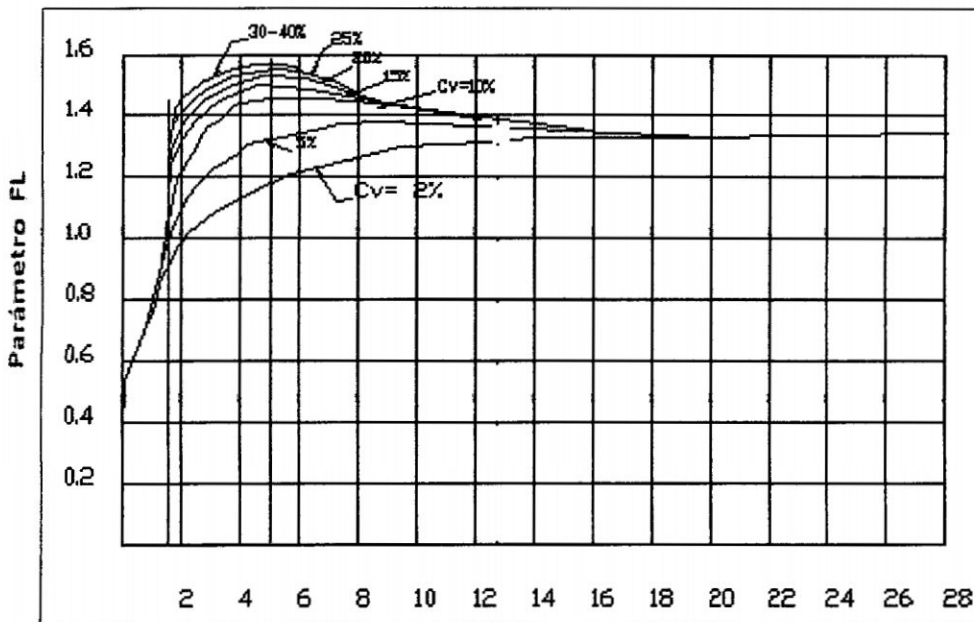
Con " $d$ " y  $C_v$  en la curva de lodos heterogéneos se obtiene  $FL = 1.3$

Se obtiene la velocidad crítica  $V_c = 5.11$  ft/s (1.55 m/s).

### Observación importante

Para la aplicación de esta fórmula, Durand y Condolios obtuvieron una curva empírica de  $FL$  en función del tamaño de las partículas.

F40-CIII CURVA EMPÍRICA PARA EL CÁLCULO DE LA VELOCIDAD CRÍTICA (pies/seg)



Tamaño de partículas (mm)  
FL como función del tamaño de partículas y de la concentración volumétrica ( $C_v$ )

Se recomienda que la velocidad de operación debe superar por lo menos en 1 ft/ s a la velocidad crítica.

$$C_v = \frac{\rho - 1}{\delta - 1}$$

La densidad de la pulpa es 1,700 g/L, la gravedad específica del sólido es 2.66; EL Cv es 44.56 % en volumen.

### **3.8.5 DESCRIPCIÓN DE LA MECÁNICA DE FLUJO DEL SISTEMA DE RELLENO HIDRAULICO ACTUAL**

Una vez determinado el tipo y dimensiones de la tubería ahora la preocupación radica en el envío de pulpa a los tajeos para lo cual se realiza la descripción de la mecánica de flujo del sistema.

Se tiene la bomba Feluwa que está ubicada a una altura de 2,829 msnm. La distancia que recorre la tubería para llegar desde la bomba al nivel de la bocamina Golden 2765 a una cota de 2,884 msnm es de 218 metros, para recorrer a lo largo de ese nivel 2,186 metros más y llegar a la zona Milagros, donde, por la gradiente de la galería se tiene una diferencia de cota con la planta de Relleno Hidráulico de 71 m. La distancia para los fines de cálculo hidráulico se registra de 240 ml entre la bomba y la bocamina, y de 2,295 ml entre la bocamina y la zona Milagros en el mismo nivel.

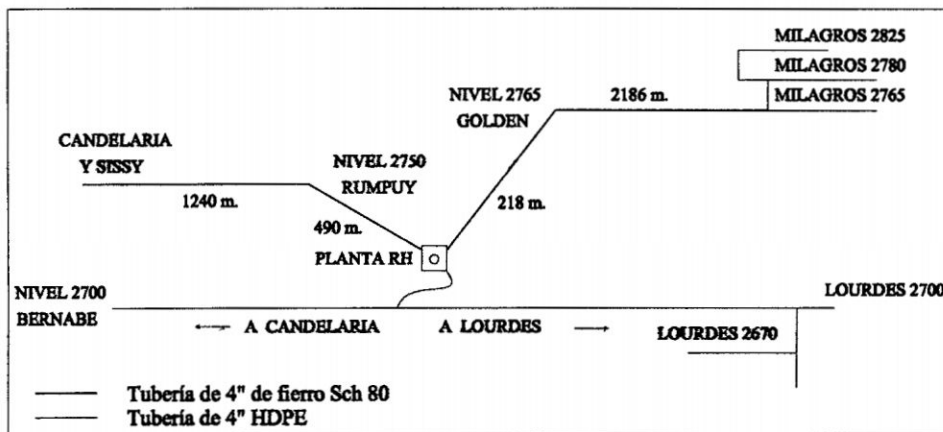
La Bocamina Rumpuy 2750 se encuentra a un recorrido lineal real de 490 metros, existiendo una longitud de 1,240 ml para llegar a la zona Sissy en el mismo nivel, aunque por la gradiente del piso la diferencia de cota entre el frente y la bomba es de 41.3 m Para los fines de cálculo, las longitudes de línea equivalente son de 538 ml entre la bomba y la bocamina Rumpuy, y de 1,302 ml desde la bocamina hasta el frente Sissy en el mismo nivel.

Como se ha descrito en el punto 3.8.4.5, el sistema actual de distribución consiste en dos líneas de fierro de 4" Schedule 80 que se dirigen a los niveles 2750 Rumpuy y 2765 Golden y una tercera línea de HDPE, que ingresa al nivel 2700 Bernabé, por debajo de la cota de la bomba que es de

2,715 msnm, para bifurcarse en el interior de la mina, por el sur hacia los niveles inferiores de la zona Candelaria y, por el norte hacia las ricas zonas de Lourdes y Milagros.

En la F41 – CIII se muestra gráficamente y en forma sintética la longitud y tipo de tubería que forma parte de las líneas de distribución para el bombeo de relleno hidráulico como se está operando actualmente

**F41-CIII DISTRIBUCIÓN DE LINEAS DEL SISTEMA DE RELLENO HIDRAULICO ACTUAL**



### 3.8.5.1 CALCULO DE LAS CONDICIONES DEL SISTEMA ACTUAL

De la descripción de la mecánica de flujo del sistema, para los fines de evaluar los alcances del sistema actualmente en uso se calcula el efecto del flujo 200 gpm de pulpas de una densidad de 1.600 Kg/L bajo las referencias geográficas indicadas y las características de la línea de fierro de 4" Schedule 80 instalada en la líneas de los niveles Rumpuy y Golden, para proceder a calcular las condiciones que en la actualidad soportan las líneas y accesorios del sistema de relleno hidráulico, los alcances y limitaciones del servicio.

El volumen que ocupa el material de relave seleccionado enviado en una pulpa de 1.600Kg/L al caudal actual de 200 gpm alcanza a ser, ya

emplazado en el tajeo y considerado una pérdida de 5% y un esponjamiento de 83%, de 28.5 m<sup>3</sup>/hr.

**Línea al Nivel 2765 Golden hasta la zona Milagros:**

2,535 ml Tubo de 4" Sch 80	244.4 ml de agua de cabeza
71 ml de altura x1.600Kg/L de densidad	<u>113.6</u> ml de agua de cabeza
<b>Cabeza Total en ml</b>	<b>358.0 ml</b>
<b>Presión: C.T x 0.968, en bar</b>	<b>34.7 bar</b>
<b>Potencia efectiva:</b>	<b>69.8 hp</b>

(Ver Cálculos en Anexo N° 04).

**Línea al nivel 2750 Rumpuy hasta la zona Sissy:**

1,840 m.l. Tubo de 4" Sch 80	177.4 ml de agua de cabeza
41.3 m.l. de altura x 1.600kg/L de densidad	66.1 ml de agua de cabeza
<b>Cabeza total, ml</b>	<b>243.5 ml</b>
<b>Presión: C.T x 0.968, en bar</b>	<b>23.4 bar</b>
<b>Potencia efectiva:</b>	<b>47.5 hp</b>

(Ver Cálculos en Anexo N° 05).

**3.8.5.2 EFECTOS DEL SISTEMA SOBRE SUS COMPONENTES**

Las cifras que han resultado confirman las mediciones de presiones registradas en la bomba y muestran que los accesorios llámense válvulas o coplas están sometidas, principalmente cuando se **bombea al nivel 2765 Golden, a una presión bastante mayor a la que garantiza la fábrica.**

Las cifras también confirman el reducido consumo energético tanto a uno como a otro frente por la práctica normal establecida bajo la idea difundida de no exceder los niveles señalados dentro de un sistema que no está ajustado acertadamente a los parámetros más adecuados a sus potenciales de alcance.

Como se puede ver, los valores de los parámetros mostrados en el cálculo que antecede confirman las limitaciones establecidas por la práctica.

Por lo que es necesario plantear las correcciones y realizarla antes de que el sistema agobie a la operación con sus propias limitaciones o colapse por falla de algunos de sus componentes.

### **3.8.5.3 CAPACIDAD DEL SISTEMA RELLENO HIDRAULICO ACTUAL**

Un tajeo explotado en una veta de la Unidad Minera Parcoy es de un promedio de 86.4 m<sup>3</sup> a 130 m<sup>3</sup> por corte de 2.40 m de altura. El tiempo requerido para realizar cada una de las etapas de preparación y de aplicación del relleno mismo se calcula como sigue:

Lavado previo y posterior de línea	:	1.1 horas
Relleno efectivo	:	3.0 horas
Cambio de línea	:	2.5 horas
Eventualidades 10%	:	0.7 horas
<b>Total de tiempo para relleno hidráulico</b>	<b>:</b>	<b>7.3 horas</b>

El tiempo efectivo de relleno en las condiciones actuales es de 41.1% del tiempo disponible, lo que quiere decir que, en 28 días de 24 horas al 80% de eficiencia se dispondría de 537 horas de las que se podría operar en la aplicación efectiva de relleno 220.9 horas, en las que se podría emplazar un volumen mensual de 6,300 m<sup>3</sup>, que prácticamente cubriría la necesidad de las operaciones al ritmo actual de producción.

El servicio de relleno hidráulico bajo las condiciones de la actual instalación no podría cubrir la demanda de las operaciones a un ritmo de producción de 1200 a 1500 TMS diarias

### **3.8.6 MODIFICACIÓN DE LA MECANICA DE FLUJO DEL SISTEMA**

La idea básica de la evaluación del sistema de Relleno Hidráulico es el de alcanzar a bombear a los puntos más elevados y distantes posible caudales de pulpas de limitado contenido de agua, garantizando que estos se encuentran dentro de los rangos de diseño de la bomba y sus componentes de las líneas y sus accesorios.

En la instalación actual la bomba está trabajando dentro de un rango que excede las condiciones de diseño en cuanto al caudal al que funciona, caudal que se encuentra permitido solo para utilizar la bomba en los rangos de más baja presión.

Por otro lado, los accesorios instalados en las partes más cercanas de las líneas a la bomba no están diseñados para alcanzar las presiones de trabajo actualmente vigentes. Mientras las presiones de diseño son de no más de 20 bares, las condiciones a las que la somete el trabajo son de más de 30 bar; lo que debe ser tomado en cuenta para efectuar la evaluación de selección y localización de los accesorios.

#### **3.8.6.1 OBJETIVO**

Se busca determinar el rango de operación de la bomba y del sistema en su integridad, de modo que se determine las condiciones más convenientes a las que se debe ajustar el sistema; es decir se debe buscar optimizar lo siguiente:

- El caudal más alto en el que la bomba pueda garantizar un trabajo a alta presión.
- La alimentación de las pulpas de mayor densidad posible y a los lugares más distantes y elevados que sea factible abastecer.

- La instalación de líneas que a garanticen un flujo libre de depósito y taponeo.
- La colocación de accesorios adecuados a la carga que se calcule hayan de soportar.
- La facilidad para alcanzar el más fácil manejo y control.
- La bomba será ajustada a un caudal en el que se pueda elevar su presión a niveles tales que pueda bombearse pulpa de mayor densidad y alcanzar puntos que la instalación actual no está en capacidad de lograr.

### **3.8.6.2 EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DE LA MODIFICACIÓN DE LA MECANICA DE FLUJO DEL SISTEMA**

La línea de salida de la bomba debería ser colocada con bridas para juntar uno y otro tramo por la presión a la que sería sometida la línea en el tramo inicial ascendente. Tampoco tendrá instaladas válvulas hasta que se llegue a un punto donde la presión lo permita, punto que debería señalarse a una distancia adecuada de manera que se pueda efectuar la distribución correspondiente.

Después de la descripción de la instalación en la mina y visto las necesidades a mediano y largo plazo de las operaciones, se encuentra que es necesario y más conveniente que la línea de alta presión siga el trazo de la que actualmente se dirige al nivel 2765 Golden, en el que utilizará los mismos soportes sobre los que la actual línea se encuentra apoyada. Los soportes podrán dar base a la nueva línea con un mínimo trabajo de habilitación.

La distancia que recorre la tubería para llegar al nivel de la bocamina Golden 2765 sería igual que la actual, es decir de 218 metros, para luego

recorrer 2100 metros más a lo largo de ese nivel y llegar a la zona milagros punto que ubica a una diferencia de cota con la planta de RH de 71 m, la distancia para los fines de cálculo hidráulico, al igual que se aplicó en el caso de la instalación actual, se registran de 240 ml entre la bomba y el nivel 2765, y de 2295 ml entre punto de llegada al nivel y la zona milagros en el mismo nivel.

### **3.8.6.3 EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL FLUJO DE PULPAS ENTRE 1.600 A 1.700 Kg/L PARA CAUDALES DE 177 Y 182 GPM EN LINEA AL NIVEL 2765 GOLDEN HASTA LA ZONA MILAGROS**

Para los efectos de cálculo se evalúa el efecto del flujo de pulpas entre 1.600 y 1.700 Kg/L en tubería de 3 ½" Schedule 80 y 4" Schedule 80 en el tramo de 218 metros a la salida de la bomba, tuberías que deben ser colocadas con juntas bridadas. Al utilizar tuberías de 3 ½" en el tramo inicial y de 4" en los 2,100 metros hasta llegar a la zona milagros, en donde empalmaría a una tubería de 4" HDPE. Para caudales de 177 y 182 gpm se alcanzarían los resultados siguientes:

**C25-CIII EFECTOS DEL FLUJO DE PULPAS PARA CAUDALES DE 177 Y 182 GPM.**  
(TRAMO INICIAL TUBERIA DE 3 1/2" Sch 80) (Ver Cálculos en Anexo N° 05).

Densidades de pulpa (dm): Kg/L	1.600		1.650		1.700	
CAUDAL (gpm)	177	182	177	182	177	182
240 mts. de 3 ½" Schedule 80	36.0	38.1	39.54	41.8	43.7	46.2
2100 mts. de 4" Schedule 80	158.6	167.7	174.2	184.2	192.7	203.7
200 mts. de 4" HDPE	24.3	25.7	26.7	28.2	29.5	31.2
Hxdm	113.6	113.6	117.15	117.15	120.7	120.7
<b>Cabeza Total (m)</b>	<b>332.5</b>	<b>345.0</b>	<b>357.5</b>	<b>371.3</b>	<b>386.6</b>	<b>401.8</b>
<b>Presión en la Bomba (bar)</b>	<b>32.2</b>	<b>33.4</b>	<b>34.6</b>	<b>36</b>	<b>37.4</b>	<b>38.9</b>
<b>Energía en Motor (hp)</b>	<b>57.4</b>	<b>61.2</b>	<b>61.7</b>	<b>65.96</b>	<b>66.7</b>	<b>71.3</b>

En el caso de utilizar en el tramo inicial tubería de 4" Schedule 120 en vez de 3 ½", que por no ser tamaño muy difundido comercialmente sería difícil

de conseguir, los resultados de la instalación manteniendo las otras instalaciones sería:

**C25.1-CIII EFECTOS DEL FLUJO DE PULPAS PARA CAUDALES DE 177 Y 182 GPM.**

(TRAMO INICIAL TUBERIA DE 4" Sch 80) (Ver Cálculos en Anexo N° 05).

Densidades de pulpa (dm): Kg/L	1.600		1.650		1.700	
CAUDAL (gpm)	177	182	177	182	177	182
240 mts. de 4" Schedule 120	51.0	53.9	56.0	59.2	61.9	65.4
2100 mts.de 4" Schedule 80	158.6	167.7	174.2	184.2	192.7	203.7
200 mts. de 4" HDPE	24.3	25.7	26.7	28.2	29.5	31.2
Hxdm	113.6	113.6	117.15	117.15	120.7	120.7
<b>Cabeza Total (mts.)</b>	<b>347.4</b>	<b>360.8</b>	<b>373.9</b>	<b>388.7</b>	<b>404.7</b>	<b>421.0</b>
<b>Presión en la Bomba (bar)</b>	<b>33.6</b>	<b>34.9</b>	<b>36.2</b>	<b>37.6</b>	<b>39.2</b>	<b>40.8</b>
<b>Energía en Motor (hp)</b>	<b>60.0</b>	<b>64.0</b>	<b>64.6</b>	<b>68.9</b>	<b>69.9</b>	<b>74.7</b>

La diferencia en el resultado del flujo y energético entre usar la línea de 3 ½" Schedule 80 o de 4" Schedule 120 es de un 5%. Solo se trataría de un asunto de oportunidad de conseguir la línea de 3 ½".

**Observación:** El ajuste de caudal de la bomba a un flujo de 177 o 182 gpm haría que el envío de pulpa de 1.700 Kg/L produzca una presión en la bomba de **40.8 bar**, presión que se encuentra muy debajo de la que se puede ejercer sobre la bomba a esos caudales.

**3.8.6.4 ENVIO DE PULPA A NIVELES SUPERIORES DE LA ZONA MILAGROS**

La diferencia entre la presión de diseño y la que se produciría por el flujo ajustada a uno u otro caudal de relleno hidráulico a Nivel 2765 hasta la zona milagros nos indica que el sistema a esos caudales tendría alcance a niveles superiores de la zona milagros, por lo que se procede a calcular el efecto de la longitud y diferencia de altura para la extensión de la línea a Nivel Cáchica 2825, en esta línea se puede considerar la instalación de la tubería HDPE por tratarse de un tramo terminal.

El computo de los efectos de presión en un tramo ascendente final de la línea extendida hasta el Nivel 2825 nos da los siguientes resultados, los que sumamos a los que se calculó para esos caudales bajo las condiciones del tendido de la línea de 4" Schedule 120 en el tramo de salida de la bomba:

**C26-CIII ALIMENTACIÓN A NIVELES SUPERIORES DE LA ZONA MILAGROS (Ver Cálculos en Anexo N° 05).**

CAUDAL (gpm)	dm=1.600 Kg/L		dm=1.650 Kg/L		dm=1.700 Kg/L	
	177	182	177	182	177	182
70 mts. de 4" HDPE	8.5	9.0	9.3	9.9	10.3	10.9
Hxd <sub>m</sub>	80.0	80.0	82.5	82.58	85.0	85.0
Cabeza Adicional (mts.)	85.5	89.0	91.8	92.4	95.3	95.9
Cabeza Total (mts.)	437.9	452.0	468.2	483.4	502.7	519.5
<b>Presión en la Bomba (bar)</b>	<b>42.4</b>	<b>43.8</b>	<b>45.3</b>	<b>46.8</b>	<b>48.7</b>	<b>50.3</b>
Energía en Motor (hp)	75.5	80.2	80.8	85.7	86.9	92.1

Las cifras nos indican que la presión en la bomba llegaría a ser de **50.3 bar** cuando se envía pulpas de relleno de **1.700 Kg/L** hasta las labores del Nivel 2825 de Cachica, presión que se encuentra al 95% de nivel al que la bomba ha sido diseñada.

El abastecimiento de relleno hidráulico de 1.700 Kg/L de densidad al Nivel 2825 de Cachica no puede ser alcanzado con el sistema actual de alto caudal. Bajo las condiciones de la instalación actual, solo puede alimentar pulpas a densidades menores, resultado que se consigue aplicando presiones que exceden los rangos de diseño de la bomba.

**Observación:** El sistema modificado a un caudal de 177 o 182 gpm también podría llegar a alimentar hasta el Nivel 2870, aunque se calcula que la pulpa tendría que ser de densidad limitada a 1.600 Kg/L. Al incrementarse la columna, la línea ascendente sería de 4" Schedule 120 sólo en el tramo vertical entre los Nivel 2765 y 2780, continuando hacia

arriba y los frentes con tubería de HDPE. El cálculo del sistema al Nivel 2870 es el que muestra a continuación:

**C26.1-CIII ENVIO DE PULPA AL NIVEL 2870 (Ver Cálculos en Anexo N° 05).**

CAUDAL (gpm)	dm=1.600 Kg/L		dm=1.650 Kg/L		dm=1.700 Kg/L	
	177	182	177	182	177	182
240 mts. de 4" Schedule 120	51.0	53.8	56.0	59.1	61.9	65.4
2100 mts. de 4" Schedule 80	158.5	167.8	174.3	184.2	192.8	203.7
25 mts. de 4" Schedule 120	5.3	5.6	5.8	6.2	6.5	6.8
200 mts. de 4" HDPE	24.3	25.7	26.7	28.2	29.5	31.2
Hxd <sub>m</sub>	281.6	281.6	290.4	290.4	299.2	299.2
Cabeza Total (mts.)	520.7	534.5	553.2	568.1	589.9	606.3
Presión en la Bomba (bar)	<b>50.4</b>	<b>51.7</b>	53.5	55.0	57.1	58.7
Energía en Motor (bhp)	89.8	94.8	95.4	100.8	101.7	107.5

**3.8.7 DISEÑO DEL SISTEMA MODIFICADO**

Bajo los criterios desarrollados en el capítulo anterior se llega a la conclusión que el sistema debe ser modificado para satisfacer la demanda más exigente, de los tajeos de los niveles altos de la zona milagros, por lo que el conducto básico para el diseño sería la línea que llegaría a esos frentes, es decir, la que asciende desde la planta de relleno hidráulico para llegar a la Bocamina Golden y recorre el Nivel 2765 para llegar a la zona milagros.

La tubería será de **4" Schedule 120** desde la salida de la bomba hasta el punto elevado y ubicado a suficiente distancia de la bomba donde la presión no exceda de **35 bares**, punto desde donde la línea se ramificará hacia cuatro destinos bajo un control de válvulas de cuchilla colocadas a la salida a cada ramal.

Uno de los ramales servirá para la derivación del flujo de relleno hidráulico hacia un tanque receptor de pulpas de relleno que recibirá el material en las

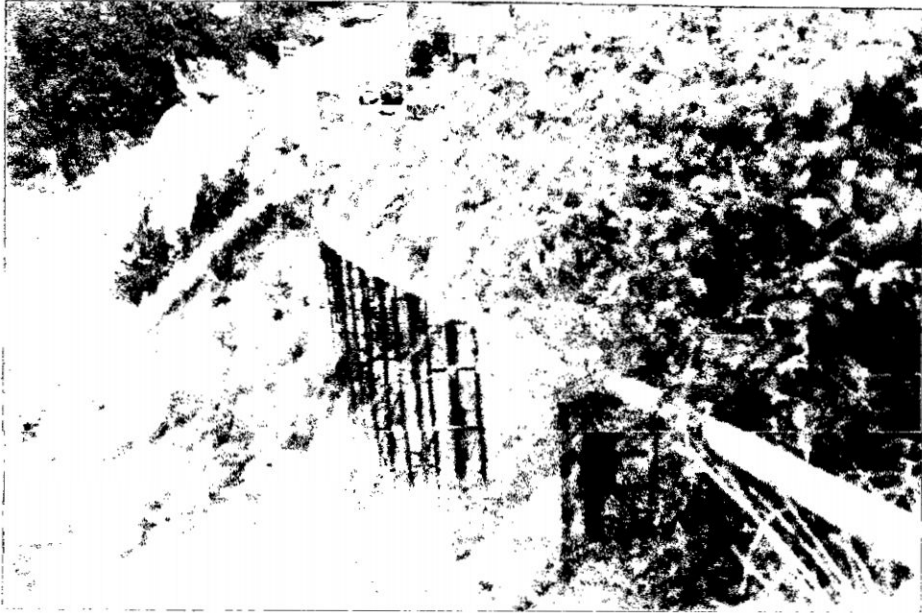
circunstancias en las que la planta no tuviera algún destino ocasional para abastecer de manera directa. Desde ese tanque se podrá abastecer a lugares bajos cuando esto así fuera conveniente. Una vez establecido el nuevo sistema con la bomba ajustada a su caudal y presiones de diseño, el sistema complementario del silo de transferencia de material será enfoque posterior de adaptación simple.

### **3.8.7.1 UBICACIÓN DE VALVULAS**

La línea de 4" Schedule 120 que sale de la bomba asciende hacia el nivel de la bocamina Golden apoyada y ajustada a la estructura que actualmente soporta la línea que se dirige a ese destino. En la F42 – CIII, F43 – CIII, y F44 – CIII se puede ver desde la Planta de relleno hidráulico y desde el nivel de Golden 2765 el tendido actual de tubería, cuyas torres servirán de base para el nuevo tendido.



**F42-CII** *Trazo de la línea que se dirige de la planta hacia Golden 2765 a lo largo de una estructura que favorece al tendido de la nueva instalación troncal. A la izquierda se ve la tubería de HDPE que baja al Túnel Bernabé 2700 y que será sustituida en otra ubicación.*



**F43-CIII** Vista panorámica del tendido de la línea mirando desde el Nivel de Golden 2765. Los soportes de la tubería actual podrán ser habilitados para el tendido de la nueva línea, pudiendo dejarse la línea sustituida para ser conectada en caso de ser requerido por alguna emergencia



**F44-CIII** Tramo actual de la tubería de relleno hidráulico instalada en superficie en el nivel de ingreso al Túnel Golden. El tramo será sustituido por el nuevo trazo en el que la línea descenderá del punto alto donde se ubicará la central de válvulas de distribución.

Desde ese nivel seguirá ascendiendo tubería de las mismas características hasta llegar al punto donde la presión sea la que se ha determinado para poder instalar el punto de ramificación con las válvulas.

El segmento final del tramo troncal de salida de la bomba en tubería de **4" Schedule 120** se construye mediante el acoplamiento bridado de tres yees del mismo diámetro que resultan en cuatro puntos de ramificación, los que tendrán una válvula de cuchilla a la salida de cada ramal, como se muestra en la **F45-CIII**, donde se muestra el trazo del último segmento del tramo inicial, con los terminales de la ramificación también habilitados con bridas.

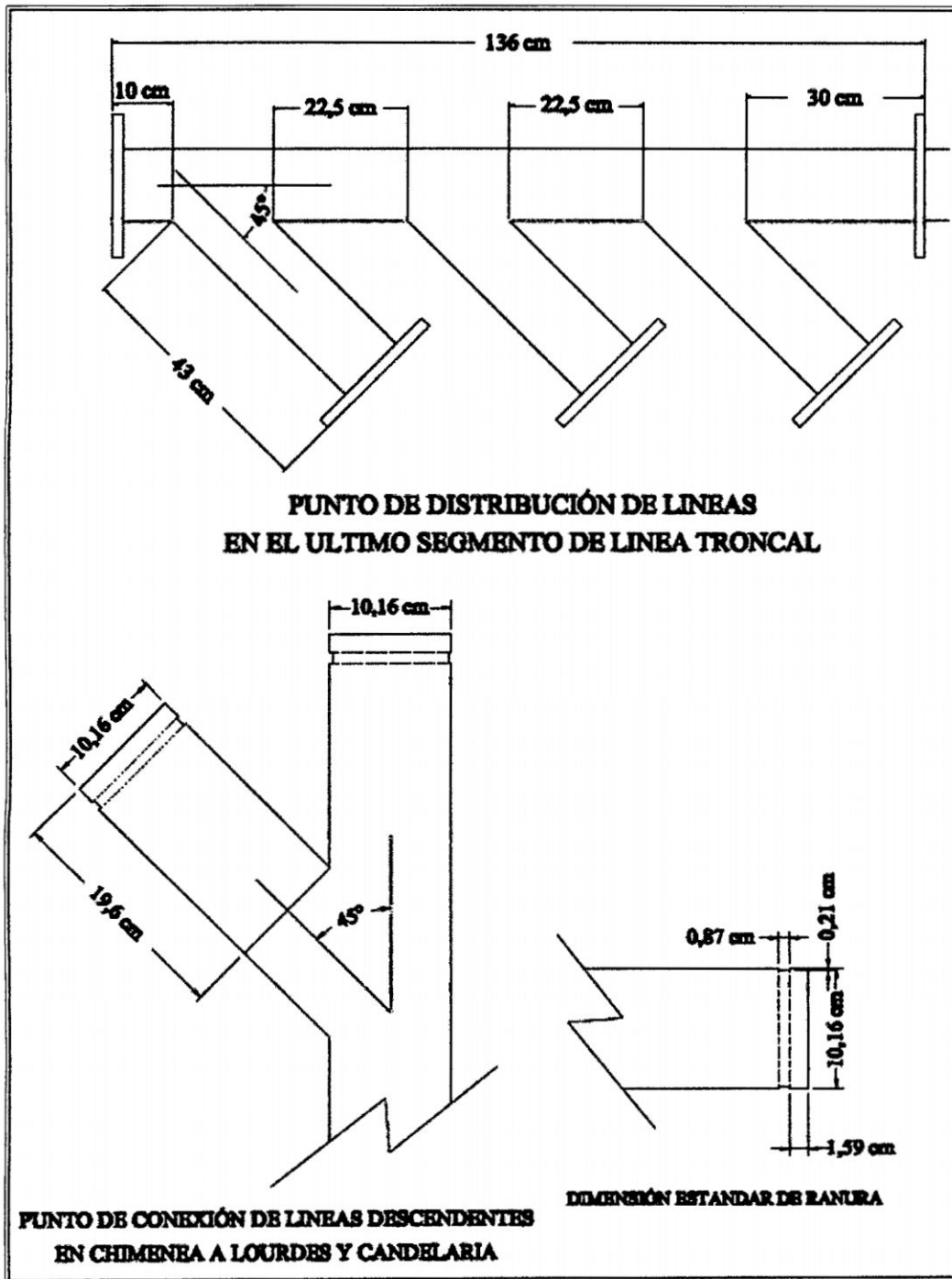
Los tubos que se acoplen a estas válvulas serán de **4" Schedule 80** y serán habilitados en taller especializado para formar una curva uniforme de no menos de 2 metros de radio para que conduzcan la proyección hacia sus destinos.

La línea más importante continúa por el ramal que va en dirección hacia la entrada de la bocamina Golden para abastecer a los niveles altos de la zona milagros (Cachica), tramo que será el que presentará las condiciones de trabajo más exigentes al sistema.

Dos líneas descenderán al nivel 2700 bernabé, para dirigirse una al sur hacia Sissy y candelaria, y la otra al norte a Lourdes y niveles inferiores de milagros.

La última línea sería instalada como parte de un proyecto complementario en el que será utilizada en el envío de material de RH a un tanque que, más adelante, sería usado para abastecer relleno hidráulico a los niveles bajos de los tajeos del Nivel 2700 bernabé.

F45-CIII DISTRIBUCIÓN DESDE EL PUNTO ELEVADO DE TRAMO TRONCAL



Al llegar al nivel de la bocamina Golden, ubicada una cota de 2,882 metros, 67 metros sobre el nivel de la bomba, y después de un recorrido en longitud equivalente de 240 metros la reducción de columna en la línea funcionando normalmente a densidades de entre 1.600 y 1.700 Kg/L y caudales de 177 y

182 gpm al Nivel 2825 Cáchica, en la zona de Mercedes, se calcula como sigue:

**C26.2-CIII ENVIO DE PULPA AL NIVEL 2825 CACHICA ZONA DE MERCEDES PARA CAUDAL DE 177 Y 182 GPM. (Ver Cálculos en Anexo N° 05).**

CAUDAL (gpm)	dm=1.600 Kg/L		dm=1.650 Kg/L		dm=1.700 Kg/L	
	177	182	177	182	177	182
240 mts. de 4" Schedule 120	51.0	53.8	56.0	59.1	61.9	65.4
Hxd <sub>m</sub>	107.2	107.2	110.6	110.6	113.9	113.9
Pérdida de cabeza (mts.)	158.2	161.0	166.6	169.7	175.8	179.3
Cabeza Total a Destino (mts.)	520.7	534.5	553.2	568.1	589.9	606.3
Cabeza al Nivel 2765(mts.)	362.5	373.5	386.6	398.4	414.1	427.0
Presión en el punto(bar)	35.1	36.2	37.4	38.6	40.1	41.3

Presiones que son similares a los que actualmente soporta el sistema y se acercan solo en los casos de abastecimiento de relleno hidráulico de 1.600 Kg/L de densidad, pero son superiores a la del sistema instalado.

Entonces, para que las válvulas se instalen en un punto donde la presión del sistema pueda ser soportada, se encuentra necesario ubicar un punto algo más elevado en el que la presión se reduzca no menos de cinco bar (52.0 metros de columna de agua) el lugar que corresponda a una ubicación que favorezca la distribución general que se ha planteado.

Ese punto se ubicaría de acuerdo al cálculo siguiente:

$$Longitud\ adicional = \frac{52}{\frac{d_m * s}{2}} = \frac{52}{0.85 * 0.33} = 45.0$$

$$Altura\ adicional = \frac{52}{2} = 26.0$$

La longitud del tramo que se eleva y desciende al Nivel 2765 Golden no afectará con presión adicional a la bomba pues, el destino sigue siendo el mismo y línea, que se trazará en dirección hacia la bocamina, sustituirá el tramo actual hasta el punto que la línea retome el nivel antes de ingresar a Golden. Por la alta presión que debe soportar la línea, el tramo de

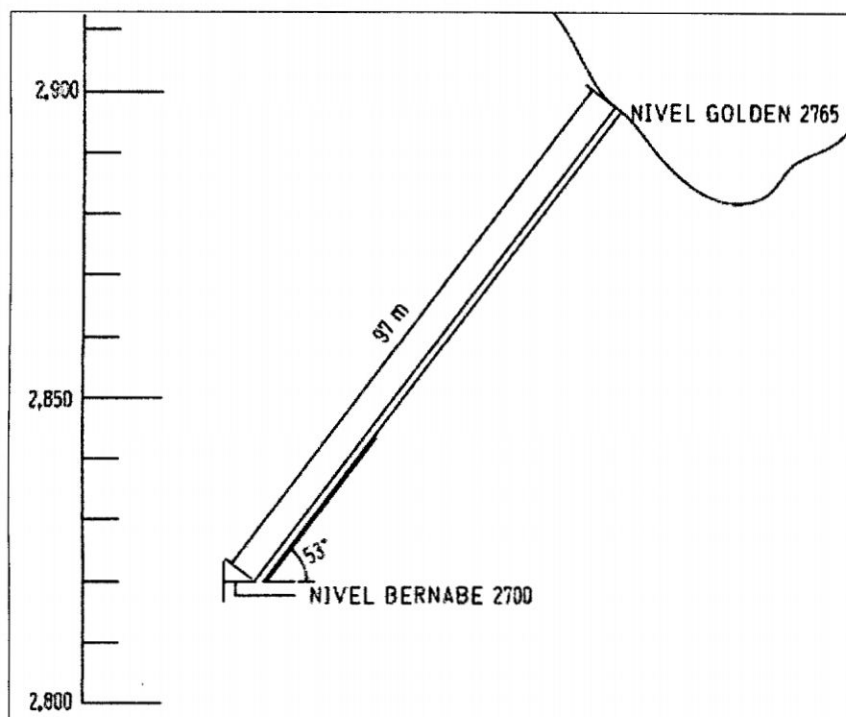
ochocientos de salida de la válvula de la ramificación hacia Golden 2765 será de tubería de 4" Schedule 80 con bridas.

Desde el mismo punto de ramificación salen dos líneas de tuberías de fierro de 4" Schedule 80 que bajarán por una chimenea de 97 metros al Nivel 2700 Bernabé como se muestra en la **F46-CIII**, en la que se aprecia la parte superior del tramo troncal de la línea de relleno hidráulico futura, la ramificación y tendido hacia el Túnel Golden y hacia una chimenea por la que llegarán al Túnel Bernabé dos líneas independientes que se dirigirían hacia el sur, a Candelaria y Sissy, y hacia el norte, a Lourdes.

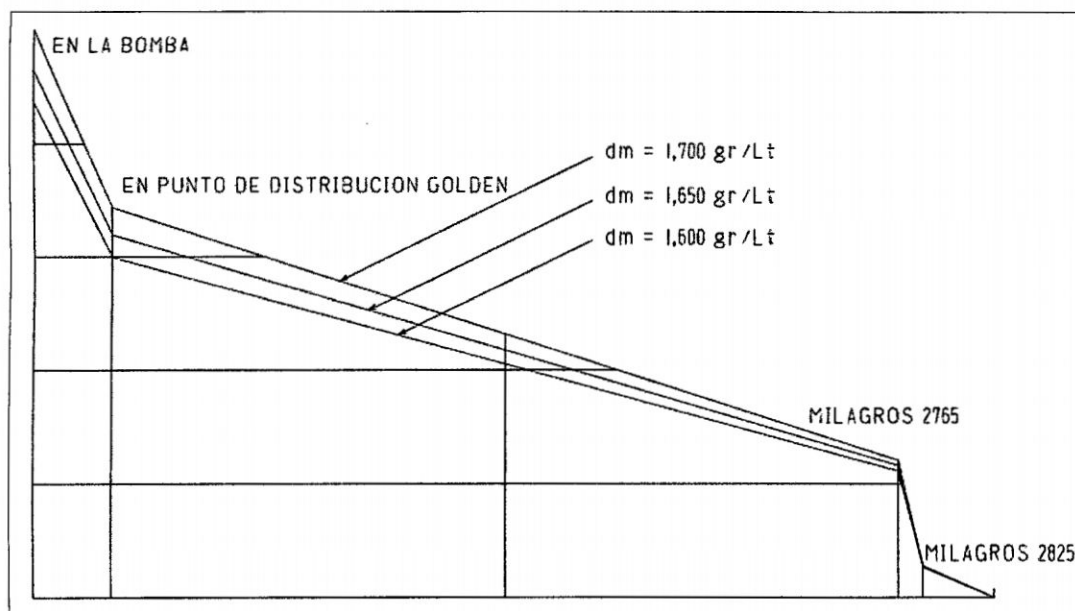
**F47-CIII** muestra las características de la línea que se dirige hacia los niveles altos de Cáchica y la curva de las presiones que afectan a la línea cuando a través de ella se alimenta 182 gpm de RH de 1.700 Kg/Lt de densidad al nivel 2825 de esa zona.

La presión sobre el sistema será bastante menor cuando se abastezca a los tajeos del nivel 2700 de Candelaria y Sissy, por la línea dirigida al sur a lo largo del Túnel Bernabé, y a los tajeos de la zona Lourdes del mismo nivel, como se muestra en la **F48-CIII**.

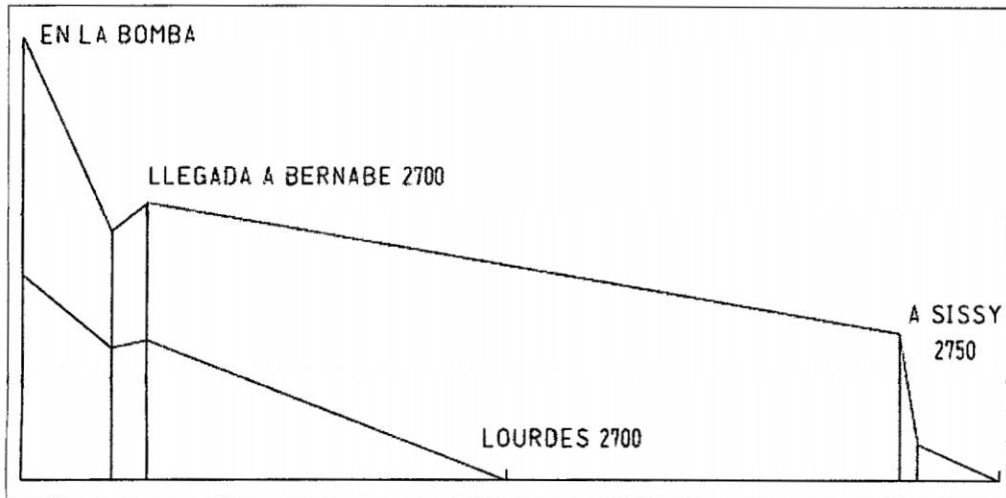
**F46-CIII CHIMENEA DE BAJADA DE LINEAS AL NIVEL BERNABE 2700**



**F47-CIII PRESION EN LA LINEA BOMBEADO AL NIVEL 2825 MILAGROS PULPAS DE 1,600 A 1,700 Gr/Lt**



**F48-CIII PRESION EN LA LINEA BOMBEADO PULPAS DE 1,700 Gr/Lt A LOURDES Y SISSY**



**3.8.7.2 CAPACIDAD DEL SISTEMA DE RELLENO HIDRAULICO MODIFICADO**

El volumen que se calcula se rellena con 200 gpm de pulpas de 1.600 Kg/L del material de relaves clasificados de la concentradora Parcoy de Trujillo es de 28.5 m<sup>3</sup>/hr, por lo que el tiempo de relleno efectivo para completar un tajeo de 86.4 m<sup>3</sup> por corte de 2.40 m de altura es de 3 horas.

Durante el tiempo de relleno efectivo con pulpas de 1.600 Kg/L se emplaza 25.3 m<sup>3</sup>/hr a un caudal de 177 gpm y 26.0 m<sup>3</sup>/hr a un caudal de 182 gpm, siendo el tiempo efectivo de relleno del tajeo de 86.4 m<sup>3</sup>/hr de 3.3 a 3.4 horas.

Del mismo modo, si las pulpas fueran de 1.700 Kg/L, en una hora de relleno efectivo se cubriría un volumen de 29.5 m<sup>3</sup>/hr a un caudal de 177 gpm o de 30.3 m<sup>3</sup>/hr a un caudal de 182 gpm siendo el tiempo efectivo de relleno del tajeo tipo de 84.6 m<sup>3</sup> de 2.9 horas.

El manejo de los destinos principales del RH desde un solo punto favorece el control y reduce el tiempo requerido para cambio de líneas.

Bajo las mismas características de destino, y siguiendo el mismo procedimiento que se tomó para calcular el rendimiento de la operación actual, el tiempo requerido para realizar cada una de las etapas de preparación y de aplicación del relleno mismo con pulpas de entre 1.600 Kg/L y 1.700 Kg/L y caudales de 177 y 182 gpm se calcula como sigue:

**C27-CIII TIEMPO DE RELLENADO CON SISTEMA MODIFICADO (Ver en Anexo N° 05).**

DESCRIPCIÓN	dm=1.600 Kg/L		dm=1.700 Kg/L	
	177	182	177	182
Lavado previo y posterior de línea:	1.1 hr	1.1 hr	1.1 hr	1.1 hr
Relleno Efectivo:	3.4 hr	3.3 hr	2.9 hr	2.9 hr
Cambio de línea:	1.5 hr	1.5 hr	1.5 hr	1.5 hr
Eventualidades: %	<u>0.6 hr</u>	<u>0.6 hr</u>	<u>0.6 hr</u>	<u>0.6 hr</u>
<b>Total tiempo para RH:</b>	<b>6.6 hr</b>	<b>6.5 hr</b>	<b>6.1 hr</b>	<b>6.1 hr</b>
<b>Tiempo de relleno efectivo: %</b>	<b>51.5</b>	<b>50.8</b>	<b>47.5</b>	<b>47.5</b>
<b>Horas mensuales de relleno efectivo</b>	<b>276.9</b>	<b>272.9</b>	<b>255.6</b>	<b>255.6</b>
<b>Capacidad Mensual de Relleno (m<sup>3</sup>)</b>	<b>7,007</b>	<b>7,096</b>	<b>7,540</b>	<b>7,744</b>

La instalación actual está en condiciones de abastecer un volumen mensual de relleno de 6,300 m<sup>3</sup> que se calcula que es el volumen que se debe rellenar actualmente a un ritmo de producción de 900 TMS/mes. La planta de RH, sin modificar sus instalaciones, registraría un elevado déficit de material a ritmos de producción diaria de 1,200 TMS y mucho mayor a 1,500 TMS que se proyecta.

El ajuste de la bomba a un caudal de 177 o 182 gpm, rangos que se ubican en la curvas de fábrica dentro de los caudales a los que se puede operar con la bomba a alta presión y, sumando a ello la construcción de un centro de distribución con válvulas localizadas en un punto elevado libre de presión excesiva, se consigue elevar ventajosamente la disponibilidad de tiempo para operar el sistema y, con ella crecen los volúmenes de relleno hidráulico que se puede abastecer con normalidad a la mina.

Al disponer pulpas de 1.700 Kg/L en caudales de 182 gpm se podría rellenar 7,744 m<sup>3</sup> bajo las condiciones de actual producción de la mina y la complejidad de los tajeos que requieren extensos ciclos para cubrir reducidos volúmenes de relleno, volumen que excede la necesidades de la mina en 16.7 % y supera los alcances de la instalación actual en 22.9 %.

Con las modificaciones indicadas las necesidades de relleno de la mina a una producción diaria de 900 TMS son satisfechas holgadamente bajo las difíciles condiciones que plantea la operación. Sin embargo, bajo las condiciones no podría alcanzarse a cubrir la demanda de relleno de 8,874 m<sup>3</sup> que plantearía la mina si la producción creciera a 1200TMS, calculándose que el déficit alcanzaría a un volumen equivalente al 12.5% del total requerido a ese ritmo de producción.

La construcción del silo elevado dará la versatilidad requerida para que el sistema integrado llegue a alcanzar la capacidad suficiente para cubrir la demanda de las operaciones a esa escala de producción.

A un nivel de producción de 1,200TMS/día la planta de RH dispondría de 10,116 m<sup>3</sup> de material clasificado para relleno, volumen que sería muy superior a la necesidad calculada. Sin considerar las ventajas que ofrece la construcción del silo elevado, la capacidad real de servicio de la planta de relleno adecuadamente habilitada puede crecer en la medida que se aplique métodos de minado que den a la planta mas continuidad en el trabajo efectivo, es decir, en el emplazamiento de relleno hidráulico.

### **3.8.7.3 DETERMINACIÓN DE LA MEJOR OPCIÓN**

La premisa básica es que la bomba actualmente trabaja a 200 gpm y es operado de manera que llega a ser sometida hasta una presión de 36 bar,

condición que, de acuerdo a la información provista por los fabricantes se encuentra fuera de los alcances de diseño.

La granulometría del material de relave seleccionado en el **C14-CIII** tiene 0.5 % fracción de material de un tamaño superior a 300 $\mu$  (300micras), y densidades de pulpa que oscila entre 1700 a 1735 Gramos/Litro, esto hace que la velocidad media del flujo en los tramos ascendentes supere en por lo menos el 50% de la velocidad “crítica”, velocidad que en los tramos horizontales y descendentes será superior en 30% al valor de esa cifra.

De los datos presentados en el contenido del presente estudio extraemos la siguiente información respecto a la velocidad del flujo de 182 y de 177 gpm:

**C28-CIII VELOCIDAD DEL FLUJO DE 182 GPM Y DE 177 GPM**

Tamaño nominal	3 ½(*)	4	4	5(**)	4
Schedule	80	80	120	80	HDPE
Velocidad media (177 gpm)	6.390	4.940	<b><u>7.270</u></b>	3.120	<b><u>5.900</u></b>
Velocidad media (182 gpm)	6.570	<b><u>5.080</u></b>	<b><u>7.480</u></b>	3.210	<b><u>6.070</u></b>
Vel. de diseño de flujo horizontal	4.712	5.026	4.562	5.637	4.808
Vel. de diseño de flujo ascendente	5.430	5.799	5.264	6.504	5.547

Cuadro del que se excluye las columnas de las tuberías de fierro de 3 ½ (\*) Schedule 80, por tratarse de un tipo de material de poca disponibilidad, y de 5(\*\*) por que la velocidad media en ningún caso supera a la velocidad crítica.

En el resto de tipos de tubería, todos ellos de diámetro nominal de 4”, el área de la sección interna se especifica para cada uno de ellos, siendo solamente las tuberías de fierro las que soportan presiones de hasta 80 bar, mientras que las de HDPE sólo pueden ser sometidas a presiones no mayores a 20 bar, lo que la hace utilizables sólo en instalaciones de baja presión comprobada o en los tramos finales de líneas de alta presión.

Los valores calculados para la velocidad del flujo en la tubería de 4" Schedule 120 hacen que este sea el tipo que se deba instalar en los tramos ascendentes de presión superior a 20 bares, pudiéndose instalar tuberías de 4" HDPE cuando la presión se calcule menor a ese nivel.

En los tramos horizontales y descendentes, en los que la línea está sometida a presión alta o intermedia (sobre 20 bar), la velocidad media del tubo de fierro Schedule 80 es del tipo que más se adapta a la necesidad del diseño, pudiéndose instalar en vez de ellas tuberías de 4" HDPE cuando la presión no supere a 20 bares.

Determinados los tipos de línea a emplear para ajustarse a la condición de cada uno de los tramos queda por definir el caudal al que deberá funcionar el sistema para lograr los resultados más ventajosos.

En el cuadro de resumen de velocidades se observa que la velocidad media del flujo de 177 gpm en tubería de 4" Schedule 80 es escasamente menor que la velocidad de diseño de ese tipo de tubería instalada en las líneas de flujo horizontal o descendente. Este concepto que conduce a la conclusión que la **opción más ventajosa es la de ajustar el sistema de la bomba Feluwa a un caudal de 182 gpm.**

Bajo las condiciones del diseño que se recomienda, de 182 gpm bombeando pulpas de 1.700 Kg/L de densidad, el sistema de la planta de relleno hidráulico estará ajustado a alcanzar un volumen de 30.3 m<sup>3</sup>/hr de relleno efectivo, y con una disponibilidad superior, al menos de 15% sobre las condiciones de la instalación actual que puede alcanzar a rellenar 28.5 m<sup>3</sup>/hr.

La planta ajustada a los parámetros seleccionados estará en condiciones de llegar a prácticamente todas las áreas de la mina y superará el rendimiento de la planta actual en 22%.

#### **3.8.7.4 RECOMENDACIONES DEL SISTEMA MODIFICADO**

El proyecto de habilitación del sistema de la planta de RH considera los siguientes elementos:

- a) Fabricación de una polea de motor de 91% de diámetro de la actual.
- b) Instalación de línea troncal de 4" Schedule 120 con bridas desde la bomba hasta el punto de ramificación sobre el nivel Golden 2765, con los tramos curvos rolados mecánicamente.
- c) Excavación de una chimenea de 97 metros de longitud desde el nivel Bernabé 2700 hacia superficie, en un punto de alrededor de 20 metros más alto que el nivel de la bocamina Golden
- d) Acoplamiento al segmento final troncal de tres yees de 4" con extremos embridados.
- e) Adquisición y colocación de cuatro válvulas de cuchilla de 4" con capacidad de diseño no menor a 35 bares.
- f) Instalación de veinte metros de tubería de 4" Schedule 120 en la chimenea entre los niveles 2765 y 2780 a Milagros.
- g) El tendido de dos tuberías de fierro de 4" Schedule 80 y de 200 metros lineales cada una hasta alcanzar el Nivel Bernabé 2700, tubería con extremos soldados o unidos con Coplas Stylo 99 de Victaulic.
- h) El tendido de 290 metros lineales de tubería de fierro de 4" con coplas Stylo 99 en Bernabé con dirección a Candelaria hasta llegar al crucero de ingreso al nivel.

### 3.9 RESUMEN DEL SISTEMA DE RELLENO MODIFICADO

Del punto 3.8.7.2 un corte de 2.40m de altura puede llegar hasta 150 m<sup>3</sup> por tarea, para casos de cálculo lo efectuaremos con 150 m<sup>3</sup>.

Finalmente haremos un resumen cuantificado de la producción y necesidades de relleno hidráulico, la necesidad diaria en volumen de relleno hidráulico, el flujo másico y volumétrico de sólidos enviados hacia los silos de almacenamiento en Kg/min, m<sup>3</sup>/hr, respectivamente.

También se determinara el radio de clasificación de los hidrociclones, con la finalidad de determinar la cantidad de sólidos del Underflow y del Overflow, así como la eficiencia del clasificador, y los tiempos de almacenamiento tanto a los silos como a los tajos, representados en el siguiente cuadro.

#### C29-CIII PRODUCCIÓN Y NECESIDADES DE RELLENO (Ver Calculo en Anexo N° 06)

PRODUCCION Y NECESIDADES DE RELLENO (29 dias/mes)				
	CONCEPTO	TMS/Día	TMS/Día	TMS/Día
		900	1200	1500
1	Producción mensual (TMS)	26100	34800	43500
2	Extracción de tajeos (TMS) 1*0.85	22185	29580	36975
3	Vacío formado en tajeos (m <sup>3</sup> ) 2/3.00	7395	9860	12325
4	Relleno hidráulico necesario (m <sup>3</sup> ) (3)*0.9	6655.5	8874	11093
5	Material clasificado para relleno (TMS)			
6	Material enviado a silos de R.H (5)*0.85			
7	capacidad de relleno (TMS) (6)*0.95/1.45			

CONCEPTO	TMS/Día	TMS/Día	TMS/Día
Producción (TMS)/día	900	1200	1500
Producción de relave (TMS)/Día	864	1152	1440
Producción de concentrados (TMS)/Día	36	48	60

TONELAJE ENVIADO A LOS SILOS DE ALMACENAMIENTO			
Producción de relave (TMS)/Día	864	1152	1440
Producción de relave (TMS)/hora	36	48	60
Producción de relave (Kg/min)	600	800	1000

#### C30-CIII ALIMENTACIÓN DE SÓLIDOS A LOS CICLONES SEGÚN DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA (Ver Calculo en Anexo N° 06)

Mallas	Alimento				Underflow			Overflow			Rad clasific. R= (O-f)/(f-u)
	Nº	micrón	%	%cum	%pass	%	%cum	%pass	%	%cum	
40	425.0	0.4	0.4	99.6	0.5	0.5	99.5	0.2	0.2	99.8	2
50	300.0	0.5	0.9	99.1	0.8	1.2	98.8	0.0	0.2	99.8	2.333
70	212.0	5.1	6.0	94.0	8.1	9.4	90.6	0.0	0.2	99.8	1.706
100	150.0	14.0	20.0	80.0	22.3	31.7	68.3	0.1	0.4	99.6	1.675
140	106.0	12.2	32.2	67.8	18.8	50.5	49.5	1.1	1.5	98.5	1.678
200	75.0	17.2	49.4	50.6	23.6	74.1	25.9	6.4	7.9	92.1	1.680
270	53.0	9.9	59.3	40.7	9.0	83.1	16.9	11.3	19.2	80.8	1.685
400	38.0	6.7	66.0	34.0	4.5	87.6	12.4	10.4	29.6	70.4	1.685
500	25.0	7.0	72.9	27.1	3.4	90.9	9.1	13.1	42.7	57.3	1.678

-500		27.1	100.0		9.1	100.0		57.3	100.0		
TOTAL											1.79

Se sabe que la relación que existe entre el overflow y el underflow es igual a la inversa al radio de clasificación

Prom Rc 1.791

O'f/U'f = 1/Rc 0.558

La suma de Overflow + underflow = Alimentación del ciclón

ALIMENTACION DE SOLIDOS A LOS CICLONES			
Tonelaje de relave (TMS/Día)	864	1152	1440
OVERFLOW/UNDERFLOW	0.558	0.558	0.558
OVERFLOW + UNDERFLOW	600.00	800	1000

FLUJO MASICO DE LOS SOLIDOS EN LA ALIMENTACIÓN									
864 TMSD RELAVE				1152 TMSD RELAVE			1440 TMSD RELAVE		
PRODUCTO	Flujo (Kg/min)	TMS/DIA	%	Flujo (Kg/min)	TMS/DIA	%	Flujo (Kg/min)	TMS/DIA	%
Overflow	214.97	309.55	35.83	286.62	412.74	35.83	358.28	515.92	35.83
Underflow	385.03	554.45	64.17	513.38	739.26	64.17	641.72	924.08	64.17
Alimentación	600.00	864.00	100.00	800.00	1152.00	100.00	1000.00	1440.00	100.00

A continuación presentamos la eficiencia del clasificador, así como su respectivo flujo másico y volumétrico, y los tiempos de relleno de los silos de almacenamiento.

### C31-CIII EFICIENCIA DE CLASIFICACIÓN DEL CICLON (Ver Calculo en Anexo N° 06)

#### EFICIENCIA DE CLASIFICACION DEL CICLON

E = 10000 * (B/A) * (b-a)/((a*(100-a))			
% en peso de la malla -500 de la alimentación (a)	27.1	27.1	
% en peso de la malla -500 del Overflow (b)	57.3	57.3	
TMSD de la alimentación (A)	1440.00	1152.00	864.00
TMSD de los finos del ciclón (Overflow) (B)	515.92	412.74	309.55
Eficiencia ( E )	54.77	54.7687	54.7687

#### FLUJO MASICO DE LOS PRODUCTOS CLASIFICADOS

DESCRIPCIÓN	864 TMSD RELAVE	1152 TMSD RELAVE	1440 TMSD RELAVE
Tonelaje de los gruesos (TMS/Hr)	23.102	30.803	38.503
Flujo de los gruesos (Kg/min)	385.032	513.376	641.720
Tonelaje de los finos (TMS/Hr)	12.898	30.803	21.497
Flujo de los finos (Kg/min)	214.968	286.624	358.280

#### FLUJO VOLUMETRICO DEL UNDERFLOW

% Sólidos = ((pulp-1)/(S-1) * (S/(S-1)))			
DESCRIPCION	864 TMSD RELAVE	1152 TMSD RELAVE	1440 TMSD RELAVE
Flujo de sólidos (Kg/min)	385.032	513.376	641.720
Densidad de pulpa (p) , (Kg/L)	1.700	1.700	1.700
Gravedad específica (S)	2.700	2.700	2.700
% sólidos	65.398	65.398	65.398
Flujo de la pulpa (Kg/min)	588.75	785.00	981.25
Flujo de pulpa (L/min)	346.33	461.77	577.21
Flujo de pulpa (Gal/min)	91.49	121.99	152.49
Flujo de pulpa (m3/hr)	20.780	27.706	34.633
Agua = (Peso pulpa - peso sólido), (L/min)	203.72	271.63	339.53

TIEMPO DE LLENADO DE RELAVE A LOS SILOS DE ALMACENAMIENTO DE 350 m3 A 80% DE SU CAPACIDAD						
Rend. Hidroc (m3/hr)	Eff hidrociclón			Capacid de almac al 80%		280
	864 TMSD		1152 TMSD		1440 TMSD	
	01 Silo	02 Silos	01 Silo	02 Silos	01 Silo	02 Silos
Flujo de pulpa (m3/hr)	20.780		27.706		34.633	
Tiempo de llenado (hr)	13.47	26.95	10.11	20.21	8.08	16.17

Finalmente podemos observar que el tiempo de relleno de gruesos hacia los silos de almacenamiento bordean las 8 horas para un flujo de 640 Kg/min.

A continuación presentamos de manera resumida los parámetros del RH.

**Diámetro efectivo ( $D_{10}$ ):** Es el tamaño de las partículas que corresponden al 10% del producto más fino, como se puede apreciar en el cuadro el  $D_{10}$  tiene un valor de 28.5, mientras que el  $D_{60}$  es de 130.57, dando como resultado el Coeficiente de uniformidad(C.U) en 4.6 , significa que está casi en el límite donde hay considerable cantidad de finos que dificultan la percolación, con una percolación de 2.97, de igual forma está al límite, estos valores indican que el tiempo de escurrimiento del agua que está presente en el tajo como parte de relleno hidráulico, son mayores, y que en alguna medida dificultan la dinámica del proceso.

En lo que respecta a la velocidad de deposición o también llamada la velocidad crítica se sitúa en márgenes de 1.55 m/s, es de ir a 5.08 ft/s y que la velocidad de transporte en las tuberías están por encima de 1.5 veces más de lo recomendado, es decir que garantizan la no deposición de sólidos en la líneas de transporte de relleno hidráulico, tal como se muestra en el C32 - CIII.

En cuanto a la pérdida de carga se realizó de manera similar a lo ejecutado en el estudio de relleno hidráulico con arena de cantera, es decir se cuantificó las pérdidas por fricción a lo largo toda la longitud de la tubería, del mismo modo se calculó las pérdidas de carga ocasionadas por los acoplamientos y armaduras que dificultan la circulación del fluido, como se puede apreciar en el cuadro la pérdida de carga por fricción están alrededor de 226m, mientras que las pérdidas por armaduras bordean los 42 m que sumados dan 267 m aproximadamente.

En cuanto a los parámetros más importantes de la misma pulpa podemos caracterizar la constante de sólidos en la ecuación dada en el cuadro

$K = \frac{S-1}{S}$ , donde S, es la gravedad específica de los sólidos, que tiene un

valor de 2.66, S, es un valor adimensional que viene de la relación del cociente de la densidad del sólido entre la densidad del fluido (agua) a 4 grados centígrados (Celsius), y a 01 atmósfera de presión, el caudal de salida hacia los tajos impulsado por la bomba Feluwa, está a 200 gpm, con una concentración de sólidos por litro de 1.12 Kg/L de sólidos.

El porcentaje de sólidos en la pulpa está alrededor de 65%, con una relación volumétrica de líquidos a sólidos de 1.371, con un tonelaje transportado por hora de sólidos de 50.91 Tn/hr, con volumen de líquido transportado de 19.155 m<sup>3</sup>/hr, y los tiempos de relleno figuran en el cuadro.

**C32-CIII PARÁMETROS DE RELLENO HIDRAULICO CON RELAVE (Ver Cálculo en Anexo N° 06) (Fuente: CMHSA)**

PARAMETROS DE RELLENO HIDRAULICO CON RELAVE									
Diámetro efectivo D10		28.54		DENSIDAD RELATIVA			VELOCIDAD CRITICA DE DEPOSICION		
D60		130.57		Densidad del fluido (ρ) (g/cm3)			FL para malla 200		
Coeficiente de Uniformidad (Cu)		4.57		Densidad del sólido (ps) (g/cm3)			Factor adimensional (FL)		
Cu= D60/D10				Densidad de la pulpa (pp)(g/cm3)			Aceleración de gravedad (g)		
VELOCIDAD DE PERCOLACION (Vp)				Densidad relativa o gravedad específica del sólido S=pp/p			Diámetro int de tubería SCH-80 4"(m)		
Vp= D10 * 6/100 * 2		2.93231376		Densidad relativa o gravedad específica de pulpa S=pp/p			Peso específico de sólidos (S)		
VELOCIDAD DE TRANSPORTE (Vt)				Densidad relativa o gravedad específica de pulpa S=pp/p			Vc = FL*(2*g*d(S-pp)/pp) ..(m/s)		
Vt = (2*g*h*δint/F*L)^1/2							Vc = FL*(2*g*d(S-pp)/pp) (ft/s)		
Aceleración de la gravedad terrestre (g) (m/s2)		9.806		Tubería seleccionada			SCH 120 Ø 4"		
Altura de cabeza total (m)		244.0		Ø Exterior (in)			4.5		
Diámetro interior de tubería (m)		0.097		Espesor de pared (in)			0.674		
Pérdida por fricción en abacos (F)		0.020		Ø Interior (in)			3.152		
Distancia horizontal máxima a transportar al tajeo L, (m)		2535.0		Ø Interior (F t)			0.2627		
Coeficiente de amastre (Ca)		0.440		Área de tubería (ft2)			0.0542		
Velocidad de transporte (Vt), (m/s)		3.029		Caudal Q de bomb FELUWA (GPM)			200		
				Caudal Q de bomb FELUWA (ft3/seg)			0.446		
				Relación (gal/F3)			0.134		
				Vel (ft/seg)			8.22		
PERDIDA DE CARGA (Lc)									
Lc= Lft + Lat ; Pérdida de carga por fricción en tuberías (Lft) ; Pérdida de carga por armadura de tuberías (Lat)									
Longitud total de tuberías (m)		2535.0		DESCRIPCION			N		
Viscosidad cinemática (ν) (m2/s)		1.01E-06		Válvulas abiertas			0.00		
Diámetro de tubería (m)		0.097		Teo			0.00		
Número de Reynolds (Re)		2.92E+05		Codos de 45°			16.00		
Re= (Vt * δ) / ν				Codos de 90°			0.00		
Rug. Relat. (Rr)=Rab/δ = νδ , diám (cm)		0.000617284		Coplas de uniones			234.00		
E= según tipo de tubería/ revest (cm)		0.006		Otros			0.00		
Rab= tam. imperfecciones superfic (cm)				Σ NK			89.10		
GRADIENTE HIDRAULICA		Gh=Lc/L		ALTURA MAXIMA (h2) QUE ALCANZARÁ AL NIVEL MAS BAJO DE INTERIOR MINA					
Pérdida de carga total (m)		267.380		Bernoulli (Vt^2/2g)+ (P1/Y) + Z1 = (Vt^2/2g)+ (P1/Y) + Z1 + Lc					
Longitud total de tubería (m)		2535.000		VELOCIDAD Y CONSTANTES			Inicial		
Gradiente hidráulico		0.105		Velocidad (m/s)			0.000		
MAXIMA DISTANCIA HORIZONTAL (Dmh)				Presión (Tn/m2, atm)			0.000		
Dmh = (2*g*h*δ)/(w*c) ; w=ppulp*(Kpulp+(0.0018*((Vt*g)^0.5)))				Altura(m)			586.000		
Altura de caída (h)		244.0		Peso específico (Tn/m3)			9.806		
Coeficiente fricción tubería (c)		0.00045		DESCRIPCION DE PARAMETROS			Inicial		
Constante para pulpa (Kpulp)		0.3		Energía de cinética o de velocidad (Vt^2/2g)			0.000		
Coef de resist. w=ppulp*(Kpulp+(0.0018*((Vt*g)^0.5))) ; pp (kg/m3)		530.7874		Altura de presión (P1/Y)			0.000		
Ratio=(2*g*δ)/(w*c)		7.98		Pérdida de carga (Lc)			267.380		
Dmh = (2*g*h*δ)/(w*c)		1947.35		Altura total entre planta y nivel mas bajo (m)			586.000		
				Altura máxima de elevación Zi (h2), en función a la cota piezométrica (m)			318.152		
CALCULO DE LOS PARAMETROS MAS IMPORTANTES DE LA PULPA DE RELLENO HIDRAULICO									
RELACION VOLUMETRICA DE LIQUIDOS A SOLIDOS ( Rvvs)					CAUDAL DE RELLENO HIDRAULICO IMPULSADO POR LA BOMBA FELUWA				
Rvvs = S*((100 - %Wss) / %Wss) = S*Rwts					De acuerdo a la calibración de la bomba FELUWA				
Relación volumétrica de líquidos a sólidos (Rvvs)					Q = (GPM)				
TONELAJE DE SOLIDOS TRANSPORTADOS POR HORA AL TAJEO (Ws-t) (Ws-t) = (Wss * Q) ; (Tn/hr)					Q = (m3/h)				
Peso de sólido seco (Wss) ; (Kg/L)					CAUDAL (Q) = (Vol / t) ; (m3/hr)				
Caudal Q (m3/hr)					CONSTANTE DE SOLIDOS (K)				
Tn. de sólidos transportados por hora al tajeo (Ws-t) (Tn/hr)					K = (S-1)/S				
Flujo de sólidos transportados por hora al tajeo (m3/hr)					Gravedad específica de los sólidos (S)				
FLUJO MASICO DE RELLENO HIDRAULICO					Constante de sólidos (K)				
Flujo de pulpa (Kg/min)					PESO DE SOLIDO SECO EN UN LITRO DE PULPA (Wss)				
Flujo de sólidos (Kg/min)					ET				
Flujo de líquido (Kg/min)					Densidad de pulpa (ppulp) (g/L)				
VOLUMEN DE LIQUIDO ENVIADO AL TAJEO (Vl-t) (Vl-t) = (Ws-t) * Rvvs ... (m3/hr)					Wss= (ppulp - 1000)/K ; (g/L)				
Volumen de líquido (Vl-t) (m3/hr)					Wss= (ppulp - 1000)/K ; (Kg/L)				
VOLUMEN DE SOLIDO POR HORA ENVIADO AL TAJEO (Vs-t) (Vs-t) = (Vl-t) / Rvvs (m3/hr)					PORCENTAJE DE SOLIDOS EN PESO DE LA PULPA (%Wss)				
TIEMPO DE RELLENO DE UN TAJEO					%Wss= (1/ppulp*((ppulp - 1000)/K))*100				
Necesita de relleno hidráulico					Porcentaje de peso en la pulpa (%Wss)				
TIEMPO DE RELLENO					RELACION EN PESO LIQUIDO A PESO SOLIDO ( Rwts)				
					Rwts = (100 - %Wss) / %Wss				
					Relación en peso líquido a peso sólido (Rwts)				

## **CAPITULO IV**

### **RELLENO HIDRAULICO CON MATERIAL DE CANTERA**

#### **4.1 INTRODUCCION**

Para determinar el material adecuado a utilizarse en el relleno hidráulico se han realizado pruebas en análisis granulométricos de las cuales mencionaremos solo la más óptima.

La distribución granulométrica ideal para que el relleno hidráulico alcance una máxima densidad in - situ de tal forma que garantice la compresión uniaxial de diseño, se realiza teniendo como parámetro patrón la curva de Talbot (Curva de máxima densidad), para maximizar y uniformizar las dimensiones de las partículas se procedió a llevar a cabo la molienda superficial de la arena de cantera para comparar con la curva de Talbot, y ver si la molienda favorece en algo en la velocidad de percolación.

#### **4.2 ANALISIS GRANULOMETRICO**

Determina la fracción de tamaño de las partículas o granos que constituyen un material. Esta distribución se analiza en base a su porcentaje de su peso total.

La fracción muy gruesa consiste de fragmentos de rocas compuestas de uno o más minerales, pudiendo estas ser angulares, redondeados o planos. Pueden ser frescos o mostrar signos de alteración, resistentes o deleznales. Esta fracción recibe el nombre genérico de grava.

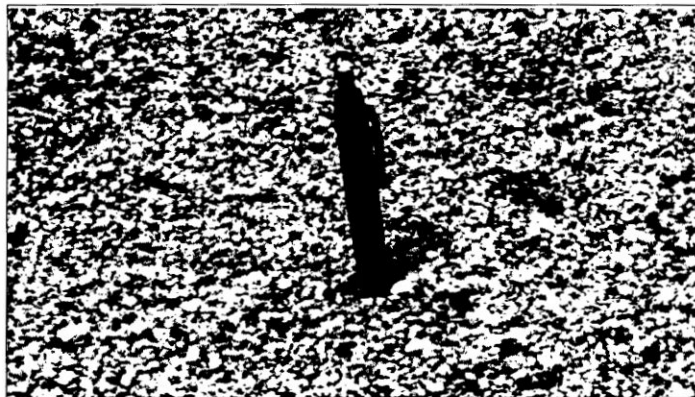
En las fracciones finas y muy finas, cada grado está constituido de un solo mineral. Las partículas pueden tener formas angulares, tubulares o escamas, pero nunca redondeadas. A continuación se presenta los rangos de tamaño en que varían las partículas:

#### **C1-CIV RANGOS DE TAMAÑO EN QUE VARÍAN LAS PARTICULAS**

<b>MATERIAL</b>	<b>TAMAÑO</b>	
	<b>DESDE</b>	<b>HASTA</b>
<b>Finas</b>		0.075 mm
<b>Arenas</b>	0.075 mm	0.085 mm
<b>Gruesos</b>	0.085 mm	5.000 mm

La curva de Talbot viene a ser la distribución ideal de los granos, para lo cual el resto de las curvas tiene que estar lo más próximo posible a esta.

#### **F1-CIV ARENAS DE CANTERA**



En este análisis se utilizó solamente material de cantera, pues existe una gran cantidad de este material en la cantera situada a 15 Kilómetros de distancia, para dicho ensayo la muestra pasó por molienda a distintos

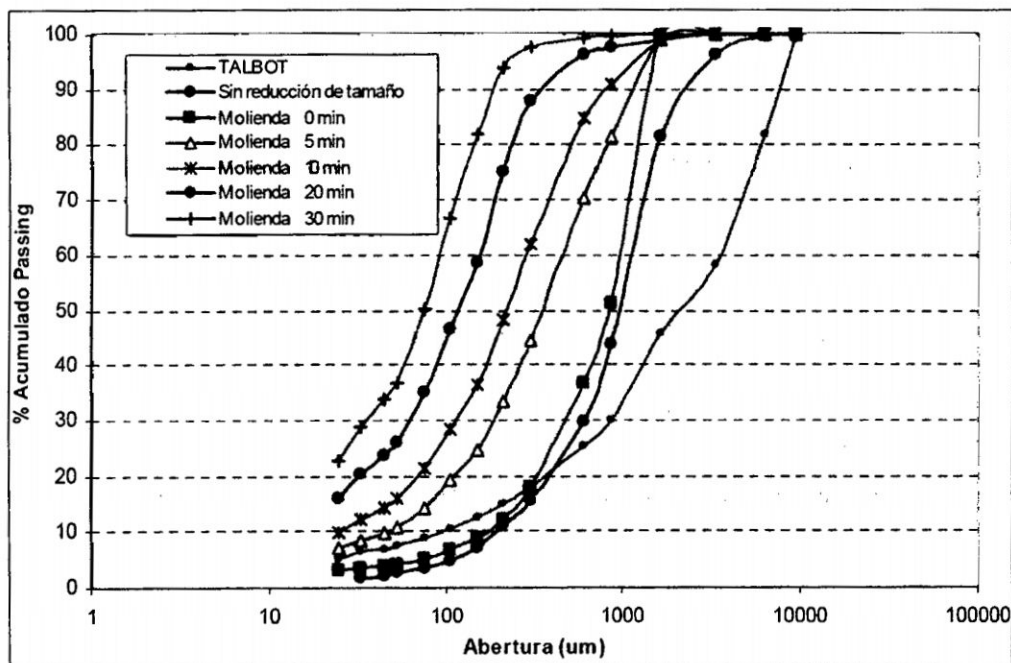
tiempos y se practicó el análisis granulométrico cuyo resultado se dá en el siguiente cuadro.

**C2-CIV CUADRO DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LA ARENA (Fuente: CMHSA)**

Malla	Abertura (mu)	% Acumulado (-)						
		Sin reducción de tamaño	Molienda 0 min	Molienda 5 min	Molienda 10 min	Molienda 20 min	Molienda 30 min	TALBOT
3/8"	9525	100	100	100	100	100	100	100
1/4"	6350	99.77	100	100	100	100	100	81.66
m6	3350	96.43	100	100	100	100	100	58.30
m10	1651	81.54	99.74	98.89	98.96	98.98	100	45.82
m20	850	43.91	51.16	81.45	90.87	97.68	99.62	29.87
m30	600	29.62	36.56	70.37	84.84	96.41	99.35	25.10
m50	300	15.33	17.88	44.39	61.92	87.93	97.77	17.75
m70	212	11.12	12.24	33.40	48.04	74.96	94.05	14.92
0	150	6.91	8.59	24.65	36.24	58.61	81.81	12.55
0	106	4.64	6.62	19.10	28.24	46.59	66.69	10.56
0	75	3.22	5.04	14.21	21.10	34.88	50.11	8.87
0	53	2.66	3.99	10.77	15.67	25.96	36.85	7.46
0	45	2.10	3.80	9.62	14.01	23.61	33.52	6.87
0	33	1.83	3.45	8.42	12.20	20.28	28.77	6.32
0	25		3.10	6.98	9.81	15.95	22.66	5.12

Ø60	1192	996	480	288
Ø60	196	174	48	26
C.U.=Ø60/Ø10	6.10	5.72	10.08	11.23

**F2-CIV ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO BAJO MOLIENDA**



**Observación:** En F2-CIV se observa que a mayor tiempo de molienda de la muestra se va alejando de la curva de Talbot, esta es porque va

generándose mayor cantidad de finos, las cuales producen lamas y esto no permite una buena percolación.

Como conclusión se llego a determinar que no requiere molienda el relleno con arena.

### **4.3 ESTUDIOS PARA LA UBICACIÓN DE LA PLANTA DE RELLENO HIDRÁULICO CON MATERIAL DE CANTERA**

Se toma en consideración la altura en la cual estará ubicado la planta en función al nivel de relleno de la mina, es decir que la planta debe estar ubicado en una cota más alta respecto a los niveles de relleno, para lo cual se determinarán ratios de altura con relación de la distancia horizontal de la red de transporte.

Se requiere vencer la resistencia horizontal con un ratio de 1:6 – 1: 7, es decir de 1 parte en longitud de 6 a 7 partes de distancia horizontal, este ratio se demostrará del siguiente modo:

#### **4.3.1 MAXIMA DISTANCIA HORIZONTAL (*Mdh*)**

La máxima distancia horizontal a que podrá ser enviada la pulpa debido al impulso adquirido durante su caída vertical (gravedad), está dada por la siguiente relación

$$Mdh = \left( \frac{2 * g * H}{w * c} \right)$$

Donde:

*H* = altura de caída (*m*).

$\emptyset$  = Diámetro de la tubería (0.1016 *m*).

*g* = Gravedad terrestre 9.806 *m/s*<sup>2</sup>.

*c* = coeficiente 0.00045 para tubería de  $\emptyset$  de 4".

*w* = Coeficiente por resistencia determinado por:

$$w = \omega * \left( C_{pu} * \frac{0.0018}{V * \frac{Q}{2}} \right)$$

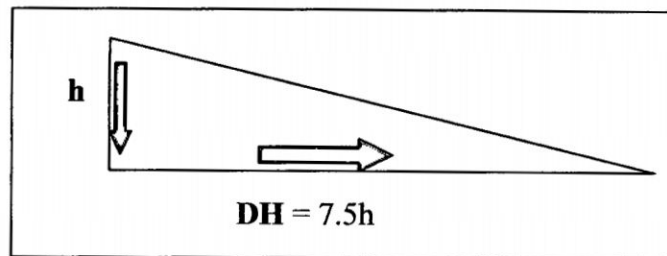
Donde:

$\omega$  = Densidad de la pulpa (1900 Kg/m<sup>3</sup>)

$V$  = velocidad de la pulpa (4.59 m/s)

$C_{pu}$  = constante para pulpas 0.3

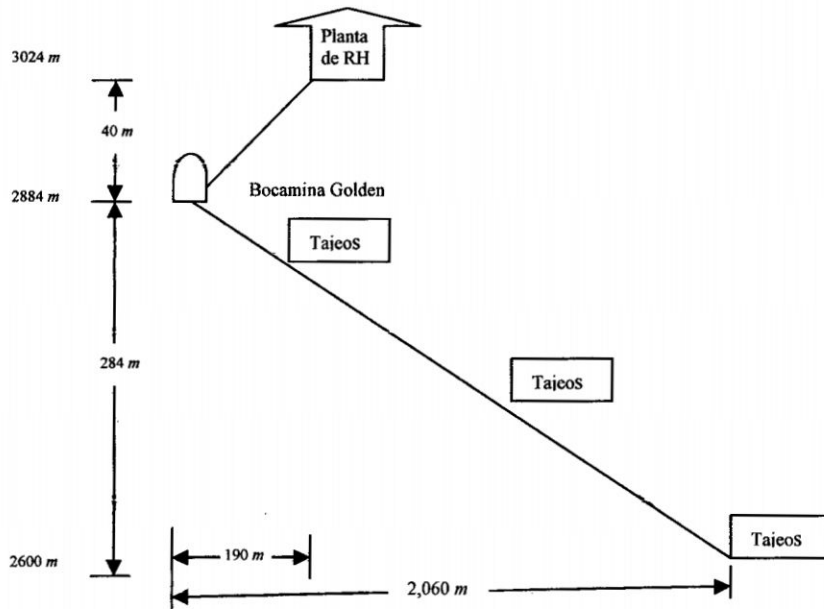
### F3-CIV TRIANGULO DE REFERENCIA



Reemplazando datos tenemos un ratio de  $Mdh = 7.5H$ , es decir que para 1m de caída vertical se tiene un empuje horizontal de 7.5 m en longitud equivalente.

De acuerdo a los estudios realizados la planta estará ubicada de acuerdo al gráfico siguiente:

#### F4-CIV DIFERENCIA DE COTAS



#### 4.4 CALCULO DE LOS PARAMETROS DE LA PULPA DE RELLENO HIDRÁULICO (ARENA)

Para fines prácticos solamente presentaremos los parámetros con sus respectivas ecuaciones, de tal manera que los resultados estén dados en un cuadro de Excel para fines más prácticos y evitar así el volumen de texto que podría originarse.

##### 4.4.1 VELOCIDAD CRÍTICA DE DEPOSICIÓN ( $V_c$ )

Es la velocidad de circulación mínima, la cual debe producir la suficiente turbulencia para mantener las partículas sólidas en suspensión y evitar así la deposición de partículas en el fondo de la tubería.

Ecuación de Durand y Condolios:

$$V_c = fl * \sqrt{\frac{2 * g * d * (\gamma - \rho)}{\rho}}$$

$fl$  = Concentración de las partículas; este adimensional se obtiene del cuadro de análisis de mallas (% en peso de gruesos.)

$g =$  Aceleración de la gravedad terrestre ( $9.806 \text{ m/s}^2$ )

$d =$  Tamaño de las partículas

$\gamma =$  Peso específico de los sólidos

#### 4.4.2 VELOCIDAD DE TRANSPORTE ( $V_t$ )

Considerando los valores de la velocidad crítica de las partículas sólidas en el transporte por tuberías ya calculados y estableciendo que en la operación se suele utilizar como velocidad de flujo para usos prácticos un rango de velocidades que sean superiores por lo menos en una unidad a la velocidad Crítica. Consideramos inicialmente que la pulpa **caerá por gravedad** y descartaremos el cálculo para el tubo, por ser demasiada baja la velocidad encontrada.

$$V_t = \sqrt{2 * g * d * H / F * L}$$

$H =$  altura de caída o altura de cabeza.

$d =$  diámetro interior de la tubería ( $0.1016 \text{ m}$ )

$F =$  pérdida por fricción (ábacos), para tuberías de acero comercial depende del  $\emptyset$ , para un diámetro de 4 pulgadas = 0.02

$L =$  distancia horizontal máxima ( $2,060 \text{ m}$ ) siempre considerar exceso.

$g =$  Aceleración de la gravedad terrestre ( $9.806 \text{ m/s}^2$ )

Los resultados de estas ecuaciones podrán ser visualizadas en el cuadro adjunto... C5-CIV

#### 4.4.3 PERDIDA DE CARGA ( $L_c$ )

La pérdida de carga se produce por los siguientes factores:

Fricción en las paredes de las tuberías ( $L_{ft}$ ), por carga adicional de armaduras en la tuberías (válvulas, couplings) etc. Entonces la pérdida de carga sería:

$$L_c = L_{ft} + L_{at}$$

$$L_{ft} = f * \frac{L * V^2}{2 * g * d}$$

$$L_{at} = \frac{V^2}{2 * g} * (\Sigma N * K)$$

$f$  = Coeficiente de fricción (Diagrama de Moody).

$L$  = Longitud de tubería (m).

$V$  = Velocidad de flujo (m/s).

$\emptyset = d$  = Diámetro de la tubería.

$g$  = Gravedad (9.81 m/s<sup>2</sup>).

$N$  = Número de armaduras en la tubería.

$K$  = Factor de pérdida de carga para cada armadura de la tubería.

#### **4.4.4 ALTURA MAXIMA (H2) QUE ALCANZARA EL RELLENO HIDRÁULICO RESPECTO AL NIVEL MAS BAJO DE INTERIOR MINA**

Para calcular la máxima altura a la que puede llegar el relleno hidráulico en interior mina, es necesario considerar la ecuación de Bernoulli.

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{(V_1)^2}{2 * g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{(V_2)^2}{2 * g} + L_c$$

Donde:

$Z_1$ : Altura en el nivel más alto

$Z_2$ : Altura en el nivel más bajo

$\frac{P_1}{\gamma}$ : Altura de presión inicial

$\frac{P_2}{\gamma}$ : Altura de presión final

$$\frac{(V_1)^2}{2 * g} : \text{Energía cinética o de velocidad inicial}$$

$$\frac{(V_2)^2}{2 * g} : \text{Energía cinética o de velocidad final}$$

$L_c$ : Pérdida de carga

$V$  = velocidad de la pulpa

$g$  = Aceleración de la gravedad 9.806 m/s<sup>2</sup>

$\gamma$  = Peso específico de pulpa

#### 4.4.5 GRADIENTE HIDRAULICA (GH)

Se llama así a la pérdida de carga por unidad de longitud, está dada por:

$$GH = \frac{L_c}{L}$$

$L$  = Longitud total de la tubería (m)

$L_c$  = Perdida de carga local

#### 4.4.6 DENSIDAD DE LA PULPA

Para determinar la densidad de la pulpa se tomaron ocho muestras del tanque agitador en la planta de relleno hidráulico; y se utilizó la balanza "Mercy" para obtener las densidades. Toma de datos

#### C3-CIV CUADRO DE DENSIDAD DE LA PULPA

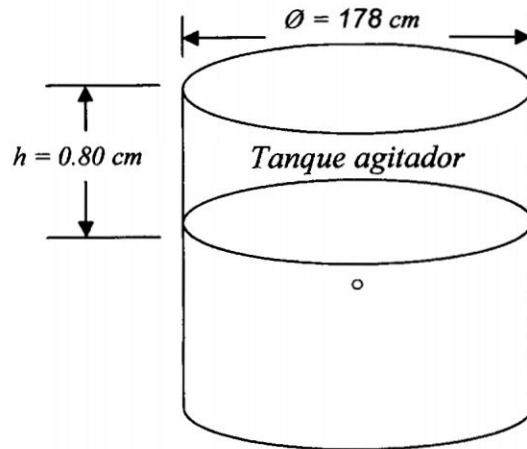
Nº DE MUESTRA	g / L
1º	1950
2º	1800
3º	1900
4º	1900
5º	2000
6º	1850
7º	1950
8º	1850
<b>PROMEDIO</b>	<b>1900</b>

Por lo que la densidad promedio será: 1,900 g/L

#### 4.4.7 CAUDAL DE RELLENO HIDRÁULICO QUE LLEGA AL TAJEO (Q)

Para calcular el caudal (Q) de relleno hidráulico que llega al tajeo, se tomaron diversos datos como el diámetro del tanque, altura que bajó la pulpa en el tanque agitador y los tiempos.

##### F5-CIV TANQUE AGITADOR



Volumen desplazado =  $0.7465 \text{ m}^3$

Toma de tiempos:

##### C4-CIV TOMA DE TIEMPOS

TOMA DE TIEMPOS	
Nº DE MUESTRA	UNIDAD (s)
1º	28
2º	30
3º	29
4º	29
5º	30
6º	29
7º	28
8º	29
<b>PROMEDIO</b>	<b>29</b>

De donde el caudal será:

$$Q = 0.0257 \text{ m}^3/\text{s} = 407.4 \text{ gpm} = 92.67 \text{ m}^3/\text{hr}.$$

Los demás parámetros podremos observarlo en el cuadro adjunto como parte del proceso de cálculo.

# C5-CIV PARAMETROS DE RELLENO HIDRAULICO CON ARENA (Ver Cálculo en

Anexo N° 07) (Fuente: CMHSA)

PARAMETROS DE RELLENO HIDRAULICO CON ARENA									
Diámetro efectivo D10	196	DENSIDAD RELATIVA				VELOCIDAD CRITICA DE DEPOSICION			
D60	1192	Densidad del fluido (ρ) (g/cm3)	1,00		FL para malla 200				
Coeficiente de Uniformidad (Cu)		Densidad del sólido (ps) (g/cm3)	2,66		Factor adimensional(FL)	1,500			
Cu= D60/D10	6,08	Densidad de la pulpa (pp)(g/cm3)	1,70		Aceleración de gravedad (g)	9,806			
VELOCIDAD DE PERCOLACION (Vp)		Densidad relativa o gravedad específica del sólido S=ps/p	2,66		Diámetro int de tubería SCH-80 4"(m)	0,097			
Vp=( D10 * 6/100 )^2	11,76	Densidad relativa o gravedad específica de pulpa S=pp/p	1,70		Peso específico de sólidos (S)	2,650			
VELOCIDAD DE TRANSPORTE (Vt)					VELOCIDAD DE MINIMA PERDIDA (Vm)				
$Vt = (2 * g * H * \sin \theta / F * L)^{1/2}$					$Vm = 3.43 * (Cv * \cos \theta)^{1/3} * (g * \phi * (S-1) / Ca^{1/2})^{1/2}$				
Aceleración de la gravedad terrestre (g) (m/s2)	9,806		Concentración de sólidos en volumen (Cv)		58				
Altura de cabeza total (m)	244,0		Ang de inclinación de tubería con respecto a la horizontal (e)		30				
Diámetro interior de tubería (m)	0,097		Diámetro de tubería (Ø) (m)		0,097				
Pérdida por fricción en ábacos (F)	0,020		Aceleración de la gravedad terrestre (g) (m/s2)		9,806				
Distancia horizontal máxima a transportar al tajeo Lc (m)	2535,0		Gravedad específica de los sólidos (S)		2,650				
Coeficiente de arrastre (Ca)	0,440		Coeficiente de arrastre (Ca)		0,44				
Velocidad de transporte (Vt) (m/s)	3,029		Velocidad de mínima pérdida ( Vm )		19,487				
PERDIDA DE CARGA (Lc)									
$Lc = Lft + Lat$ ; Pérdida de carga por fricción en tuberías (Lft) ; Pérdida de carga por armadura de tuberías (Lat)									
Longitud total de tuberías (m)	2535,0		DESCRIPCION		N	K	NK		
Viscosidad cinemática (ν) (m2/s)	1,01E-06		Coef defricción (f), D moody, de grafic (f), D moody		0,0185				
Diámetro de tubería (m)	0,097		P.carga por fricc. Tub		225,700				
Número de Reynolds (Re)	2,92E+05		$LR = \nu * Vt^2 * L^2 / g^2$		41,680				
Re= (Vt * Ø) / ν	0,000617284		P.carga arm. Tub		7,98				
Rug. Relat. (Rr)=Rab/Ø = νØ , diám (cm)	0,0006		$Lat = (Vt^2 / 2g) * (\sum NK)$		267,380				
t= según tipo de tubería / revest (cm)	0,006		$Lc = LR + Lat$ (m)		89,10				
Rab=t=lam. imperfecciones superficie (cm)									
GRADIENTE HIDRAULICA					ALTURA MAXIMA (h2) QUE ALCANZARÁ AL NIVEL MAS BAJO DE INTERIOR MINA				
$Gh = Lc / L$					Bernoulli $(Vt^2 / 2g) + (P1 / \gamma) + Z1 = (V2^2 / 2g) + (P2 / \gamma) + Z2 + Lc$				
Pérdida de carga total (m)	267,380		VELOCIDAD (m/s)		0,000		3,029		
Longitud total de tubería (m)	2535,000		Presión (Tn/m2, atm)		0,000		-		
Gradiente hidráulico	0,105		Altura (m)		586,000		0,000		
MAXIMA DISTANCIA HORIZONTAL (Dmh)					Gravedad (m/s2)		9,806		
$Dmh = (2 * g * h * \phi) / (w * c)$ ; $w = \rho * p * (K * p * p + (0.0018 / (Vt * \phi)^0.5))$					Peso específico (Tn/m3)		1,700		
Altura de caída (h)	244,0		DESCRIPCION DE PARAMETROS		inicial		final		
Coeficiente fricción tubería ( c )	0,00045		Energía de cinética o de velocidad $(Vt^2 / 2g)$		0,000		0,468		
Constante para pulpa (Kpulp)	0,3		Altura de presión (P1/γ)		0,000		0,000		
Coef de resist. $w = \rho * p * (K * p * p + (0.0018 / (Vt * \phi)^0.5))$ ; $\rho$ (kg/m3)	530,7874		Pérdida de carga (Lc)		267,380		-		
Ratio= $(2 * g * h) / (w * c)$	7,98		Altura total entre planta y nivel mas bajo (m)		586,000		-		
Dmh = $(2 * g * h * \phi) / (w * c)$	1947,35		Altura máxima de elevación Z1 (h2), en función a la cota piezométrica (m)		318,152		-		
CALCULO DE LOS PARAMETROS MAS IMPORTANTES DE LA PULPA DE RELLENO HIDRAULICO									
CAUDAL DE RELLENO HIDRAULICO QUE LLEGA AL TAJEO					CONSTANTE DE SOLIDOS (K)				
En función a la altura y del diámetro del tanque del agitador					$K = (S-1)S$				
Altura (h)	0,300		Gravedad específica de los sólidos (S)		2,660				
Diámetro	1,780		Constante de sólidos (K)		0,624				
Area (m2)	2,488		PESO DE SOLIDO SECO EN UN LITRO DE PULPA (Wss)						
Volumen (m3)	0,747		$Wss = (\rho * pulp - 1000) / K$						
Tiempo de desplazamiento (seg)	29,000		Densidad de pulpa (ρpulp) (g/L)		1700,000				
CAUDAL (Q) = ( Vol / t ); (m3/s)	0,0257		$Wss = (\rho * pulp - 1000) / K$ ; (g/L)		1121,687				
Q = (m3/hr)	92,674		$Wss = (\rho * pulp - 1000) / K$ ; (Kg/L)		1,12				
Q = (GPM)	408,07		PORCENTAJE DE SOLIDOS EN PESO DE LA PULPA (%Wss)						
RELACION EN PESO LIQUIDO A PESO SOLIDO ( Rwlws)					$\%Wss = (1 / \rho * pulp * (\rho * pulp - 1000) / K) * 100$				
$Rwlws = (100 - \%Wss) / \%Wss$					Porcentaje de peso en la pulpa (%Wss)				
Relación en peso líquido a peso sólido (Rwlws)	0,516		TONELAJE DE SOLIDOS TRANSPORTADOS POR HORA AL TAJEO (Ws-t)						
RELACION VOLUMETRICA DE LIQUIDOS A SOLIDOS ( Rvlvs)					$(Ws-t) = f ( Wss , Q ) , ( Tn/hr)$				
$Rvlvs = S * ((100 - \%Wss) / \%Wss) = S * Rwlws$					Peso de sólido seco (Wss) ; (Kg/L)				
Relación volumétrica de líquidos a sólidos (Rvlvs)	1,371		Caudal Q (m3/hr)		92,674				
VOLUMEN DE LIQUIDO ENVIADO AL TAJEO (Vl-t)					Tonelaje de sólidos transportados por hora al tajeo (Ws-t) (tn/hr)				
$(Vl-t) = ( Ws-t ) * Rwlws \dots (m3/hr)$					103,951				
VOLUMEN DE SOLIDO POR HORA ENVIADO AL TAJEO (Vs-t)									
$(Vs-t) = (Vl-t) / Rvlvs (m3/hr)$									
DIAMETRO DE SECCION DE TUBERIAS									
Tamaño nominal	3 1/2"	4	4	4	5	6	8		
Schedule	80	80	120	HDPE	80				
Ø ext (pulg)	4,000	4,500	4,500	4,500	5,563				
Ø int (pulg)	3,364	3,826	3,152	3,750	4,813				
e de pared (pulg)	0,318	0,337	0,674	0,375	0,375				
Profundidad de ranura (") (pulg)	0,083	0,083	0,083	.....	0,084				
Ø int (pies)	0,280	0,331	0,263	0,292	0,401				
VELOCIDAD PARA DISTINTOS DIAMETROS									
$Q = V * A, Q = V * (\pi * Ø^2 / 4), V = 1.2732 * (Q / Ø^2)$									
Q		Ø			V				
(Ft3/seg)	(Ft3/seg)	(m)	(cm)	(pies)	(pulg)	(m/s)	(m/s)	(pies/seg)	
1,5396	0,5396	2	2	0,1667	0,1667	7,5382		24,733	
1,5396	0,5396	3	3	0,2500	0,2500	3,3503	0,0000	10,992	
1,5396	0,5396	4	4	0,3333	0,3333	1,8845	0,0000	6,183	
1,5396	0,5396	6	6	0,5000	0,5000	0,8376	0,0000	2,748	

## **4.5 PREPARADO DEL TAJO**

El primer paso es la limpieza del mineral fino que queda en el tajeo; luego se prepara el tajeo para el relleno tapando todas las zonas de posibles fugas del material de relleno colocando tapones o barreras; en esta operación se utiliza madera redonda para los postes, y tablas para el enrejado dejando un espacio entre tablas. Estas barreras se cubren con tela de polipropileno o poliyute (de 8 a 10 onzas de peso por metro cuadrado), la cual se clava a las tablas un tanto flojas para que el relleno pueda amoldarse a las formas de la madera. El contorno de esta tela va fijada a la hastial del tajeo con una mezcla de cemento y yeso (diablo fuerte).

Otra cuadrilla de operarios va instalando la tubería de polietileno hacia el tajeo a rellenar desde la red de tubería principal de relleno.

### **4.5.1 RELLENADO DEL TAJEO**

Una vez preparado el tajeo, el operador de superficie procede a enviar agua para lavar la red de tuberías con la finalidad de evacuar posibles vestigios de relleno, de anteriores envíos y comprobar que la tubería no esté atorada. En seguida el operador de interior mina observa que llegue el agua al tajeo y se comunica por teléfono con el operador de superficie solicitando el envío de la pulpa.

En lo posible debe evitarse que las barreras no reciban el impacto directo de la pulpa para evitar deterioros de la misma.

El proceso de rellenado continúa hasta que el operador de interior mina comunique el termino del proceso o alguna parada por algún problema; este operador debe cuidar que el drenaje de agua se realice correctamente, para lo cual se debe emplear tubos con ranura de  $\varnothing 4''$ .

El relleno utilizado llega a percolar hasta 12 *cm/hr* necesitando esperar menos de 2 horas para el secado de dicha lama para continuar con el proceso de minado.

En la práctica se ha comprobado que un coeficiente de permeabilidad de 10 *cm/hr* es el ideal para la consolidación de un relleno. Un coeficiente de permeabilidad menor de 3 *cm/hr* se dice que demora excesivamente en eliminar el agua; en cambio un coeficiente de permeabilidad mayor de 20 *cm/hr* puede causar el fenómeno de embudo, por el cual se forma pequeños conductos abiertos dentro de la masa de relleno a través de los cuales fluye la pulpa a gran velocidad saliendo buena cantidad de relleno a las galerías.

No se tiene problemas con la percolación, ni con la resistencia al hundimiento de relleno una vez rellenado el tajeo; pues el relleno resiste pisadas de un hombre (0.5 *Kg/cm<sup>2</sup>*) desde el momento que está rellenándose el tajeo. El relleno tiene una resistencia de hundimiento de 0.80 *Kg/cm<sup>2</sup>* a las 12 horas de vaciado la pulpa.

Al culminar el proceso de rellenado, el operador de superficie debe enviar agua para lavar la tubería.

#### **4.5.2 PROBLEMAS EN EL PROCESO DE RELLENADO**

Los problemas más comunes en los primeros días de aplicación del relleno hidráulico generalmente son los atoros de tuberías, esto principalmente por falta de experiencia del personal encargado de enviar el agua y la pulpa desde la planta de relleno. Luego estos problemas se irán minimizando al tener un personal cada vez más experimentado.

Las filtraciones y escapes de la pulpa son otro problema, los cuales se producen por una mala preparación del tajeo. Esto causa inundación de las rampas, galerías y pozas de decantación de los niveles inferiores.

Los desgastes de tuberías son consecuencia del rozamiento de la pulpa contra las paredes de la tubería. La duración de las tuberías depende de la ubicación y ángulo de inclinación que tengan. Las tuberías instaladas verticalmente tiene poco desgaste cuando están instaladas a plomo y bien aseguradas; mientras que las tuberías instaladas en forma horizontal tienen un mayor desgaste en la parte inferior, por lo que es recomendable hacer una rotación de las tuberías cada cierto tiempo para tener un desgaste uniforme.

#### **4.5.3 TIEMPO NETO DE RELLENADO DE UN TAJEO**

Con el empleo del densímetro se determina que la pulpa del relleno hidráulico tiene una composición en peso de 76% de sólidos y 24% de agua aproximadamente.

También se considerará en forma supuesta que por el proceso de drenaje se elimine solamente agua, logrando al final un relleno in-situ con una composición aproximada del 85% de sólidos y 15% de agua, entonces si podremos calcular el tiempo neto de relleno de un tajeo.

$$\text{Volumen del tajeo } (V) = l \cdot a \cdot h = A \cdot h$$

Donde:

$$V = \text{Volumen del tajeo } (m^3)$$

$$A = \text{Área de la base del tajeo } (m^2)$$

$$l = \text{Longitud del tajeo } (m)$$

$$a = \text{Ancho del tajeo } (m)$$

$h = \text{Altura de tajeo (m)}$

#### 4.5.3.1 ALIMENTACIÓN DE LA PULPA AL TAJEO

En el cuadro anterior se calcularon datos sobre la pulpa que llega al tajeo, estos se resume como condición inicial en el cuadro siguiente:

**C6-CIV ALIMENTACIÓN DE LA PULPA (Fuente: CMHSA)**

DESCRIPCIÓN	PESO ( $W$ )			VOLUMEN ( $V$ )			DENSIDAD ( $\gamma$ )	
	( $TM/h$ )	( $TM/min$ )	% $W$	( $m^3/h$ )	( $m^3/min$ )	% $V$	( $TM/m^3$ )	( $g/L$ )
Sólidos (s)	133.74	2.23	76%	50.48	0.84	55%	2.65	2649
Agua (a)	42.05	0.70	24%	42.05	0.70	45%	1.00	1000
<b>Pulpa (p)</b>	<b>175.79</b>	<b>2.93</b>	<b>100%</b>	<b>92.53</b>	<b>1.54</b>	<b>100%</b>	<b>1.90</b>	<b>1900</b>

#### 4.5.3.2 CONDICIONES DE DESCARGA

Líneas arriba se mencionó que en la descarga de la pulpa se tiene una composición de 76% de sólidos y 24% de agua. También se supone que al final se logra un relleno in-situ con una composición de 85% de sólidos y 15% de agua aproximadamente, asimismo se asume que por el drenaje se elimina solamente agua.

Entonces se tiene:

Condiciones iniciales:

$$W_s = 0.76WP$$

$$W_a = 0.24WP$$

Condiciones finales:

$$W'_s = 0.85W'P$$

$$W'_a = 0.15W'P$$

Ahora, para calcular el tiempo  $dt$ , donde  $dt = 1min$ , se tendrá los siguientes volúmenes:

Vol. de RH neto incrementado en tajeo ( $dv/dt$ ) = Vol. total que ingresa a tajeo ( $V_p$ ) – Vol. H<sub>2</sub>O que drena( $x$ )

Es decir:  $dv/dt = V_p - x$

Dicho en otros términos podríamos explicar así:

Ingreso	Tajeo	Drenaje
$V_p$		
$s = 0.76 W_p$	$s = 0.85 W'_p$	$x$
$a = 0.24 W_p$	$a = 0.15 W'_p$	

El incremento de altura de R/H en un tiempo  $dt$  será el siguiente:

Como:

$$h = \frac{V}{A} \text{ y } dh = \frac{dV}{a}; \text{ entonces se tiene que: } \frac{dh}{dt} = \frac{1}{A} * (V_p - x) \dots \alpha$$

$A dh = (V_p - x) dt$  Resolviendo la ecuación diferencial tenemos:

$$dt = \frac{A}{V_p - x} dh \dots \text{Ecuación diferencial de variables separables}$$

Integrando:

$$\int_0^h dt = \int_0^h \frac{A}{V_p - x} dh \quad \text{Integrando } [t]_0^h = \left[ \frac{Ah}{V_p - x} + C \right]_0^h \text{ donde } c = \text{constante de}$$

integración

Para  $t=0$ ,  $h=0$ ,  $c=0$

Luego:

$$t = \frac{Ah}{V_p - x} \quad \text{Entonces, el tiempo necesario para rellenar un tajeo con RH}$$

hasta una altura "h" será:

$$t = \frac{Ah}{V_p - x} \dots \beta$$

De acuerdo a las condiciones iniciales y finales de descarga, se tiene que:

**C7-CIV CUADRO DE CONDICIONES INICIALES Y FINALES**

DESCRIPCIÓN	PULPA	SOLIDO	AGUA
Condiciones iniciales	$W_p$	$0.76 W_p$	$0.24 W_p$
Condiciones finales	$W'_p$	$0.85 W'_p$	$0.15 W'_p$

$$0.76W_p = 0.85W'_p$$

$$W'_p = \frac{0.76}{0.85}W_p = 0.89W_p \dots \dots \dots (\gamma)$$

Donde la cantidad final será:  $W_a = 0.15W'_p = 0.15(0.89) = 0.13W_p$

Entonces el peso del agua que drenará será:

$$x = W_a - W'_a = 0.24W_p - 0.13W_p = 0.11W_p \dots \dots \dots (\omega)$$

Ojo la densidad del agua es 1gr/cm<sup>3</sup>

Entonces el tiempo de llenado neto (t) será:

**Del C6-CIV Alimentación de la pulpa se tiene**

$$V_p = 1.54 \text{ m}^3 / \text{min} \dots \dots \text{fase inicial}$$

$$W_p = 2.93 \text{ TM} / \text{min} \dots \dots \text{fase inicial}$$

$$\text{De } \omega \quad x = 0.11 W_p = 0.11 * 2.93 = 0.32$$

En  $\beta$  reemplazando:

$$t = \frac{Ah}{V_p - x} = \frac{Ah}{1.54 - 0.32} = \frac{Ah}{1.22} \dots \dots \lambda$$

De donde:

$$t = \frac{Ah}{1.22} \text{ Siendo } A = \text{ en } \text{m}^2, h = \text{ en metros y } t \text{ en minutos}$$

Si reemplazamos las dimensiones del tajo simulando datos tendremos:

$$t = 40 \text{ m}$$

$$a = 2 \text{ m}$$

$$h = 6 \text{ m}$$

$$A = 80 \text{ m}^2$$

Reemplazamos datos en  $\lambda$

$$t = 394 \text{ min (6.5 horas)}$$

## **CAPITULO V**

### **COSTOS**

#### **5.1 RELLENO HIDRAULICO CON ARENA DE CANTERA**

##### **5.1.1 INTRODUCCION**

En los costos de diseño de un sistema de RH con arena de cantera. La infraestructura de la planta tiene menos costo que la planta para relaves, las instalaciones de redes de tuberías son las mismas, hay diferencias en lo que respecta al transporte de arena con volquete, mientras que en el relave se utilizan bombas para el impulso del flujo hacia los silos de almacenamiento de relave.

Los costos que intervienen en este proyecto son:

Costos de inversión:

- Reservorio para agua
- Red de tuberías
- Planta para relleno hidráulico

Costos de operación:

- Depreciación del equipo
- Energía

- Mano de obra
- Mantenimiento
- Materiales
- Transporte de arena

El transporte de material de cantera representa un alto costo en las operaciones de relleno, la distancia de acarreo es de 20 Km. La necesidad de relleno es de 150 m<sup>3</sup> por tarea, es de necesidad el uso de cargadores frontales tanto en cantera como en planta, y su costo de operación en un tiempo considerable hace que sea costoso, mientras que en el relave se aprovecha el desecho producto de la concentración de minerales.

### 5.1.2 COSTO DE INVERSIÓN EN RELLENO HIDRÁULICO CON ARENA

En el costo de inversión se considera el costo de materiales y los costos de instalación realizados en reservorio de agua para abastecer a la planta, red de tuberías para relleno hidráulico, y la misma planta de relleno hidráulico de material de cantera.

Los costos de inversión constan en: (Ver cálculo en Anexo N° 08)

#### 5.1.2.1 RESERVORIO PARA AGUA

En el cuadro siguiente la inversión realizada en el reservorio se resume en el siguiente cuadro:

**C1-CV** (Fuente: CMHSA)

COSTO DE INVERSIÓN PLANTA DE RH (ARENA)					
INVERSIÓN EN RESERVORIO PARA AGUA					
ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PU(US\$)	COSTO(US\$)
1	Tubo de polietileno 2" clase 10	m	300	1.52	456.00
5	Tubo de polietileno 4" clase 10	m	900	4.94	4446.00
2	Geomembrana TORODIN HYDROS	m <sup>2</sup>	175	5.42	948.50
3	Alambre negro 16	kg	10	0.95	9.50
4	Geotextil no tejido MACTEX MT 300/MT200	m <sup>2</sup>	120	0.93	111.60
5	Costo de instalación				15000.00
Costo total					20971.60

### 5.1.2.2 TUBERÍAS

De igual forma se resume en el siguiente cuadro la inversión realizada en tuberías.

**C2-CV INVERSIÓN EN TUBERIA (Ver cálculo en Anexo N° 08)** (Fuente: CMHSA)

INVERSIÓN EN TUBERIAS					
ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PU(US \$)	COSTO(US \$)
1	Tubo de polietileno HDPE de 4"	m	1000	5.95	5950.0
2	Tuberías de acero SCH 80 de 4"	m	1800	32.17	57906.0
3	Niple SCH 80	Und	250	5.99	1497.5
4	Unión Vitaulic	Und	520	9.34	4856.8
5	Válvula bola acero inoxidable 2"	Und	2	39.35	78.7
6	Válvula bola acero inoxidable 4"	Und	1	266.5	266.5
7	Brida de acero P/tubería 6"	Und	16	12.06	193.0
8	Cemento gris	Bls	400	4.83	1932.0
12	Alcayatas	Und	1000	7.56	7560.0
10	Otros materiales				7388.37
14	Costo de instalación				23621.59
<b>COSTO TOTAL</b>					<b>111250.4</b>

### 5.1.2.3 PLANTA

En la planta de relleno hidráulico se realizó la inversión que se muestra en el cuadro siguiente: (Ver cálculo en Anexo N° 08)

**C3-CV INVERSIÓN EN PLANTA PARA RELLENO HIDRÁULICO (Fuente: CMHSA)**

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PU(US \$)	COSTO(US \$)
1	Planta para chancado portátil	Und	1	40000	40000.0
2	Tanque agitador	Und	1	5000	5000.0
3	Cemento gris	Bls	989	4.83	4776.9
4	Fierro corrugado 1/2" * 30m	Pza	252	5.63	1418.8
5	Fierro corrugado 5/8" * 30m	Pza	6	8.41	50.5
6	Fierro corrugado 3/8" * 30m	Pza	62	3.19	197.8
7	Tubo conduit 3/4" * 3.00 m	Pza	15	7.35	110.3
8	Tubo de acero SCH-40	Pza	3	114	342.0
9	Tubo de fierro negro 3" * 20	Pza	21	36.721	771.1
10	Tubo de fierro negro 1 1/4" * 21	Pza	26	12.62	328.1
11	Tubo de fierro negro 1 3/4" * 6m	Pza	46	18	828.0
12	Tubo de fierro negro 4" * 21"	Pza	6	52.38	314.3
13	Tubo de fierro negro 2" * 20	Pza	18	24.985	449.7
14	Tubo de fierro negro 1/4 * 20'	Pza	6	4.648	27.9
15	Tubo de fierro negro 3" * 20	Pza	6	44.206	265.2
16	Viga de fierro "H" 6" * 15LBS * 30	Pza	1	185.98	186.0
17	Viga de fierro "H" 8" * 8" * 20	Pza	3	378.4	1135.2
18	Viga de fierro "H" 8" * 31LBS * 20'	Pza	3	286.69	860.1
19	Otros materiales				4536.2
20	Obras civiles				80000.0
<b>COSTO TOTAL</b>					<b>141598.0</b>

Finalmente se resume los costos de inversión realizadas en el siguiente cuadro:

#### C4-CV RESUMEN DE COSTO DE INVERSIÓN (Ver cálculo en Anexo N° 08)

(Fuente: CMHSA)

DESCRIPCION	COSTO MATERIALES	COSTO DE INSTALACION	UB TOTAL(US)
tuberías	87611	23622	111250.4
Reservorio	5861	15000	20971.60
Planta	61599	80000	141598.0
<b>Total</b>	<b>155071</b>	<b>118622</b>	<b>273820.0</b>

### 5.1.3 COSTO DE OPERACIÓN DEL SISTEMA DE RELLENO HIDRAULICO

#### 5.1.3.1 COSTO DE DEPRECIACIÓN DEL EQUIPO

La tasa de depreciación anual considerado en el Consorcio Minero Horizonte CMHSA es de 20%. Los cálculos del costo de depreciación se resumen en el cuadro siguiente: (Ver anexo N° 07)

#### C5-CV COSTO DE DEPRECIACIÓN DEL EQUIPO (Ver cálculo en Anexo N° 08)

DESCRIPCION	UNIDAD	SUBTOTAL
Inversión inicial	\$	273820.005
Tasa de depreciación anual	%	20
Depreciación anual	\$	54764.001
Producción de mineral mensual	TM	45000
Producción de mineral anual	TM	540000
Costo de depreciación	\$TM	<b>0.10</b>

Como se puede apreciar el costo de depreciación es de US\$ 0.10.

#### 5.1.3.2 COSTO DE ENERGÍA

El costo de consumo de energía eléctrica representamos en el cuadro siguiente:

#### C6-CV COSTO DE ENERGIA (Ver cálculo en Anexo N° 08)

(Fuente: CMHSA)

DESCRIPCION	Hrs/día	Potencia (Hp)	Potencia(Kw)	Eff	Kw-hr/día	s/ /día
Dos bombas para agua (15Hp)	5.0	15	11.0325	65	35.86	11.8323563
Iluminación (planta, reservorio de agua, etc)	12.0	27	19.8585	65	154.90	51.115779
Chancadora de rodillos y quijada 60Hp y 4 Hp	5.5	64	47.072	65	168.28	55.533192
Zaranda (20 Hp)	5.0	20	14.71	65	47.81	15.776475
Agitador (18Hp)	5.0	18	13.239	65	43.03	14.1988275
<b>SUB TOTAL</b>		<b>144.00</b>	<b>105.912</b>		<b>449.87</b>	<b>148.45663</b>
Precio unitario de energía en CMHSA	0.33	s/. * Kw-hr				
Costo de energía	0.99	soles / m3 de relleno				
Costo de energía	0.37	soles / TM de relleno				
Costo de energía	0.12	\$/TM de relleno				

### 5.1.3.3 COSTO DE MANO DE OBRA

El costo de mano de obra que involucra el sistema de RH es resumido en el cuadro siguiente: (Ver cálculo en Anexo N° 08)

C7-CV (Fuente: CMHSA)

COSTO DE MANO DE OBRA			
DESCRIPCION	Tareas/día	S./Tarea	S./día
Operarios de chancado	2	63.02	126.04
Operadores de lanzado de agua	1	63.02	63.02
Maestro	1	71.4	71.4
Inspeccion de red de tuberías	2	63.02	126.04
Operador de relleno	2	63.02	126.04
Enmaderador	2	71.4	142.8
<b>TOTAL</b>			<b>655.34</b>
Costo de mano de obra	4.369	soles/m3 de relleno	
Costo de mano de obra	1.642	soles/TM mineral	
Costo de mano de obra	0.547	\$/TM mineral	

### 5.1.3.4 COSTO DE MANTENIMIENTO

El costo de mantenimiento de la planta de relleno hidráulico y de los equipos de bombeo de agua se estimó ya que aun no se contaba con datos reales.

Esta estimación está basada en experiencias similares de otras empresas mineras. En el cuadro siguiente se puede observar dicho costo.

C8-CV (Fuente: CMHSA)

COSTO DE MANTENIMIENTO (estimado de comparación con otras minas)		
Costo de mantenimiento	0.5	soles/m3 de relleno
Costo de mantenimiento	0.18	soles /TM relleno
Costo de mantenimiento	0.05	\$/TM relleno

### 5.1.3.5 COSTO DE MATERIALES

El costo de materiales se analiza en el cuadro siguiente:

C9-CV COSTO DE MATERIALES (Ver cálculo en Anexo N° 08) (Fuente: CMHSA)

DESCRIPCION	Unidad	Cantidad	P.U (S./)	Total (S./)
Madera redonda de 8" * 10'	TM	1.38	285.61	394.14
Poliyute	m2	100	0.56	56.00
Tablas de 2" * 8" * 10'	pies2	60	0.8	48.00
Cal(Kg)	Kg	172.69	0.41	70.80
<b>TOTAL</b>				<b>568.94</b>
Cal(Kg)	3.79	soles/m3 relleno		
Cal(Kg)	1.43	soles/TM relleno		
Cal(Kg)	0.48	\$/TM de relleno		

### 5.1.3.6 COSTO DE TRANSPORTE DE AGREGADOS

Los costos de transporte de agregados son resumidos en el cuadro siguiente: (Ver cálculo en Anexo N° 08)

C10-CV (Fuente: CMHSA)

COSTO DE TRANSPORTE DE MATERIALES			
DESCRIPCION (para 152 m3 de arena)	hr/día	P.U (\$./hr)	Tot.(\$/día)
Volquete para transportar arena	8	145.18	1161.44
Pala para carguío de arena	4	93.85	375.40
Pala para carguío a tolva	5	93.85	469.25
<b>TOTAL</b>			<b>2006.09</b>
Costo de transporte de materiales	13.37	soles/m3 de relleno	
Costo de transporte de materiales	5.08	soles/TM de relleno	
Costo de transporte de materiales	1.69	\$/TM de relleno	

Y finalmente en el siguiente cuadro se resumen los costos de operación con relleno hidráulico: (Ver cálculo en Anexo N° 08)

C11-CV (Fuente: CMHSA)

RESUMENES DE COSTOS DE OPERACIÓN	
DESCRIPCION	US \$/TM relleno
Costo de depreciación	0.101
Costo de mano de obra	0.547
Costo de transporte de agregados	1.692
Costo de energía	0.124
Costo de materiales	0.475
Costo de mantenimiento	0.050
<b>TOTAL DE COSTOS DE OPERACIÓN (US \$/TM relleno)</b>	<b>2.99</b>

## 5.2 RELLENO HIDRAULICO CON RELAVE PROVENIENTE DE LA PLANTA DE CONCENTRACION DE MINERALES

### 5.2.1 INTRODUCCION

Al igual que el ítem anterior, estos costos están basados es costos de inversión y costos de operación, en cuanto a los costos de inversión se incluyen la compra de la bomba FELUWA que su precio en Alemania es de 900000.00 Euros, se está considerando un precio hipotético de 1 200 000.00 US\$ incluye costos de FOB.

También se considera la compra de 02 hidrociclones Krebs G-Max D-10, que van acopladas a los silos de almacenamiento.

A continuación clasificaremos los costos como en el caso anterior, como sigue: (Ver anexo N° 07)

## 5.2.2 COSTO DE INVERSIÓN

De igual forma se considera el costo de materiales y el costo de instalación.

### 5.2.2.1 RESERVORIO DE AGUA

Al igual la misma infraestructura se tendrá en cuenta en este resumen, lo cual presentamos en el siguiente cuadro. (Ver cálculo en Anexo N° 08)

C12-CV (Fuente: CMHSA)

COSTO DE INVERSIÓN PLANTA DE RH DE RELAVE					
INVERSIÓN EN RESERVORIO PARA AGUA					
ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PU(US\$)	COSTO(US\$)
1	Tubo de polietileno 2" clase 10	m	300	1.52	456.00
5	Tubo de polietileno 4" clase 10	m	900	4.94	4446.00
2	Geomembrana TORODIN HY DROS	m2	175	5.42	948.50
3	Alambre negro 16	kg	10	0.95	9.50
4	Geotextil no tejido MACTEX MF 300/MF200	m2	120	0.93	111.60
5	Costo de instalación				15000.00
Costo total					20971.60

### 5.2.2.2 TUBERÍAS

La inversión realizada en tuberías se explica en el siguiente cuadro.

C13-CV Ver cálculo en Anexo N° 08)

(Fuente: CMHSA)

INVERSIÓN EN TUBERÍAS					
ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PU(US\$)	COSTO(US\$)
1	Tubo de polietileno HDPE de 4"	m	1000	5.95	5950.0
2	Tuberías de acero SCH 80 de 4"	m	1800	32.17	57906.0
3	Niple SCH 80	Und	300	5.99	1797.0
4	Unión Vitáulic	Und	620	9.34	5790.8
5	Válvula decuchilla inoxidable 4"	Und	2	1000	2000.0
6	Válvula bola acero inoxidable 4"	Und	1	266.5	266.5
7	Brida de acero P/tubería 6"	Und	16	12.06	193.0
8	Cemento gris	Bls	500	4.83	2415.0
12	Alcayatas	Und	1000	7.56	7560.0
10	Otros materiales				7388.37
14	Costo de instalación				23621.59
COSTO TOTAL					114888.2

### 5.2.2.3 PLANTA

En la planta de relleno hidráulico con relave está constituido por dos silos de 350 m3 de capacidad, el precio de la planta incluye a los silos.

**C14-CV (Ver cálculo en Anexo N° 08)**

(Fuente: CMHSA)

INVERSION EN PLANTA PARA RELLENO HIDRÁULICO CON RELAVE					
ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PU(US \$)	COSTO(US\$)
1	Planta de relleno hidráulico con relave	Und	1	600000	600000.0
2	Bomba de diafragma FÉLUWA	Und	1	1200000	1200000.0
3	Cemento gris	Bls	989	4.83	4776.9
4	Fierro corrugado 3/4" * 120m	Pza	350	5.63	1970.5
5	Fierro corrugado 1" * 30m	Pza	14	8.41	117.7
6	Fierro corrugado 3/8" * 30m	Pza	62	3.19	197.8
7	Tubo conduit 7/8" * 3.00 m	Pza	20	7.35	147.0
8	Tubo de acero SCH-120	Pza	15	114	1710.0
9	Tubo de fierro negro 3" * 20	Pza	45	36.721	1652.4
10	Tubo de fierro negro 1 1/4" * 21	Pza	45	12.62	567.9
11	Tubo de fierro negro 1 3/4" * 6m	Pza	50	18	900.0
12	Tubo de fierro negro 4" * 21"	Pza	15	52.38	785.7
13	Tubo de fierro negro 2" * 20	Pza	18	24.985	449.7
14	Tubo de fierro negro 1/4 * 20'	Pza	6	4.648	27.9
15	Tubo de fierro negro 3" * 20	Pza	6	44.206	265.2
16	Viga de fierro "H" 6" * 15LBS * 30	Pza	14	185.98	2603.7
17	Viga de fierro "H" 8" * 8" * 20	Pza	12	378.4	4540.8
18	Viga de fierro "H" 8" * 31LBS * 20'	Pza	18	286.69	5160.4
19	Otros materiales				5644.0
20	Obras civiles				80000.0
<b>COSTO TOTAL</b>					<b>1911517.7</b>

Finalmente presentamos el cuadro de resúmenes de los costos de inversión, y está explicado como sigue: (Ver cálculo en Anexo N° 08)

**C15-CV (Fuente: CMHSA)**

RESUMEN DE COSTO DE INVERSION			
DESCRIPCION	COSTO		SUB TOTAL(US\$)
	MATERIALES	COSTO DE INSTALACION	
tuberías	87611	23622	114888.2
Reservorio	5861	15000	20971.60
Planta	61599	80000	1911517.7
Total	155071	118622	2047377.5

### 5.2.3 COSTO DE OPERACIÓN DEL SISTEMA DE RELLENO HIDRAULICO CON RELAVE DE LA PLANTA DE CONCENTRACIÓN DE MINERALES

#### 5.2.3.1 COSTO DE DEPRECIACIÓN DEL EQUIPO

La tasa de depreciación anual de CMHSA es de 20%. Los cálculos del costo de depreciación se resumen en cuadro siguiente: (Ver cálculo en Anexo N° 08)

**C16-CV** (Fuente: CMHSA)

COSTO DE DEPRECIACION DEL EQUIPO		
DESCRIPCION	UNIDAD	SUBTOTAL
Inversión inicial	\$	2047377.549
Tasa de depreciación anual	%	20
Depreciación anual	\$	409475.5098
Producción de mineral mensual	TM	45000
Producción de mineral anual	TM	540000
Costo de depreciación	\$TM	0.76

**5.2.3.2 COSTO DE ENERGÍA**

El costo de consumo de energía eléctrica se presenta en el cuadro siguiente: (Ver cálculo en Anexo N° 08)

**C17-CV** (Fuente: CMHSA)

COSTO DE ENERGÍA						
DESCRIPCION	Hrs/día	Potencia (Hp)	Potencia(Kw)	Eff	Kw -hr/día	s./día
Dos bombas para agua (50Hp) int mina	15.0	50.0	36.775	65	358.56	118.3235625
Iluminación (planta, reservorio de agua, etc)	12.0	27.0	19.8585	65	154.90	51.115779
Bomba Under para pulpa	18.0	50.0	36.775	65	430.27	141.988275
Bomba Over para pulpa	18.0	50.0	36.775	65	430.27	141.988275
Bomba 3 de agua cortada 2760	10.0	15.0	11.0325	65	71.71	23.6647125
Bomba 4 agua Xc 2869	10.0	100.0	73.55	65	478.08	157.76475
Bomba 5 agua de superficie	10.0	100.0	73.55	65	478.08	157.76475
Bomba inyectora de agua a silos	12.0	20.0	14.71	65	114.74	37.86354
Bomba 7 agua sello de bomba	20.0	15.0	11.0325	65	143.42	47.329425
Zaranda (20 Hp)	5.0	20.0	14.71	65	47.81	15.776475
Agitador (18Hp)	5.0	18.0	13.239	65	43.03	14.1988275
Hidrociclón G-max D-10	20	20	14.71	65	191.23	63.1059
Hidrociclón G-max D-10	20	20	14.71	65	191.23	63.1059
<b>SUB TOTAL</b>		<b>505.00</b>	<b>371.4275</b>		<b>3133.30</b>	<b>1033.990172</b>
Precio unitario de energía en CMHSA	0.33	s/. * Kw-hr				
Costo de energía	6.89	soles /m3 de relleno				
Costo de energía	2.59	soles /TM de relleno				
Costo de energía	0.86	\$/TM de relleno				

**5.2.3.3 COSTO DE MANO DE OBRA**

El costo de mano de obra que involucra el sistema de relleno hidráulico se resume en el siguiente cuadro. (Ver cálculo en Anexo N° 08)

**C18-CV** (Fuente: CMHSA)

COSTO DE MANO DE OBRA			
DESCRIPCION	Tareas/día	S./Tarea	S./día
Operarios de Planta	3	63.02	189.06
Supervisor de planta	1	63.02	63.02
Maestro	1	71.4	71.4
Inspeccion de red de tuberías	2	63.02	126.04
Operador de relleno	2	63.02	126.04
Enmaderador	2	71.4	142.8
<b>TOTAL</b>			<b>718.36</b>
Costo de mano de obra	4.79	soles/m3 de relleno	
Costo de mano de obra	1.80	soles/TM relleno	
Costo de mano de obra	0.60	\$/TM relleno	

### 5.2.3.4 COSTO DE MANTENIMIENTO

Ya que no se cuenta con datos reales se estima aproximadamente el costo de mantenimiento de la planta de relleno hidráulico. Esta estimación está basada en experiencias similares de otras empresas mineras.

C19-CV (Ver cálculo en Anexo N° 08)

(Fuente: CMHSA)

COSTO DE MANTENIMIENTO (estimado de comparación con otras minas)		
Costo de mantenimiento	0.5	s/soles /m3 de relleno
Costo de mantenimiento	0.18	s/soles /TM relleno
Costo de mantenimiento	0.05	\$/TM relleno

### 5.2.3.5 COSTO DE MATERIALES

El costo de materiales se analiza en el cuadro siguiente

C20-CV (Ver cálculo en Anexo N° 08)

(Fuente: CMHSA)

COSTO DE MATERIALES				
DESCRIPCION	Unidad	Cantidad	P.U.(S/.)	Total (S./)
Madera redonda de 8" * 10'	TM	1.38	285.61	394.14
Poliyute	m2	100	0.56	56.00
Tablas de 2" * 8" * 10'	pies 2	60	0.8	48.00
Cal(Kg)	Kg	172.69	0.41	70.80
<b>TOTAL</b>				<b>568.94</b>
Cal(Kg)	3.79	s/soles /m3 relleno		
Cal(Kg)	1.43	s/soles /TM relleno		
Cal(Kg)	0.48	\$/TM de relleno		

Finalmente presentamos el cuadro de resúmenes de los costos de operación y veremos cuál de las dos alternativas nos conviene como proyecto factible.

C21-CV (Ver cálculo en Anexo N° 08)

(Fuente: CMHSA)

RESUMENES	
DESCRIPCION	US\$/TM relleno
Costo de depreciación	0.758
Costo de mano de obra	0.600
Costo de transporte de agregados	0.000
Costo de energía	0.864
Costo de materiales	0.475
Costo de mantenimiento	0.050
<b>TOTAL DE COSTOS DE OPERACIÓN (US\$/TM relleno)</b>	<b>2.75</b>

El costo de operación con arena es de 2.99US\$/TM relleno, mientras que con relave es de 2.75 US\$/ TM relleno.

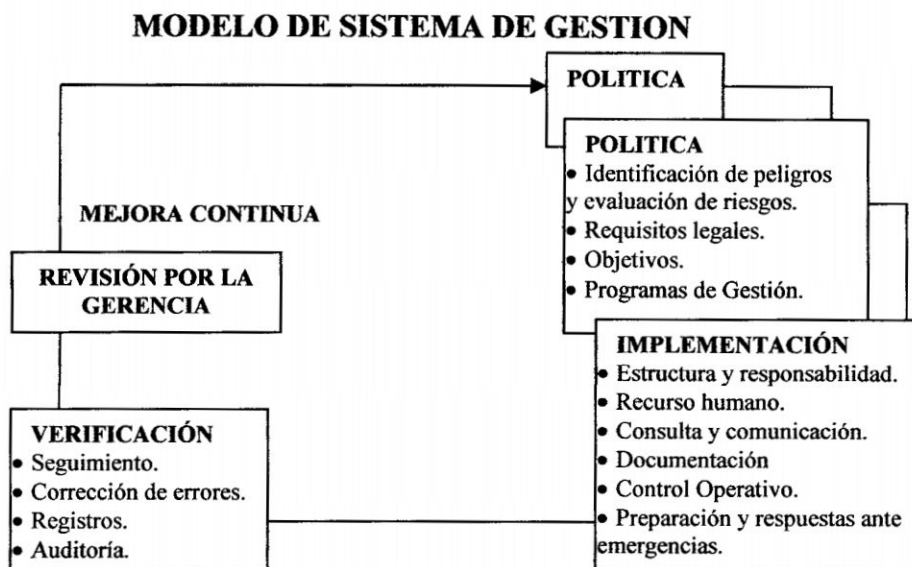
## CAPITULO VI

### SISTEMA DE GESTIÓN EN SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE

#### 6.1 SISTEMA DE GESTIÓN

Parte del sistema de gestión de la organización enfocada al logro de resultados, en relación con los objetivos de la calidad y seguridad, para satisfacer las necesidades, expectativas y requisitos de las partes interesadas.

#### F1-CVI MODELO DE SISTEMA DE GESTION



Consorcio minero horizonte tiene certificaciones en calidad (ISO 9001), seguridad (OHSAS 18001) y medio ambiente (ISO 14001), por lo que sus operaciones mineras garantizan trabajos de calidad y con seguridad protegiendo el medio ambiente.

## **6.2 SISTEMA DE GESTION EN SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL**

En el mes de abril del 2004, la empresa ha certificado en cumplir las normas OHSAS 18001, que son una serie de estándares voluntarios internacionales relacionados con la Gestión de la Seguridad y Salud Ocupacional. Estas normas buscan a través de una gestión sistemática y estructurada asegurar el mejoramiento de la salud y seguridad en el trabajo, el cual incluye el control sobre los equipos, materiales y procesos (GEMA: Gente, Equipo, Medio Ambiente y el Proceso)

Este sistema habilita a la empresa para formular una política de objetivos específicos asociados al tema, considerando requisitos legales e información sobre los riesgos inherentes a nuestra actividad.

Ventajas de certificar bajo esta norma

- \* Reducción del número de personal accidentado mediante la prevención y control de riesgos en el lugar de trabajo.
- \* Reducir el riesgo de accidentes de gran envergadura.
- \* Asegurar una fuerza de trabajo bien calificado y motivado a través de la satisfacción de sus expectativas de empleo.
- \* Reducción de los materiales perdidos a causa de accidentes, por interrupciones de producción no deseados.
- \* Posibilidad de integración de un sistema de gestión que incluya calidad, ambiente, salud y seguridad.
- \* Asegurar que la legislación respectiva sea cumplida.

### **6.2.1 COMITÉ DE SEGURIDAD**

El Comité de Seguridad e Higiene Minera está conformado por el gerente de operaciones, quien lo preside, los jefes de 16 departamentos o áreas. El Jefe del Programa de Seguridad se encarga de actuar como Secretario Ejecutivo en todas las sesiones que se llevan a cabo el primer viernes de cada mes. En estas sesiones se analizan y evalúan los avances de los objetivos y metas establecidos en el programa anual de Seguridad e Higiene Minera. También forma parte importante de esta reunión el análisis de las estadísticas de los incidentes y accidentes con la finalidad de emitir las recomendaciones pertinentes.

### **6.2.2 PREPARACIÓN Y RESPUESTAS A EMERGENCIAS**

Preparado para actuar de forma correcta y adecuada ante una emergencia, identificando las áreas, tareas y actividades de Alto Riesgo. Cumpliendo con lo dispuesto por la ley, de llevar a cabo los Simulacros, revisión periódica de los elementos contra incendios, preparación de las cuadrillas de salvataje o equipos de emergencia y formas y niveles de actuación. Cuentan con las herramientas adecuadas y necesarias para actuar durante y después de una Emergencia. La brigada de rescate minero mantiene entrenamiento y capacitación constante.

### **6.2.3 CAPACITACIÓN**

Todos los días en las mañanas y por las tardes se reúne a los trabajadores mineros en la sala de capacitación. Los temas son diversos, pues se abarcan desde aspectos operativos hasta aspectos personales como el liderazgo familiar.

## **6.3 ASPECTOS DE SEGURIDAD MINERA EN OPERACIONES DE RELLENO**

### **6.3.1 INTRODUCCION**

En el área de seguridad, enfocaremos los temas básicamente a los posibles peligros existentes en las operaciones de relleno hidráulico, mas no se hará referencia a temas fuera de la síntesis del cual se trata, es decir trataremos netamente de instructivos relacionados al relleno propiamente dicho.

En el aspecto de seguridad enfocándonos al tipo de material de relleno, citaremos los procedimientos más importantes que se debería tener en cuenta a fin de evitar daños personales y a la propiedad.

En el diseño de tuberías, se debe tener cuidado para evitar roturas de las líneas producidas por el desgaste y la presión de la misma, ya que podría originar accidentes en el momento de la misma operación, en el caso del desgaste producido por el rozamiento de las partículas en las paredes de las tuberías, estas al desgastarse se horadan e inundan los accesos de la mina en poco tiempo debido al alto caudal del que provienen, para los cuales existen procedimientos y estándares para evitar estos incidentes en operación.

### **6.3.2 PROCEDIMIENTO DE TRABAJO EN LA PLANTA DE RELLENO HIDRAULICO CON RELAVE**

Se necesita tres personales (operador1 RH, ayudante1 RH y ayudante2 RH), de los cuales dos se quedan en la planta, el tercero hace el cambio en el desviador y hace recorrido por las líneas de conducción del relave.

Se realiza los siguientes procedimientos:

1. El operador Solicita autorización mediante radio Handy al supervisor de turno en la planta de beneficio y cancha de relaves del cambio que se va realizar con las líneas de conducción de relave en la bomba.
2. Confirmada la autorización del supervisores de la planta de beneficio el ayudante2 RH procede a efectuar el cambio de las líneas de conducción del relave hacia la planta de relleno hidráulico, mientras envía agua por 7 minutos a las líneas de la cancha de relaves para que no se arenen y confirma con el operador1 RH que el flujo estén llegando con normalidad al cajón de recepción.
3. El operador 1 RH enciende la bomba recepción el cual eleva la pulpa al hidrociclón sobre los silos.
4. El operador 1 RH enciende la bomba de retorno del Overflow hacia el espejo cancha de relaves por líneas de tubería HDPE Ø 8".
6. Coordinar nuevamente con planta beneficio el desvío nuevamente a la cancha de relaves y solicitar agua para el lavado de las líneas de conducción de relave.

### **6.3.3 PROCEDIMIENTOS DE OPERACIÓN DE RELLENO HIDRAULICO**

Se darán a conocer los principales procedimientos en relleno de tajos, tanto de arena como con la pasta de relave, ya que ambos tienes casi los mismos procedimientos.

#### **6.3.3.1 ENVÍO DE PULPA DE LA PLANTA RH HACIA MINA**

Antes de comenzar el relleno de los tajos es necesario que el silo de acumulación de relave grueso este como mínimo al 50% de su capacidad y el tanque de agua esté al 80% de su capacidad. Luego de la coordinación

previa con el recepcionista en interior mina en la labor que se va a rellenar se proceden de la siguiente forma:

1. Llenar el silo agitador de pulpa con agua.
2. Verificar que no haya obstrucción a la salida de los inyectores de agua hacia los silos.
3. Comunicarse con el recepcionista el envío de agua para verificar el estado de la línea de relleno hasta el tajeo y posteriormente dar inicio.
4. Esperar la confirmación del recepcionista para iniciar el envío de la pulpa al tajeo.
5. Abrir completamente las válvulas hacia los inyectores.
6. Encender bomba centrífuga, para dar presión a los inyectores de agua (8 bares, caudal 90 GPM).
7. Abrir válvula de descarga del silo (válvula pinch Ø6”).
8. Abrir válvula de descarga del agitador (válvula pinch Ø4”) hacia mina, tubería de conducción principal (SCH-80 Ø4”) )
9. Conforme va normalizando el flujo por gravedad (levantando la densidad, hasta alcanzar el flujo a tubo lleno), se va reduciendo el caudal de los inyectores de agua regulando las válvulas.

### **6.3.3.2 RECEPCION DE RELLENO HIDRÁULICO EN EL TAJO**

Al inicio de guardia se debe verificar la tubería de la red troncal y accesorios desde los niveles hasta el tajeo a rellenar, cerciorándose si la comunicación entre el tajeo y la planta de relleno hidráulico se encuentra en buenas condiciones, para luego efectuar los procedimientos siguientes:

- Desatado de rocas en el área de trabajo del tajeo a rellenar.

- Verificar la tubería de R.H. si se encuentra o no en buenas condiciones.
- Instalar la tubería en la zona a rellenar, la punta del tubo debe de ser colocado y asegurado a la parte más alta para que el chorro de carga efectúe el topeado del tajo, el rellenado del tajo se debe ejecutar en retirada, para garantizar el topeado a presión.
- Verificar que los tubos drenaflex se encuentran operativos y en buenas condiciones para el drenado de agua, coordinar con planta de R.H. para el lanzado de agua hacia el tajo.
- Coordinar con planta de Relleno Hidráulico para el lanzado de carga.
- Coordinar con planta de Relleno Hidráulico, la llegada y recepción de carga y paralelamente se debe drenar.
- Comunicación a la planta el comportamiento de la carga para aumentar o bajar densidades, el rellenado del tajo se debe ejecutar en retirada para garantizar el topeado a presión.
- Concluido el rellenado, coordinar con planta Relleno Hidráulico para el envío de agua para el lavado de la tubería.
- Verificado el lavado de tuberías, ordenar a planta Relleno Hidráulico para el cierre de la válvula de agua.

### **6.3.3.3 INSTRUCTIVO DE MANTENIMIENTO DE TUBERIAS DE R.H**

Verificar la tubería, accesorios y rompe presiones de la red troncal desde los niveles hasta la planta de Relleno Hidráulico.

En cada acople de las tuberías el personal deberá utilizar arnés con línea de vida asegurados en el pedestal del punto de apoyo de la tubería.

En el acople de cada accesorio y rompe presión se tiene que desempatar las bridas y verificar estado de las tuberías, accesorios y rompe presión.

Si la tubería, accesorio ó rompe presión se encuentra en buen estado, de inmediato se tiene que rotar la tubería, accesorio ó rompe presión, sin dejar de usar el arnés.

Si la tubería, accesorio ó rompe presión se encuentra en mal estado ó requiere cambio, coordinar con taller de soldadura para la preparación.

En el taller de soldadura se efectúa la preparación de la tubería, accesorios y/o rompe presiones y se verifican las dimensiones.

Se procede a trasladar la tubería, accesorios y rompe presiones hasta la ubicación de la parte deteriorada.

El personal asegura la línea de vida de los arneses y precede a desinstalar e instalar las tuberías, accesorios o rompe presiones practicando el trabajo seguro.

Retirar a un lugar adecuado la tubería, accesorios o rompe presiones.

### **6.4 SISTEMA DE GESTIÓN EN MEDIO AMBIENTE**

Consortio Minero Horizonte, plenamente consciente de sus responsabilidades medioambientales frente a las comunidades donde se desarrollan sus operaciones, ha manifestado siempre un profundo respeto y

compromiso hacia el medio ambiente realizando un estricto control sobre los posibles impactos que sus actividades pudieran originar sobre las personas y el entorno, en el fiel cumplimiento de los compromisos declarados en su Política Ambiental.

Prueba de esto es que en la instalaciones operativas se tiene implementado un Sistema de Gestión Ambiental bajo los estándares internacionales ISO 14001 evaluado y auditado por Bureau Veritas Quality International BVQI en la última semana de setiembre del 2004 y certificados bajo las acreditadoras ANSI-RAB de EEUUAA y RAAD VOOR ACREDITATIE de Holanda , siendo la primera empresa de la provincia de Pataz en obtener una certificación de esta envergadura, lo que lo coloca en un nivel de excelencia en el manejo ambiental de la región.

#### **6.4.1 INTRODUCCIÓN**

El proceso de concentración de minerales del oro en la planta concentradora en CMH, se lleva a cabo mediante la cianuración del oro, como se sabe todo compuesto de cianuro es altamente toxico para la salud y el medio ambiente, por lo que debemos conocer de manera referencial los principales compuestos que intervienen en el proceso de concentración del oro, específicamente en el proceso de lixiviación, es decir las reacciones químicas de los compuestos, la deposición de los residuos, entre otros.

Existen métodos de degradación del cianuro, y su posterior almacenamiento, de tal manera que en lo posible se evite contaminar al medio ambiente.

El objetivo es tratar de dar a conocer la manipulación en forma adecuada y segura los minerales que genera la operación de minado de la unidad en la cancha de lixiviación de Chilca pampa.

El proceso de lixiviación, es el proceso que permite obtener mediante el regado y lavado con solución cianurada el material precioso (Oro) de los minerales con baja ley, los responsables de manipular el material desde su proceso inicial (Chancado) hasta su disposición final (Tanques de carbón activado). Así mismo, deberán asegurarse de mantener el área en forma ordenada y limpia, de acuerdo al ESTANDARES de Orden y Limpieza.

El supervisor de Medio Ambiente, es el responsable de realizar el monitoreo de los efluentes finales, para determinar si las concentraciones se encuentran dentro de los parámetros establecidos en la regulación vigente, así como deberá realizar el mantenimiento preventivo y correctivo de la Planta Industrial.

De igual forma el supervisor de Seguridad Superficie.-deberá asegurarse de que los trabajos se realicen de acuerdo a los estándares establecidos en el SGI SSOMA.

#### **6.4.2 TOXICIDAD DEL CIANURO**

El cianuro impide a las células utilizar el oxígeno, lo cual causa hipoxia de los tejidos y "cianosis" (decoloración azulada de la piel.) el sistema respiratorio deja de nutrir a las células con oxígeno, un estado que si no se trata, causa respiración rápida y profunda seguida por convulsiones, pérdida del conocimiento y asfixia.

El ácido cianhídrico es un gas tóxico, que puede contaminar el aire.

### **6.4.3 TRATAMIENTO DEL CIANURO**

Antídoto para el tratamiento de primeros auxilios que dilata los vasos sanguíneos, que baja la presión, altamente volátil e inflamable (no fume alrededor, ni produzca chispas), manténgalo alejado de las temperaturas extremas altas (más de 60°C) y bajas (donde haya congelamiento), debe estar accesible en todo momento para casos de envenenamiento.

### **6.4.4 RELAVES CIANURADOS.**

Residuos contaminantes y tóxicos con alta concentración de Cianuro de Sodio, el mismo que se utiliza en el proceso de flotación para recuperar el Oro.

Estos residuos son tratados en la Presa de Chilcapampa ubicada a una distancia aproximada de 3 Km. de la Unidad.

Así mismo se cuenta con una Planta de Degradación, para tratar el Cianuro de Sodio a través de la dosificación de Sulfato de Cobre y Peróxido de Hidrogeno (Degradación de Cianuro de Sodio), para culminar este proceso se cuenta con tres columnas de carbón activado.

## CONCLUSIONES

- 1.- El hidrociclón G-MAX es el más apropiado por tener una buena clasificación de relave con partículas adecuadas para el relleno hidráulico, basados en conceptos de percolación y cantidad de producto para el relleno, cuya recuperación de Sólidos (Base Alimento) es de 54 a 62 %.
- 2.- Las variaciones de diámetros tanto del ápex como el vórtex así como los ángulos de inclinación con la respecto a la horizontal, influyen en la determinación en el porcentaje de gruesos y finos durante la clasificación con los hidrociclones.
- 3.- Con la velocidad crítica y velocidad de diseño flujo horizontal y flujo ascendente para pulpas de relave de 1.600 Kg/L y 1.700 Kg/L, se determina que el diámetro más apropiado de la tubería para el transporte de relleno a la mina a través de tubería, es la tubería Schedule 80 de 4 pulgadas de diámetro.
- 4.- La gradiente hidráulica para flujos de agua es inferior en comparación a la gradiente hidráulica para flujos de pulpa de relleno.
- 5.- La densidad de pulpa del relave clasificado es de 1.735 Kg/L variando de la siguiente manera de 1.700 a 1.735 Kg/L para zonas de mediana altura cota 2,715 msnm y para las zonas más elevadas se encuentra en un rango de de 1.600 a 1.650 Kg/L. De esta se puede concluir que la densidad de pulpa disminuye cuando el envío se efectúa a zonas elevadas de la mina a una cota de 2,884 msnm.

6.- El caudal y presión de bombeo adecuado para enviar pulpas de mayor densidad que ofrezcan buena percolación y buena velocidad de sedimentación se encuentra entre 177 gpm y 182 gpm a una presión de 53.41 y 53.08 bares respectivamente.

7.- El caudal y presión de bombeo de la Bomba Feluwa se encuentra fuera del rango de diseño del fabricante operando a un caudal de 200 gpm y 36 bares de presión, presión con la que la pulpa llega a zonas elevadas deficientemente encontrando la densidad pulpa por debajo de 1.600 Kg/L.

8. Las tuberías y accesorios se encuentran operando fuera del rango para lo que fueron fabricados, las tuberías HDPE solo pueden soportar presiones de 20 bares mientras que la tubería Schedule hasta los 80 bares.

9.- La modificación del sistema de relleno hace que el envío de pulpa llegue a zonas altas con una densidad de 1.700 Kg/L.

10.- El material de relleno más apropiado para la intensificación de su uso es el relave; puesto que su costo de operación es inferior en comparación al material de cantera arena.

11.- Desde el punto de vista ambiental, el material de relleno más apropiado para la intensificación de su uso es el relave; puesto que con el uso de material de cantera se genera impacto negativo en la extracción del material ocasionando un desequilibrio ecológico

12.- La concentración de minerales utilizando cianuro de sodio es demasiado perjudicial para el medio ambiente, aún utilizando métodos de degradación del cianuro, porque de todas formas filtran concentraciones considerables de cianuro al medio ambiente.

## RECOMENDACIONES

- 1.- Emplear el hidrociclón G-MAX para obtener una buena clasificación de relave con partículas adecuadas para el relleno hidráulico, cuya recuperación de Sólidos (Base Alimento) es de 54 a 62 %.
- 2.- Para el transporte de relleno a la mina a través de tubería, utilizar la tubería Sch 80 de 4 pulgadas, 3 ½" Sch 80 y la HDPE para menores de 20 bares en tramos horizontales, los que se determinaron por comparación empleando la velocidad crítica, velocidad de diseño flujo horizontal y flujo ascendente para pulpas de relave de 1.600 Kg/L y 1.700 Kg/L.
- 3.- En el envío de pulpas de relleno cuya densidad de pulpa promedio entre 1.700 a 1.735 Kg/L para las zonas más elevadas, la bomba Feluwa tendrá que ser ajustada a un caudal de 182 gpm y presión de 53.1bares.
- 4.- Deberá modificarse el sistema de relleno actual para lograr bombear pulpas de mayor densidad las que garanticen cumplir el requerimiento de mina con una presión y caudal de la bomba dentro del diseño de fabricación.
- 5.- Se debe considerar la posibilidad de reutilizar el agua que ingresa con el relleno, de tal forma se cree un circuito cerrado de agua, optimizando su utilización.
- 6.- Se debe realizar el lavado de las líneas de las tuberías de RH, de tal forma se eviten atoros durante el bombeo de la misma.

7.- Implementar más columnas de carbono y zinc de degradación del cianuro de tal manera se minimice la contaminación con cianuro al medio ambiente

8.- Mantenimiento periódico de las uniones con bridas de las tuberías Sch 80 de hierro a fin de evitar fugas debido a la presión del sistema.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

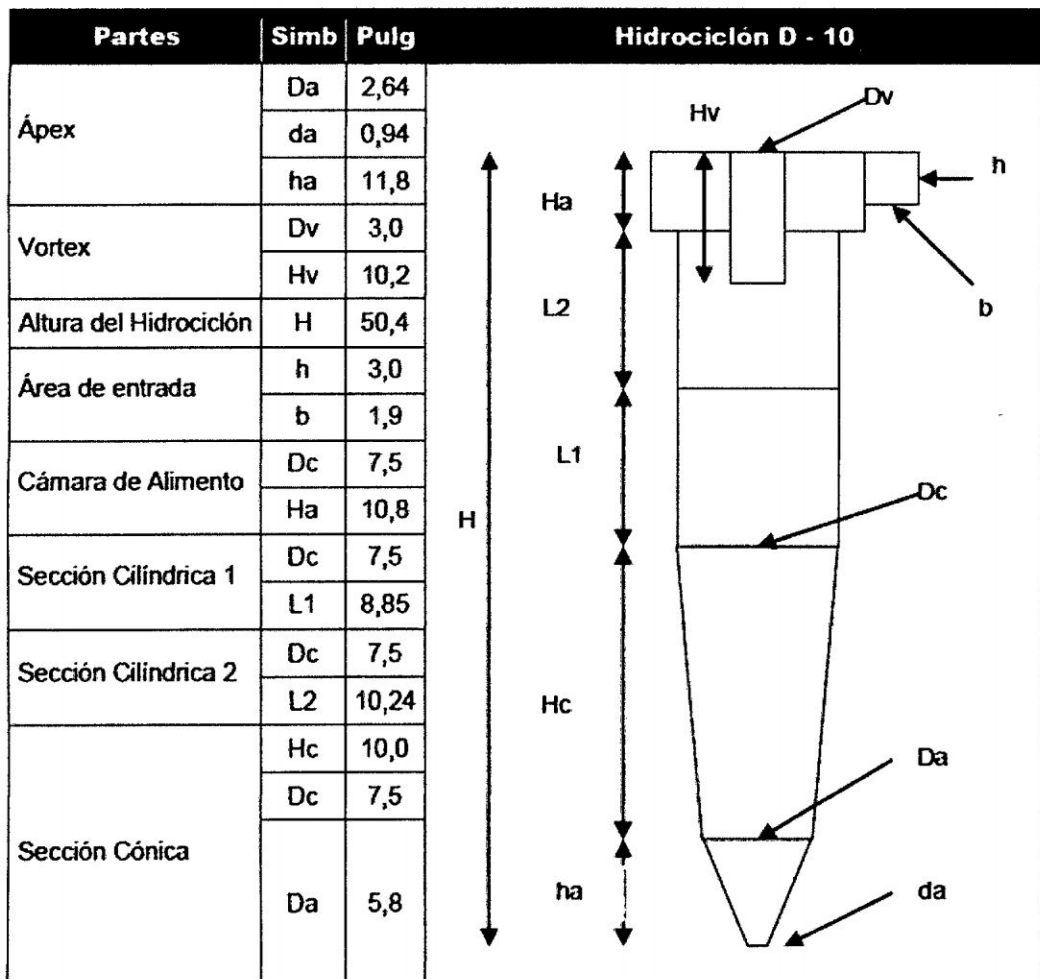
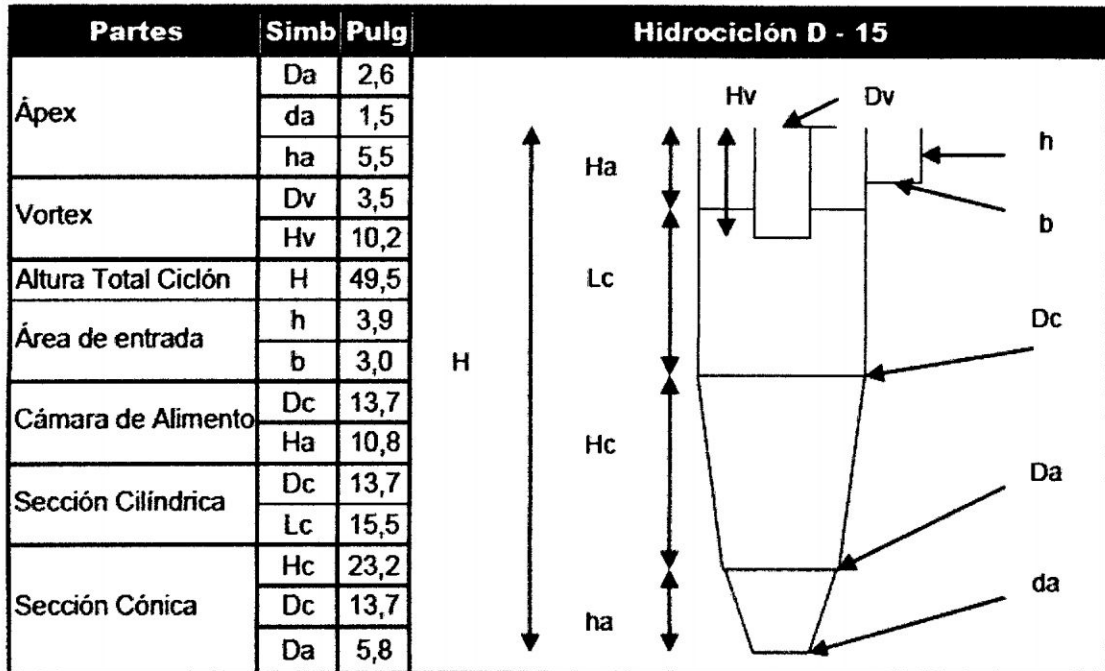
- 1.- ASSUREIRA E. Estela "Transporte de partículas sólidas por tuberías". Pontificia Universidad Católica del Perú, 1989.
- 2.- BELTRÁN C. Wilfredo, "Estudio experimental de Relleno Hidráulico en la mina Atacocha". Perú
- 3.- BOUSO, Juan Luis, "Manual de bombeo de pulpas" ERAL, Equipos y procesos, S.A Madrid, España, 1993.
- 4.- CORDOVA ROJAS, David, "Técnicas Geomecánicas Básicas para Evaluación de la Estabilidad de excavaciones Rocosas Subterráneas". Mina Uchucchacua, Perú, 2000.
- 5.- DAVE LANDRIAULT, "Tecnología de pasta para aplicaciones de relleno subterráneo". Golder Paste Technology Ltd, Curso internacional Perú, 1998.
- 6.- F. DE LUCIO, "Teoría de Relleno Hidráulico". Perú XII Convención de Ingenieros de Minas, 1972.
- 7.- HUANCAYA DELGADO, Guillermo, "Análisis de los sistemas de Relleno Hidráulico en la mina Carahuacra - Volcan Compañía Minera S.A.A." Lima-Perú, 1998.

# ANEXOS

## ANEXO N° 01

### CARACTERÍSTICAS DE LOS HIDROCICLONES

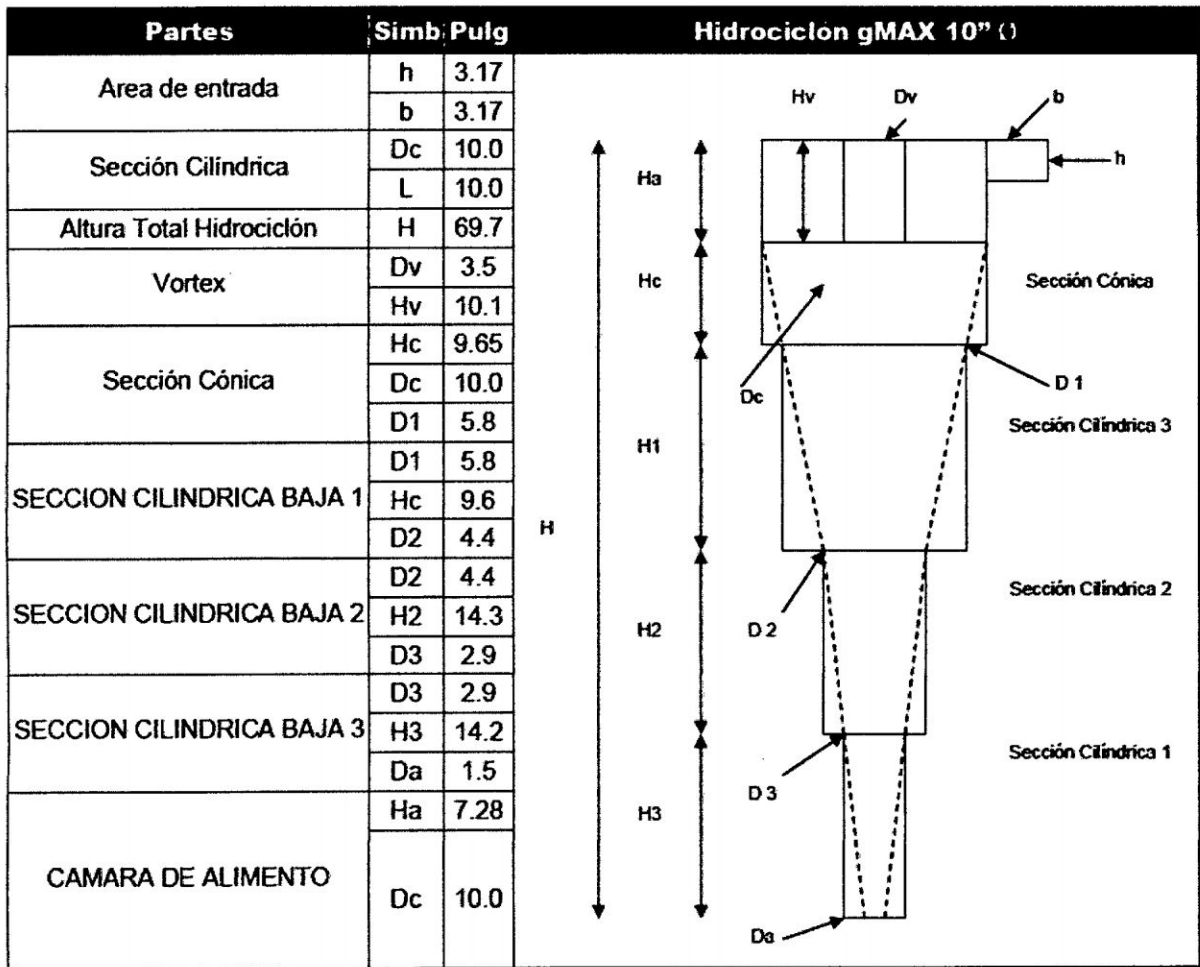
ANEXO N° 01-1



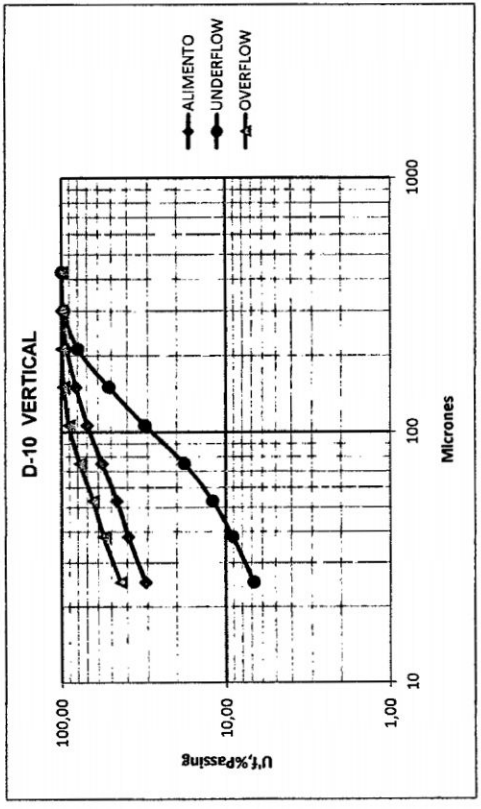
# ANEXO N° 01

## CARACTERISTICAS DE LOS HIDROCICLONES

## ANEXO N° 01-2



Malla	q	M12	M13	M17	M18	M19	M20	M22	M79	M80	M87	M89	M91	M93	M95	M97	M101	M103	M105	From. %Peso	Retenido	From. %Pasante	
<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO ALIMENTO. % PESO</b>																							
40	425	0,14	0,52	0,41	0,4	0,27	0,18	0,08	0,02	0,02	0,29	0,16	0,15	0,07	0,05	0,04	0,12	0,06	0,04	0,17	0,17	99,83	
50	300	1,97	1,45	1,91	2,22	2,17	1,94	0,94	0,14	0,14	1,13	0,88	0,82	0,52	0,26	0,19	0,39	0,47	0,23	0,99	1,16	98,85	
70	212	9,36	5,46	7,34	8,78	8,35	6,93	6,31	2,42	2,42	6,8	7,08	6,85	5,82	4,14	2,53	3,85	4,2	2,66	5,74	6,89	93,11	
100	150	12,47	9,97	11,53	10,35	12,09	11,48	9,85	12,7	12,69	13,47	13,37	13,37	12,69	11,79	9,74	10,51	12,14	9,22	11,60	18,49	81,51	
140	106	11,66	9,19	13,24	8,03	12,98	9,22	11,8	9,5	9,5	15,67	11,98	9,96	16,9	16,16	17,36	11,75	9,65	9,75	11,91	30,40	69,60	
200	75	10,23	15,82	11,12	14,29	10,32	14,78	10,51	15,8	15,8	10,28	12,23	14,58	8,85	8,99	12,29	13,6	14,94	16,85	12,85	43,25	56,75	
270	53	10,66	12,16	11,54	11,09	10,77	10,6	11	11,39	11,39	9,47	9,48	9,67	9,65	9,64	9,42	11,24	10,69	11,62	10,64	53,88	46,12	
400	38	6,54	6,83	6,32	6,35	6,25	5,96	6,09	7,07	7,03	6,21	6,53	6,53	7,43	8,18	7,34	7,57	6,72	7,48	6,83	60,72	39,28	
500	25	8,62	8,98	8,46	8,45	7,84	8,45	8,52	7,86	7,86	8,33	8,03	8,59	9,74	9,81	10,24	9,8	8,05	8,66	8,47	69,19	30,81	
-500		28,35	29,63	31,74	30,04	28,95	28,46	34,91	33,11	33,11	28,32	30,5	29,5	28,33	30,98	30,95	31,37	33,09	33,49	30,82	100,01	-0,01	
		100	100,01	100,01	100	99,99	100	100,01	100,01	100,01	100,01	100,02	100,02	100,02	100	100	100	100,01	100,01	100	100,01	100,01	
<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO UNDERFLOW. % PESO</b>																							
40	425	0,43	1,47	0,95	1,1	0,64	0,45	0,26	0,03	0,03	0,57	0,55	0,69	0,07	0,06	0,07	0,29	0,1	0,09	0,44	0,44	99,56	
50	300	7,54	3,84	4,33	5,69	5,76	5,54	3,84	0,33	0,33	2,52	3,72	4,33	0,92	0,61	0,53	1,02	0,95	0,79	2,92	3,36	96,64	
70	212	36,63	15,52	16,41	22,39	20,97	25,59	23,99	5,81	5,81	15,58	30,25	33,84	11,42	10,78	7,93	10,43	10,01	8,63	17,33	20,69	79,31	
100	150	27,38	26,15	24,43	21,74	27,34	25,9	27,75	31,96	31,96	27,26	31,14	28,11	25,29	29,97	29,3	27,71	30,46	27,68	27,86	48,55	51,45	
140	106	11,32	17,66	11,95	14,82	9,27	11,89	8,02	21,4	21,4	8,81	10,78	11,35	10,25	8,76	11,12	12,82	18,34	22,79	20,39	66,95	31,05	
200	75	6,13	16,37	11,95	14,82	9,27	11,89	8,02	21,4	21,4	8,81	10,78	11,35	10,25	8,76	11,12	12,82	18,34	22,79	20,39	66,95	31,05	
270	53	4,47	6,61	7,94	7,06	5,73	5,02	5,33	7,19	7,19	5,31	3,9	3,79	6,58	4,65	5,39	5,5	6,69	7,29	5,87	87,94	12,06	
400	38	2,43	2,66	3,11	3,34	2,56	2,38	2,43	3,2	3,2	3,26	2,1	2,08	3,57	4,59	3,12	3,07	3,2	3,06	2,96	90,91	9,09	
500	25	2,72	2,57	1,58	0,18	2,62	2,3	2,38	2,28	2,28	2,88	1,72	1,98	2,81	2,93	3,38	5,42	1,83	2,52	2,33	93,23	6,77	
-500		0,96	7,14	7,82	9,83	7	8,58	8,29	6,76	6,76	8,04	6,12	6,27	7,23	6,18	5,82	5,42	7,5	6,07	6,77	100,00	0,00	
		100,01	99,99	99,99	100,01	100	99,99	100,01	99,99	99,99	100	100,01	99,98	100,02	100	100	100,01	99,99	100,01	100	100,01	100,01	
<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO OVERFLOW. % PESO</b>																							
40	425	0,04	0,14	0	0,04	0	0,04	0,02	0,02	0,02	0,06	0,05	0,03	0,06	0,04	0,03	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04	99,96	
50	300	0,01	0,52	0,04	0	0	0	0,1	0,01	0,01	0,03	0,12	0,06	0,12	0,02	0,07	0,02	0,15	0,04	0,07	0,11	99,89	
70	212	0	1,53	0,35	0	0,41	0	1,13	0,02	0,02	0	0,79	1,06	0,2	0	0,51	0,07	0,39	0,55	0,39	0,50	99,50	
100	150	7,25	3,66	1,59	2,95	2,5	3,75	4,61	0	0	1,06	8,67	10,2	0,03	0	2,43	0,64	0,12	2,73	2,90	3,40	96,60	
140	106	11,77	5,88	6,9	4,24	9,76	7,54	10,07	1,35	1,35	7,61	12,59	10,48	1,86	6,13	11,39	0,81	2,27	5,76	6,54	9,94	90,06	
200	75	11,67	15,6	10,48	13,94	10,98	16,33	11,23	11,84	11,84	11,45	12,62	15,27	7,44	9,14	12,72	14,05	12,71	14,75	12,45	22,39	77,61	
270	53	12,84	14,32	14,31	13,71	13,94	13,59	12,66	14,35	14,35	12,79	10,99	10,92	12,73	12,91	10,93	14,54	13,31	13,14	13,13	35,52	64,48	
400	38	7,98	8,46	8,79	8,3	8,57	7,88	7,16	9,79	9,79	10,04	7,32	7,48	11,32	10,53	8,91	10,15	9,03	9,03	8,92	44,44	55,56	
500	25	10,68	11,48	7,38	13,83	11,12	11,75	10,31	11,8	11,8	12,68	9,75	10	16,71	14,31	12,8	13,44	12,13	10,82	11,82	56,26	43,74	
-500		37,96	38,4	50,18	43,18	42,76	39,12	42,7	51,71	51,71	44,5	37,11	34,48	49,52	47,24	40,2	46,26	49,86	43,14	43,89	100,15	-0,15	
		100,2	99,99	100,02	100,15	100,08	100	99,99	100,89	100,89	100,22	100,01	99,98	99,99	99,99	99,99	100	100	100	99,99	100,15	-0,15	



**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO HIDROCICLÓN D-15 A 10° DE LA HORIZONTAL**

**ANEXO N° 02-2**

Malla	u	M84	M85	M86	M88	M90	M92	M94	M96	M98	M100	M102	M104	Prom. %Peso	Prom. %Ac(+) Retenido	Prom. %Ac(-) Pasante
<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO ALIMENTO. % PESO</b>																
40	425	0,09	0,12	0,26	0,18	0,16	0,08	0,04	0,06	0,09	0,13	0,05	0,07	0,11	0,11	99,89
50	300	0,31	0,47	0,92	0,99	1,00	0,70	0,21	0,28	0,58	0,40	0,35	0,37	0,55	0,66	99,34
70	212	2,60	4,21	6,07	7,13	7,91	6,61	3,27	4,10	6,30	4,05	3,75	4,69	5,06	5,72	94,28
100	150	11,74	10,99	13,83	14,15	13,01	11,84	10,14	12,38	13,05	10,58	10,96	11,86	12,04	17,76	82,24
140	106	14,76	16,22	10,75	10,45	14,91	17,12	17,75	13,91	17,37	11,28	10,50	7,49	13,54	31,30	68,70
200	75	10,40	11,39	14,15	11,92	9,15	9,07	11,19	10,54	11,16	15,27	16,24	12,97	11,95	43,26	56,74
270	53	11,06	11,75	9,65	9,43	9,68	9,02	8,44	8,87	8,70	11,29	11,00	10,90	9,98	53,24	46,76
400	38	7,16	7,34	6,63	6,63	6,22	7,86	9,49	7,34	6,73	7,23	6,90	7,15	7,22	60,46	39,54
500	25	10,16	7,41	8,77	7,91	7,62	9,28	9,64	11,02	9,82	8,64	8,26	9,45	9,00	69,46	30,54
-500		31,72	30,10	28,97	31,21	30,34	28,43	29,83	31,50	26,21	31,15	31,99	35,04	30,54	100,00	0,00
		100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,01	100,02	100,00	99,99			

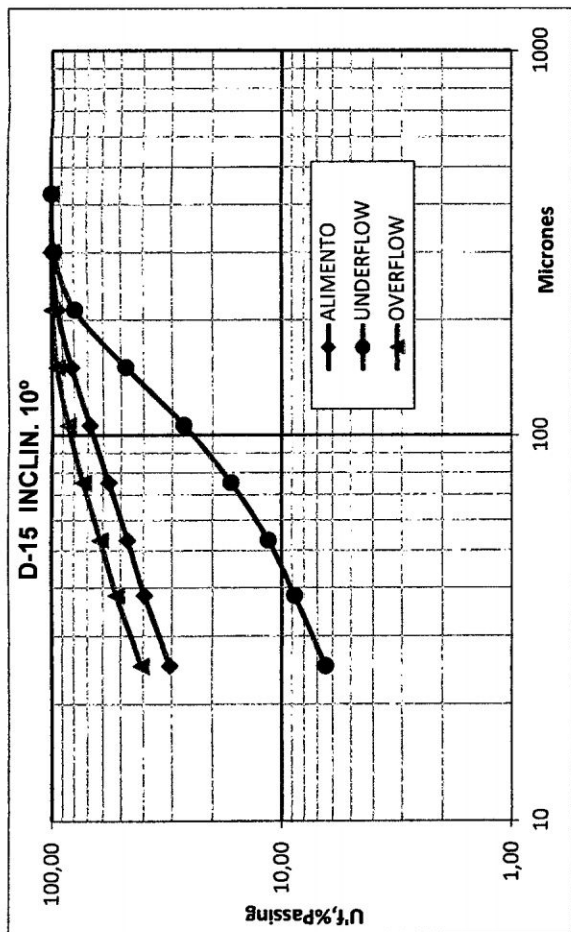
**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO UNDERFLOW. % PESO**

40	425	0,60	0,61	1,36	0,31	0,29	0,24	0,06	0,10	0,18	0,52	0,14	0,17	0,38	0,38	99,62
50	300	2,55	2,76	5,43	2,03	2,10	3,08	0,71	0,74	1,67	1,53	1,07	1,23	2,08	2,46	97,54
70	212	19,26	21,11	29,84	14,92	16,55	28,78	11,99	11,76	19,50	15,50	12,77	15,56	18,13	20,59	79,42
100	150	36,02	30,46	28,51	29,16	26,08	28,80	33,04	33,92	33,29	32,44	32,50	36,31	31,71	52,30	47,70
140	106	16,40	19,26	10,54	19,96	27,03	17,64	29,23	27,84	22,75	24,61	18,72	17,03	20,92	73,21	26,79
200	75	7,99	7,94	8,80	16,01	9,63	6,17	7,81	9,31	8,06	9,54	15,86	14,43	10,13	83,34	16,66
270	53	5,28	6,04	4,06	6,17	5,76	4,24	5,79	4,80	4,23	4,58	6,24	5,17	5,20	88,54	11,46
400	38	2,53	2,98	2,51	2,75	2,72	2,43	2,79	2,67	2,51	2,48	3,02	2,44	2,65	91,19	8,81
500	25	2,60	2,07	2,30	2,15	2,30	2,32	2,50	2,94	2,72	2,65	2,02	1,72	2,36	93,55	6,45
-500		6,76	6,78	6,66	6,53	7,54	6,31	6,08	5,91	5,09	6,14	7,66	5,93	6,45	100,00	0,00
		99,99	100,01	100,01	99,99	100,00	100,01	100,00	99,99	100,00	99,99	100,00	99,99			

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO OVERFLOW. % PESO**

40	425	0,05	0,02	0,09	0,06	0,03	0,03	0,04	0,03	0,05	0,00	0,02	0,02	0,04	0,04	99,96
50	300	0,12	0,01	0,20	0,02	0,00	0,05	0,05	0,00	0,08	0,02	0,14	0,00	0,06	0,09	99,91
70	212	1,24	0,78	2,31	0,00	0,00	0,53	0,56	0,00	0,18	0,20	1,09	0,00	0,57	0,67	99,33
100	150	9,75	7,04	11,51	0,20	0,62	7,19	3,00	0,00	3,66	3,24	4,61	0,00	4,24	4,90	95,10
140	106	14,62	15,60	10,78	1,62	3,42	16,98	14,16	5,22	14,87	6,79	8,08	2,53	9,56	14,46	85,54
200	75	10,60	12,09	15,00	8,12	8,68	9,86	12,24	11,31	12,59	17,19	16,35	12,21	12,19	26,65	73,35
270	53	11,53	12,91	10,53	12,45	13,39	10,33	9,27	11,41	10,78	13,54	12,41	13,88	11,87	38,52	61,49
400	38	7,54	8,23	7,28	10,23	9,54	9,34	11,58	10,25	8,69	8,82	8,04	9,59	9,09	47,61	52,39
500	25	10,78	8,50	9,80	13,26	12,66	11,19	11,87	16,06	13,11	10,65	10,09	13,46	11,79	59,40	40,61
-500		33,77	34,83	32,49	54,13	51,95	34,49	37,24	47,46	36,00	39,56	39,16	50,14	40,94	100,33	-0,33
		100,00	100,01	99,99	100,09	100,29	99,99	100,01	101,74	100,01	100,01	99,99	101,83			

CURVA DE CALIBRE



**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO D-15 A 22.5° DE LA HORIZONTAL**

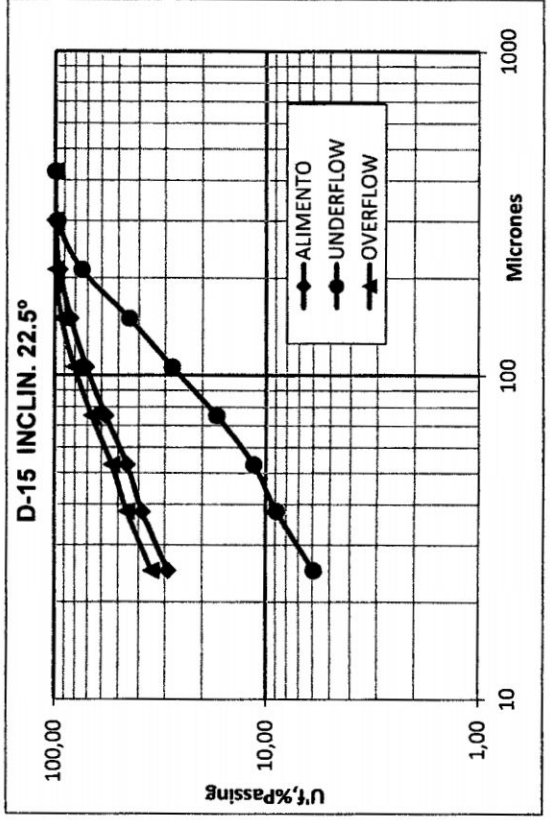
Malla	ϕ	M66	M67	M68	M69	M70	M71	M72	M73	M74	M75	M76	Prom. %Peso	Prom. %Ac(+) Retenido	Prom. %Ac(-) Pasante
40	425	0,05	0,06	0,08	0,07	0,07	0,37	0,08	0,15	0,15	0,35	0,09	0,14	0,14	99,86
50	300	0,53	0,66	0,43	0,32	0,22	0,52	0,3	0,47	0,44	0,7	0,3	0,44	0,58	99,42
70	212	4,93	5,94	3,27	3,94	4,33	5,81	3,78	4,99	3,9	3,05	1,93	4,17	4,75	95,25
100	150	11,86	12,26	11,21	11,03	8,2	11,61	11,14	13,81	12,6	10,23	8,32	11,12	15,87	84,13
140	106	14,7	13,98	14,98	14,95	13,45	15,67	15,66	10,61	10,32	10,3	11,66	13,30	29,17	70,83
200	75	13,01	13,03	12,12	12,1	11,29	11,45	12,31	16,53	16,59	16,41	13,32	13,47	42,64	57,36
270	53	11,31	10,73	13,12	11,69	11,95	11,87	12	11,5	11,85	12,2	12,94	11,92	54,56	45,44
400	38	6,72	6,49	5,92	8,29	6,56	6,61	7,33	7,26	6,98	7,2	7,57	6,99	61,55	38,45
500	25	8,78	9,97	8,37	8,18	17,17	8,41	9,55	5,11	9,1	10,08	8,32	9,37	70,92	29,08
-500		28,11	26,87	30,5	29,43	26,76	27,67	27,84	29,57	28,05	29,48	35,55	29,08	100,00	0,00
		100	99,99	100	100	100	99,99	99,99	100	99,98	100	100	29,08	100,00	0,00

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO UNDERFLOW. %

40	425	0,27	0,28	0,65	0,55	0,22	1,67	0,41	0,38	0,4	0,63	0,42	0,53	0,53	99,47
50	300	2,65	3,14	3,15	3,29	1,4	2,26	1,85	1,14	1,15	2,4	1,64	2,19	2,72	97,28
70	212	23,98	26,19	25,75	30,95	43,5	26,82	21,9	12,95	10,64	16,28	10,36	22,67	25,39	74,61
100	150	30,77	29,72	31,55	25,81	18,78	27,23	32,64	32,98	32,9	33	35,86	30,11	55,50	44,50
140	106	17,64	16,72	15,78	15,15	12,8	17,24	17,34	17,93	18,91	14,84	18,81	16,65	72,15	27,85
200	75	9,99	9,27	7,83	8,73	6,71	8,11	8,34	15	16,57	13,49	13,16	10,65	82,81	17,19
270	53	5,82	5,33	4,64	4,78	4,96	5,37	5,55	6,45	6,8	6,39	7,25	5,76	88,56	11,44
400	38	2,9	0,94	2,29	2,67	2,11	2,51	2,77	2,89	2,88	2,72	3,06	2,52	91,09	8,91
500	25	3,28	3,7	2,6	2,02	3,11	3,32	2,67	4,2	2,52	2,76	2,43	2,96	94,05	5,95
-500	100	99,99	99,99	100,02	100	99,98	99,98	99,98	100,01	100	100,01	100,01	100,01	100,00	0,00

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO OVERFLOW. %

40	425	0,01	0,01	0,03	0,03	0,05	0,03	0,03	0	0,02	0,29	0,02	0,05	0,05	99,95
50	300	0,14	0,05	0,18	0,12	0,08	0,05	0,04	0,01	0,05	0,36	0,01	0,10	0,15	99,85
70	212	1,44	0,98	1,21	2,15	0	0,18	0,83	0	0,26	0,32	0,11	0,68	0,83	99,17
100	150	8,39	7,99	9,35	10,05	6,92	7,42	7,63	0,89	1,61	5,53	2,38	6,20	7,02	92,98
140	106	14,16	13,31	14,91	14,93	13,53	15,25	15,39	5,68	5,68	9,37	10,11	12,03	19,05	80,95
200	75	13,56	13,95	12,51	12,32	11,84	12,34	12,96	17,56	16,6	17,01	13,36	14,00	33,05	66,95
270	53	12,31	12,05	13,89	12,15	12,8	13,61	13,05	14,91	14,59	13,4	14,17	13,36	46,41	53,59
400	38	7,42	7,85	6,26	8,67	7,1	7,71	8,08	10,21	9,2	8,12	8,54	8,11	54,52	45,48
500	25	9,79	11,51	8,9	8,59	18,88	9,78	10,67	5,71	12,67	11,59	9,59	10,70	65,21	34,79
-500	32,76	32,3	32,77	30,97	29,23	33,63	33,63	31,32	45,4	39,32	34,01	41,71	34,86	100,07	-0,07
	99,98	100	100,01	99,98	100,43	100	100	100	100,37	100	100	100	100	100,07	



Malla $\mu$	M54	M55	M56	M57	M61	Prom. %Peso Retenido	Prom. %Ac(+)	Prom. %Ac(-) Pasante
-------------	-----	-----	-----	-----	-----	----------------------	--------------	----------------------

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO ALIMENTO. %

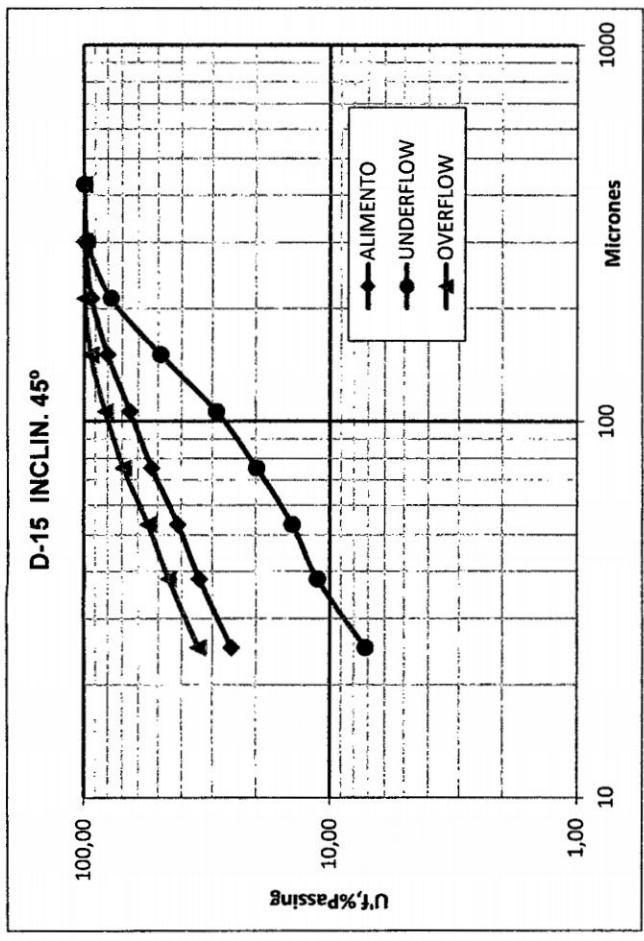
40	425	0,18	0,18	0,18	0,22	0,17	0,17	99,83
50	300	0,68	0,68	0,68	0,85	0,68	0,84	99,16
70	212	5,46	5,46	5,87	6,32	5,74	6,59	93,41
100	150	14,11	14,11	12,16	12,72	13,17	19,76	80,24
140	106	16,96	16,96	13,78	13,73	14,88	35,02	64,98
200	75	12,56	12,56	12,39	10,90	11,90	47,08	52,92
270	53	12,00	12,00	11,56	11,06	11,69	58,77	41,23
400	38	7,44	7,44	7,27	6,92	7,29	66,06	33,94
500	25	8,86	8,86	9,70	8,39	8,79	74,85	25,15
-500		21,75	21,75	26,41	28,89	25,15	100,00	0,00
		100,00	100,00	100,00	99,99			

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO UNDERFLOW. %

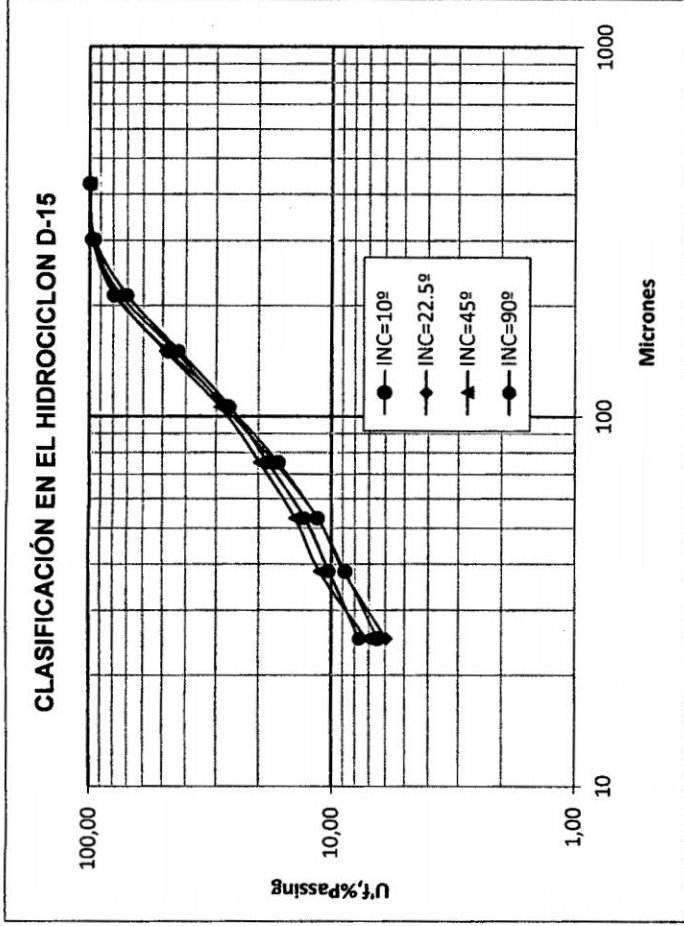
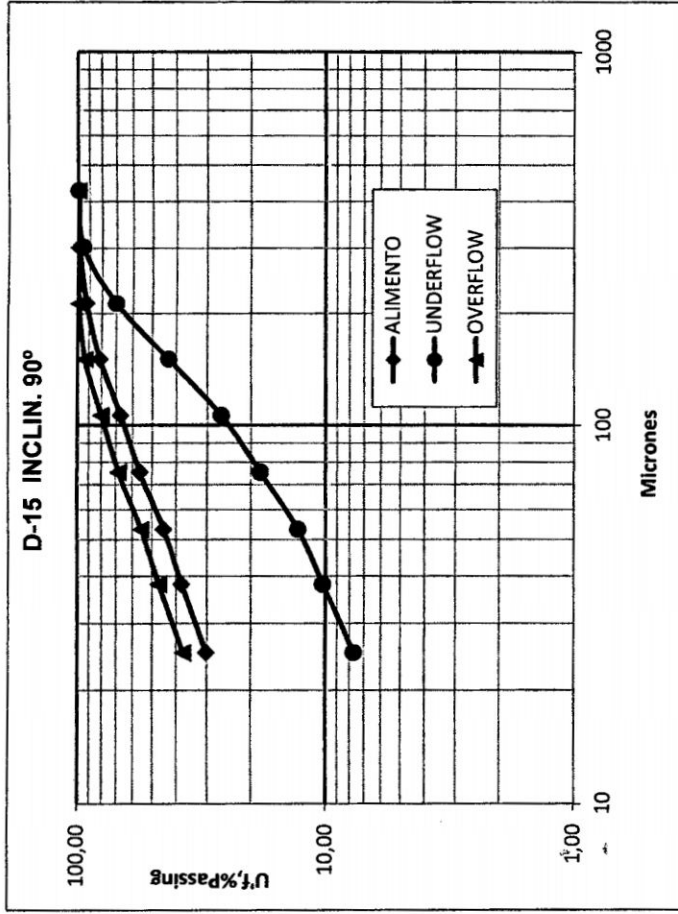
40	425	0,96	0,96	0,54	0,53	0,62	0,62	99,38
50	300	3,67	3,67	2,10	2,12	1,15	3,16	96,84
70	212	23,62	23,62	18,52	16,02	13,16	22,15	77,85
100	150	27,72	27,72	29,66	30,95	29,00	51,16	48,84
140	106	16,70	16,70	15,62	23,85	26,72	71,08	28,92
200	75	7,72	7,72	8,27	9,97	11,76	80,17	19,83
270	53	5,37	5,37	4,94	5,96	6,56	85,81	14,19
400	38	3,00	3,00	2,58	3,00	3,16	88,76	11,24
500	25	3,16	3,16	8,87	2,25	2,85	92,81	7,19
-500		8,08	8,08	8,90	5,34	5,52	100,00	0,00
		100,00	100,00	100,00	99,99			

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO OVERFLOW. %

40	425	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	99,99
50	300	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,03	99,97
70	212	1,48	1,48	0,00	0,00	0,59	0,62	99,38
100	150	11,13	11,13	3,90	0,54	0,49	6,06	93,94
140	106	17,01	17,01	12,91	6,97	5,92	18,02	81,98
200	75	13,62	13,62	14,34	11,52	12,01	31,04	68,96
270	53	13,46	13,46	14,69	14,47	15,80	45,42	54,58
400	38	8,42	8,42	9,48	9,54	10,59	54,71	45,29
500	25	10,10	10,10	10,09	12,50	12,12	65,69	34,31
-500		24,75	24,75	34,66	44,62	43,13	100,07	-0,07
		100,00	100,00	100,09	100,18	100,10		



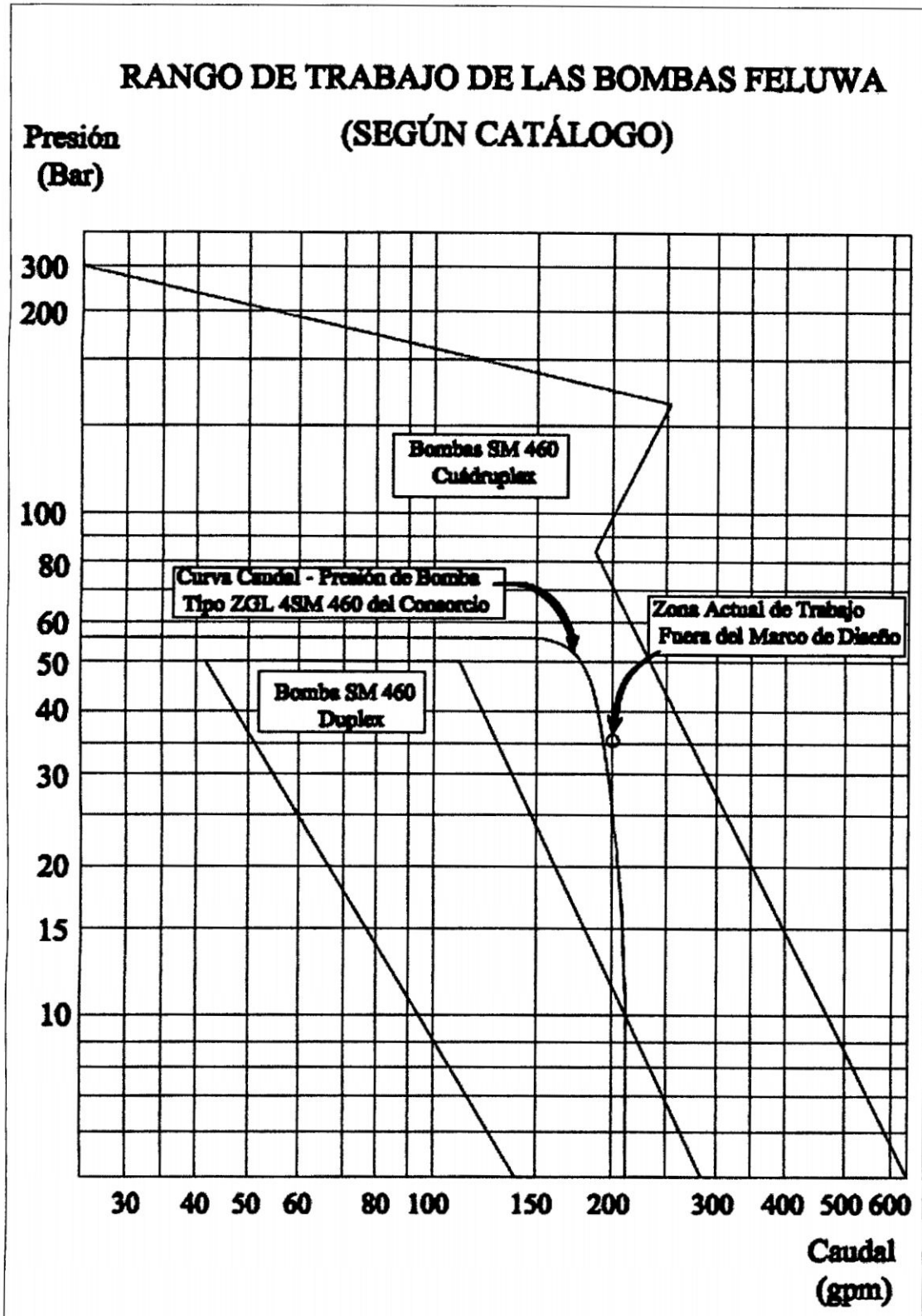






# ANEXO N° 03

## RANGOS DE TRABAJO DE LA BOMBA FELUWA (SEGÚN CATALOGO)



**ANEXO Nº 04**

**PARAMENTOS DE DISEÑO Y CÁLCULO DEL FLUJO DE RELLENO HIDRAULICO**

**ANEXO Nº 04-1**

**Parametros de relleno hidráulico**

Concepto	Unidad	Cantidad
eficiencia del proceso de relleno	#	0,95
factor de material enviado a silos	#	0,85
densidad del relleno depositado a Tajos	Ton /m3	1,45
factor de Produccion de Relaves de flotacion	#	0,9
eficiencia de la Underflow del ciclon	%	0,58
factor de llenado en Tajeos	#	0,9
días trabajados por mes	días	29
peso especifico mineral	Ton /m3	3,00
eficiencia de Tajeos	%	0,85
densidad especifica del relave clasificado	Ton / m3	2,66
eficiencia de enjambamiento del relave depositado	%	83,45
factor de velocidad flujo horizontal	#	1,30
factor de velocidad flujo vertical ascendente	#	1,50

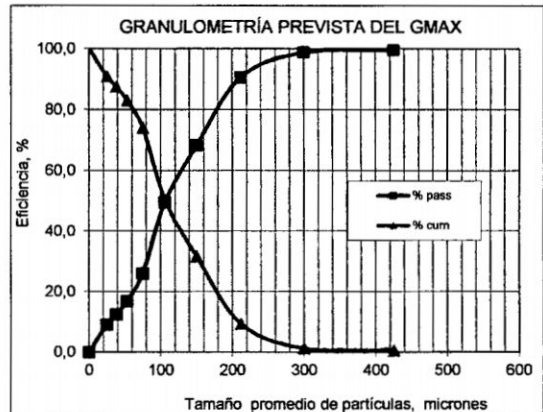
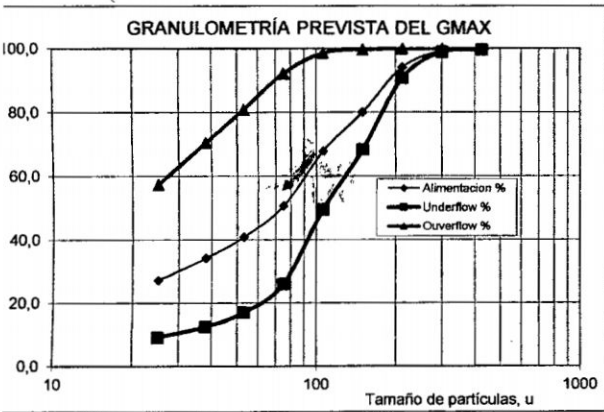
**Produccion y Necesidad de Relleno**

	900	1100	1200	1500
Produccion Diaria (TMS)	26.100	31.900	34.800	43.500
Produccion Mensual (TMS):	26.100	31.900	34.800	43.500
Extraccion de Tajeos (TMS): (1) x 0.85	22.185	27.115	29.580	36.975
Relaves formado en Tajeos m <sup>3</sup> : (2) / 3	7.395	9.038	9.860	12.325
Relleno Hidraulico necesario (m <sup>3</sup> ): (3) x 0.9	6.656	8.135	8.874	11.093
Material clasificado para relleno (TMS)	13.624	16.652	18.166	22.707
Material enviado a silos de RH (TMS): (5) x 0.85	11.581	14.154	15.441	19.301
Capacidad de relleno (m <sup>3</sup> ): (6) x 0.95 / 1.45	7.587	9.273	10.116	12.645

**Distribucion Granulometrica del Relleno**

**Análisis granulométrico previsto en la operación del gMAX con APEX 1" y Vortex 3.5"**

Mallas	micrón	Alimentacion %			Underflow %			Ouoverflow %		
		%	% cum	% pass	%	% cum	% pass	%	% cum	% pass
40	425	0,4	0,4	99,6	0,5	0,5	99,6	0,2	0,2	99,8
50	300	0,5	0,9	99,1	0,8	1,2	98,8	0,0	0,2	99,8
70	212	5,1	6,0	94,0	8,1	9,4	90,7	0,0	0,2	99,8
100	150	14,0	20,0	80,0	22,3	31,7	68,3	0,1	0,4	99,6
140	106	12,2	32,2	67,8	18,8	50,5	49,5	1,1	1,5	98,5
200	75	17,2	49,4	50,6	23,6	74,1	25,9	6,4	7,9	92,1
270	53	9,9	59,3	40,8	9,0	83,1	16,9	11,3	19,2	80,8
400	38	6,7	65,9	34,1	4,5	87,6	12,4	10,4	29,6	70,4
500	25	7,0	72,9	27,1	3,4	90,9	9,1	13,1	42,7	57,3
-500	0	27,1	100,0		9,1	100,0	0,0	57,3	100,0	
Total		100,0			100,0			100,0		



eficiencia de uniformidad : relacion d60 / d10 entre 4 y 6 por un tema de friccion y perdida de finos en el drenaje  
 velocidad de percolacion : velocidad de fluidez del agua atravez del material granular 2 a 16 pul/ Hr 5 a 40 cm/ Hr  
 resistencia a la compresion uniaxial 25 lb/ pul2 en menos de 8 Hr 1,75 Kg / cm2  
 eficiencia de permeabilidad

El tamaño de partícula de material clasificado para los fines de diseño y cálculo para relleno hidráulico es la que corresponde al tamaño mayor de la acumulación creciente desde los mas finos hasta el sesenta por ciento del total del material (d60)

**ANEXO Nº 04**

ANEXO Nº 04-2

**Características de la Bomba Feluwa**

Caudal m3/Hr	Caudal gpm	Presion Bar	Presion Psi	Presion m de agua
35,9	158	54,61	791,9	564,1
40,3	177	53,41	774,5	551,7
41,4	182	53,08	769,7	548,3
42,8	188	49,57	718,8	512,0
42,5	187	48,19	698,8	497,8
43,7	192	41,02	594,8	423,7
44,8	197	31,99	463,9	330,4
45,5	200	25,17	365,0	260,0
46,0	202	20,62	299,0	213,0

**Simbolos usados**

- Cs: Porcentaje de s (dm-1) / (Gs-1)  
 Ps: Porcentaje de s Cs \* Gs / dm  
 dm: densidad de la pulpa (kg/lt)  
 Gs: gravedad especifica de solidos  
 n : Factor de resistencia del conducto  
 p ; presion (psi)  
 Q : Caudal (gpm)  
 Rh: Resistencia por altura, m  
 Rt: Resistencia total, m  
 Si: Gradiente hidraul ( (v \* n) / (0.59 \* D<sup>5</sup> (2/3) )<sup>2</sup>  
 v : Velocidad media del flujo, pie/seg  
 vd : Velocidad de diseño, pie/seg
- Ca : Porcentaje del agua en volumen  
 D : Diametro interior de la tuberia en pies  
 fs : factor de resistencia al flujo en pulpas  
 u : tamaño de partícula en mm  
 P : Presion en bar  
 q , caudal en m3/Hr  
 Rf : Resistencia a la friccion en m  
 Sm Gradiente hidraulica para pulpás  
 Vr . Velocidad del deposito pie/seg  
 V . Volumen m3

**I-III DIMENSIONES DE LA SECCIÓN DE LOS TUBOS DE FIERRO Y HDPE**

metro de Tuberías (Pulg.) schedule	3 1/2 80	4 80	4 120	5 80	4 HDPE	6 80	8 80
metro Externo (pulg.)	4,000	4,500	4,500	5,563	4,250	6,600	8,800
esor de Pared (pulg.)	0,318	0,337	0,674	0,375	0,375	0,380	0,400
metro Interior (pulg.)	3,364	3,826	3,152	4,813	3,500	5,840	8,000
fundidad de tura (*) (pulg.)	0,083	0,083	0,083	0,084	—	0,084	0,084
metro Interior (pies.)	0,2803	0,3188	0,2627	0,4011	0,2917	0,4867	0,6667
metro Interior (mts.)	0,0854	0,0972	0,0801	0,1223	0,0889	0,1483	0,2032
(2/3)	0,4283	0,4667	0,4101	0,5439	0,4398	0,6187	0,7631

**) Velocidad en el interior de tubos (pies / seg)**

Factor gpm a pie/seg: 0,002228009

Diametro de Tuberia (Pulg.) Caudal gpm	3 1/2 80	4 80	4 120	5 80	4 HDPE	6 80	8 80
158	5,70	4,41	6,50	2,79	5,27	1,89	1,01
177	6,39	4,94	7,28	3,12	5,90	2,12	1,13
182	6,57	5,08	7,48	3,21	6,07	2,18	1,16
188	6,79	5,25	7,73	3,32	6,27	2,25	1,20
187	6,75	5,22	7,69	3,30	6,24	2,24	1,19
192	6,93	5,36	7,89	3,39	6,40	2,30	1,23
197	7,11	5,50	8,10	3,47	6,57	2,36	1,26
200	7,22	5,58	8,22	3,53	6,67	2,40	1,28
202	7,29	5,64	8,31	3,56	6,74	2,42	1,29
352	12,69	9,81	14,46	6,20	11,73	4,21	2,24
396	14,28	11,04	16,27	6,98	13,19	4,74	2,53
440	15,87	12,27	18,07	7,75	14,66	5,26	2,81

**LOCIDAD ALCANZADA Y COMPARACIÓN CON RANGOS REQUERIDOS PARA DISEÑO**

Diametro de Tuberia (Pulg.) Caudal	3 1/2 80	4 80	4 120	5 80	4 HDPE
177	6,39	4,94	7,28	3,12	5,90
182	6,57	5,08	7,48	3,21	6,07
200	7,22	5,58	8,22	3,53	6,67

**) Gradiente Hidraulica para flujos de agua**

Con n : 0,012

Caudal gpm	3 1/2 80	4 80	4 120	5 80	4 HDPE	6 80	8 80
158	0,0733	0,0369	0,1038	0,0109	0,0594	0,0039	0,0007
177	0,0920	0,0463	0,1302	0,0136	0,0745	0,0049	0,0009
182	0,0973	0,0490	0,1377	0,0144	0,0788	0,0051	0,0010
188	0,1038	0,0523	0,1469	0,0154	0,0841	0,0055	0,0010
187	0,1027	0,0517	0,1454	0,0152	0,0832	0,0054	0,0010
192	0,1083	0,0545	0,1533	0,0160	0,0877	0,0057	0,0011
197	0,1140	0,0574	0,1613	0,0169	0,0923	0,0060	0,0011
200	0,1175	0,0592	0,1663	0,0174	0,0951	0,0062	0,0012
202	0,1199	0,0603	0,1696	0,0177	0,0970	0,0063	0,0012
352	0,3633	0,1829	0,5141	0,0538	0,2941	0,0192	0,0036
396	0,4598	0,2315	0,6506	0,0681	0,3722	0,0243	0,0045
440	0,5677	0,2858	0,8033	0,0840	0,4595	0,0300	0,0056

**Parametros Hidraulicos del relave clasificado**

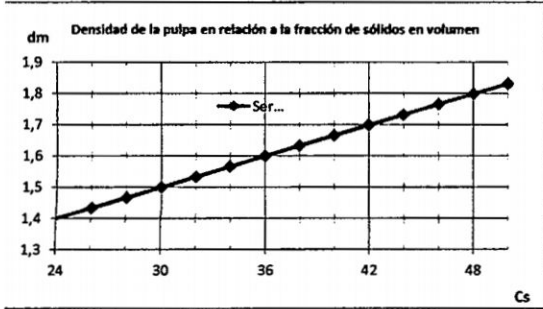
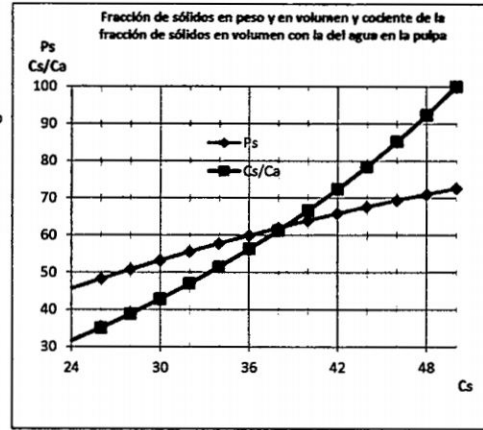
Cs	dm	Ps	Cs/Ca
24	1,398	46	0,3154
26	1,432	48	0,3518
28	1,465	51	0,3891
30	1,498	53	0,4286
32	1,531	56	0,4703
34	1,564	58	0,5146
36	1,598	60	0,5631
38	1,631	62	0,6132
40	1,664	64	0,6667
42	1,697	66	0,7238
44	1,730	68	0,7849
46	1,764	69	0,8527
48	1,797	71	0,9235
50	1,830	73	1,0000
52	1,858	74	1,0700

Limite teorico

$$Cs = \left[ \frac{dm - 1}{Gs - 1} \right] \times 100$$

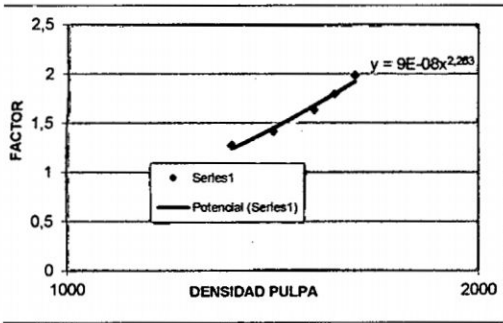
$$Ps = \frac{Cs + Gs}{dm}$$

$$Ca = 100 - Cs$$



**Factor de resistencia al flujo de pulpas**

Densidad de la pulpa en kg / lt	1400	1500	1600	1650	1700	1858
Factor	1,27	1,41	1,63	1,79	1,98	2,25



**0.0 Gradiente Hidraulico para pulpas**

Caudal gpm	Densidad de pulpa g/lt						
	3 1/2	4	4	5	4	6	8
158	0,0931	0,0469	0,1318	0,0138	0,0754	0,0049	0,0009
177	0,1169	0,0588	0,1654	0,0173	0,0946	0,0062	0,0012
182	0,1236	0,0622	0,1749	0,0183	0,1000	0,0065	0,0012
188	0,1319	0,0664	0,1866	0,0195	0,1067	0,0070	0,0013
187	0,1305	0,0657	0,1846	0,0193	0,1056	0,0069	0,0013
192	0,1375	0,0692	0,1946	0,0204	0,1113	0,0073	0,0014
197	0,1448	0,0729	0,2049	0,0214	0,1172	0,0076	0,0014
200	0,1492	0,0751	0,2112	0,0221	0,1208	0,0079	0,0015
202	0,1522	0,0766	0,2154	0,0225	0,1232	0,0080	0,0015
352	0,4614	0,2323	0,6529	0,0683	0,3735	0,0243	0,0045
396	0,5839	0,2940	0,8263	0,0864	0,4727	0,0308	0,0058
440	0,7209	0,3629	1,0201	0,1067	0,5836	0,0380	0,0071

**ANEXO N° 04**

ANEXO N° 04-4

Caudal		1500						
gpm		3 1/2	4	4	5	4	6	8
158	0,1034	0,0521	0,1463	0,0153	0,0837	0,0055	0,0010	
177	0,1298	0,0653	0,1836	0,0192	0,1051	0,0068	0,0013	
182	0,1372	0,0691	0,1942	0,0203	0,1111	0,0072	0,0014	
188	0,1464	0,0737	0,2072	0,0217	0,1185	0,0077	0,0014	
187	0,1449	0,0729	0,2050	0,0214	0,1173	0,0076	0,0014	
192	0,1527	0,0769	0,2161	0,0226	0,1236	0,0081	0,0015	
197	0,1608	0,0809	0,2275	0,0238	0,1301	0,0085	0,0016	
200	0,1657	0,0834	0,2345	0,0245	0,1341	0,0087	0,0016	
202	0,1690	0,0851	0,2392	0,0250	0,1368	0,0089	0,0017	
352	0,5122	0,2579	0,7249	0,0758	0,4147	0,0270	0,0050	
396	0,6483	0,3264	0,9174	0,0960	0,5248	0,0342	0,0064	
440	0,8004	0,4029	1,1326	0,1185	0,6479	0,0422	0,0079	

Caudal		1600						
gpm		3 1/2	4	4	5	4	6	8
158	0,1195	0,0602	0,1692	0,0177	0,0968	0,0063	0,0012	
177	0,1500	0,0755	0,2123	0,0222	0,1214	0,0079	0,0015	
182	0,1586	0,0799	0,2245	0,0235	0,1284	0,0084	0,0016	
188	0,1693	0,0852	0,2395	0,0251	0,1370	0,0089	0,0017	
187	0,1675	0,0843	0,2370	0,0248	0,1356	0,0088	0,0016	
192	0,1765	0,0889	0,2498	0,0261	0,1429	0,0093	0,0017	
197	0,1859	0,0936	0,2630	0,0275	0,1504	0,0098	0,0018	
200	0,1916	0,0964	0,2711	0,0284	0,1551	0,0101	0,0019	
202	0,1954	0,0984	0,2765	0,0289	0,1582	0,0103	0,0019	
352	0,5922	0,2981	0,8380	0,0877	0,4793	0,0312	0,0058	
396	0,7495	0,3773	1,0605	0,1109	0,6067	0,0395	0,0074	
440	0,9253	0,4658	1,3093	0,1370	0,7490	0,0488	0,0091	

Caudal		1650						
gpm		3 1/2	4	4	5	4	6	8
158	0,1313	0,0661	0,1858	0,0194	0,1063	0,0069	0,0013	
177	0,1648	0,0829	0,2331	0,0244	0,1334	0,0087	0,0016	
182	0,1742	0,0877	0,2465	0,0258	0,1410	0,0092	0,0017	
188	0,1859	0,0936	0,2630	0,0275	0,1505	0,0098	0,0018	
187	0,1839	0,0926	0,2602	0,0272	0,1489	0,0097	0,0018	
192	0,1939	0,0976	0,2743	0,0287	0,1569	0,0102	0,0019	
197	0,2041	0,1027	0,2888	0,0302	0,1652	0,0108	0,0020	
200	0,2104	0,1059	0,2977	0,0311	0,1703	0,0111	0,0021	
202	0,2146	0,1080	0,3036	0,0318	0,1737	0,0113	0,0021	
352	0,6503	0,3274	0,9202	0,0963	0,5264	0,0343	0,0064	
396	0,8230	0,4143	1,1646	0,1218	0,6662	0,0434	0,0081	
440	1,0161	0,5115	1,4378	0,1504	0,8225	0,0536	0,0100	

Caudal		1700						
gpm		3 1/2	4	4	5	4	6	8
158	0,1452	0,0731	0,2055	0,0215	0,1176	0,0077	0,0014	
177	0,1822	0,0917	0,2579	0,0270	0,1475	0,0096	0,0018	
182	0,1927	0,0970	0,2727	0,0285	0,1560	0,0102	0,0019	
188	0,2056	0,1035	0,2909	0,0304	0,1664	0,0108	0,0020	
187	0,2034	0,1024	0,2878	0,0301	0,1647	0,0107	0,0020	
192	0,2144	0,1080	0,3034	0,0317	0,1736	0,0113	0,0021	
197	0,2258	0,1136	0,3195	0,0334	0,1827	0,0119	0,0022	
200	0,2327	0,1171	0,3293	0,0344	0,1884	0,0123	0,0023	
202	0,2374	0,1195	0,3359	0,0351	0,1921	0,0125	0,0023	
352	0,7193	0,3621	1,0179	0,1065	0,5823	0,0380	0,0071	
396	0,9104	0,4583	1,2883	0,1348	0,7369	0,0480	0,0090	
440	1,1240	0,5658	1,5904	0,1664	0,9098	0,0593	0,0111	

Caudal		1858						
gpm		3 1/2	4	4	5	4	6	8
158	0,1650	0,0831	0,2335	0,0244	0,1336	0,0087	0,0016	
177	0,2071	0,1042	0,2930	0,0307	0,1676	0,0109	0,0020	
182	0,2189	0,1102	0,3098	0,0324	0,1772	0,0116	0,0022	
188	0,2336	0,1176	0,3305	0,0346	0,1891	0,0123	0,0023	
187	0,2311	0,1163	0,3270	0,0342	0,1871	0,0122	0,0023	
192	0,2436	0,1226	0,3448	0,0361	0,1972	0,0129	0,0024	
197	0,2565	0,1291	0,3629	0,0380	0,2076	0,0135	0,0025	
200	0,2644	0,1331	0,3741	0,0391	0,2140	0,0139	0,0026	
202	0,2697	0,1358	0,3816	0,0399	0,2183	0,0142	0,0027	
352	0,8173	0,4114	1,1565	0,1210	0,6615	0,0431	0,0080	
396	1,0343	0,5207	1,4636	0,1531	0,8373	0,0546	0,0102	
440	1,2770	0,6428	1,8070	0,1890	1,0337	0,0674	0,0126	

ANEXO N° 04

ANEXO N° 04-5

adiante hidráulico para flujo de pulpas

NSIDAD	1.600 Kg/Lt			1.650 Kg/Lt			1.700 Kg/Lt		
	177	182	200	177	182	200	177	182	200
JDAL (gpm)	0,1500	0,1586	0,1916	0,1648	0,1742	0,2104	0,1822	0,1927	0,2327
2" Sch 80	0,0755	0,0799	0,0964	0,0829	0,0877	0,1059	0,0917	0,0970	0,1171
4PDE	0,1214	0,1284	0,1550	0,1333	0,1409	0,1702	0,1474	0,1559	0,1882
sch 120	0,2123	0,2245	0,2711	0,2331	0,2465	0,2977	0,2579	0,2727	0,3293

0 Velocidad de deposito en la Tubería

culo de diámetro

naño Nominal	3 1/2	4	4	5	4
edule	80	80	120	80	HDPE
metro Externo (pulg.)	4,000	4,500	4,500	5,563	4,500
metro Interior (pulg.)	3,364	3,826	3,152	4,813	3,500
esor de Pared (pulg.)	0,318	0,337	0,674	0,375	0,375
fundidad de ura (*) (pulg.)	0,083	0,083	0,083	0,084	—
metro Interior (pies.)	0,2803	0,3188	0,2627	0,4011	0,2917
metro Interior (mts.)	0,0854	0,0972	0,0801	0,1223	0,0889

NSIDAD Kg/Lt	1,600					1,700				
	3 1/2	4	4	5	4	3 1/2	4	4	5	4
naño Nominal	3 1/2	4	4	5	4	3 1/2	4	4	5	4
edule	80	80	120	80	HDPE	80	80	120	80	HDPE
ocidad Crítica (m/seg)	1,07179	1,14302	1,03746	1,28200	1,09324	1,10502	1,17846	1,06963	1,32175	1,12713
l. De Diseño Flujo rizontal (m/seg)	1,39332	1,48592	1,34870	1,66660	1,42121	1,43652	1,53199	1,39052	1,71827	1,46527
l. De Diseño Flujo endente (m/seg)	1,60768	1,71453	1,55620	1,92300	1,63986	1,65753	1,76769	1,60445	1,98262	1,69070

NSIDAD Kg/Lt	1,600					1,700				
	3 1/2	4	4	5	4	3 1/2	4	4	5	4
naño Nominal	3 1/2	4	4	5	4	3 1/2	4	4	5	4
edule	80	80	120	80	HDPE	80	80	120	80	HDPE
ocidad Crítica (pies/seg)	3,516	3,750	3,404	4,206	3,587	3,625	3,866	3,509	4,336	3,698
izontal (pies/seg)	4,571	4,875	4,425	5,468	4,663	4,713	5,026	4,562	5,637	4,807
endente (pies/seg)	5,275	5,625	5,106	6,309	5,380	5,438	5,799	5,264	6,505	5,547

imos horizontales o descendentes el Factor: 1,3  
 imos verticales o ascendentes el Factor: 1,5

**ANEXO Nº 05**

**LCULO DE PRESION PARA ENVIO DE PULPA Y OTROS**

**ANEXO Nº 05-1**

DESCRIPCIÓN	COTA		DISTANCIA		DIFERENCIA DE ALTURA	
nba:	2.829	msnm				
camina Golden 2765:	2.884	msnm				
nba - Bocamina Golden 2765:	---	---	218	mts		
camina Golden 2765 - Milagros:			2.186	mts		
anta de RH - Zona Milagros:					71	mts
<b>distancia para lo fines de cálculo se considera como sigue</b>						
nba - Bocamina Golden 2765:			240	m.l		
camina Golden 2765 - Milagros:			2.295	m.l		
nba - Zona Milagros:			2.535	m.l		
camina Rumpuy 2750:		msnm				
nba - Bocamina Rumpuy 2750:	---	---	490	mts		
camina Rumpuy 2750 - Zona Sissy:			1.240	mts		
nba - Zona Sissy:					41,3	mts
<b>a fines de cálculo las longitudes de línea equivalenete son:</b>						
nba - Bocamina Rumpuy 2750:			538	m.l		
camina Rumpuy 2750 - Zona Sissy:			1302	m.l		
nba - Zona Sissy:			1840	m.l		
el 2700 Bernabé:	2715	msnm				

**5.1 CALCULO DE LAS CONDICIONES DEL SISTEMA**

**línea al nivel 2765 Golden hasta la zona Milagros:**

35 m.l. De línea a $s = 0,0964$	244,374	m.l. de agua de cabeza
m.l. de altura x1.600Kg/Lt de densidad	113,6	m.l. de agua de cabeza
<b>suma Total en m.l.</b>	<b>358,0</b>	<b>m.l.</b>
<b>presión: C.T. x 0.968, en bar</b>	<b>34,7</b>	<b>bar</b>
<b>tensión efectiva:</b>	<b>69,8</b>	
<b>eficiencia(Rendimiento eléctrico):</b>	<b>49,7%</b>	

**línea al nivel 2750 Rumpuy hasta la zona Sissy:**

40 m.l. De línea a $s = 0,0964$	177,4	m.l. de agua de cabeza
3 m.l. de altura x1.600Kg/Lt de densidad	66,1	m.l. de agua de cabeza
<b>suma Total en m.l.</b>	<b>243,5</b>	<b>m.l.</b>
<b>presión: C.T. x 0.968, en bar</b>	<b>23,6</b>	<b>bar</b>
<b>tensión efectiva:</b>	<b>47,5</b>	
<b>eficiencia(Rendimiento eléctrico):</b>	<b>49,7%</b>	

**3.1A V GRADIENTE HIDRAULICO PARA PULPAS DE 1.600 A 1.700 Kg/Lt**

VELOCIDAD	1.600 Kg/Lt			1.650 Kg/Lt			1.700 Kg/Lt		
	177	182	200	177	182	200	177	182	200
Diámetro (gpm)									
Diámetro de 3 1/2" Sch 80	0,1500	0,1586	0,1916	0,1648	0,1742	0,2104	0,1822	0,1927	0,2327
Diámetro de 4" Sch 80	0,0755	0,0799	0,0964	0,0829	0,0877	0,1059	0,0917	0,0970	0,1171
Diámetro de 4" HPDE	0,1214	0,1283	0,1550	0,1333	0,1409	0,1702	0,1474	0,1559	0,1882
Diámetro de 4" Sch 120	0,2123	0,2245	0,2711	0,2331	0,2465	0,2977	0,2579	0,2727	0,3293

**5-CIII EFECTOS DEL FLUJO DE PULPAS PARA CAUDALES DE 177 Y 182 GPM.**

**EXAMPO INICIAL TUBERIA DE 31/2" Sch 80)**

Velocidades de pulpa (dm): Kg/Lt	1,600		1,650		1,700	
Diámetro (gpm)	177	182	177	182	177	182
Diámetro mts. de 3 1/2" Schedule 80	36,0	38,1	39,54	41,8	43,7	46,2
Diámetro mts. de 4" Schedule 80	158,6	167,7	174,2	184,2	192,7	203,7
Diámetro mts. de 4" HDPE	24,3	25,7	26,7	28,2	29,5	31,2
Diámetro m	113,6	113,6	117,15	117,15	120,7	120,7
<b>suma Total (mts.)</b>	<b>332,5</b>	<b>345,0</b>	<b>357,5</b>	<b>371,3</b>	<b>386,6</b>	<b>401,8</b>
<b>presión en la Bomba (bar)</b>	<b>32,2</b>	<b>33,4</b>	<b>34,6</b>	<b>36</b>	<b>37,4</b>	<b>38,9</b>
<b>potencia en Motor (bhp)</b>	<b>57,4</b>	<b>61,2</b>	<b>61,7</b>	<b>65,96</b>	<b>66,7</b>	<b>71,3</b>

eficiencia para caudal de 177 gpm: 56%

eficiencia para caudal de 182 gpm: 55%

## ANEXO N° 05

### 6.1-CIII EFECTOS DEL FLUJO DE PULPAS PARA CAUDALES DE 177 Y 182 GPM. AMO INICIAL TUBERIA DE 4" Sch 80)

ANEXO N° 05-2

Características de pulpa (dm): Kg/Lt	1,600		1,650		1,700	
	177	182	177	182	177	182
JDAL (gpm)	177	182	177	182	177	182
mts. de 4" Schedule 120	51,0	53,9	56,0	59,2	61,9	65,4
0 mts. de 4" Schedule 80	158,6	167,7	174,2	184,2	192,7	203,7
mts. de 4" HDPE	24,3	25,7	26,7	28,2	29,5	31,2
l <sub>m</sub>	113,6	113,6	117,15	117,15	120,7	120,7
<b>Caricamento Total (mts.)</b>	<b>347,4</b>	<b>360,8</b>	<b>373,9</b>	<b>388,7</b>	<b>404,7</b>	<b>421,0</b>
<b>Presión en la Bomba (bar)</b>	<b>33,6</b>	<b>34,9</b>	<b>36,2</b>	<b>37,6</b>	<b>39,2</b>	<b>40,8</b>
<b>Consumo en Motor (bhp)</b>	<b>60,0</b>	<b>64,0</b>	<b>64,6</b>	<b>68,9</b>	<b>69,9</b>	<b>74,7</b>

Presión para caudal de 177 gpm: 56%  
Presión para caudal de 182 gpm: 55%

### 6.1.4 ALIMENTACIÓN A NIVELES SUPERIORES DE LA ZONA MILAGROS

#### 6.1-CIII ALIMENTACIÓN A NIVELES SUPERIORES DE LA ZONA MILAGROS

	1,600		1,650		1,700	
	177	182	177	182	177	182
JDAL (gpm)	177	182	177	182	177	182
mts. de 4" HDPE	8,50	8,98	9,3	9,9	10,3	10,9
l <sub>m</sub>	80	80	82,5	82,5	85	85
<b>Caricamento Adicional (mts.)</b>	<b>88,5</b>	<b>89,0</b>	<b>91,8</b>	<b>92,4</b>	<b>95,3</b>	<b>95,9</b>
<b>Caricamento Total (mts.)</b>	<b>437,9</b>	<b>452,0</b>	<b>468,2</b>	<b>483,4</b>	<b>502,7</b>	<b>519,5</b>
<b>Presión en la Bomba (bar)</b>	<b>42,4</b>	<b>43,8</b>	<b>45,3</b>	<b>46,8</b>	<b>48,7</b>	<b>50,3</b>
<b>Consumo en Motor (bhp)</b>	<b>75,5</b>	<b>80,2</b>	<b>80,8</b>	<b>85,7</b>	<b>86,9</b>	<b>92,1</b>

#### 6.1-CIII ENVIO DE PULPA AL NIVEL 2870

	dm=1.600 Kg/L		dm=1.650 Kg/L		dm=1.700 Kg/L	
	177	182	177	182	177	182
JDAL (gpm)	177	182	177	182	177	182
mts. de 4" Schedule 120	51	53,8	56	59,1	61,9	65,4
0 mts. de 4" Schedule 80	158,5	167,8	174,3	184,2	192,8	203,7
mts. de 4" Schedule 120	5,3	5,6	5,8	6,2	6,5	6,8
mts. de 4" HDPE	24,3	25,7	26,7	28,2	29,5	31,2
l <sub>m</sub>	281,6	281,6	290,4	290,4	299,2	299,2
<b>Caricamento Total (mts.)</b>	<b>520,7</b>	<b>534,5</b>	<b>553,2</b>	<b>568,1</b>	<b>589,9</b>	<b>606,3</b>
<b>Presión en la Bomba (bar)</b>	<b>50,4</b>	<b>51,7</b>	<b>53,5</b>	<b>55</b>	<b>57,1</b>	<b>58,7</b>
<b>Consumo en Motor (bhp)</b>	<b>89,8</b>	<b>94,8</b>	<b>95,4</b>	<b>100,8</b>	<b>101,7</b>	<b>107,5</b>

#### 6.2-CIII ENVIO DE PULPA AL NIVEL 2825 CACHICA ZONA DE MERCEDES PARA CAUDAL DE 177 Y 182 GPM.

	dm=1.600 Kg/L		dm=1.650 Kg/L		dm=1.700 Kg/L	
	177	182	177	182	177	182
JDAL (gpm)	177	182	177	182	177	182
mts. de 4" Schedule 120	51	53,8	56	59,1	61,9	65,4
l <sub>m</sub>	107,2	107,2	110,6	110,6	113,9	113,9
Carga de cabeza (mts.)	158,2	161	166,6	169,7	175,8	179,3
<b>Caricamento Total a Destino (mts.)</b>	<b>520,7</b>	<b>534,5</b>	<b>553,2</b>	<b>568,1</b>	<b>589,9</b>	<b>606,3</b>
<b>Caricamento al Nivel 2765 (mts.)</b>	<b>362,5</b>	<b>373,5</b>	<b>386,6</b>	<b>398,4</b>	<b>414,1</b>	<b>427</b>
<b>Presión en el punto (bar)</b>	<b>35,1</b>	<b>36,2</b>	<b>37,4</b>	<b>38,6</b>	<b>40,1</b>	<b>41,3</b>

#### 6.3-CIII TIEMPO DE RELLENADO CON SISTEMA MODIFICADO

DESCRIPCIÓN	dm=1.600 Kg/L		dm=1.700 Kg/L	
	177	182	177	182
Tiempo previo y posterior de línea:	1.1 hr	1.1 hr	1.1 hr	1.1 hr
Tiempo Efectivo:	3.4 hr	3.3 hr	2.9 hr	2.9 hr
Tiempo de línea:	1.5 hr	1.5 hr	1.5 hr	1.5 hr
Irregularidades: %	0.6 hr	0.6 hr	0.6 hr	0.6 hr
Tiempo total para RH:	6.6 hr	6.5 hr	6.1 hr	6.1 hr
Porcentaje de relleno efectivo: %	51,5	50,8	47,5	47,5
<b>Horas mensuales de relleno efectivo</b>	<b>276,9</b>	<b>272,9</b>	<b>255,6</b>	<b>255,6</b>
<b>Capacidad Mensual de Relleno (m<sup>3</sup>)</b>	<b>7.007</b>	<b>7.096</b>	<b>7.540</b>	<b>7.744</b>

## ANEXO N° 06

### RESUMEN DE PRODUCCIÓN Y PARAMETROS DE RELAVE FINAL

ANEXO N° 06-1

Dia/mes		PRODUCCION Y NECESIDADES DE RELLENO		
CONCEPTO	TMS/Día	TMS/Día	TMS/Día	
	900	1200	1500	
1	Producción mensual (TMS)	26100	34800	43500
2	Extracción de tajeos (TMS) 1*0.85	22185	29580	36975
3	Vacio formado en tajeos (m3) 2/3.00	7395	9860	12325
4	Relleno hidraulico necesario (m3) (3)*0.9	6655,5	8874	11093
5	Material clasificado para relleno (TMS)			
6	Material enviado a silos de R.H (5)*0.85			
7	capacidad de relleno (TMS) (6)*0.95/1.45			

CONCEPTO	TMS/Día	TMS/Día	TMS/Día
Producción (TMS)/día	900	1200	1500
Producción de relave (TMS)/Día	864	1152	1440
Producción de concentrados (TMS)/Día	36	48	60

TONELAJE ENVIADO A LOS SILOS DE ALMACENAMIENTO			
Producción de relave (TMS)/Día	864	1152	1440
Producción de relave (TMS)/hora	36	48	60
Producción de relave (Kg/min)	600	800	1000

Mallas	Alimento			Underflow			Overflow			Rad clasific.		
	Nº	micrón	%	%cum	%pass	%	%cum	%pass	%		%cum	%pass
40	425,0	0,4	0,4	99,6	0,5	0,5	99,5	0,2	0,2	99,8	2,000	
50	300,0	0,5	0,9	99,1	0,8	1,2	98,8	0,0	0,2	99,8	2,333	
70	212,0	5,1	6,0	94,0	8,1	9,4	90,6	0,0	0,2	99,8	1,706	
100	150,0	14,0	20,0	80,0	22,3	31,7	68,3	0,1	0,4	99,6	1,675	
140	106,0	12,2	32,2	67,8	18,8	50,5	49,5	1,1	1,5	98,5	1,678	
200	75,0	17,2	49,4	50,6	23,6	74,1	25,9	6,4	7,9	92,1	1,680	
270	53,0	9,9	59,3	40,7	9,0	83,1	16,9	11,3	19,2	80,8	1,685	
400	38,0	6,7	66,0	34,0	4,5	87,6	12,4	10,4	29,6	70,4	1,685	
500	25,0	7,0	72,9	27,1	3,4	90,9	9,1	13,1	42,7	57,3	1,678	
-500		27,1	100,0		9,1	100,0		57,3	100,0			
TOTAL												1,79

Se sabe que la relación que existe entre el overflow y el underflow es igual a la inversa al radio de clasificación

Prom Rc 1,791

O'/U'f = 1/Rc 0,558

La suma de Overflow + underflow = Alimentación del ciclón

ALIMENTACION DE SOLIDOS A LOS CICLONES			
Tonelaje de relave (TMS/Día)	864	1152	1440
OVERFLOW/UNDERFLOW	0,558	0,558	0,558
OVERFLOW + UNDERFLOW	600,00	800	1000

FLUJO MASICO DE LOS SOLIDOS EN LA ALIMENTACION									
PRODUCTO	864 TMSD RELAVE			1152 TMSD RELAVE			1440 TMSD RELAVE		
	Flujo (Kg/min)	TMS/DIA	%	Flujo (Kg/min)	TMS/DIA	%	Flujo (Kg/min)	TMS/DIA	%
Overflow	214,97	309,55	35,83	286,62	412,74	35,83	358,28	515,92	35,83
Underflow	385,03	554,45	64,17	513,38	739,26	64,17	641,72	924,08	64,17
Alimentación	600,00	864,00	100,00	800,00	1152,00	100,00	1000,00	1440,00	100,00

EFICIENCIA DE CLASIFICACION DEL CICLON			
$E = 10000 * (B/A) * (b-a) / ((a*(100-a))$			
% en peso de la malla -500 de la alimentación (a)	27,1	27,1	27,1
% en peso de la malla -500 del Overflow (b)	57,3	57,3	57,3
TMSD de la alimentación (A)	1440,00	1152,00	864,00
TMSD de los finos del ciclón (Overflow) (B)	515,92	412,74	309,55
Eficiencia ( E )	54,77	54,77	54,77

FLUJO MASICO DE LOS PRODUCTOS CLASIFICADOS			
DESCRIPCION	864 TMSD RELAVE	1152 TMSD RELAVE	1440 TMSD RELAVE
Tonelaje de los gruesos (TMS/Hr)	23,102	30,803	38,503
Flujo de los gruesos (Kg/min)	385,032	513,376	641,720
Tonelaje de los finos (TMS/Hr)	12,898	30,803	21,497
Flujo de los finos (Kg/min)	214,968	286,624	358,280

## ANEXO N° 06

ANEXO N° 06-2

FLUJO VOLUMETRICO DEL UNDERFLOW			
% Solidos = $(\rho_{pulp-1}) / (S-1) * (S / (S-1))$			
DESCRIPCION	864 TMSD RELAVE	1152 TMSD RELAVE	1440 TMSD RELAVE
Flujo de sólidos (Kgs/min)	385,032	513,376	641,720
Densidad de pulpa ( $\rho$ ), (Kg/L)	1,700	1,700	1,700
Gravedad específica (S)	2,700	2,700	2,700
% solidos	65,398	65,398	65,398
Flujo de la pulpa (Kgs/min)	588,75	785,00	981,25
Flujo de pulpa (L/min)	346,33	461,77	577,21
Flujo de pulpa (Gal/min)	91,49	121,99	152,49
Flujo de pulpa (m3/hr)	<b>20,780</b>	<b>27,706</b>	<b>34,633</b>
Agua = (Peso pulpa - peso sólido), (L/min)	203,72	271,63	339,53

TIEMPO DE LLENADO DE RELAVE A LOS SILOS DE ALMACENAMIENTO DE 350 m3 AL 80% DE SU CAPACIDAD							
Rend. Hidroc (m3/hr)	Eff hidrociclón	Capacid de almac al 80%					
		864 TMSD		1152 TMSD		1440 TMSD	
		01 Silo	02 Silos	01 Silo	02 Silos	01 Silo	02 Silos
Flujo de pulpa (m3/hr)		13,47	26,95	10,11	20,21	8,08	16,17
Tiempo de llenado (hr)							
		864 TMSD		1152 TMSD		1440 TMSD	
		01 HC/Silo	02 HC/Silo	01 HC/Silo	02 HC/Silo	01 HC/Silo	02 HC/Silo
Flujo de pulpa (m3/hr)							
Tiempo de llenado (hr)							

ANEXO N° 06

ANEXO N° 06-3

PARAMETROS DE RELLENO HIDRAULICO CON RELAVE						
<b>Diámetro efectivo D10</b>	28,54	<b>DENSIDAD RELATIVA</b>		<b>VELOCIDAD CRITICA DE DEPOSICION</b>		
<b>D60</b>	130,57	Densidad del fluido (ρ) (g/cm3)	1,00	FL para malla 200		
<b>Coefficiente de Uniformidad (Cu)</b>		Densidad del sólido (ps) (g/cm3)	2,66	Factor adimensional(FL)	1,500	
<b>Cu= D60/D10</b>	4,57	Densidad de la pulpa (pp) (g/cm3)	1,700	Aceleración de gravedad (g)	9,806	
		Densidad relativa o gravedad específica del sólido S=ps/p	2,66	Diámetro int de tubería SCH-80 4" (m)	0,097	
<b>VELOCIDAD DE PERCOLACION (Vp)</b>		Densidad relativa o gravedad específica de pulpa S=pp/p	1,70	Peso específico de sólidos (S)	2,650	
<b>Vp= ( D10 * 6/100 )^2</b>	2,93231376			Vc = FL √(2*g*d(S-pp)/pp) ... (m/s)	1,548	
				Vc = FL √(2*g*d(S-pp)/pp) (ft/s)	5,079	
<b>VELOCIDAD DE TRANSPORTE (Vt)</b>		<b>CARACTERÍSTICAS DE TUBERÍA SELECCIONADA</b>				
<b>Vt = (2*g*H*Øint/F*L)^1/2</b>		Tubería seleccionada	SCH 120 Ø 4"			
Aceleración de la gravedad terrestre (g) (m/s2)	9,806	Ø Exterior (in)	4,5			
Altura de cabeza total (m)	244,0	Espesor de pared (in)	0,674			
Diámetro interior de tubería (m)	0,097	Ø Interior (in)	3,152			
Pérdida por fricción en abacos (F)	0,020	Ø Interior (ft)	0,2627			
Distancia horizontal máxima a transportar al tajeo L <sub>t</sub> (m)	2535,0	Area de tubería (ft2)	0,0542			
Coefficiente de arrastre (Ca)	0,440	Caudal Q de bomb FELUWA(GPM)	200	Relación (gal/Ft3)	0,134	
Velocidad de transporte (Vt), (m/s)	3,029	Caudal Q de bomb FELUWA(Ft3/seg)	0,446	Vel (Ft/seg)	8,22	
<b>PERDIDA DE CARGA (Lc)</b>						
Lc= Lft + Lat ; Pérdida de carga por fricción en tuberías (Lft) ; Pérdida de carga por armadura de tuberías (Lat)						
Longitud total de tuberías (m)		2535,0	DESCRIPCION	N	K	NK
Viscosidad cinemática (ν), (m2/s)	1,01E-06	Coef defricción (f), D moody, de grafic	Válvulas abiertas	0,00	3,00	0,00
Diámetro de tubería (m)	0,097	(f), D moody	Tee	0,00	2,00	0,00
Número de Reynolds (Re)	2,92E+05	P. carga por fricc. Tub	Codos de 45°	16,00	0,45	7,20
Re= (Vt * Ø) / ν		Lft= f*Vt^2*L/2*g*Ø	Codos de 90°	0,00	0,75	0,00
Rug. Relat. (Rr)=Rab/Ø = t/Ø, diám (cm)	0,000617284	P. carga arm. Tub	Copias de uniones	234,00	0,35	81,90
t= según tipo de tubería/ revest (cm)		Lat=(Vt^2/2*g)*ΣNK	Otros	0,00	0,00	0,00
Rab=t*am. imperfecciones superficie(cm)	0,006	Lc= Lft + Lat (m)	ΣNK			89,10
<b>GRADIENTE HIDRAULICA</b>						
ALTURA MAXIMA (h2) QUE ALCANZARÁ AL NIVEL MAS BAJO DE INTERIOR MINA						
Gh=Lc/L						
Bernoulli (Vt^2/2*g) + (Pv/ρ) + Zi = (Vt^2/2*g) + (Pv/ρ) + Zf + Lc						
Pérdida de carga total (m)	267,380	<b>VARIABLES Y CONSTANTES</b>				
Longitud total de tubería (m)	2535,000	Velocidad (m/s)	Inicial		Final	
Gradiente hidráulico	0,105	Presión (Trn/m2, atm)	0,000		3,029	
<b>MAXIMA DISTANCIA HORIZONTAL (Dmh)</b>						
Dmh = (2*g*h*Ø)/(w*c) ; w=ppulp*(Kpulp+(0.0018/((Vt*Ø)^0.5)))						
Altura de caída (h)	244,0	Altura(m)	586,000		0,000	
Coefficiente fricción tubería ( c )	0,00045	Gravedad (m/s2)	9,806		-	
Constante para pulpa (Kpulp)	0,3	Peso específico (Trn/m3)	1,700		-	
Coef de resist. w=ppulp*(Kpulp+(0.0018/((Vt*Ø)^0.5))) ; pp (kg/m3)	530,7874	<b>DESCRIPCION DE PARAMETROS</b>				
Ratio=(2*g*Ø)/(w*c)	7,98	Energía de cinética o de velocidad (Vt^2/2*g)	inicial		final	
		Altura de presión (Pv / )	0,000		0,468	
		Pérdida de carga (Lc)	0,000		0,000	
		Altura total entre planta y nivel mas bajo (m)	267,380		-	
		Altura máxima de elevación Zi (h2), en función a la cota piezométrica (m)			318,152	
<b>CALCULO DE LOS PARAMETROS MAS IMPORTANTES DE LA PULPA DE RELLENO HIDRAULICO</b>						
<b>RELACION VOLUMETRICA DE LIQUIDOS A SOLIDOS ( Rvlvs )</b>			<b>CAUDAL DE RELLENO HIDRAULICO IMPULSADO POR LA BOMBA FELUWA</b>			
Rvlvs = S*((100 - %Wss) / %Wss) = S*Rwlws			De acuerdo a la calibración de la bomba FELUWA			
Relación volumétrica de líquidos a sólidos (Rvlvs)	1,371	Q = (GPM)	200,0000			
<b>TONELAJE DE SOLIDOS TRANSPORTADOS POR HORA AL TAJEO (Ws-t)</b>			Q = (m3/h)			
(Ws-t) = f ( Wss , Q ) , (Tn/hr)			<b>CAUDAL (Q) = ( Vol / t ) ; (m3/s)</b>			
Peso de sólido seco (Wss) : (Kg/L)	1,122	<b>CONSTANTE DE SOLIDOS (K)</b>				
Caudal Q (m3/hr)	45,424	K = (S-1)/S				
Tn. de sólidos transportados por hora al tajeo (Ws-t) (tn/hr)	50,951	Gravedad específica de los sólidos (S)	2,660			
Flujo de sólidos transportados por hora al tajeo (m3/hr)	19,155	Constante de sólidos (K)	0,624			
<b>FLUJO MASICO DE RELLENO HIDRAULICO</b>			<b>PESO DE SOLIDO SECO EN UN LITRO DE PULPA (Wss)</b>			
Flujo de pulpa (Kg/min)	1287,002	ET				
Flujo de sólidos (Kg/min)	849,184	Densidad de pulpa (ppulp) (g/L)	1700,000			
Flujo de liquido (Kg/min)	437,818	Wss= (ppulp - 1000)/K ; (g/L)	1121,687			
<b>VOLUMEN DE LIQUIDO ENVIADO AL TAJEO (Vl-t)</b>			Wss= (ppulp - 1000)/K ; (Kg/L)			
( Vl-t ) = ( Ws-t ) * Rwlws ... (m3/hr)			1,122			
Volumen de liquido (Vl-t) (m3/hr)	26,269	<b>PORCENTAJE DE SOLIDOS EN PESO DE LA PULPA (%Wss)</b>				
<b>VOLUMEN DE SOLIDO POR HORA ENVIADO AL TAJEO (Vs-t)</b>			%Wss= (1/ppulp*((ppulp - 1000)/K))^100			
(Vs-t) = (Vl-t) / Rvlvs (m3/hr)	19,155	Porcentaje de peso en la pulpa (%Wss)				
<b>TIEMPO DE RELLENO DE UN TAJEO</b>			65,982			
Necesida de relleno hidráulico	(m3/guardia)	(m3/día)	<b>RELACION EN PESO LIQUIDO A PESO SOLIDO ( Rwlws )</b>			
	114,8	229,5	Rwlws = (100 - %Wss) / %Wss			
<b>TIEMPO DE RELLENO</b>	(hr/guardia)	(hr/día)	Relación en peso liquido a peso sólido (Rwlws)			
	5,991	11,981	0,516			



**CALCULO DE COSTOS DE INVERSION Y OPERACIÓN DE RELLENO  
HIDRAULICO CON MATERIAL RELAVE - ARENA**

**COSTO DE INVERSIÓN PLANTA DE RELLENO HIDRAULICO (ARENA)**

INVERSIÓN EN RESERVOIRIO PARA AGUA					
ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PU(US\$)	COSTO(US\$)
1	Tubo de polietileno 2" clase 10	m	300	1,52	456,00
5	Tubo de polietileno 4" clase 10	m	900	4,94	4446,00
2	Geomembrana TORODIN HYDROS	m2	175	5,42	948,50
3	Alambre negro 16	kg	10	0,95	9,50
4	Geotextil no tejido MACTEX MT 300/MT200	m2	120	0,93	111,60
5	Costo de instalación				15000,00
Costo total					20971,60

INVERSIÓN EN TUBERIAS					
ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PU(US\$)	COSTO(US\$)
1	Tubo de polietileno HDPE de 4"	m	1000	5,95	5950,0
2	Tuberías de acero SCH 80 de 4"	m	1800	32,17	57906,0
3	Niple SCH 80	Und	250	5,99	1497,5
4	Unión Vitaulic	Und	520	9,34	4856,8
5	Válvula bola acero inoxidable 2"	Und	2	39,35	78,7
6	Válvula bola acero inoxidable 4"	Und	1	266,5	266,5
7	Brida de acero P/tubería 6"	Und	16	12,06	193,0
8	Cemento gris	Bls	400	4,83	1932,0
12	Alcayatas	Und	1000	7,56	7560,0
10	Otros materiales				7388,37
14	Costo de instalación				23621,59
COSTO TOTAL					111250,4

INVERSION EN PLANTA PARA RELLENO HIDRÁULICO					
ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PU(US\$)	COSTO(US\$)
1	Planta para chancado portátil	Und	1	40000	40000,0
2	Tanque agitador	Und	1	5000	5000,0
3	Cemento gris	Bls	989	4,83	4776,9
4	Fierro corrugado 1/2" * 30m	Pza	252	5,63	1418,8
5	Fierro corrugado 5/8" * 30m	Pza	6	8,41	50,5
6	Fierro corrugado 3/8" * 30m	Pza	62	3,19	197,8
7	Tubo conduit 3/4" * 3.00 m	Pza	15	7,35	110,3
8	Tubo de acero SCH-40	Pza	3	114	342,0
9	Tubo de fierro negro 3" * 20	Pza	21	36,721	771,1
10	Tubo de fierro negro 1 1/4" * 21	Pza	26	12,62	328,1
11	Tubo de fierro negro 1 3/4" * 6m	Pza	46	18	828,0
12	Tubo de fierro negro 4" * 21"	Pza	6	52,38	314,3
13	Tubo de fierro negro 2" * 20	Pza	18	24,985	449,7
14	Tubo de fierro negro 1/4 * 20'	Pza	6	4,648	27,9
15	Tubo de fierro negro 3" * 20	Pza	6	44,206	265,2
16	Viga de fierro "H" 6" * 15LBS * 30	Pza	1	185,98	186,0
17	Viga de fierro "H" 8" * 8" * 20	Pza	3	378,4	1135,2
18	Viga de fierro "H" 8" * 31LBS * 20'	Pza	3	286,69	860,1
19	Otros materiales				4536,2
20	Obras civiles				80000,0
COSTO TOTAL					141598,0

RESUMEN DE COSTO DE INVERSIÓN			
DESCRIPCION	COSTO MATERIALES	COSTO DE INSTALACION	SUB TOTAL(US\$)
tuberías	87611	23622	111250,4
Reservorio	5861	15000	20971,60
Planta	61599	80000	141598,0
Total	155071	118622	273820,0

## ANEXO N° 08

### COSTO DE OPERACIÓN DE RELLENO HIDRAULICO (ARENA)

Anexo N° 08 - 2

COSTO DE DEPRECIACION DEL EQUIPO		
DESCRIPCION	UNIDAD	SUBTOTAL
Inversión inicial	\$	273820,005
Tasa de depreciación anual	%	20
Depreciación anual	\$	54764,001
Producción de mineral mensual	TM	45000
Producción de mineral anual	TM	540000
Costo de depreciación	\$TM	<b>0,10</b>

COSTO DE ENERGÍA						
DESCRIPCION	Hrs/día	Potencia (Hp)	Potencia(Kw)	Eff	Kw-hr/día	\$/ /día
Dos bombas para agua (15Hp)	5,0	15	11,0325	65	35,86	11,8323563
Iluminación (planta, reservorio de agua, etc)	12,0	27	19,8585	65	154,90	51,115779
Chancadora de rodillos y quijada 60Hp y 4 Hp	5,5	64	47,072	65	168,28	55,533192
Zaranda (20 Hp)	5,0	20	14,71	65	47,81	15,776475
Agitador (18Hp)	5,0	18	13,239	65	43,03	14,1988275
<b>SUB TOTAL</b>		<b>144,00</b>	<b>105,912</b>		<b>449,87</b>	<b>148,45663</b>
Precio unitario de energía en CMHSA	0,33	s/. * Kw-hr				
Costo de energía	0,99	soles / m3 de relleno				
Costo de energía	0,37	soles / TM de relleno				
Costo de energía	0,12	\$/ TM de relleno				

COSTO DE MANO DE OBRA			
DESCRIPCION	Tareas/día	S./Tarea	S./ /día
Operarios de chancado	2	63,02	126,04
Operadores de lanzado de agua	1	63,02	63,02
Maestro	1	71,4	71,4
Inspeccion de red de tuberías	2	63,02	126,04
Operador de relleno	2	63,02	126,04
Enmaderador	2	71,4	142,8
<b>TOTAL</b>			<b>655,34</b>
Costo de mano de obra	4,369	soles/m3 de relleno	
Costo de mano de obra	1,642	soles/TM mineral	
Costo de mano de obra	0,547	\$/TM mineral	

COSTO DE MANTENIMIENTO (estimado de comparación con otras minas)		
Costo de mantenimiento	0,5	soles/m3 de relleno
Costo de mantenimiento	0,18	soles /TM relleno
Costo de mantenimiento	0,05	\$/TM relleno

COSTO DE MATERIALES				
DESCRIPCION	Unidad	Cantidad	P.U (S./)	Total (S./)
Madera redonda de 8" * 10'	TM	1,38	285,61	394,14
Poliyute	m2	100	0,56	56,00
Tablas de 2" * 8" * 10'	pies2	60	0,8	48,00
Cal(Kg)	Kg	172,69	0,41	70,80
<b>TOTAL</b>				<b>568,94</b>
Cal(Kg)	3,79	soles/m3 relleno		
Cal(Kg)	1,43	soles/TM relleno		
Cal(Kg)	0,48	\$/TM de relleno		

COSTO DE TRANSPORTE DE MATERIALES			
DESCRIPCION (para 152 m3 de arena)	hr/día	P.U (S./hr)	Tot.(S./día)
Volquete para transportar arena	8	145,18	1161,44
Pala para carguío de arena	4	93,85	375,40
Pala para carguío a tolva	5	93,85	469,25
<b>TOTAL</b>			<b>2006,09</b>
Costo de transporte de materiales	13,37	soles/m3 de relleno	
Costo de transporte de materiales	5,08	soles/TM de relleno	
Costo de transporte de materiales	1,69	\$/TM de relleno	

RESUMENES	
DESCRIPCION	US\$/TM relleno
Costo de depreciación	0,101
Costo de mano de obra	0,547
Costo de transporte de agregados	1,692
Costo de energía	0,124
Costo de materiales	0,475
Costo de mantenimiento	0,050
<b>TOTAL DE COSTOS DE OPERACIÓN (US\$/TM relleno)</b>	<b>2,99</b>

**COSTO DE INVERSIÓN PLANTA DE RELLENO HIDRAULICO (RELAVE)**

INVERSIÓN EN RESERVOIRIO PARA AGUA					
ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PU(US\$)	COSTO(US\$)
1	Tubo de polietileno 2" clase 10	m	300	1,52	456,00
5	Tubo de polietileno 4" clase 10	m	900	4,94	4446,00
2	Geomembrana TORODIN HYDROS	m2	175	5,42	948,50
3	Alambre negro 16	kg	10	0,95	9,50
4	Geotextil no tejido MACTEX MT 300/MT200	m2	120	0,93	111,60
5	Costo de instalación				15000,00
Costo total					20971,60

INVERSIÓN EN TUBERIAS					
ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PU(US\$)	COSTO(US\$)
1	Tubo de polietileno HDPE de 4"	m	1000	5,95	5950,0
2	Tuberías de acero SCH 80 de 4"	m	1800	32,17	57906,0
3	Niple SCH 80	Und	300	5,99	1797,0
4	Unión Vitaulic	Und	620	9,34	5790,8
5	Válvula decuchilla inoxidable 4"	Und	2	1000	2000,0
6	Válvula bola acero inoxidable 4"	Und	1	266,5	266,5
7	Brida de acero P/tubería 6"	Und	16	12,06	193,0
8	Cemento gris	Bls	500	4,83	2415,0
12	Alcayatas	Und	1000	7,56	7560,0
10	Otros materiales				7388,37
14	Costo de instalación				23621,59
COSTO TOTAL					114888,2

INVERSION EN PLANTA PARA RELLENO HIDRÁULICO CON RELAVE					
ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PU(US\$)	COSTO(US\$)
1	Planta de relleno hidráulico con relave	Und	1	600000	600000,0
2	Bomba de diafragma FELUWA	Und	1	1200000	1200000,0
3	Cemento gris	Bls	989	4,83	4776,9
4	Fierro corrugado 3/4" * 120m	Pza	350	5,63	1970,5
5	Fierro corrugado 1" * 30m	Pza	14	8,41	117,7
6	Fierro corrugado 3/8" * 30m	Pza	62	3,19	197,8
7	Tubo conduit 7/8" * 3.00 m	Pza	20	7,35	147,0
8	Tubo de acero SCH-120	Pza	15	114	1710,0
9	Tubo de fierro negro 3" * 20	Pza	45	36,721	1652,4
10	Tubo de fierro negro 1 1/4" * 21	Pza	45	12,62	567,9
11	Tubo de fierro negro 1 3/4" * 6m	Pza	50	18	900,0
12	Tubo de fierro negro 4" * 21"	Pza	15	52,38	785,7
13	Tubo de fierro negro 2" * 20	Pza	18	24,985	449,7
14	Tubo de fierro negro 1/4 * 20'	Pza	6	4,648	27,9
15	Tubo de fierro negro 3" * 20	Pza	6	44,206	265,2
16	Viga de fierro "H" 6" * 15LBS * 30	Pza	14	185,98	2603,7
17	Viga de fierro "H" 8" * 8" * 20	Pza	12	378,4	4540,8
18	Viga de fierro "H" 8" * 31LBS * 20'	Pza	18	286,69	5160,4
19	Otros materiales				5644,0
20	Obras civiles				80000,0
COSTO TOTAL					1911517,7

RESUMEN DE COSTO DE INVERSION			
DESCRIPCION	COSTO MATERIALES	COSTO DE INSTALACION	SUB TOTAL(US\$)
tuberías	87611	23622	114888,2
Reservorio	5861	15000	20971,60
Planta	61599	80000	1911517,7
Total	155071	118622	2047377,5

## ANEXO N° 08

Anexo N° 08 - 4

### COSTO DE OPERACIÓN DE RELLENO HIDRAULICO (RELAVE)

COSTO DE DEPRECIACION DEL EQUIPO		
DESCRIPCION	UNIDAD	SUBTOTAL
Inversión inicial	\$	2047377,549
Tasa de depreciación anual	%	20
Depreciación anual	\$	409475,5098
Producción de mineral mensual	TM	45000
Producción de mineral anual	TM	540000
Costo de depreciación	\$TM	0,76

COSTO DE ENERGÍA						
DESCRIPCION	Hrs/día	Potencia (Hp)	Potencia(Kw)	Eff	Kw-hr/día	\$/ día
Dos bombas para agua (50Hp) int mina	15,0	50,0	36,775	65	358,56	118,3235625
Iluminación (planta, reservorio de agua, etc)	12,0	27,0	19,8585	65	154,90	51,115779
Bomba Under para pulpa	18,0	50,0	36,775	65	430,27	141,988275
Bomba Over para pulpa	18,0	50,0	36,775	65	430,27	141,988275
Bomba 3 de agua cortada 2760	10,0	15,0	11,0325	65	71,71	23,6647125
Bomba 4 agua Xc 2869	10,0	100,0	73,55	65	478,08	157,76475
Bomba 5 agua de superficie	10,0	100,0	73,55	65	478,08	157,76475
Bomba inyectora de agua a silos	12,0	20,0	14,71	65	114,74	37,86354
Bomba 7 agua sello de bomba	20,0	15,0	11,0325	65	143,42	47,329425
Zaranda (20 Hp)	5,0	20,0	14,71	65	47,81	15,776475
Agitador (18Hp)	5,0	18,0	13,239	65	43,03	14,1988275
Hidrociclón G-max D-10	20	20	14,71	65	191,23	63,1059
Hidrociclón G-max D-10	20	20	14,71	65	191,23	63,1059
<b>SUB TOTAL</b>		<b>505,00</b>	<b>371,4275</b>		<b>3133,30</b>	<b>1033,990172</b>
Precio unitario de energía en CMHSA	0,33	\$/ * Kw-hr				
Costo de energía	6,89	soles / m3 de relleno				
Costo de energía	2,59	soles / TM de relleno				
Costo de energía	0,86	\$/ TM de relleno				

COSTO DE MANO DE OBRA			
DESCRIPCION	Tareas/día	\$/Tarea	\$/ día
Operarios de Planta	3	63,02	189,06
Supervisor de planta	1	63,02	63,02
Maestro	1	71,4	71,4
Inspeccion de red de tuberías	2	63,02	126,04
Operador de relleno	2	63,02	126,04
Enmaderador	2	71,4	142,8
<b>TOTAL</b>			<b>718,36</b>
Costo de mano de obra	4,79	soles/m3 de relleno	
Costo de mano de obra	1,80	soles/TM relleno	
Costo de mano de obra	0,60	\$/TM relleno	

COSTO DE MANTENIMIENTO (estimado de comparación con otras minas)		
Costo de mantenimiento	0,5	soles/m3 de relleno
Costo de mantenimiento	0,18	soles /TM relleno
Costo de mantenimiento	0,05	\$/TM relleno

COSTO DE MATERIALES				
DESCRIPCION	Unidad	Cantidad	P.U (\$/.)	Total (\$/.)
Madera redonda de 8" * 10'	TM	1,38	285,61	394,14
Poliyute	m2	100	0,56	56,00
Tablas de 2" * 8" * 10'	pies2	60	0,8	48,00
Cal(Kg)	Kg	172,69	0,41	70,80
<b>TOTAL</b>				<b>568,94</b>
Cal(Kg)	3,79	soles/m3 relleno		
Cal(Kg)	1,43	soles/TM relleno		
Cal(Kg)	0,48	\$/TM de relleno		

RESUMENES	
DESCRIPCION	US\$/TM relleno
Costo de depreciación	0,758
Costo de mano de obra	0,600
Costo de transporte de agregados	0,000
Costo de energía	0,864
Costo de materiales	0,475
Costo de mantenimiento	0,050
<b>TOTAL DE COSTOS DE OPERACIÓN (US\$/TM relleno)</b>	<b>2,75</b>

# PLANOS