

Universidad Nacional de Ingeniería
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA
GEOLOGICA MINERA Y METALURGICA



TRANSPORTE DE SÓLIDOS
EN TUBERÍAS APLICADO
EN LA MINERÍA

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO DE MINAS

VICTOR R. MELENDEZ VIDALES

PROMOCIÓN 1978 - II

LIMA - PERU - 1982

I N D I C E

	Pág.
1.-- Introducción-	
1.1. Dedicatoria	
1.2. Reconocimiento y Agradecimiento	1
1.3. Objetivos y Alcances	1
1.4. Generalidades	3
2.- Geografía de la aplicación del transporte de sólidos en tuberías.	4
2.1. Aspecto Topográficos	4
2.2. Aspectos Ecológicos	6
3.- Parámetros Técnicos utilizados en la aplicación del transporte de sólidos en tuberías.	7
3.1. Transporte en fajas transportadoras, camiones ferrocarriles y cables carriles.	7
3.2. Teoría del transporte de sólidos en tuberías	9
3.2.1. Algunas propiedades de los fluidos	9
3.2.2. Consideraciones del proceso	13
3.2.3. Nomenclatura	15
3.2.4. Gravedad Específica de los sólidos	17
3.2.5. Tamaño granular de las partículas sólidas	20
3.2.6. Clasificación húmeda y concentración de los sólidos.	23
3.2.7. Tipos de mezcla	32
3.2.7.1. Mezcla homogénea	34
3.2.7.2. Mezcla heterogénea	34
3.2.7.3. Tipos de flujos de mezclas	34
a) Flujo en Suspensión Homogénea	35

	pág.
b) Flujo en suspensión heterogénea.	35
c) Flujo en suspensión heterogénea-saltación	36
3.2.7.4. Mecanismos de Suspensión	40
3.2.7.5. Conceptos Teóricos Básicos	41
3.2.8. Dureza de los sólidos	45
3.2.9. Flujo hidráulico y turbulento	49
3.2.10. Viscosidad	50
3.2.11. Resistencia al flujo	53
3.2.11.1. Pérdida de carga por fricción	53
3.2.11.2. Velocidad límite del flujo	60
3.2.11.3. Corrosión y Abrasión	66
3.2.11.4. Presión interna sobre las paredes de la tubería.	70
3.2.12. Fórmulas Empíricas usadas en la Evaluación de proyectos.	71
4. Evaluación de los proyectos de transporte de sólidos en tuberías.	75
4.1. Evaluación Técnica	75
4.2. Modelos de Evaluación	76
4.2.1. Modelo Computarizado	77
4.2.2. Modelo Experimental	82
5. Diseño de Ingeniería	88
5.1. Perfil de la tubería y la Gradiente Hidráulica	92
5.2. Selección de Equipo	93
5.3. Control de la Corrosión y la Abrasión en la Tubería.	93
5.4. Líneas de Tuberías: Cemento, Caucho y Plástico	100
5.5. Equipos de Bombeo	105
5.6. Bombas especiales para el mezclado de los concentrados ó sólidos.	110
5.7. Tuberías auxiliares	111
5.8. Descarga Terminal	113

	P ág.
5.9. Control é Instrumentación	114
5.10. Facilidades en caso de Emergencia	116
5.11. Requerimientos de agua	117
6. Aspecto Económico y Financieros	120
6.1. Estimado de los costos de Inversión de Capital y Plan de desembolsos.	120
6.1.1. Inversión de Capital	122
6.1.2. Desembolsos para la construcción del proyecto.	125
6.2. Ingresos por concepto de la utilización del sistema de transporte de sólidos en tuberías.	128
6.3. Costos del sistema de transporte de sólidos en tuberías.	129
6.3.1. Costos de operación y mantenimiento	129
6.3.2. Depreciación	134
6.3.3. Seguridad de utilización del sistema	135
6.4. Intereses	137
6.5. Utilidad Neta	139
6.6. Proyección Financiera	139
6.6.1. Métodos de evaluación financiera	142
6.6.2. Rentabilidad	150-a
6.7. Costos comparativos con los diferentes sistemas de transporte existente en la minería.	156
7. Algunos proyectos aplicados a ciertos tipos de compues- tos -minerales.	161
7.1. Transporte de calizas	161
7.2. Transporte de fosfatos.	164
7.3. Transporte de cobre	166

	Pág.
8. Aplicación del PERT-CPM en la construcción del sistema de transporte de sólidos en tuberías en la minería	171
9. Empleo óptimo é importancia industrial de este sistema de transporte	176
10. Proyecto de transporte de sólidos en tuberías "EL INCOGNITO"	174
- Conclusiones	182
- Recomendaciones	186
- Bibliografía	188
- Anexo- Pesos y Medidas	204

A MIS PADRES

MARCIANO_Y_ MARIA SALOME

Eternamente.

A MI ESPOSA

GLADYS VICTORIA

Por sus sabios consejos

A MIS HIJOS

MARIA DE LOS ANGELES -Y-

VICTOR HUGO

Con mucho amor y cariño

Tres hermosas generaciones que son brújula de luz; rumbo de paz y buzamiento de cariño que me indican el camino por donde he de seguir.

CAPITULO I

1.2. RECONOCIMIENTO Y AGRADECIMIENTOS

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA, Alma Mater de generaciones pasadas, presentes y futuras, casa de estudios que en sus aulas magnas abrigan sabios y científicos; que iluminan con la luz de sus enseñanzas a generar un mundo digno, justo y libre. A ella mi mayor reconocimiento.

Espero que en estas líneas, poder compensar la razón de ser de éste "CENTRO DE ESTUDIOS", que a través de sus profesores supieron infundirme la formación profesional que solvento.

Agradezco a todos y a cada una de las personas que de una u otra forma me impulsaron y colaboraron a terminar mi carrera profesional y a la elaboración del presente trabajo; muy especialmente al Ing. Jorge Cam P. y a mis asesores los Ingenieros Julio Hidalgo y Máximo Romero.

Un agradecimiento muy especial al Ing. JAMES GROZIER por sus enseñanzas en el mundo Minero.

Terminaré con la misma intención testimoniada en el presente trabajo, que es el anhelo de mencionar a todas las personas que me ayudaron y alentaron para culminar éste capítulo de mi vida universitaria, sería muy amplia la lista, pero no me olvido, sino más bien a todos ellos va mi gratitud.

1.3. OBJETIVOS Y ALCANCES

En el presente; a menos de que uno este ocupado plenamente -

en el campo de transporte podría dar una amplia introducción al tipo de transporte presentado, pero; básicamente hoy por hoy la colección y asimilación son los hechos más importantes en el desarrollo de los sistemas de transporte; el triunfo ó el fracaso de los proyectos dependen de éstos hechos.

El interés de transportar sólidos en tuberías como mezcla en el objetivo principal; el desarrollo del comportamiento hidráulico, la técnica y la factibilidad económica de cualquier proposición de un sistema de tuberías puede determinarse con las experiencias de campo.

El desarrollo del tema cubre el extenso mundo de la investigación, ingeniería y operaciones industriales.

Se tiene una basta experiencia en el transporte de altas concentraciones de sólidos, muchas de estas aplicaciones industriales tenemos en : soda calcinada, caolín, celulosa, pulpa de papel, arena, arcilla, carbón, minerales, calizas, relaves, alimentos agrícolas, desechos de granjas. etc.

En resumen el transporte hidráulico de sólidos está siendo manejado con una técnica que está ganando extensa y gran aceptación en la industria de los minerales; presentándose en un alto nivel de eficiencia técnica y económicamente competitiva - en aplicaciones de obras civiles, dragado, minería y las industrias químicas.

Terminaré con la inquietud de qué, el análisis del tema, oja-

lá pueda despertar algún interés de quienes se dediquen a la toma de decisiones en el área del transporte de materiales - y para los estudiosos sea un elemento de análisis y mejora de sus tratamiento ó el inicio de la revisión de las hipótesis teóricas que se sustentan en un proyecto de ésta magnitud.

1.4. GENERALIDADES

En las etapas iniciales de la revolución industrial, la producción estuvo restringida por la falta de capacidad en el transporte. Durante este tiempo las actividades industriales en el mundo, estuvieron limitadas a establecerse y desarrollarse en áreas de la costa cerca del mar ó en áreas cerca de los ríos por las ventajas que éstos permitían para el transporte .

En el período entre 1800 a 1950, se experimentó un gran desarrollo en el transporte terrestre con las implantaciones de los ferrocarriles y carreteras. Durante éste tiempo la capacidad de mover materiales aumenta grandemente y consecuentemente la reducción de los costos de transporte.

En la minería, la mayor parte de las innovaciones han alcanzado períodos similares desde su comienzo hasta su empleo a gran escala. Estos períodos normalmente se inician en un fenómeno accidental aislado, luego una etapa de letardo en la que la innovación se continúa aplicando en casos aislados -

pero sin mejoras notables, posteriormente se inicia un período de rápida proliferación en que un gran número de usuarios experimentales perfeccionan la innovación original hasta obtener de ella beneficio económico concreto, y finalmente el período en el cual interviene la ingeniería, primero para explicar los fenómenos fundamentales de la innovación exitosa y luego para convertir en ciencia lo que hasta el momento era una técnica ingeniosa.

Una de las faenas mineras, es el movimiento de materiales finos, por ejemplo el flujo de mineral en circuitos de molinenda, transporte de concentrados a la fundición o embarque, el transporte de relaves a los tanques ó coches de almacenamiento, son formas bastante usuales de la aplicación del sistema de transporte hidráulico de sólidos en tuberías.

Este transporte implica pues, toma de decisiones por parte de un diseñador en lo que respecta a la selección del número de plantas de bombeo diámetro de la tubería, espesor de la misma, así mismo que se debe de contar con un plano topográfico para ubicar la zona de captación y el área de entrega del fluido; básicamente se cuenta con determinado número de parámetro que deben darnos la solución óptima.

En los últimos años el transporte de los minerales en tuberías han alcanzado un gran auge debido al bajo costo de operación y mayor volumen de transporte y la gran versatilidad en las operaciones.

C A P I T U L O I I

2. GEOGRAFIA DE LA APLICACION DEL TRANSPORTE DE SOLIDOS EN TUBERIAS.

Como se sabe; Geografía es la descripción de la tierra desde el punto de vista suelo, clima, etc.

Estos aspectos son los que inciden en el transporte de sólidos en tuberías; la aplicación de este sistema no tiene límites desde el punto de vista topográfico ,ni clima, más por el contrario éste utiliza los declives ó desniveles de altura para hacer mas eficiente el transporte de los sólidos.

2.1. ASPECTOS TOPOGRAFICOS.

Las longitudes para el transporte de sólidos en tuberías son incentivados por la experiencia; pues no tienen restricciones topográficamente hablando, puede ser factible trabajar con pendientes mayores del diez por ciento y se requiere menor distancia para unir dos puntos y consecuentemente los impactos ecológicos son reducidos, además ésta también puede ser -- construída sobre terrenos inestables lógicamente teniendo en cuenta las características elementales de sostenimiento de la carga; un mecanismo rígido con pestañas de acero y uniones,

sujetas a pequeñas inundaciones podrían ser instalados en esta clase de terrenos.

El transporte de sólidos en tuberías se beneficia grandemente con el aspecto topográfico pues ésta utiliza la gravedad para mover grandes cantidades de materiales.

Este sistema de transporte, de acuerdo al aspecto topográfico es muy competitivo con otros sistemas de transportes, ya que los ferrocarriles y los camiones no pueden exceder al uno ó al dos por ciento de pendiente para grandes distancias.

2.2. ASPECTOS ECOLOGICOS

El gran interés de cualquier evaluación de la factibilidad de transportar sólidos en tuberías en muchos países de América, Africa, Europa, Asea; como por ejemplo en los Estados Unidos, Sud Africa, Inglaterra y la Unión Soviética es un gran impacto social.

Este impacto afecta a cualquiera de éstos grandes proyectos de construcción, hasta aproximadamente la década de los años 60 se había evaluado detalles en el estudio de transporte de carbón ; pero en la actualidad éstos estudios están centrados en el transporte de mezclas con concentrados de minerales tales como el fierro, cobre etc.

Por lo tanto este impacto social podemos dividirlo en tres ca-

C A P I T U L O I I I

3. **PARAMETROS UTILIZADOS EN LA APLICACION DEL TRANSPORTE DE SOLIDOS EN TUBERIAS**

3.1. **TRANSPORTE EN FAJAS TRANSPORTADORAS, CAMIONES, FERROCARRILES Y CABLE CARRILES**

Hay mucha similitud en el transporte de sólidos por medio de fajas transportadoras como en el de las tuberías, en el manejo de los materiales; igual similitud existe entre los camiones y ferrocarriles.

Se podrían enviar en los dos primeros sistemas materiales-molidos, éstos se acarrearían con aire y agua respectivamente. Siendo éstas capaces de acarrear pesadas cargas desde unos cientos de toneladas por hora hasta algunos millones de toneladas por año para cualquier distancia, ya sea ésta corta, intermedia o larga.

De igual manera podemos transportar cargas pesadas con los ferrocarriles y camiones; teniendo por ejemplo, que evitar los viajes diarios con un número grande de camiones ó distraer toda la atención con los problemas de carga y descarga en una línea ferroviaria; ó teniendo el problema del mantenimiento de camiones ó la paralización del acarreo durante los

malos tiempos; las tuberías evitan todos estos innumerables inconvenientes pudiendo acarrear materiales sobre terrenos que son muy difíciles para construir carreteras y caminos.

En un estudio económico realizado por E. Pfeider en el - handbook "Surface Mining" muestra una tabla competitiva de algunos costos.

Tuberías	\$ 0.180/ Tons.
Camiones	\$ 0.279/ Tons.
Fajas transportadoras	\$ 0.182/ Tons.

De los costos antes mostrados podemos predecir y elegir el tipo de transporte al cual debemos darla nuestra confianza para poder transportar nuestros materiales, por lo que daremos a continuación algunas diferencias y así poder elegir el transporte de materiales en tuberías.

Las diferencias en los sistemas de transporte de materiales en fajas transportadoras y tuberías parecería ser el mayor grado y tamaño de la sustancia, por ejemplo las fajas transportadoras aceptan un tamaño grande en la alimentación que - el máximo tamaño de las partículas en las tuberías.

Por lo menos las fajas transportadoras y las tuberías son competitivas dependiendo de la disponibilidad de recursos - acuíferos, del flujo del capital y que sea apropiado para - los preliminares procesos. Si ambos tienen las mismas condiciones, las tuberías tienen una decisión económica ventajosa sobre los otros tipos de transporte, incluyendo las fajas -

transportadoras; barcazas, ferrocarriles, camiones y cablecarriles.

3.2. TEORIA DE TRANSPORTE DE SOLIDOS EN TUBERIAS

3.2.1. ALGUNAS PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS

Una de las ciencias que desarrolla la teoría del transporte de sólidos es la mecánica de fluidos, puede ponerse en duda que se comprenda adecuadamente el papel que desempeña la mecánica de fluidos, ésta no solo se desempeña en nuestra vida cotidiana sino en todo el dominio de la naturaleza. La materia tal como la conocemos es sólida ó fluida; el flujo de los ríos y los arroyos en sus causes, la circulación de la sangre en nuestras venas y arterias, el vuelo de los insectos, aves y aviones, el deslizamiento de un barco sobre el agua ó el de un pez en las profundidades, son éstas pues una gran parte de las expresiones de las leyes de la mecánica de fluidos.

Definimos entonces algunas de estas propiedades:

FLUIDOS.- Son sustancias capaces de fluir; esto se interpreta que una sustancia cuando se encuentra en equilibrio estático, no puede soportar las fuer-

zas tangenciales ó de corte.

Estos generalmente se adaptan a los recipientes que los contienen; a su vez estos pueden ser líquidos ó gases.

Líquidos cuando son incomprensibles, toman la forma del recipiente que los contiene y tienen una superficie libre.

Gases, son comprensibles, ocupan la totalidad del recipiente que los contiene.

MASA.- Es la relación que existe entre el peso de un cuerpo y la aceleración de la gravedad.

$$g = 9.81 \frac{m}{seg.^2} \quad \text{al nivel del mar.}$$

$$\text{Masa (V.T.M.)} = \frac{\text{peso (kgs)}}{\text{aceleración (m/seg}^2\text{)}}$$

PRESION- Es la relación de la resultante de las fuerzas moleculares que actúan sobre una superficie entre el área de esta superficie.

La fuerza resultante debe ser siempre perpendicular a la superficie de acción.

PESO ESPECÍFICO.- Es el peso de la unidad de volumen de un cuerpo.

$$\text{peso específico} = \frac{\text{peso}}{\text{Volumen}}$$

DENSIDAD- Es la relación de la masa en la unidad de volumen.

$$\text{Densidad} = \frac{\text{Masa}}{\text{Volumen}} = \frac{\text{Peso específico}}{\text{Aceleración}}$$

DENSIDAD RELATIVA- Esta es una propiedad de la relación del peso de un cuerpo a otro tomado de referencia, este es un número adimensional.

$$\text{Densidad Relativa} = \frac{\text{Peso de la sustancia}}{\text{peso de igual volumen de agua.}}$$

COMPRESIBILIDAD- El agua a grandes presiones se logra reducir en un diez por ciento de su masa.

De experimentos en el laboratorio se obtienen los siguientes resultados:

" a 4.4 atmosferas de presión el agua disminuye un diez por ciento de su masa"

$$1 \text{ atmosfera (al nivel del mar)} = 1,033 \text{ kgs/cm}^2$$

Ademas se tiene un nivel de referencias que son

las presiones relativas.

presión relativa: 0°= al nivel del mar(1 atmosfera)

presión absoluta: 0^o vacío perfecto.

Se puede concluir lo siguiente:

La compresibilidad varía con la temperatura; a temperatura constante ésta disminuye con el aumento de la presión y a presión constante disminuye con el aumento de la temperatura hasta los 49°C, para luego aumentar la compresión.

MODULO DE ELASTICIDAD.- - Es la relación del esfuerzo unitario entre la deformación unitaria obtenida.

Elasticidad= $\frac{\text{esfuerzo unitario}}{\text{deformación unitaria}}$

Pero el caso del agua:

$$\text{ELASTICIDAD} = \frac{1 \text{ atmosfera}}{\text{reducción promedio}} = \frac{1033 \text{ kg/cm}^2}{0.000048}$$

$$\text{ELASTICIDAD} = 21,400 \text{ kgs/cm}^2$$

ADHERENCIA Y COHESION- Adherencia; fuerza de atracción entre dos moléculas de distintos cuerpos y; cohesión, fuerza de atracción entre dos moléculas de un mismo cuerpo.

TENSION SUPERFICIAL- Es el trabajo que debe de realizarse para llevar a un número suficiente de moléculas; desde el interior de una masa hacia la superficie para crear una nueva unidad de superficie.

COEFICIENTE- DE UNIFORMIDAD.- Este coeficiente esta definido como la razón del diámetro de la partícula más grande que se encuentra en el 60% de la fracción acumulativa del material al diámetro de la partícula de mayor tamaño presente en el 10% de la fracción acumulativa.

3.2.2. CONSIDERACION DEL PROCESO

El transporte en tuberías de agua salada ó fresca es un transporte hidráulico muy común; pero si a éste le agregamos una cantidad de sólidos granulados creamos un nuevo régimen de flujo de fluidos.

La adición ó suma de sólidos a flujo de agua crea un nuevo campo de parámetros que son importantes en el transporte de sólidos en tuberías y estos por naturaleza forman un compuesto estable de un mediano fluido de sólidos y agua. El transporte de sólidos en tuberías conceptualmente es un flujo bifásico que usa el agua como fluido transportante y

partículas sólidas como elementos transportados.

Este puede presentarse como un flujo aglomerado (cápsulas) que está en una etapa experimental y que presenta una serie de ventajas en la dinámica de fluidos y problemas tecnológicos que aún no resultó del todo, y; como un flujo de sólidos dispersos universalmente utilizados.

El flujo de este tipo de mezclas generalmente se produce - en un régimen turbulento, pues la turbulencia es uno de los factores importantes que provee la suspensión a los sólidos. Sin embargo en un régimen laminar ó hidráulico puede asemejarse si la concentración de las partículas sólidas es muy grande y por lo tanto su viscosidad también.

El comportamiento hidrodinámico de las mezclas permiten separarlas en dos grandes grupos las cuales presentan un comportamiento Newtoniano ó pseudonewtoniano (que tiene viscosidad constante e independiente del tiempo y de la velocidad de deformación del líquido); y de los que presentan un comportamiento distinto es decir el tipo de comportamiento NO - Newtoniano.

La separación entre estos dos tipos de mezclas radica fundamentalmente en el tipo y concentración de sólidos presentes y en gran parte de los procesos mineros, por ejemplo - las pulpas de mineral tienen un comportamiento claramente Newtonianos.

3.2.3. NOMENCLATURA

La nomenclatura usada en este trabajo esta enumerada como sigue:

$C(w)$ = Fracción de Sólidos en peso

$C(v)$ = Fracción de Sólidos en volúmen

$S(s)$ = Gravedad específica de los sólidos

$S(l)$ = Gravedad específica de los líquidos

$S(m)$ = Gravedad específica de la mezcla

ρ = Densidad

α = Concentración volumétrica en situ

V = Volúmen

A = Area

$d\rho$ = Diferencial de la densidad

dv = Diferencial de volúmen

da = Diferencial de área

T_w = Esfuerzo de corte de los sólidos

K = Constante que depende de los sólidos

C_f = Coeficiente de rugosidad

E_f = Fuerza de los líquidos

F_s = Fuerza de los sólidos

v = Velocidad

Q = Caudal

μ = Viscosidad

τ = Esfuerzo cortante

R = Número de Reynolds

m = Masa

- D = Diámetro de la tubería**
- DR = Radio de dilución**
- FL = Constante numérica**
- g = Aceleración de la gravedad**
- i = Gradiente hidráulica**
- n = Viscosidad plástica**
- Vtrans = Velocidad transicional**
- Ty = Esfuerzo permisible de trabajo**

Y mucha de la demás simbología utilizada se determinará a medida que el análisis teórico se vaya determinando y desarrollando los capítulos de la tesis.

- []_m = parte relacionada con la mezcla**
- V_f = volumen final**
- V_i = volumen inicial**
- p = presión interna**
- dx = diferencial de longitud**
- []_f = parte relacionada con los fluidos**
- []_s = parte relacionada con los sólidos**
- t = tiempo en años (t = 1, 2 , 3,.....n)**
- n = duración del proyecto.**
- I_t = costo de la inversión en el año t**
- E_t = costo de la operación en el año t**
- R_t = ingresos ó rentas del año t.**

i = tipo de actualización

p = año de entrada en operación del proyecto

Rm = renta ó ingreso anual del proyecto en pleno funcionamiento.

Em = costos anuales

Bt = Beneficio bruto anual

$$Bt = Rt - Et$$

3.2.4. GRAVEDAD ESPECIFICA DE LOS SOLIDOS

Se sabe que las mezclas estan compuestas por sólidos granulares de ligero, mediano y pesada gravedad específica.

Generalmente entendemos por Gravedad Específica de los sólidos, al peso específico de los sólidos determinados por el método clásico de Arquímedes.

Este es un método que consiste en lo siguiente:

- a) Se toma una muestra y se lleva a la sequedad
- b) Se realiza el método de los cuarteos
- c) Se determina el peso de la muestra
- d) Se toma un determinado volumen de agua destilada en una probeta limpia.
- e) Se agrega al peso de la muestra y se deja sedimentar un tiempo prudencial.
- f) Se lee el volumen final de la probeta

g) Finalmente se aplica la fórmula:

$$\text{Gra- Esp.} = \frac{\text{Peso de la muestra}}{(V_f - V_i)}$$

Otra manera de determinar la gravedad específica de sólidos, es mediante las pruebas directa de muestras chancadas y secas.

" Gravedad natural de la Roca Específica" es:

$$\text{Gra- Esp.} = \frac{D_m (1 - P_o)}{(1 - M_o)}$$

Donde:

D_m = gravedad específica de la materia mineral determinada por pruebas de muestras secas y chancadas

P_o = Porosidad en porcentaje de espacio entre poros a unidad de volumen.

M_o = Humedad en porcentaje de la pérdida de peso al secarse.

**ALGUNAS GRAVEDADES ESPECIFICAS DE LOS MATERIALES
MAS COMUNES**

MATERIALES	GRA- ESP.
Gilsonita	1.1
Carbon	1.4
Arena Silfsica	2.7
Calizas	2.7
Roca Fosf6rica	2.7
Concentrados de Cobre	4.3
Cuerpos de Fierro	4.9
Arenas Ferrosas	4.9

FUENTE: World Mining, Enero 1979

3.2.5. TAMAÑO GRANULAR DE LAS PARTICULAS SOLIDAS

Es un parámetro del cual depende la necesidad del proceso; por lo tanto debemos definir:

TAMIZADO : es el proceso de separar de una mezcla de diferentes tamaños de partículas ó granos, en grupos cuyas características de éstos granos ó - partículas sean más ó menos de un mismo tamaño, tal que su utilización sea factible en el transporte hidráulico de los sólidos.

El propósito del tamizado, molido ó el tamaño granular de las partículas tiene como fin:

- a) El grado de la rotura de la roca como por ejemplo el de las calizas empleadas para la fabricación de cemento; cuerpos de cobre para la flotación; concentrados de fierro para la pelletización que tienen un tamaño granular idealmente ajustado para el transporte hidráulico de la mezcla.
- b) Evitar la tendencia de las partículas gruesas de los sólidos a fijarse más rápidamente en el agua que las partículas finas por lo

que el máximo tamaño de las partículas de los sólidos será uno de los factores limitantes para mantener el flujo turbulento necesario para suspender éstas partículas y por consiguiente la velocidad mínima; la energía utilizada, así como también el minimizar al máximo el cambio de las tuberías.

- c) El performance del transporte de los diferentes tipos de rocas y minerales.

El análisis de todo este sistema es expresado en los cedazos de la ESCALA TYLER.

CEDAZOS DE LA

ESCALA TYLER Y SUS EQUIVALENCIAS

ESCALA TYLER	INGLES	METRICO
3.5	223 mil*	5660 microns**
4	187	4760
5	157	4000
6	132	3360
7 partículas	111	2830
8 gruesas	93.7	2380
9	78.7	2000
10	66.1	1680
12	55.5	1410
14	46.9	1190
16	39.4	1000
20	33.1	841
24 partículas	27.8	707
28 medias	23.4	595
32	19.7	500
35	16.5	420
42	13.9	354
48	11.7	297
60	9.8	250
65	8.3	210
80	7	177
100	5.9	149
115	4.9	125
150 partículas	4.1	105
170 finas	3.5	88
200	2.9	74
250	2.5	63
270	2.1	53
325	1.7	44
400	1.5	37

* mils = 0.001 pulgadas

** microns = 0.001 Milímetros

FUENTE: World Mining, Enero 1979

3.2.6. CLASIFICACION HUMEDA Y CONCENTRACION DE LOS SOLIDOS

CLASIFICACION.- es generalmente una operación en que - una masa conformada por partículas de diferentes tamaños y de diferentes gravedad específica permite ó causa sedimentación a través de un fluido que podría estar en movimiento ó en un absoluto reposo.

MODO, es también otro nombre de la misma operación en - que el fluido utilizado es generalmente el agua, aunque también podría utilizarse otros líquidos, aire ú otros gases.

Por consiguiente experiencias comunes del transporte a - largas distancias comerciales por tuberías han establecido el punto óptimo de la concentración de los sólidos por peso y volumen, y que han sido mostrados por la revista "Mining Magazine" de abril de 1972.

El espesamiento de la mezcla han sido manejada con un tamaño adecuado de las partículas sólidas que es inversamente proporcional a su gravedad específica.

La concentración de los sólidos de una mezcla con partículas gruesas es competitivamente menor en las tuberías que

en otros sistemas de transporte, comercialmente hablando, pues cerca del 20 a 40 por ciento de concentración en peso, sería la máxima capacidad de transporte, y que al ocurrir alguna obstrucción en las tuberías impide y no promueve el normal desenvolvimiento después de una parada de emergencia.

La clasificación húmeda es usada principalmente en la preparación de los minerales, hidrometalurgia y actualmente en el transporte hidráulico de los sólidos en tuberías, generalmente sus efectos finales son:

- a) El efecto de la separación de las arenas de los limos ó de las arenas gruesas ó gravas finas de las arenas finas o limos; esto no es más que una separación por la diferenciación básica de la gravedad específica de las partículas, esto se da más por la diferenciación del modo de ocurrencia.

- b) La separación de un gran rango de arenas conteniendo partículas de diferentes gravedades específicas en una masa característica ;por el hecho de que las partículas pesadas en un grado conocido, son relativamente muy pequeños comparados con los granos más ligeros.

c) La clasificación de un gran rango de las arenas compuestas de partículas generalmente de igual gravedad específica que esta dada generalmente por rangos muy pequeños.

Esto se rige por una serie de leyes que se podrían enumerar como sigue:

- 1) Las velocidades relativas de las partículas de una misma gravedad específica y de la misma forma en un líquido liviano, dependen del tamaño de las partículas y de la gran sedimentación que ocurre rápidamente.**
- 2) Si existen partículas del mismo tamaño pero de diferentes gravedades específicas, el fijamiento es proporcional a la gravedad específica.**
- 3) Si las partículas son del mismo peso pero de diferentes formas, las velocidades de fijamiento probablemente sean diferentes, las partículas esféricas son de un flujo más rápido; y las partículas tubulares más lento.**

- 4) La resistencia a la caída en un líquido liviano depende de la velocidad de caída de las partículas. La resistencia varía directamente con la velocidad cuando esta es baja, y con el cuadrado de la velocidad cuando esta es alta.
- 5) La velocidad de caída en un líquido liviano, ó de otros líquidos similares, varían con el cuadrado de los diámetros de las partículas cuando estas son muy pequeñas, y con un 50 por ciento cuando las partículas son relativamente grandes.
- 6) La resistencia a la caída de las partículas se incrementa con la densidad del líquido.
- 7) La resistencia a la caída de las partículas se incrementa con la viscosidad del líquido, este incremento es relativamente mayor en las partículas pequeñas.

FORMULA PARA LA CAIDA DE LOS CUERPOS MINERALIZADOS.-

Cuando un cuerpo cae en un vacío bajo la influencia de solamente la gravedad, esta velocidad "v" en una distancia "h" desde un punto de partida viene a ser representada por

La ecuación:

$$v = \sqrt{2 g h}$$

Inspeccionando la ecuación mostrada la velocidad en cualquier punto; depende solamente del punto de partida de la partícula.

Cuando una partícula cae en un medio líquido, ésta encuentra una resistencia que es función de la velocidad; la velocidad sólo se incrementa hasta una fuerza de resistencia que es el empuje gravitacional, después de esto, las partículas caen a una velocidad constante.

La naturaleza de la resistencia interfiere con la velocidad del cuerpo. Cuando la velocidad es baja, no hay una considerable perturbancia esto es que una parte del líquido está sobre el cuerpo por el paso de las partículas; la partícula ó capa del líquido en contacto, cuando la partícula se mueve; ésta tiene una velocidad que no es la necesaria para llevar todas las partículas aglomeradas, ya que ésta es un recorrido a una distancia corta y luego quedará en reposo. Sustancialmente toda la resistencia al movimiento es debida a la viscosidad del líquido, ésta es llamada RESISTENCIA DE VISCOSIDAD.

Cuando la velocidad del cuerpo es alta, la resistencia principal es ofrecida por el líquido del cuerpo desplaza-

do por el recorrido de de las partículas. La energía cinética impartida al líquido desplazado es disipada por el arremolinamiento y la turbulencia, dichas resistencias son llamadas RESISTENCIA DE ARREMOLINAMIENTO Y RESISTENCIA-TURBULENTO,

En altas ó bajas velocidades la aceleración de caída decrece rápidamente y el cuerpo rápidamente tiende a llegar a su velocidad terminal.

La ley de STOKES para cuerpos esféricos para una resistencia viscosa es:

$$R = 3 \pi D u v *$$

La ley de NEWTON para una resistencia turbulenta esta dada:

$$R = K f D^2 v^2 **$$

Donde:

R = Resistencia del medio

u = Viscosidad del medio

f = Densidad del medio

D = Diámetro de la partícula esférica

v = Velocidad con respecto al medio.

Estas ecuaciones son demostradas con resultados experimen-

tales.

FUNCION DE CASTLEMAN, Castleman *** muestra los datos experimentales de la caída de las esferas en varios líquidos correlacionando las leyes de STOKES, NEWTON y si éstos resultados son expresados en función de la resistencia- S , queda de la forma:

$$S = \frac{2 g D (\delta - \rho)}{3 \rho v^2}$$

Donde:

g = Constante gravitacional

δ = Gravedad específica de los sólidos

De lo mostrado se concluye que:

$$S = f(N)^+$$

Donde:

N = Número de Reynolds

Donde esto está relacionado con las propiedades del sistema por la siguiente ecuación:

$$N = \frac{D v \rho}{\mu}$$

Para el propósito del uso de las relaciones prácticas y combinando las fórmulas anteriores se obtiene la siguiente fórmula:

$$T = N^2 S = \frac{2g \rho D^3 (\sigma - \rho)}{3 u^2}$$

La fuerza de Gravedad "F" actuando en una partícula esférica sumergida en cualquier líquido es:

$$F = \frac{1}{6} g \pi D^3 (\sigma - \rho)$$

En el equilibrio de las velocidades, donde la ley de STOKE es aplicado:

$$R = F$$

De donde se obtiene:

$$v = \frac{g D^2 (\sigma - \rho)}{18 u}$$

De éstas ecuaciones se concluye de que para un rango en el cual se pueda aplicar la ley de STOKE la relación entre N y T podría ser la siguiente:

$$T = 12 N$$

Similarmente, cuando la velocidad terminal ha sido alcanzada y la ley de NEWTON es aplicada:

$$R = F$$

De donde se obtiene:

$$v = \frac{g \pi D (\rho - \rho')}{6 K}$$

De la ecuación resuelta podemos concluir que para un rango en el cual se cumpla la ecuación de NEWTON se obtendrá la siguiente relación entre T y N que es:

$$T \text{ directamente proporcional } N^2$$
$$T \sim N^2$$

* 9 PT II TRANS. CAMB. PHIL. SOC. 21

** Mathematical Principles of Natural Philosophy Book II

*** TECH.. NOTA. 321 NACA

+ 174 PHIL. TRANS. ROY. SOC. LONDRES 935

3.2.7. TIPOS DE MEZCLAS

Las partículas sólidas suspendidas en el agua con un acercamiento a ser un fluido mediano y homogéneo, es una particularidad tomada solamente para el propósito del transporte en tuberías. La química natural nos permite una clara separación de las fases líquido y sólido; de otra manera, la pérdida de sólidos en el agua podría hacer impracticable el transporte en tuberías.

Las propiedades importantes de la mezcla para el diseño de las tuberías principalmente son: la concentración de los sólidos, el tipo de flujo y la velocidad del flujo.

La concentración de los sólidos es expresado en peso y es el principal parámetro que se selecciona entre otras; para el diseño de la tubería. A continuación algunas características:

$C (W)$	= fracción de sólidos en peso
$1 - C (W)$	= fracción del líquido en peso
$C (v)$	= fracción de sólidos en volumen
$1 - C (v)$	= fracción del líquido en volumen
$S (s)$	= gravedad específica de los sólidos.
$S (l)$	= gravedad específica del líquido = 1.0 (agua)
$S (m)$	= gravedad específica de la mezcla

Calcular : S (m)

Conociendo: C (v) y S (s)

$$\text{gravedad específica} = \frac{\text{Peso de la Mezcla}}{\text{Volúmen de la Mezcla}}$$

$$\text{peso de la mezcla} = C (v) S (s) + [1 - C (v) S (1)]$$

$$\text{Volúmen de la mezcla} = C (v) + [1 - C (v)] = 1$$

pero: S (1) = 1

entonces: S (m) = C (v) S (s) + 1 - C (v)

$$S (m) = C (v) [S (s) - 1] + 1$$

$$C (v) = \frac{S (m) - 1}{S (s) - 1}$$

Calcular: C (w)

Conociendo: C (v), S (s), S (m)

$$C (w) = \frac{\text{Peso de los sólidos}}{\text{peso de la mezcla}}$$

peso de los sólidos = C (v) S (s)

peso de la mezcla = [C (v) + [1 - C (v)]] S (m)

$$C (w) = \frac{C (v) S (s)}{S (m)}$$

$$C (w) = \frac{S (m) - 1 S (s)}{S (s) - 1 S (m)}$$

$$S(m) = \frac{S(s)}{S(s) - C(w) [S(s) - 1]}$$

Calcular: $S(m)$

Conociendo: $S(s)$, $C(w)$

$$\text{Radio de dilución} = \frac{1 - C(w)}{C(w)} = DR$$

$$S(m) = \frac{1 + DR}{DR + \frac{1}{S(s)}}$$

3.2.7.1. MEZCLA HOMOGENEA

Este tipo de mezcla conceptualmente es ideal y es aquella que se compone de partículas completamente uniformes, de un mismo líquido ó gas; tal como el agua, aceite, benceno, petróleo, etc.

3.2.7.2. MEZCLA HETEROGENEA

Este es el tipo de mezcla que mayormente se conoce y generalmente esta compuesta de uno ó más elementos, tales como las partículas sólidas y líquidas.

3.2.7.3. TIPOS DE FLUJOS

Mezclas con partículas sólidas colocadas en contraste con

las suspensiones plásticas y coloidales que quedan homogéneamente neutralizadas, requieren de un grado de turbulencia tal que durante el flujo en la tubería pueda mantener las partículas en suspensión.

a) FLUJO EN SUSPENSION HOMOGENEA

Las partículas sólidas son distribuidas casi homogéneamente en la sección de la tubería, éstas viajan a una misma velocidad con el fluido, no existiendo gradientes de concentración local en un plano perpendicular al flujo y el comportamiento hidráulico de la mezcla es muy similar a la de un líquido puro.

Este método de transporte es aplicable a materiales finos, a la ley de STOKES, CONDOLIOS Y CHAPIUS que indican una gravedad específica de 2.65 y un tamaño máximo de 200 micrones.

b) FLUJO EN SUSPENSION HETEROGENEA

Algunas mezclas con partículas de alta gravedad específica y tamaños de malla muy gruesa tienden hacia la concentración de éstos en el fondo de la tubería. Estos tipos de mezclas requieren una alta turbulencia para mantener las partículas sólidas en suspensión, porque de otra manera tenderían ésta a mantenerse en el fondo de las tuberías.

Este es el llamado flujo heterogéneo; pues la mezcla no es uniforme en toda la sección de la tubería.

Entonces el flujo de la mezcla en saltación se denomina cuando la fuerza de gravedad prevalece y fracción de las partículas sólidas de la mezcla se fija en el fondo de la tubería, siendo ésta una condición muy peligrosa por los atoros que pueden causar en la tubería.

c) FLUJO EN SUSPENSION HETEROGENEA-SALTACION

Esta es una combinación de los flujos anteriores; las partículas más pesadas son transportadas ya sea dando saltos, rodando ó deslizándose por el fondo de la tubería, mientras que las más finas se mantienen en suspensión, el flujo se presenta entonces como una nube de partículas desplazándose a una velocidad distinta a la del fluido por el fondo de la tubería y otra nube en suspensión desplazándose por encima de ella.

El proceso de la depositación de las partículas provoca una disminución del área de flujo, con el consiguiente aumento de la velocidad; por lo tanto deberá de reforzarse la capacidad

del fluido portante para así mantener la mayoría de las partículas en movimiento. Este proceso puede estabilizarse si la fuerza motriz es capaz de trabajar en éstas condiciones exigidas, y si ella está limitada; el proceso de depositación se acelera produciéndose una obstrucción total en la tubería de transporte. Este proceso es aplicable, según la ley de RITTINGERS para partículas de una gravedad específica de 2.65 y tamaño de máximo de dos milímetros de diámetro.

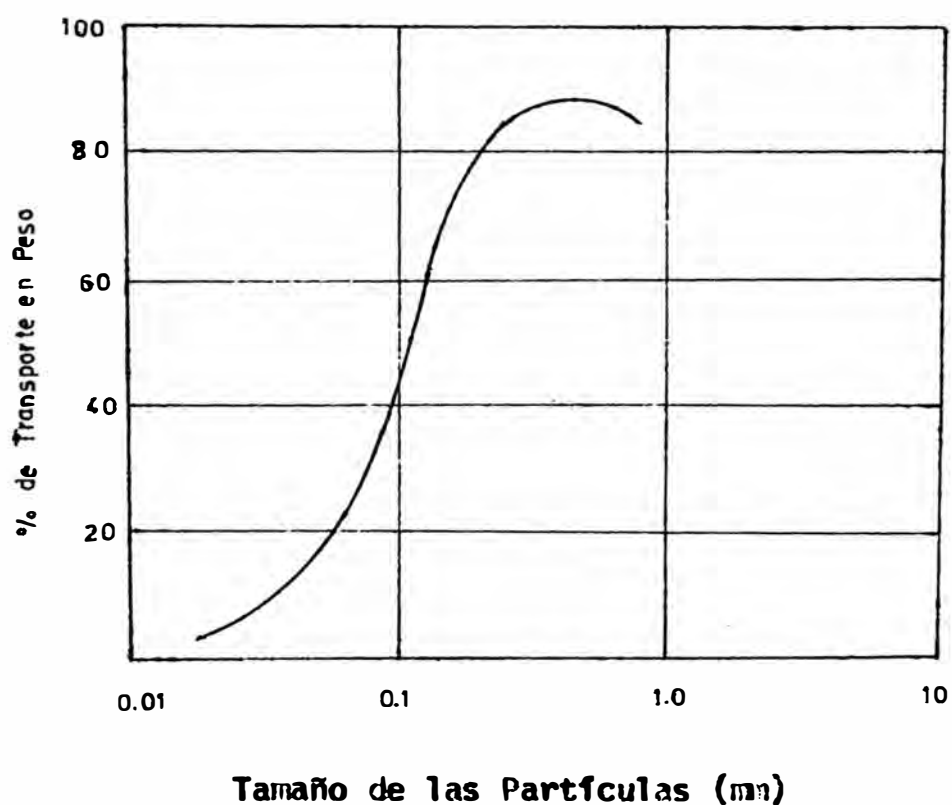
**TIPICA CONCENTRACION DE SOLIDOS PARA EL TRANSPORTE HIDRAULICO EN
TUBERIAS**

MATERIAL	GRAVEDAD ESPECIFICA	PORCENTAJE DE SOLIDOS		MAXIMO TAMANO	MAXIMA MALLA
		EN PESO	EN VOLUMEN		
Gilsonita	1.05	40 - 45	39 - 44	4700 micros	4
Carbón	1.40	45 - 55	37 - 47	2300	8
Calizas	2.70	60 - 65	36 - 41	310	42
Cobre	4.30	60 - 65	26 - 30	230	65
Magnetita	4.90	60 - 65	23 - 27	150	100

FUENTE: Mining Magazine, Abril 1972

DISTRIBUCION TIPICA DE LOS TAMAÑOS DE LAS PARTICULAS

ESCALA TYLER	MICRONS	PORCENTAJE EN PESO	PORCENTAJE DE TRANSPORTE
- 65 mts	210	9	100
80	177	16	91
100	149	32	75
150	105	13	43
200	74	12	30
270	53	10	18
325	44	8	8
		100	



3.2.7.4. MECANISMOS DE SUSPENSION

Experimentaciones en plantas pilotos intentando analizar en forma paralela los mecanismos que permitan explicar la suspensión de las partículas sólidas; conceptualmente se ha llegado a concluir de siguiente manera:

- a) Suspensión por la gradiente de la velocidad en las paredes de la tubería; se ha comprobado la existencia de una fuerza radial en las partículas resultante de la tendencia a girar sobre sí misma; ya que éstas están en un flujo con una fuerte gradiente de velocidades, cosa que ocurre en las paredes de la tubería. Estas fuerzas tienden a impulsar las partículas hacia el centro de la tubería y produce el efecto de un colchón que impediría al menos a las partículas más livianas alcanzar la superficie del fondo de la tubería.

- b) Suspensión por difusión turbulenta de las partículas; esta teoría postula que al existir una cantidad de movimiento perpendicular al flujo, provocada por la turbulencia; también se creará una transferencia del material perpendicular al flujo, que para un flujo bifá-

sico se traducirá en una difusión de las partículas sólidas.

3.2.7.5. CONCEPTOS TEORICOS BASICOS

El transporte hidráulico de los sólidos es susceptible a ser modelado matemáticamente en forma rigurosa; pero las ecuaciones resultantes son matemáticamente complejas e incompletas a la luz del conocimiento actual.

a) MODELO DE LAS SUSPENSIONES MUY DILUIDAS

Este modelo deprecia la interacción de las moléculas entre las partículas sólidas, permitiendo así determinar el movimiento de cualquier elemento fluido, así como el de las partículas sólidas mismas. Evidentemente dicho modelo no presenta utilidad en el estudio del transporte hidráulico de los sólidos pues industrialmente se desea que las concentraciones de trabajo sean las más elevadas posibles.

b) MODELO DE LAS SUSPENSIONES PSEUDO-HOMOGENEAS

Este es un modelo que tiene una correlativa viscosidad con el fluido plástico de BINGHAM y paralelamente con el agua; entonces este-

modelo idealiza la suspensión considerándola en forma global como un fluido de propiedades distintas a las del fluido portante; integrando la ecuación de continuidad para una densidad media de la mezcla y la ecuación de momentum a partir de la Ley Reológica de la mezcla.

$$\frac{df}{f} + \frac{dv}{v} + \frac{dA}{A} = 0$$

$$m v = \text{cte}$$

c) MODELO GENERAL DE ANDERSON Y JACKSON

Este modelo parte de una integración de la ecuación básica de CAUCHUY, suprimiendo la existencia de un volumen infinitesimal que tenga un número de partículas que permitan realizar promedios locales ponderados y considera que existe una ecuación constitutiva para los elementos sólidos por separado.

d) MODELO BIFASICO DE WALLIS

Este modelo es muy similar en conclusiones y en planteamiento que el modelo de ANDERSON Y JACKSON , presenta un desarrollo de las ecuaciones de momentum por separado, para el lí-

quido y para el sólido, posteriormente, establece un equilibrio de las fuerzas de interfase.

La ecuación de momentum para un fluido puro en una tubería horizontal resulta ser:

$$\frac{d \left(\rho + \frac{\rho v^2}{2} \right)}{dx} + \frac{4 \mathcal{J}_w}{D} = 0$$

Donde:

$$\mathcal{J}_w = C_f \frac{v^2 \rho}{2}$$

$$C_f = C_f (Re, \text{Rugosidad})$$

Para un flujo bifásico debera de plantearse:

Fluido :

$$\frac{d \left(\rho + \frac{\rho_f v_f^2}{2} \right)}{dx} - F_f = 0$$

Sólido:

$$\frac{d \left(\rho + \frac{\rho_s v_s^2}{2} \right)}{dx} - F_s = 0$$

Si suponemos que las partículas son finas y su velocidad es muy similar a la del fluido, las fuerzas superficiales se pueden descomponer:

$$f_f = (f_f)_s + (f_f)_w$$

$$f_s = (f_s)_f + (f_s)_w$$

Como los efectos de las fuerzas interfaciales se cancelan entonces se obtiene:

$$\alpha (f_s)_f + (1 - \alpha) (f_f)_s = 0$$

Y suponiendo que las partículas sólidas se comportan esencialmente como partículas líquidas.

$$(f_s)_w \rightarrow \frac{\rho_s}{\rho_f} (f_f)_w$$

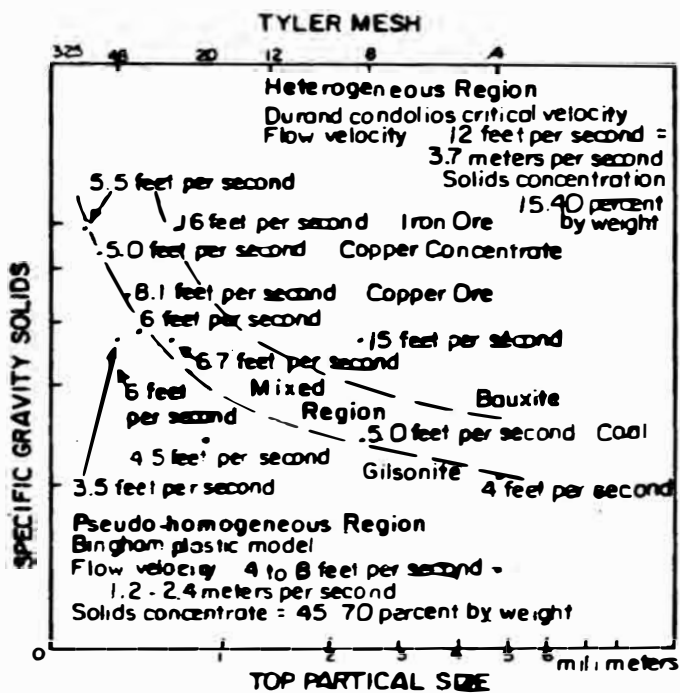
Se puede llegar entonces a la ecuación del momentum de la mezcla:

$$\frac{d \left(P + \frac{\rho_m v^2}{2} \right)}{dx} - K \frac{\rho_m}{\rho_f} (f_f)_w = 0$$

Donde:

$$- (f_f)_w = C_f \frac{v^2 \rho}{2}$$

Luego comparando ésta ecuación con la de un fluido puro, se puede concluir que la resistencia al flujo de una mezcla es igual a la resistencia al flujo del fluido portante ponderada en forma lineal por la concentración y dependiente de las características del sólido.



FUENTE: WORLD MINING UNIVERSITY NACIONAL DE INGENIERIA

DIBUJADO: V. C. S.

TIPOS DE FLUJOS EN LAS MEZCLAS

Vº Bº : V. R. M. V.

ESCALA : SIN ESCALA

FECHA : JUNIO 1982

3.2.8. DUREZA DE LOS SOLIDOS

Se denomina Dureza a la resistencia que ofrece la superficie lisa de un mineral a ser rayada. El grado de dureza viene a ser determinada por la observación de la facilidad ó dificultad relativa con que un mineral es rayado por otro ó por una lima ó punta de acero. La dureza de un mineral puede entonces decirse que es su "arañabilidad". Esta propiedad de los sólidos es considerada en una mezcla de materiales como un parámetro esencial para los efectos de los cálculos de la vida de las bombas y tuberías usadas en el transporte de sólidos ya que están seleccionadas para una vida útil de trabajo de 5 á 20 años ó más. Por lo tanto se utilizan revestimientos adecuados resistentes a la abración como son: Caucho, cerámicas, plásticos elásticos resistentes ó materiales con superficies duras. Las escalas usadas comunmente en la mezcla de materiales, es la Escala de MOHS y el número de MILLER. La Escala de MOHS, mide la propiedad de los minerales conocidos por medio del rayado, ésta escala determina por comparación la dureza relativa; ésta es una serie de diez minerales conocidos.

ESCALA DE MOHS

- 1.- Talco**
- 2.- Yeso**
- 3.- Calcita**

- 4.- Fluorita
- 5.- Apatito
- 6.- Ortosa
- 7.- Cuarzo
- 8.- Topacio
- 9.- Corindón
- 10.- Diamante

El número de Miller, es aquella dureza que se le asigna para las evaluaciones abrasivas de los minerales después de examinar el desgaste del metal de una tubería de acero suave.

El número de Miller también muestra pues una segunda evaluación que indica el desgaste ó disgregación durante el transporte en la tubería; pero ésto no es una norma generalizada para todos los materiales.

ESCALA DE DUREZA PARA LOS MATERIALES A GRANEL

ESCALA DE MOHS		Número de Miller	
	Apróximaciones a la Escala de Mohs	Abrasivos y Sedimentarios	
1.- Talco	Bentonita, grafito	Carbón, malla 30	11- 3
2.- Yeso	Potacio, Carbon	Lignito	13
3.- Calcita	Bauxita, Baritina	Calizas	14- 12
4.- Fluorita	Asbestos	Carbon, malla 16	21 - 7
5.- Apatito	Magnetita	Magnetita	67- 4
6.- Ortoza	Hematita	Concentrado de Cobre	128- 0
7.- Cuarzo	Taconita, sílice	Fosfatos	133- 12
8.- Topacio		Pirita	194- 4
9.- Corindón		Calcopirita	436- 22
10.-Diamante			

FUENTE: 011 Well Div., U.S. Steel

World Mining, Enero 1979

3.2.9. FLUJO HIDRAULICO Y TURBULENTE

Hidráulica; como anteriormente se habfa definido es la aplicación práctica de la mecánica de flufdos, generalmente, ésta se ha desarrollado a lo largo de métodos experimentales ó empíricos; de datos y principios de la energía que se aplican en la solución práctica de los problemas de flujos en tuberías, debido a éste preámbulo tenemos entonces éstas dos clases de flujos.

Flujo hidráulico ó laminar; en el cual las partículas flufdas se mueven en trayectorias paralelas, formando el conjunto de ellas capas ó láminas. El flujo laminar ésta gobernada por la ley que relaciona la tensión cortante con la velocidad de deformación angular, donde la viscosidad del flufdo μ es la magnitud física predominante y su acción amortigua cualquier tendencia a la turbulencia.

Este concepto es aplicable al transporte de los sólidos dentro de las condiciones del flujo homogéneo reconociendo la gravedad específica y la viscosidad de la mezcla a transportar.

Flujo turbulento; es en el cual las partículas flufdas-sólidas se mueven en forma desordenada en todas direcciones siendo imposible conocer la trayectoria de las partículas sólidas individualmente; en éste flujo los granulos gruesos con una gravedad específica mayor que el agua,

tienden a fijarse; y con una velocidad de fijamiento directamente proporcional a la gravedad específica y al tamaño de las partículas. Sin embargo para transportar sólidos debemos de tener un flujo turbulento que en condiciones laminares permita el transporte; ya que la turbulencia arremolina las partículas ayudándolas a mantenerse en suspensión. Para el transporte de sólidos ó agua, en el cual necesitamos la transición del flujo laminar al turbulento, esta indicada por un parámetro adimensional llamado el NUMERO DE REYNOLDS que los datos experimentales indican que esta cerca de 2300.

Número de Reynolds; que es un número adimensional que es la relación dada entre las fuerzas de inercia y las fuerzas debidas a la viscosidad.

Número de Reynolds:

$$R = \frac{m a}{\mathcal{T} A} = \frac{m a}{u \left(\frac{dv}{dy} \right) A} = \frac{\rho L^2 v^2}{u \left(\frac{v}{L} \right) L^2}$$

$$R = \frac{v D \rho}{u}$$

m = masa

a = aceleración

\mathcal{T} = tensión cortante

v = velocidad de flujo

ρ = densidad del fluido

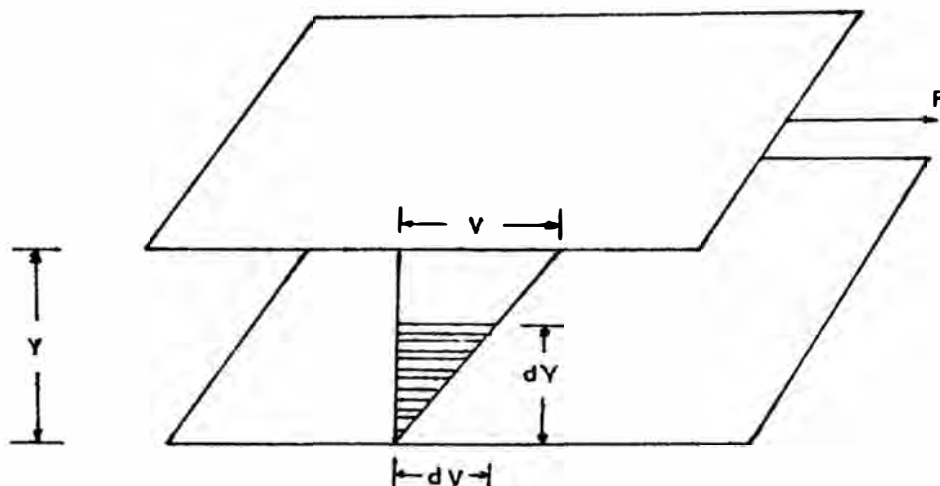
D = diámetro de la tubería

μ = viscosidad del fluido

L = representación dimensional del diámetro

3.2.10. VISCOCIDAD

Esta es una propiedad que determina la resistencia del fluido a las fuerzas cortantes.



De las propiedades geométricas :

$$\frac{v}{y} = \frac{dv}{dy}$$

$$F \propto \frac{v A}{y}$$

$$\tau = \frac{F}{A}$$

$$\frac{F}{A} \propto \frac{v A}{y}$$

$$\bar{\tau} = u \frac{dv}{dy}$$

$$u = \bar{\tau} / \left(\frac{dv}{dy} \right)$$

Donde: u = viscosidad absoluta

$\bar{\tau}$ = Tensión ó esfuerzo de corte

La última fórmula es la referente a la viscosidad absoluta cuyas unidades son:

Sistema M.K.S.

$$\frac{\text{Kg. Seg}}{\text{mt}^2}$$

Sistema C.G.S.

$$\frac{\text{dina . Seg.}}{\text{Cm}^2} \quad (\text{POISE})$$

Viscosidad cinemática, ésta se define como la razón de la viscosidad absoluta a la densidad.

$$\text{Viscosidad Absoluta} = \frac{\text{Viscosidad Absoluta}}{\text{Densidad}}$$

Donde sus unidades son:

Sistema M.K.S.

$$\frac{mt^2}{seg}$$

Sistema C.G.S.

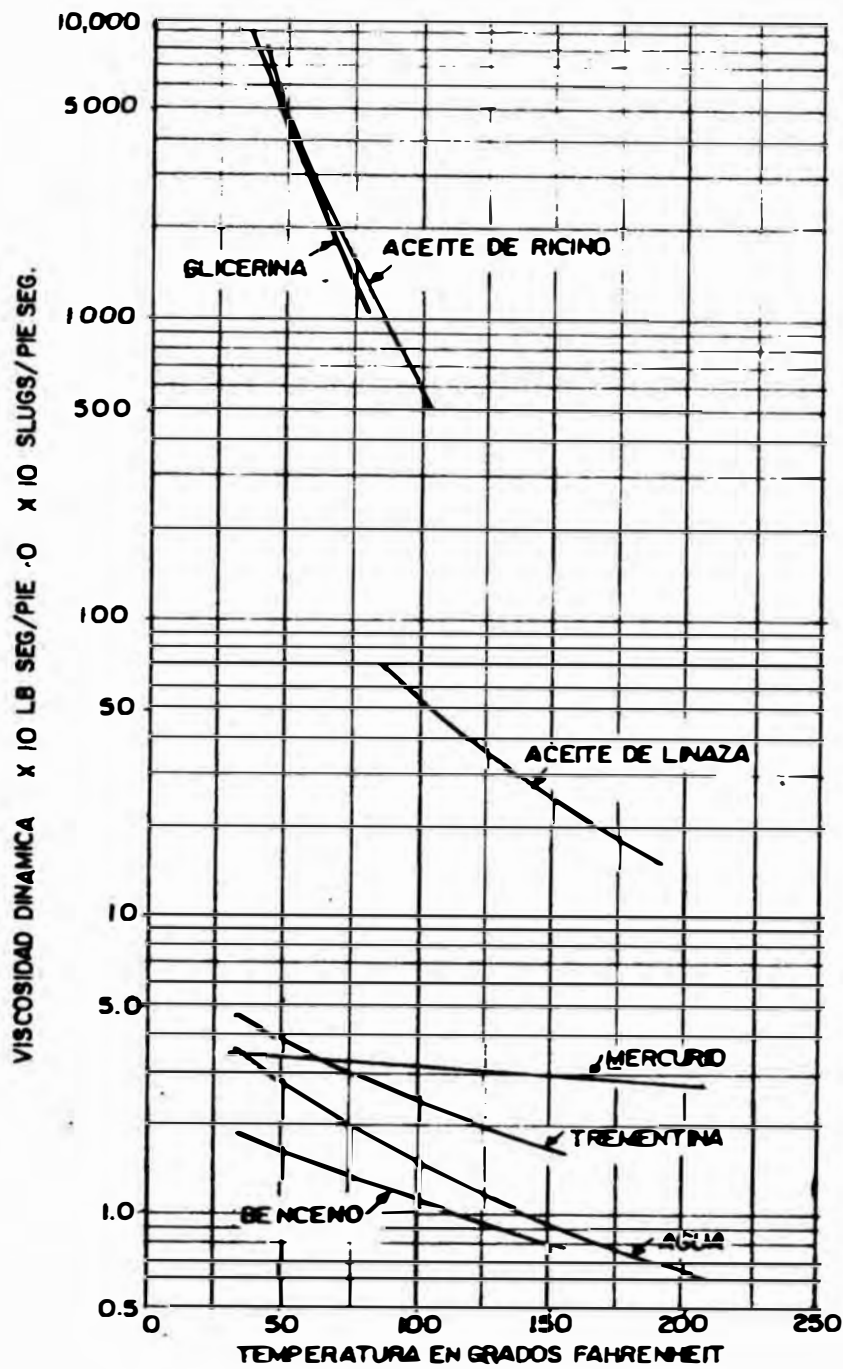
$$\frac{Cm^2}{Seg} \quad (STOKE)$$

La viscosidad del agua varía desde dos centipoise a una temperatura muy baja hasta 0.3 centipoise cerca del punto de ebullición. Para los cálculos se utiliza una viscosidad promedio de 1.1 centipoise a una temperatura de 16°C.

Pruebas sobre muestras de mezclas comerciales han establecido parámetros debajo de 20 centipoise para altas concentraciones de sólidos , un 60 por ciento en peso para los cuerpos de fierro de una gravedad específica de 4.9 y para calizas de gravedad específica 2.7.

El nivel de viscosidad es de gran ayuda para mantener los sólidos en suspensión antes de ser penalizado por el incremento de la resistencia a un flujo más alto que el agua.

Esta afirmación ha sido proporcionada por la QUEEN'S UNIVERSITY DE KINGSTON, Canadá. Todos conocemos que los sólidos están en su totalidad suspendidos por un flujo turbulento,



FUENTE: SMITHSONIAN PHYSICAL

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

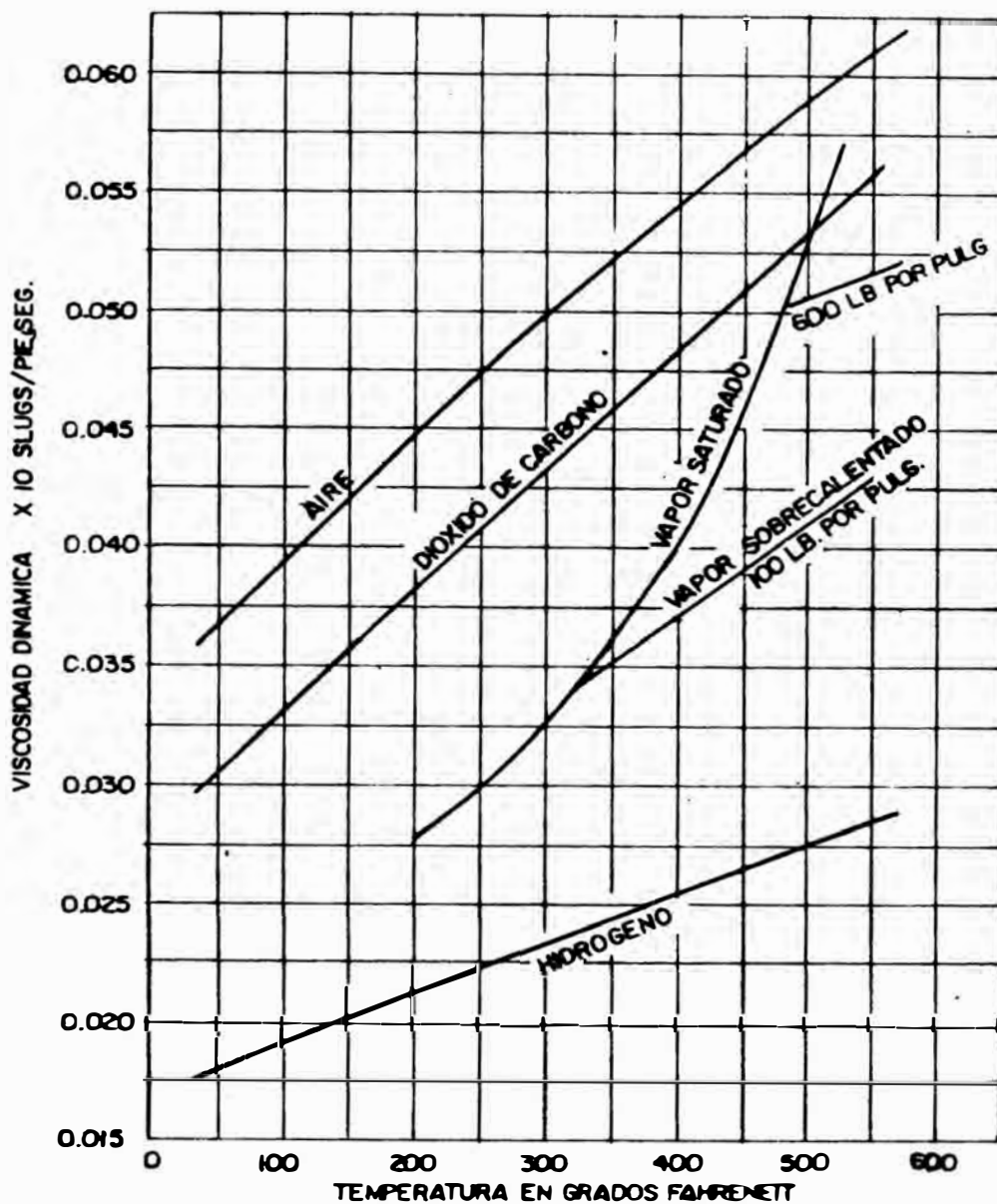
DIBUJADO: V. C. S.

VISCOSIDAD DINAMICA DE ALGUNOS LIQUIDOS

VºBº: V. R. M. V.

ESCALA: SIN ESCALA

FECHA: JUNIO 1982



SMITHSONIAN FUENTE: PHYSICAL TABLES	UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA	
DIBUJADO: V. C. S.	VISCOSIDAD DINAMICA DE ALGUNOS GASES A LA PRESION ATMOSFERICA Y DEL VAPOR.	
VºBº : V. R. M. V.		
ESCALA : SIN ESCALA	FECHA : JUNIO 1982	

por la gradiente de presiones(que indican la resistencia al flujo) y esto equivale a tener un líquido de una densidad equivalente al de la mezcla.

Las mezclas pseudohomogéneas operan sobre el punto de presión; del campo donde el flujo laminar cambia a flujo - turbulento. Las mezclas heterogéneas operan sobre la velocidad crítica a la cual los sólidos tienden a fijarse en la tubería.

3.2.11. RESISTENCIA AL FLUJO

Los flujos de agua entuberías dan siempre una pérdida de carga por fricción a lo largo de la tubería,

En un flujo laminar la velocidad uniforme que lleva hace que la fricción sea casi nula; y desde una altura conveniente, éstos fluyen fácilmente.

En un flujo turbulento, en otras palabras; una gran presión de carga se necesita para generar los remolinos de turbulencia que se activarán más con las altas velocidades del flujo.

3.2.11.1. PERDIDA DE CARGA POR FRICCIÓN

La pérdida de carga de un flujo sólido-líquido tiene un comportamiento diferente al de un fluido puro, y esta

diferencia está en función de la concentración, el tipo de las partículas y las velocidades de flujo.

El aumento de la concentración de la mezcla implica un aumento de la pérdida de carga. El aumento de la velocidad homogeniza la suspensión, haciéndose similares las pérdidas de carga de las mezclas con las pérdidas de carga de un líquido puro, teniendo como fundamento teórico el aumento de la cantidad de movimiento de las partículas dando como una consecuencia de que la viscosidad sea constante e independiente del radio del esfuerzo de corte.

Si la velocidad disminuye, el proceso de sedimentación provoca un aumento de la pérdida de carga de la mezcla. La forma práctica de correlación de la pérdida de carga de las mezclas para problemas de transporte de sólidos en tuberías ha sido definida por muchos autores.

Por ejemplo algunos aceptan que la pérdida de carga es aproximadamente igual a la pérdida de carga del agua limpia siempre y cuando la densidad de la mezcla sea menor que 1800 gramos por litros.

En cambio otros autores entre ellos la publicación de la "THE TRANSPORTATION OF SOLIDS IN STEEL PIPELINES" de la COLORADO SCHOOL OF MINES, aceptan fórmulas diferentes que son funciones de varias características de la mezcla y del fluido, que resulta una pérdida de carga

mucho mayor que la del agua limpia. Dichas fórmulas son tan empíricas que requieren de realizar ciertos experimentos en el laboratorio para poder aplicarlos como por ejemplo; la sedimentación de las partículas sólidas de la mezcla, por lo tanto éstas son muchas veces difíciles de aplicar en el diseño del transporte de sólidos, ya que muchas veces en el momento del cálculo no se conoce realmente la mezcla ni sus características con -- exactitud; por lo tanto dicha publicación indica algunas pérdidas de fricción para diferentes tipos de mezcla que por correlación podrían indicarnos un factor de corrección que multiplicada por la pérdida de carga del agua limpia nos dará una pérdida de carga de la mezcla muy aproximada.

Por lo tanto para los problemas prácticos de la pérdida de carga en tuberías por fricción se utiliza la Ecuación de DARCY-WEISBACH y la derivación de éstos con datos experimentales que es la ecuación de HAZEN & WILLIAMS; expresada como:

$$h(f) = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g}$$

Donde:

$h(f)$ = pérdida de carga

f = factor de fricción
(generalmente experimental y dimensional)

L = longitud de la tuberfa

D = diámetro de la tuberfa

v = velocidad del flujo

g = aceleración de la gravedad

El flujo Q se expresa como sigue:

$$Q = \frac{\pi D^2 v}{4}$$

$$v = \frac{4 Q}{\pi D^2}$$

Donde:

$$h(f) = f \frac{L}{2 gD} + \frac{16 Q^2}{\pi^2 D^2}$$

Reemplazando con los datos experimentales la ecuación anterior de HAZEN & WILLIAMS quedará como sigue:

$$f = 0.2083 \left(\frac{100}{C} \right)^{1.85} \frac{Q^{1.85}}{D^{4.8655}}$$

Donde:

f = pérdida de carga

C = constante de la tuberfa

D = diámetro interno de la tuberfa

Q = Caudal ó gasto

Muchas veces teniendo en cuenta las tablas las fórmulas

empíricas podemos llegar a encontrar valores teóricos muy próximos a los datos reales que debemos utilizar. Los valores de "C" de la fórmula de Hazen & Williams más comunes son 100 y 140 que son generalmente usados en el transporte de agua potable.

En la ingeniería del transporte de sólidos entuberías éstas tiene normalmente una alta evaluación de "C". Los factores más comunes aplicados al diseño de las tuberías son mostrados generalmente en tablas especialmente confeccionadas para la resolución de nuestros - problemas.

La tabulación de las pérdidas de carga son evaluadas en pies por cada 100 pies ó en metros por cada 100 metros obtenidos experimentalmente de la fórmula de Hazen & Williams usando tuberías de 24 pulgadas de diámetro y de acero, con "C" igual a 100.

Pero para facilitar el trabajo práctico existen ya tablas preparadas por el "HIDRAULIC INSTITUTE" de los Estados Unidos y la "INGERSOLL RAND'S CONDENSED HYDRAULIC DATA" que calcula la pérdida de carga a partir del caudal en la tubería.

VALORES DE "C", DE LA FORMULA DE HAZEN & WILLIAMS

MATERIAL DE LA TUBERIA	TUBERIA BUENA Y LIMPIA	TUBERIA USADA
Soldadas, sin costura	140	100
Fierro fundido	130	100
Concreto	120	100
Cemento, asbestos	150	140
Plásticos y fibras de vidrio	150	140
Canaletas de madera	130	110

FUENTE: Clarkson Co., Engineering Bull., 100- 6.0 - 2

**PERDIDA DE CARGA POR FRICCION EN UNA TUBERIA DE 24 PULGADAS DE
DIAMETRO**

Galones por minuto	Litros por segundo	Pie por segundo	Metro por segundo	Pérdida de carga
2000	126	1.42	0.43	0.05
2700	170	1.92	0.58	0.09
3400	214	2.41	0.73	0.14
4200	265	2.99	0.92	0.20
4800	303	3.41	1.04	0.26
5500	347	3.91	1.19	0.33
6200	391	4.41	1.34	0.41
7600	479	5.40	1.65	0.60
8300	523	5.90	1.80	0.71
9000	568	6.40	1.95	0.82
10000	631	7.11	2.17	1.00
11000	694	7.82	2.38	1.19
12000	757	8.55	2.61	1.40
13000	820	9.25	2.82	1.63
14000	883	9.95	3.03	1.82

FUENTE: World Mining , Enero 1979

3.2.11.2. VELOCIDAD LIMITE DEL FLUJO

Este es un parámetro básico que determina el rendimiento y la seguridad del movimiento de la mezcla.

Existen muchas definiciones acerca de la velocidad límite como por ejemplo el paso de la suspensión heterogénea al arrastre de fondo, el punto de la mínima pérdida de carga, etc; pero la definición más adecuada y más útil es: "la velocidad a la cual se empieza a observar una depositación de partículas en el fondo de la tubería por períodos importantes (formación de dunas móviles) ó es la velocidad por debajo de la cual toda turbulencia es amortiguada por la acción de la viscosidad del fluido".

Teniendo en consideración la importancia que tiene este parámetro en el diseño del transporte de sólidos en tuberías, debemos de tener dos consideraciones importantes; primero, que esta debe de producir la suficiente turbulencia para mantener las partículas sólidas en suspensión. Segundo, debe ser la mínima para evitar fricciones y atoros en la tubería.

Las mezclas pseudohomogéneas son capaces de proveer la suficiente turbulencia para suspender las partículas sólidas a una relativa velocidad de flujo bastante baja (1.8 mt. por seg.), como se sabe éstas mezclas tienen

una viscosidad que decrece dependiendo del radio del-
esfuerzo de corte.

Analizando el fundamento teórico de la velocidad lími-
te, se determina que sobre una partícula en un flujo
turbulento actúan tres fuerzas principales:

- a) Fuerza gravitacional F
- b) Fuerza de flotación $F_e (-F)$
- c) Fuerza de frotamiento F_D

Luego según NEWTON:

$$F_{\text{total}} = m \frac{dv}{dt}$$

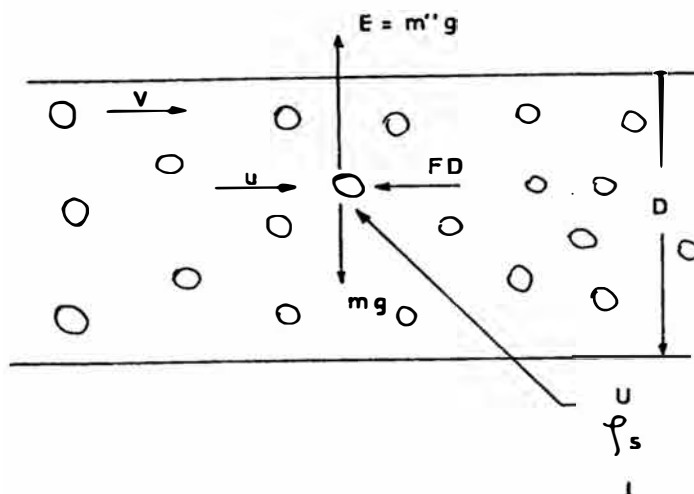
$$F - F_e - F_D = m \frac{dv}{dt}$$

$$F = mg$$

$$F_e = m'' g$$

$$F_D = m'' \frac{du}{dt}$$

$$F_D = m'' \frac{du}{dt} + U \frac{dm''}{dt}$$



$$U = Kv$$

$$m'' = U \rho = A \rho l$$

$$\frac{dm''}{dt} = \rho A \frac{dl}{dt}$$

$$FD = \rho A l K \frac{dv}{dt} + Kv \rho A \frac{dl}{dt}$$

$$\frac{dl}{dt} = v$$

$$FD = \rho A l K \frac{dv}{dt} + K \rho A v^2$$

$$mg - m''g - \rho A l K \frac{dv}{dt} - K A \rho v^2 = m \frac{dv}{dt}$$

$$mg - m''g - K A \rho v^2 = 0$$

$$m = U \rho_s$$

$$m'' = U \rho$$

$$Ug (\rho_s - \rho) = K A \rho v^2$$

$$K = \frac{CD}{2}$$

$$(\rho_s - \rho) Ug = CDA \frac{\rho v^2}{2}$$

$$v = \sqrt{\frac{2Ug (\rho_s - \rho)}{C_D A \rho}}$$

Donde:

$m'' =$ masa de agua que desplaza

- a la partícula
- $m'' =$ masa del fluido desalojado
- $u =$ velocidad de desplazamiento del agua.
- $l =$ diámetro medio de la partícula
- $U =$ volumen de la partícula
- $CD =$ coeficiente de arrastre ó coeficiente de resistencia de una partícula sólida; es característica para cada tamaño y el medio en que se desplaza
- $v =$ velocidad límite

El volumen (U) y el área(A) en esta ecuación es cualquier volumen y área representativa de la partícula sólida, para un tubo lleno de fluido dicho volumen y área guarda una proporcionalidad fija é invariable con la sección interna del tubo.

Esta proporcionalidad fija que se guarda es siempre y cuando exista semejanza geométrica y de dinámica de la partícula con respecto a la superficie interior del tubo.

$$v_L = FL \sqrt{2g D (\rho_s - \rho)}$$

Donde:

$v_L =$ velocidad crítica

$FL =$ constante adimensional que depende del coeficiente de arrastre.

- ρ_s = gravedad específica de la partícula
- ρ = densidad de la mezcla
- D = diámetro del tubo
- g = gravedad

En las mezclas heterogéneas ; las que estan compuestas de partículas sólidas gruesas y que requieren una gran turbulencia para mantener éstas partículas gruesas en suspensión; una aproximación de la velocidad límite de transporte para mezclas heterogéneas esta dada por la Fórmula de DURAND Y CONDOLIOS:

$$V_c = FL \sqrt{2 g D (S - 1)}$$

Donde: v_c = velocidad límite del flujo

FL = Factor que varía entre 0.7 y 1.3 de acuerdo con los experimentos de laboratorio; depende de la concentración de los sólidos

g = aceleración de la gravedad

S = gravedad específica de los sólidos.

D = diámetro de la tubería.

Esta fórmula es una derivación teniendo en cuenta que la partícula antes estudiada; esta caída libre; donde:

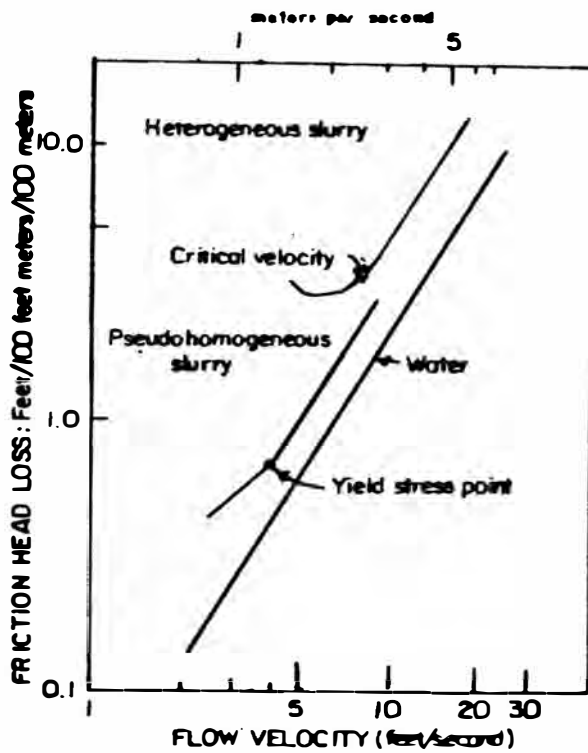
$$v = \sqrt{2 g H}$$

Siendo H la distancia de caída en este caso el diámetro D de la tubería, y (S - 1) viene a ser un factor debido a la Ley de Empuje de Arquímedes.

Entonces trabajar con flujos bajo la velocidad límite es muy inconveniente, tanto por el aumento de las pérdidas de carga al disminuir el área del flujo, como el riesgo de la obstrucción total de la tubería.

De lo analizado teóricamente podemos deducir lo siguiente:

- a) La velocidad límite aumenta con el tamaño de las partículas y en menor grado con la granulometría de la mezcla.
- b) La velocidad límite aumenta con la densidad relativa de las partículas sólidas.
- c) La velocidad límite aumenta con el diámetro de la tubería, para las partículas pequeñas el efecto es menor; pero para partículas grandes el efecto es bastante significativo.
- d) La velocidad límite es función del ángulo de inclinación de la pendiente de la tubería.



FUENTE: SMITHSONIAN PHYSICAL TABLES	UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
DIBUJADO: V.C.S.	PERDIDA DE CARGA Y VELOCIDAD DEL FLUJO
Vº Bº: V.R.M.V.	
ESCALA: SIN ESCALA	FECHA: JUNIO 1982

3.2.11.3. CORRASION Y ABRASION

La vida de una tuberfa, de como se mantiene las paredes de la tuberfa que estructuralmente debe de ser s3lida con la suficiente resistencia a las presiones interiores causadas por el flujo.

El desgaste del interior de una tuberfa que transporta mezclas; se debe generalmente a los mecanismos b3sicos de Corrasi3n y Abrasi3n.

ABRASION; es el debilitamiento de las paredes internas de la tuberfa debido al choque y frotamiento de las -partfculas s3lidas sobre la superficie de la tuberfa.

La abrasi3n en las tuberfas es importante en las mezclas heterog3neas donde las partfculas gruesas chocan con las paredes de la tuberfa, ya que 3stas tienden a concentrarse en el fondo de la tuberfa m3s r3pidamente que las partfculas finas 6 en la parte superior.

El desgaste en una tuberfa por la abrasi3n puede averiguarse por la experiencia con las mezclas similares y por ex3menes en los laboratorios hidr3ulicos.

Corrasi3n; llamada corrasi3n electroqufmica que es originada por el ataque qufmico en las paredes de la tuberfa causada por la acidez de la mezcla (PH de la pulpa), los oxfgenos libres en la mezcla 6 por los reactivos usados en la composici3n de la mezcla.

Los exámenes de laboratorio son necesarios para establecer la corrosión prohibida y para balancear la mezcla. La corrosión permisible en las tuberías es mucho menor que el de la abrasión.

La intensidad de la corrosión es muy grande generalmente en la entrada de las bombas y decrecen en el sobre flujo de las tuberías pues se están consumiendo los oxígenos libres, también existe una corrosión por electrólisis debido a los diferentes materiales que son transportados ó por la conductividad eléctrica de la humedad de la tierra cuando la tubería es enterrada.

Esta corrosión tiene lugar cuando los iones metálicos son removidos en la tubería por electrólisis; las tuberías de acero al carbón son usadas generalmente por no producir reacciones eléctricas y eliminar ésta corrosión electrolítica.

Según el "INSTITUTO DE TUBERIAS PLASTICAS" podemos calcular el espesor de las tuberías para el tiempo de vida de trabajo de las tuberías.

$$t = \frac{p D}{2 s} + C$$

Donde:

t = espesor

p = diferencia de presión

D = diámetro interior

s = esfuerzo de tensión permisible

C = desgaste permisible

De algunos experimentos teóricos se ha podido llegar a algunas conclusiones que son muy importantes en el transporte hidráulico de los sólidos.

El primer efecto que es difícil de evaluar con anterioridad a cualquier diseño es la corrosión de las tuberías y el efecto de la abrasión mecánica que se pueden realizar con una relativa anterioridad a la instalación.

Podemos decir que:

- a) La tasa de abrasión crece exponencialmente con la velocidad del flujo. Para velocidades bajas la abrasión se hace mucho mayor en el fondo de la tubería.

- b) El efecto del cambio de dirección del flujo provoca fuertes abrasiones locales. Se ha encontrado para materiales blandos un máximo de desgaste locales para ángulos de impactos del orden de 30° y bajo la media de éstos un efecto más pequeño.

- c) La abrasión depende del sólido a transportarse,

creciendo con el tamaño, densidad, dureza é irregularidad en la forma de las partículas sólidas.

d)La resistencia al desgaste de la tubería depende del material con que fue construída, se puede plantear cualitativamente la siguiente lista de materiales de mayor a menor resistencia de abrasión.

- Aleaciones de aceros especiales

- Revestimientos de gomas

Madera

- Plásticos

Fierro

- Asbesto ó cemento

En la actualidad es casi imposible predecir la tasa de abrasión que ocasionará determinado elemento sobre la tubería, pero sin embargo se pueden hacer ensayos de laboratorio con distintos diámetros de tuberías y hacer fluir una mezcla a diferentes velocidades en forma continua, controlando la pérdida de peso en la tubería y calcular mediante gráficas la posible abrasión del elemento estudiado.

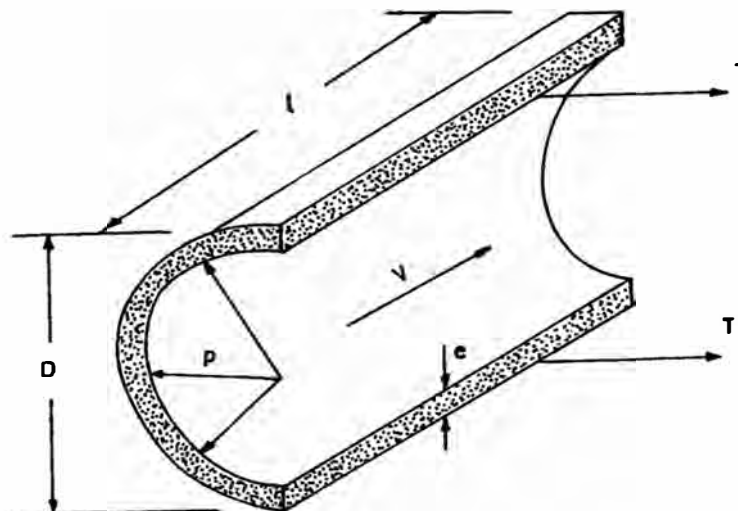
Estas conclusiones dadas fueron realizadas experimentalmente por el Ing. Juan Rayo en un estudio para transportar relaves en tuberías en 1974 en la mina el Teniente de cobre en Chile.

3.2.11.4. PRESION INTERNA SOBRE LAS PAREDES DE LAS TUBERIAS

La presión interna de la tubería también es denominado comúnmente en hidráulica como el Empuje Hidrostático sobre una superficie cilíndrica.

Esta es un factor determinante para poder hallar el espesor permisible de las tuberías en el transporte hidráulico de los sólidos.

Su fundamentación teórica es basada en los principios generales de la física. La presión interna es generalmente producido por el choque de las partículas sólidas entre sí como contra las paredes interiores de la tubería



$$EH = p D l$$

$$EH = 2T$$

De éstas dos ecuaciones se concluye:

$$p D l = 2 e l f$$

$$e = \frac{pD}{2 f}$$

Donde:

e = espesor mínimo de trabajo

p = presión en la tubería ó máxima presión de impulso

D = diámetro de la tubería

f = esfuerzo unitario permisible del material de la tubería

EH = empuje horizontal

3.2.12. FORMULAS EMPIRICAS USADAS EN LA EVALUACION DE LOS PROYECTOS

El uso de fórmulas teóricas, podrían ser restringidas en las estimaciones preliminares, más no en el diseño propuesto.

El trabajo de CONDOLIOS Y DURAND ha provisto de las me-

jores fórmulas para las estimaciones de la pérdida de carga y las velocidades necesarias.

Desde que muchas mezclas en tuberías podrían operar en regímenes turbulentos es necesario que se determine la velocidad transicional del flujo laminar a flujo turbulento que será:

$$V_{trans} = \frac{1000 n + 1000 \sqrt{n^2 + \frac{\delta D^2 Ty}{3000}}}{\delta D}$$

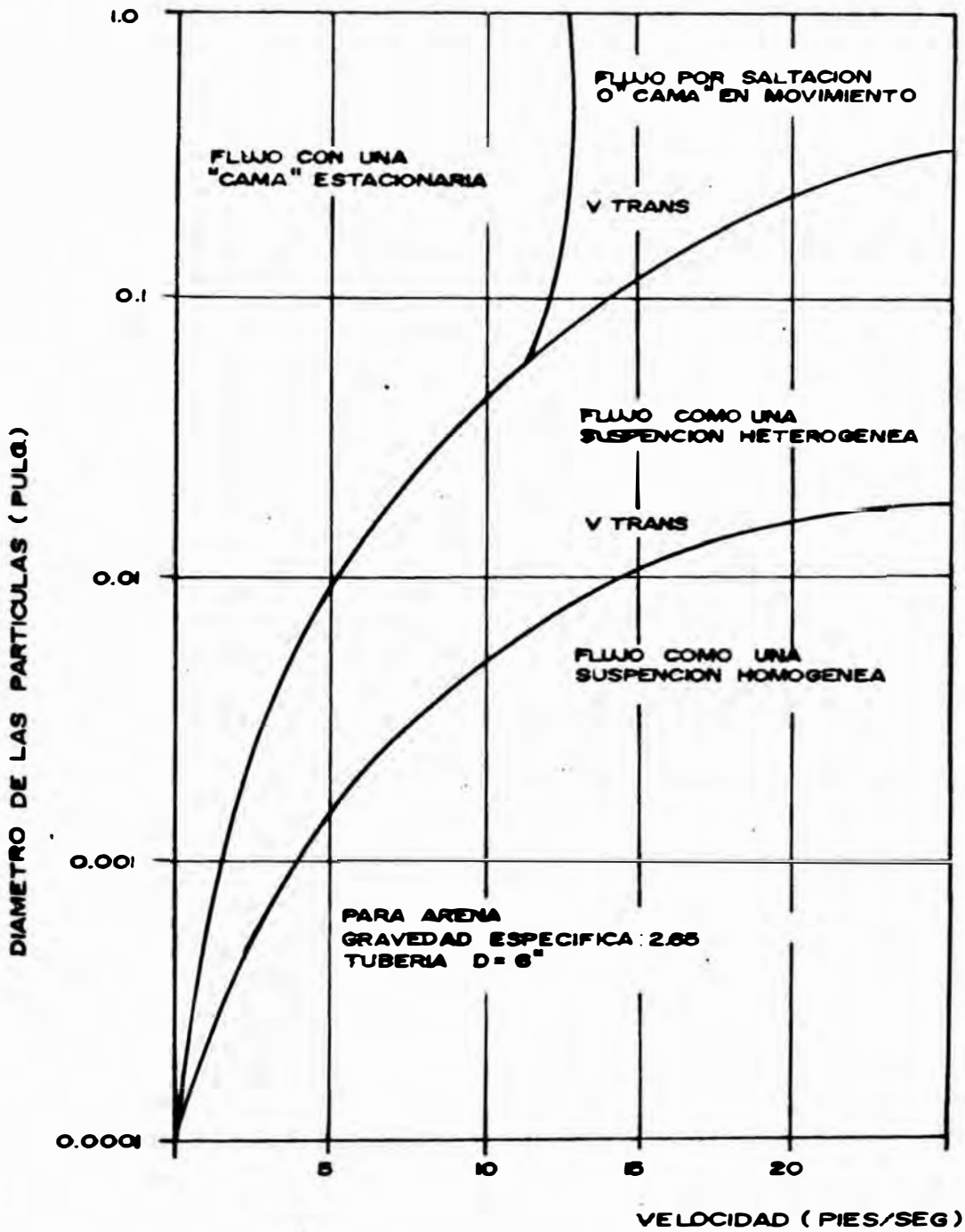
Los valores necesarios para la resolución de éste fórmula podrían ser determinadas en el laboratorio ó estimado de datos publicados (tablas experimentales) para las mezclas similares.

La velocidad crítica, donde ocurre el fenómeno de sedimentación de las partículas en el fondo de la tubería, es también muy importante. Para mezclas de partículas gruesas, ésta será la velocidad mínima en que el flujo en la tubería podría operar sin ningún peligro de obstrucciones.

La siguiente fórmula es la que se ha venido dando para determinar la velocidad crítica:

$$V_{critica} = FL \left[2g D (S - 1) \right]^{1/2}$$

La fórmula de NEWITT para determinar el flujo en una "ca-



FUENTE: SURFACE MINING

DIBUJADO: V.R.M.V

V^o: V.R.M.V.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

CLASIFICACION DE LOS REGIMENES DE LAS MEZCLAS

ABBOTT, NEWTT

ESCALA: SIN ESCALA | FECHA: JUNIO 1982

ma" estacionaria es la misma como la determinada por DURAND para determinar la velocidad crítica.

La transición de un flujo homogéneo a heterogéneo será:

$$V_{\text{trans}} = \left[1800 \text{ g } D v_s \right]^{1/3}$$

La transición para flujos heterogeneos por saltación será:

$$V_{\text{trans}} = 17 v_s$$

Cuando se determinan las varias velocidades con las fórmulas anteriores; ésta deberá de recordarles que estas fórmulas están basadas en trabajos experimentales usando una gran cantidad de partículas, si las mezclas proyectadas no son aproximadas al tipo de grados de material, podría haber grandes discrepancias entre las fórmulas mismas y la velocidad actual determinada en el trabajo experimental.

Después de determinar la velocidad necesaria para transportar la cantidad requerida del material sin tener en cuenta el tamaño de la tubería y comparada con la velocidad teórica necesaria para prevenir obstruccionamiento.

El siguiente paso es la determinación de la pérdida de carga ó la cantidad de energía necesaria para el bombeo del material.

La pérdida de carga d en las mezclas es la suma de la pérdida de carga del agua más la pérdida adicional debido a la presencia de los sólidos. La pérdida de carga en las mezclas transportadas en suspensión se asemeja a la pérdida de carga para el agua a altas velocidades. La ecuación de flujo que mejor representa todos los resultados experimentales dados por CONDOLIOS y DURAND

es:

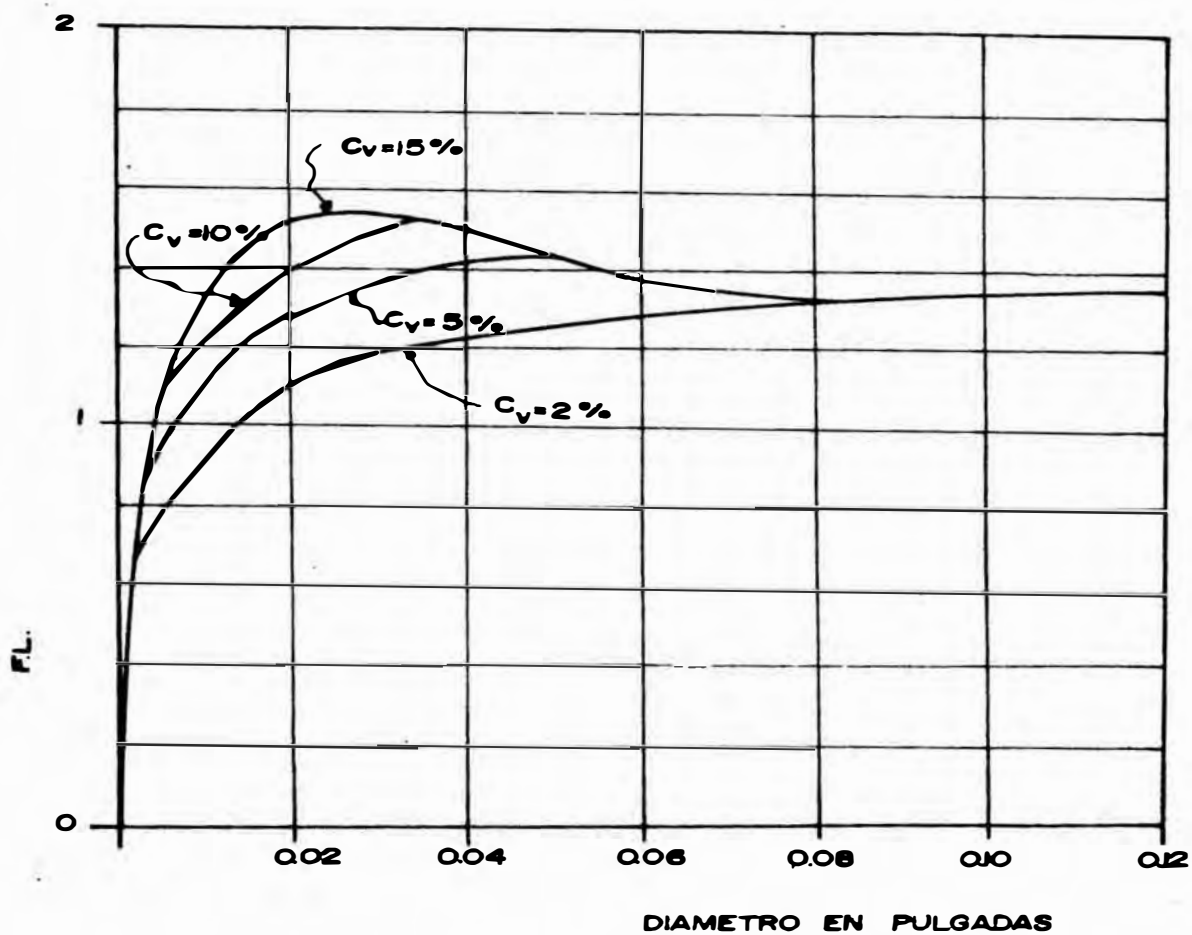
$$i_m = i_w \left[1 + 81 C_v \left(\frac{gD (S-1)}{v^2} \times \frac{1}{C_o} \right)^{1.5} \right]$$

La ecuación de NEWITT para flujos homogéneos es:

$$i_m = i_w \left[1 + C_v (S - 1) \right]$$

Para una rápida estimación podríamos usar la ecuación de HAZEN & WILLIAMS para un factor de 100 a 120 que es usado para muchas mezclas tal como la flotación de los relaves.

$$h (f) = 0.2083 \left(\frac{100}{C} \right)^{1.85} \times \frac{Q^{1.85}}{D^{4.8655}}$$



FUENTE: SURFACE
MINING

DIBUJADO: V.R.M.V.

V.º V.R.M.V.

ESCALA: SIN ESCALA

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

F.L. COMO UNA FUNCION DEL
DIAMETRO DE UNA PARTICULA
Y LA CONCENTRACION

FECHA: JUNIO 1982

C A P I T U L O I V

4. EVALUACION DE LOS PROYECTOS DE TRANSPORTE DE SOLIDOS EN TUBERIAS.

4.1. EVALUACION TECNICA

La evaluación técnica de una propuesta de tuberías, para cualquier longitud, es una continuación de procesos,

Una evaluación preliminar es efectuada con un extenso número de suposiciones y muchas veces retrabajadas con datos ingenieriles que estan disponibles.

La evaluación preliminar es de gran importancia y podría ser cuidadosamente determinada.

Este es un punto en que la propuesta podría ser archivada innecesariamente ó continuar falta de necesidad. Muchos factores necesitan ser considerados como la disponibilidad de agua, preparación y suspensión de los sólidos, tamaño de la partícula y su forma, tonelaje, efectos subsiguientes al procesamiento de los sólidos y disposición del líquido.

Una revisión de las informaciones publicadas podría ser una valiosa ayuda en el suministro razonable de datos para esta primera evaluación, si el tamaño de la partícula y la forma es fina para un anterior ó subsiguiente paso del pro-

cesamiento , que el porcentaje de sólidos y la característica de asentamiento de las mezclas son determinadas primariamente.

Para las mezclas con altos radios de sedimentación, un cambio en el tamaño de la partícula ó la adición de material fino debajo de unos 50 micrones produce una mezcla homogénea-heterogénea que podría ser considerada. Este trabajo podría realizarse enteramente en el laboratorio sin un gran gasto de tiempo ó dinero. Las mezclas con un alto radio de sedimentación podría generalmente requerir una alta velocidad de transporte. La viscosidad es también considerada conjuntamente con el radio de sedimentación.

La viscosidad normalmente se incrementa linealmente en el incremento de los sólidos hasta un cierto límite de concentración de sólidos que es alcanzado. De allí, un pequeño incremento de sólidos podría causar un gran incremento en la viscosidad cuando la mezcla considerada es usada cerca del punto en que éste incremento en la viscosidad es evidente; entonces los efectos de la temperatura podrían ser investigados.

4.2. MODELOS DE EVALUACION

Segun la definición de La Real Lengua Española MODELO; es

la imitación de un objeto por otro similar.

Para nuestro caso lo vamos a definir como la representación a escala de un sistema de transporte de sólidos entubertas.

4.2.1. MODELO COMPUTABILIZABLE

El transporte de un fluido por medio de tuberías y bombeo, implica la toma de decisiones por parte de un diseñador en lo respecta a la selección del número de plantas de bombeo, diámetro de la tubería, espesor de la misma y la longitud de los tramos de tuberías si existieran; tanto para un bombeo en serie ó en paralelo.

Las combinaciones de éstos parámetros implican cálculos laboriosos que consumen gran cantidad de tiempo y en la mayoría de los casos es muy difícil analizar todas las posibilidades de soluciones técnicas.

Cada una de éstas soluciones presentan características económicas y aquella que posee menor costo es la denominada "solución óptima".

Los proyectos de transporte de un fluido por medio de tuberías presentan características similares, en base a un número determinado de parámetros y sus soluciones pueden establecerse mediante una secuencia lógica computable.

Luego entonces mediante los planos topográficos se ubica la zona de captación y entrega del fluido, entre éstos dos

puntos se determina el perfil de la tubería por donde será posiblemente instalada. Además se selecciona los lugares donde físicamente podría instalarse uno ó más plantas similares de bombeo; de éste análisis entonces se obtienen la siguiente información:

- 1) Diferencia topográfica entre la toma y entrega del fluido.
- 2) Pendiente promedio entre las plantas de bombeo.
- 3) Distancia horizontal entre las plantas de bombeo medido a lo largo del perfil de la tubería
- 4) Máximo número de plantas de bombeo

De las características básicas del sistema de transporte proyectado y de las condiciones económicas d se obtienen los subsiguientes parámetros como:

- 1) Descarga terminal ó capacidad de transporte
- 2) Peso específico
- 3) Calidad de la tubería a utilizarse
- 4) Densidad relativa del material de la tubería
- 5) Esfuerzo permisible de trabajo del material de la tubería.
- 6) Diámetro mínimo utilizable
- 7) Espesor permisible de la tubería para una vida de 20 años de operación.

- 8) Costo de la tuberfa
- 9) Costo de la energfa eléctrica
- 10) T-iempo de amortización del capital
- 11) Costo de la bomba

Luego entonces en base a toda ésta información se obtendrá y se estará capacitando para analizar las diferentes alternativas de solución, determinar el costo de la inversión y mantenimiento anual y así entonces obtener la solución técnica-económica óptima.

Como en las investigaciones se plantean alternativas de una, dos ó más plantas de bombeo con tuberfas ens serie ó en paralelo y de diferentes diámetros; entonces se tendrá una información de alternativas diferentes de:

- 1) Pérdida de carga
- 2) Altura dinámica
- 3) Potencia de los motores de las bombas
- 4) C-osto de la tuberfa
- 5) Costo de la bomba y el motor
- 6) Amortización anual
- 7) Costo de la potencia
- 8) Interés anual
- 9) Costo total anual

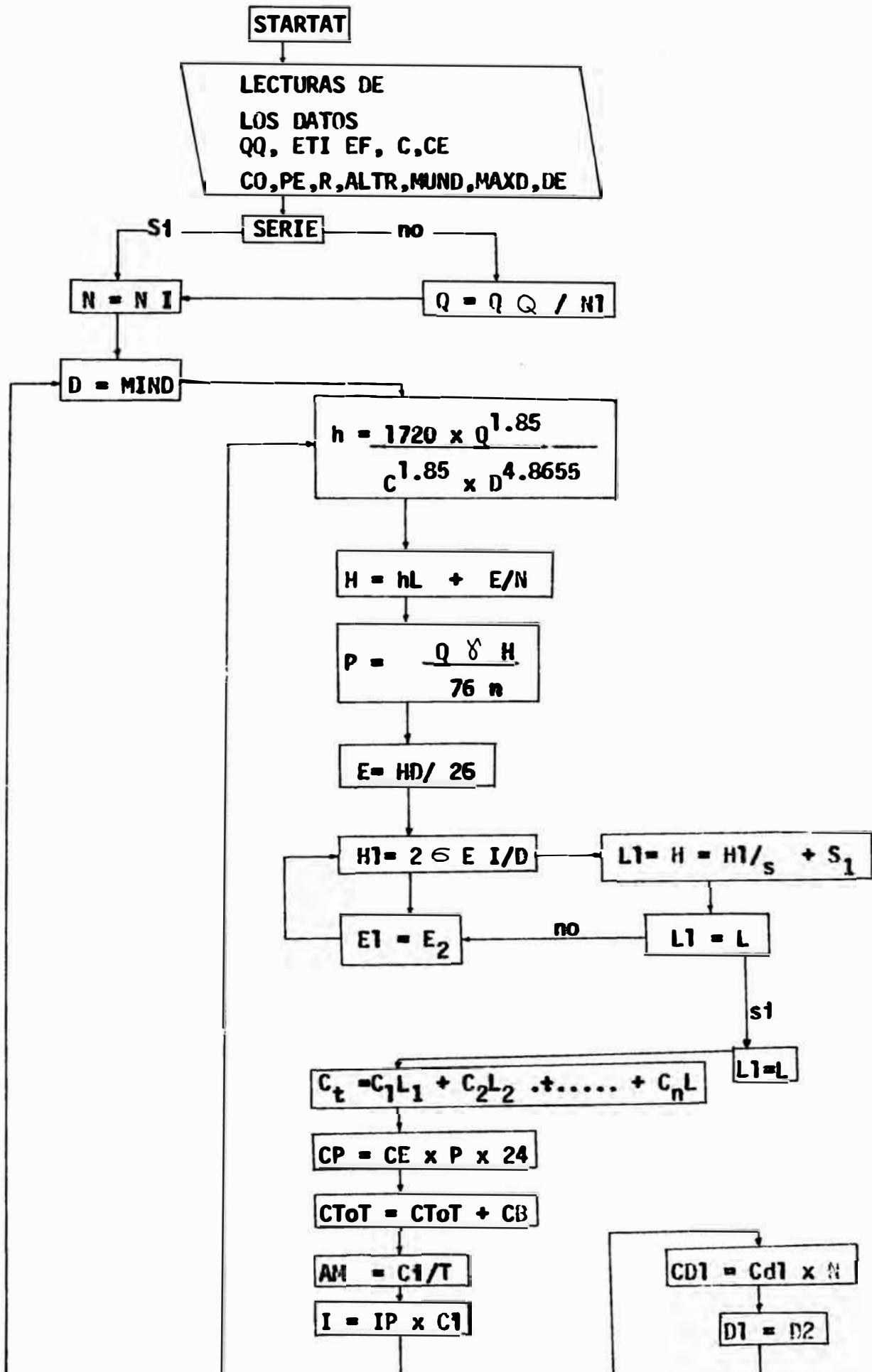
Este modelo de evaluación permite pues la optimización de

sistemas de transporte de fluidos en tuberías que se ajusta mucho a la realidad; con éste modelo pues se llega a determinar el sistema óptimo para el transporte hidráulico de sólidos, es decir número de plantas de bombeo, sistema de tuberías y diámetros,

Este modelo es trabajado totalmente por las computadoras.

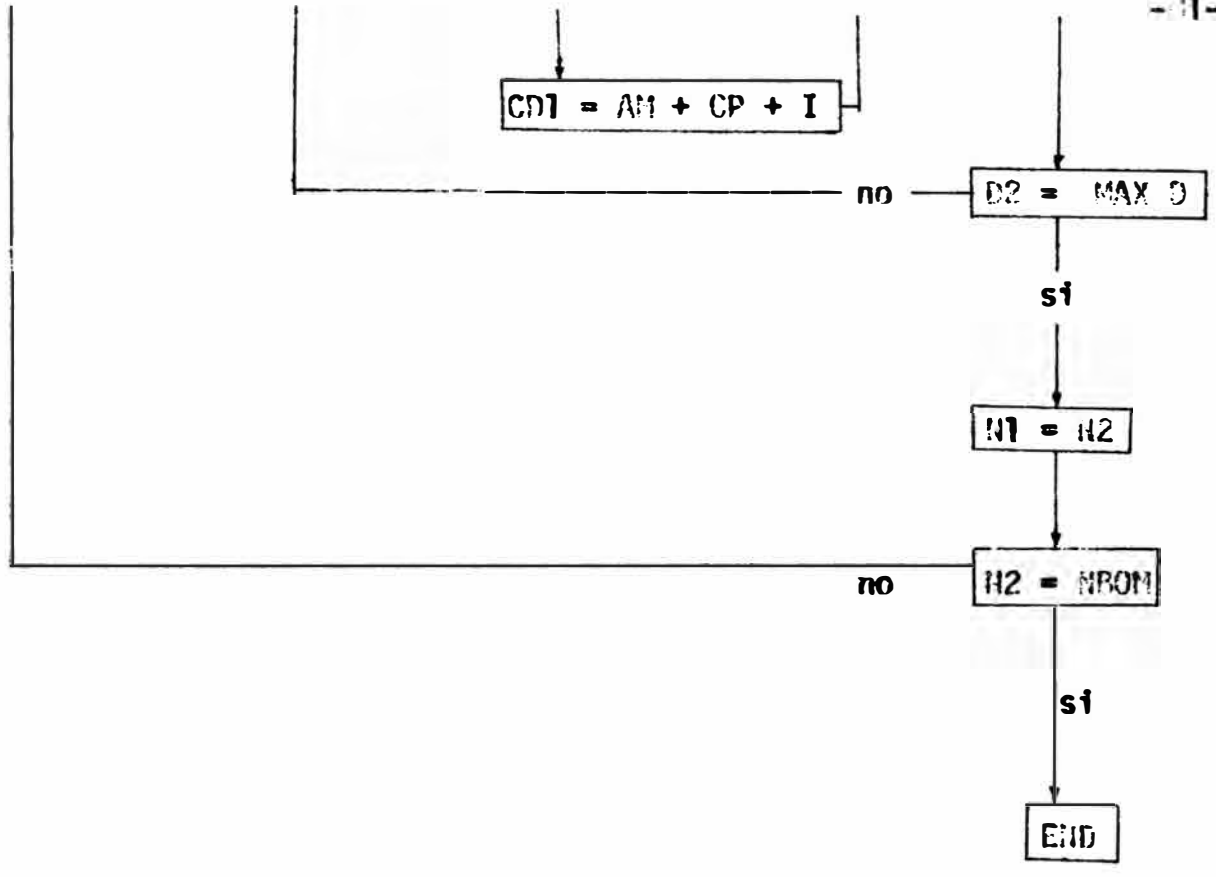
Para facilidad de operación me voy a permitir mostrar la evaluación del transporte de agua pura en tuberías para - luego mostrar un avance similar en el transporte hidráulico de los sólidos en tuberías.

DIAGRAMA DE FLUJO



*

-1-a



4.2.2. MODELO EXPERIMENTAL

El siguiente modelo de evaluación a considerarse es el que se trabaja en plantas pillos experimentales; lógicamente se tiene en cuenta todos los parámetros anteriormente enumerados , como es de suponer que también para los efectos reiterativos de los parámetros a obtenerse también podrían utilizarse las computadoras.

Luego entonces una proposición del trabajo experimental es la determinación del porcentaje de sólidos.

Este porcentaje será el que origine el menor costo por unidad transportada.

El porcentaje de sólidos no tiene mayormente incidencia determinante en los requerimientos en los sistemas de transporte, pero; sí es determinante en el caso de las tuberías. Una variación en el porcentaje, de los sólidos podría afectar a la velocidad mínima de transporte, viscosidad, volumen de la mezcla transportada, pérdida de carga y requerimientos de energía; ésta variación también puede originar un cambio en las dimensiones de las tuberías con capacidad para cierto tonelaje.

Es necesario pues considerar este problema operacional en cualquier nivel que sea el porcentaje de sólidos.

Los costos de energía son muy importantes, pues esta será la que recomendará la energía por tonelada seca transportada y consecuentemente el porcentaje de los sólidos

El rendimiento de energía podría determinar la velocidad final de transporte para los diferentes niveles de porcentaje de sólidos.

Es recomendable que se use un rango de porcentaje de sólidos para el trabajo experimental con una tubería particular. El uso de datos, tablas experimentales publicadas es de una valiosa ayuda para una evaluación inicial.

TERMINOS PARALELOS USADOS POR LAS FAJAS TRANSPORTADORAS Y LAS TUBERIAS

MATERIALES A "GRANEL"	FAJAS TRANSPORTADORAS	TUBERIAS
Unidad de peso	Densidad del material a "granulometría"	Gravedad específica
Tamaño de la partícula	Máximo tamaño de alimentación	Grado del tamaño de la partícula
<u>SISTEMA DE TRANSPORTE</u>		
Capacidad	Toneladas por hora	Galones por minuto
	Toneladas métricas por horas.	Metros cúbicos por hora.
Velocidad	Pies por minuto	Pies por segundo
	metros por minuto	metros por segundo
Dimensión	Ancho de la faja	Diámetro de la tubería
Esfuerzo	Esfuerzo de tensión en la faja	Esfuerzo circular de la tubería
Talud	Máximo ángulo vertical	Angulo de deslizamiento natural de la partícula.
<u>EQUIPO</u>		
Transporte	Faja transportadora	Tuberías
Mecanismo de fuerza	P-olea de velocidades	Bombas
Plataformas Múltiples	Tramos de fajas	Estaciones de bombeo.
Recubrimiento Especial	Cubiertas especiales de las fajas	Enterrada o superficialmente.
Dispositivo de Limpieza	Lavado de las fajas	Rascador "cerdo" y lavado de la tubería.
Frenos	Poleas reductoras de velocidad	Reducción del diámetro de la tubería.
Apoyos ó soportes	Cuerdas de transporte	Zanjas ó apoyos de las tuberías.

..//

INSTRUMENTOS Y CONTROL

Prevención de deslizamiento	Parada hacia atrás	Válvula de retención.
Presión Alta	Cambio de sobrevelocidades.	Rotura de discos
Presión baja	Cambio de la velocidad mínima.	Cambio de presión.
Cambio de la unidad de flujo	Trinquetes	Válvula de tacos.
Capacidad Métrica	Escalas de fajas	Flujo y densidad métrica.

CALCULO DE ENERGIA

1 HP	Profundidad de la faja,	Flujo de masa,
= libras, pie por minuto	libras, kilogramos	libras por minuto
÷ 33000	Velocidad de la faja	kilogramos por minuto.
= kilogramos ,metros	pies por minuto, metros	Presión total de
por segundo ÷ 76	por segundo	la carga, pies, metros.

La distribución del tamaño de las partículas no es la misma para dos materiales similares aunque podrían tener igual el porcentaje de sólidos; pero éstas tendrán diferente pérdida de carga, velocidad mínima de transporte y la viscosidad; una variación en cualquiera de éstos parámetros afectará la permanencia de los demás parámetros.

El segundo paso en un trabajo experimental será el examen por un método similar al anterior con los diámetros de tuberías relativos. El tamaño de las partículas y el diámetro de la tubería deben de tener una proporción razonable.

La relación de la longitud de la tubería al diámetro de la misma no tiene mayor importancia, pero la longitud de ésta podría proporcionarnos con exactitud el cambio de presión que determinaría la pérdida de carga.

Este examen tiene variadas preposiciones y objetivos para obtener el dato correcto de una gran variación de parámetros como el contenido de sólidos, tamaño de las partículas y los demás factores variables; pero del más bajo costo. Es preferible el uso de dos tamaños de tuberías en lugar de una, esto permite una mayor extrapolación de datos obtenidos para una mayor proyección del tamaño final de la tubería.

Las variaciones en las diferentes variables pueden y son chequeadas por pequeñas reiteraciones. Los datos obtenidos de esta manera entonces podrían ser usados para el diseña-

miento ó una selección a gran escala.

Cuando el factor en la selección final de la tubería es el acero, se intercalan insertos radioactivos para chequear la abrasión y corrosión de la tubería.

Una vez realizado estos trabajos experimentales se proyectan en una planta piloto en la que se plantean un gran número de diámetros de tuberías y concentraciones de sólidos y mediante reiteraciones se proporcionan los datos más factibles para la evaluación final del proyecto.

Esta fase del modelo de evaluación relativamente no requiere de grandes gastos; en comparación con el trabajo de campo. Este trabajo sin duda pues nos proporciona los datos con un margen de seguridad necesario para prevenir el diseño final, y con éstos realizar los cálculos de pérdida de carga, velocidad mínima, requerimientos de energía, y otros factores necesarios para el diseño final del proyecto.

Para seleccionar la velocidad operacional en la línea final de las tuberías, podría realizarse un exámen considerando una velocidad mínima de un pie por segundo hasta la velocidad límite y determinar mediante éste exámen también el diámetro necesario de la tubería.

De todo lo enunciado se puede concluir que no existen reglas absolutas para hallar los datos necesarios para un proyecto de transporte hidráulico de sólidos y que deberán ser determinadas necesariamente mediante investigaciones aisladas ó prácticas empíricas con un número reiteraciones tal, que nos proporcionen un margen de seguridad suficiente, y conveniente.

Luego para cualquier diseño final es necesario considerar algunos factores como: la temperatura de la mezcla y el medio ambiente en que se transporta, terreno que se va a atravesar, tipo de operaciones (si es continuo o intermitente), suministro de la energía, si la tubería estará enterrada o será solamente superficial, como los demás factores obvios tales como las velocidades, capacidad, suministro de agua y la sedimentación.

ARBOL DE DECISIONES PARA EL DISEÑO DE TRANSPORTE DE SOLIDOS EN TUBERIAS

EJEMPLO
Carbón
10 millones/año
300 millas

DATOS DEL PROCESO
Material a granel
Capacidad del sistema
Terminal de la tuberfa

1.4 **Gravedad específica de los sólidos**
8 mes **Máximo tamaño de las partículas**



1.16 **Densidad de la mezcla**

4400 galones/minuts. **Radio de descarga de la mezcla**

HIDRAULICA

6 pies/seg
24 pulg
Acero API-5x
0.394 %
gráficos
gráficos

Velocidad del flujo
Diámetro interior de la tuberfa
Material de la tuberfa
Unidad de la pérdida de carga
Perfil de la tuberfa
Gradiente hidráulica



EJEMPLO

TUBERIA

BOMBA

EJEMPLO

Esfuerzo de trabajo permisi- ble.
presión interna
Desgaste permitido
espesor

Máxima presión
tipo de bomba
número de esta- ciones
número de bombas por retención
Tamaño del motor
Carga de la bomba
Bomba de soplado de agua.

3,300 Pies
Pistón
1
6
1600 HP
16 pies x 18 p.

42,000 lbs/pulg²
1,657 lbs/pulg²
0.06 pulg
1 pulg máxima

C A P I T U L O V

5. DISEÑO DE INGENIERIA

Los corolarios para el diseño preliminar de ingeniería, es importante obtener datos del proyecto ó operación ya que ésta podría requerir formas particulares en el transporte, por tanto esta sección no es capaz de que sean calculados inmediatamente los parámetros de la mezcla en el transporte. Lo más importante de ésta son las estimaciones del costo del capital y todos los diferentes costos requeridos para una operación anual.

Para determinar las necesidades del transporte será necesario asumir las siguientes condiciones:

a) Material

Características físicas:

Densidad

Gravedad específica

Humedad

Angulo de reposo

b) Condiciones del sistema:

Capacidad

Días de operación

Horas de operación

c) Distancia y elevaciones de los puntos terminales.

d) Características de la mezcla

Máximo tamaño de las partículas

Concentración de sólidos

Velocidad del flujo diseñado

De todos estos datos se obtienen datos de la mezcla a transportarse como:

1) Volumen de material

2) Volumen de agua

3) Volumen de la mezcla

4) Gravedad específica de la mezcla

5) Densidad de la mezcla

(gravedad específica por la densidad del agua)

En otro orden podríamos calcular los parámetros de producción y podríamos encontrar los parámetros de capacidad

a) Radio de los sólidos por hora

Producción por año

Horas por año

b) Radio de descarga de la mezcla

Peso de la mezcla

(radio de sólidos por hora por concentración de sólidos)

Peso de agua

Volúmen de la mezcla por minuto ó segundo

El radio de descarga deberá de estar expresada en galones por minuto ó litros por segundo.

c) Pérdida de carga por fricción

El área interior de una tubería podría determinarse como sigue:

$$A = \frac{Q}{v}$$

Luego la pérdida de carga por fricción esta evaluada conveniente en las tablas preparadas por la "THE HYDRAULIC INSTITUTE" ó por la "INGERSOLL RAND'S HIDRAULIC DATA" (CAMERON TABLES), todas ellas preparadas usando la fórmula de HAZEN & WILLIAMS; ó en todo caso podemos hallarlo por métodos antes descritos; y donde estas fórmulas estan preparadas para tuberías nuevas y principalmente lisas sus paredes interiores; por lo que éstos deberán de corregirse mediante factores de corrección apropiados.

**FACTORES DE CORRECCION UTILIZADOS EN LA EVALUACION DE TRANSPORTE
HIDRAULICO DE SOLIDOS**

VALOR DE "C"	FACTOR DE CORRECCION
150	0.47
140	0.54
130	0.62
120	0.71
110	0.84
100	1.00
90	1.22
80	1.50

C = Constante de fricción de la tubería

FUENTE: World Mining, Enero 1979

5.1. PERFIL DE LA TUBERIA Y LA GRADIENTE HIDRAULICA

Los mapas topográficos con curvas de nivel, con relieves- que cubren toda el área entre las secciones terminales y las estaciones de bombeo son normalmente usadas para seleccionar a la ruta preliminar.

Las consideraciones principales para la ruta seleccionada será una distancia corta, tendrá accesos para todo el equipo de tendido de la tubería y las gradientes de los inclinados debajo del ángulo de taud natural, indicado para evitar el resbalamiento de las partículas estando en reposo antes de darle el impulso dentro de la tubería a transportarse, éste dato es utilizado del ángulo de reposo natural del material en estudio.

El perfil de la tubería se realiza con datos tomados de los mapas topográficos y se localizan las elevaciones en intervalos de longitud constantes entre los puntos terminales (generalmente 300 metros ó 100 pies).

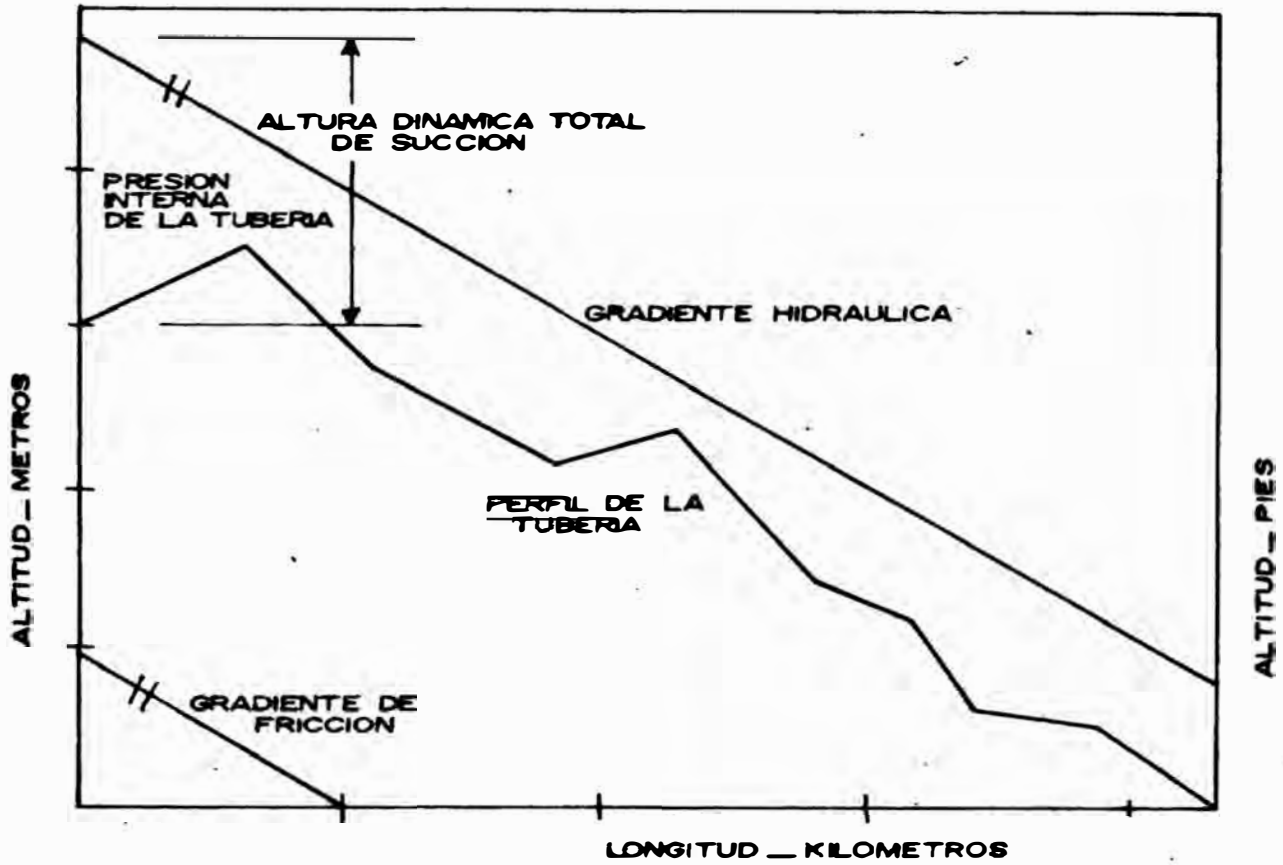
Sobre éste perfil de la tubería, se coloca la inclinación de la tubería representada por la pérdida de carga por fricción y que será la gradiente encontrada.

$f = \text{unidades de longitud por } 100 \text{ unidades de longitud}$

$f1. = \text{Gradiente en porcentaje}$

Este línea de gradiente se colocará sobre el perfil de la tu-

LONGITUD _ MILLAS



FUENTE: WORLD MINI

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

DIBUJADO: V.R.M.V.

PERFIL DE LA TUBERIA Y
GRADIENTE HIDRAULICA

V.R.M.V.

ESCALA: SIN ESCALA FECHA: JUNIO 1992

berfa de los puntos altos de éste, con un margen adecuado - de seguridad para asegurar la presión positiva a lo largo - de toda la tuberfa.

Luego entonces la distancia vertical entre el piso del perfil de la tuberfa y la pérdida de carga representada por la gradiente encontrada, es la presión interna de la tuberfa, que es importante para determinar el espesor de la tuberfa.

5.2. SELECCION DE EQUIPO

Las piezas fundamentales del equipo utilizado en el transporte hidráulico de sólidos, generalmente son las siguientes, lógicamente hay elementos complementarios a éstos:

- a) Motores y bombas
- b) Tuberías
- c) Bombas auxiliares

MOTORES Y BOMBAS; de los datos de capacidad del sistema de transporte se obtiene el radio de descarga ó caudal.

La máxima presión de impulso ó pérdida de carga dinámica es tomada del perfil de la tuberfa.

Caudal

Pérdida de carga dinámica total

Gravedad específica de la mezcla

Máxima presión que es igual a la pérdida de carga dinámica total por la gravedad específica de la mezcla.

Los requerimientos de presión encontrados generalmente estan sobre el rango de las bombas centrífugas.

Una bomba en particular deberá ser seleccionada usando nuevamente la fórmula de HAZEN & WILLIAMS; ó usando tablas que muestran la capacidad cerca de una máxima presión de descarga que son proporcionadas generalmente por los fabricantes de bombas. De aquí entonces podemos seleccionar el número de bombas requeridas para vencer la máxima presión de descarga dinámica-

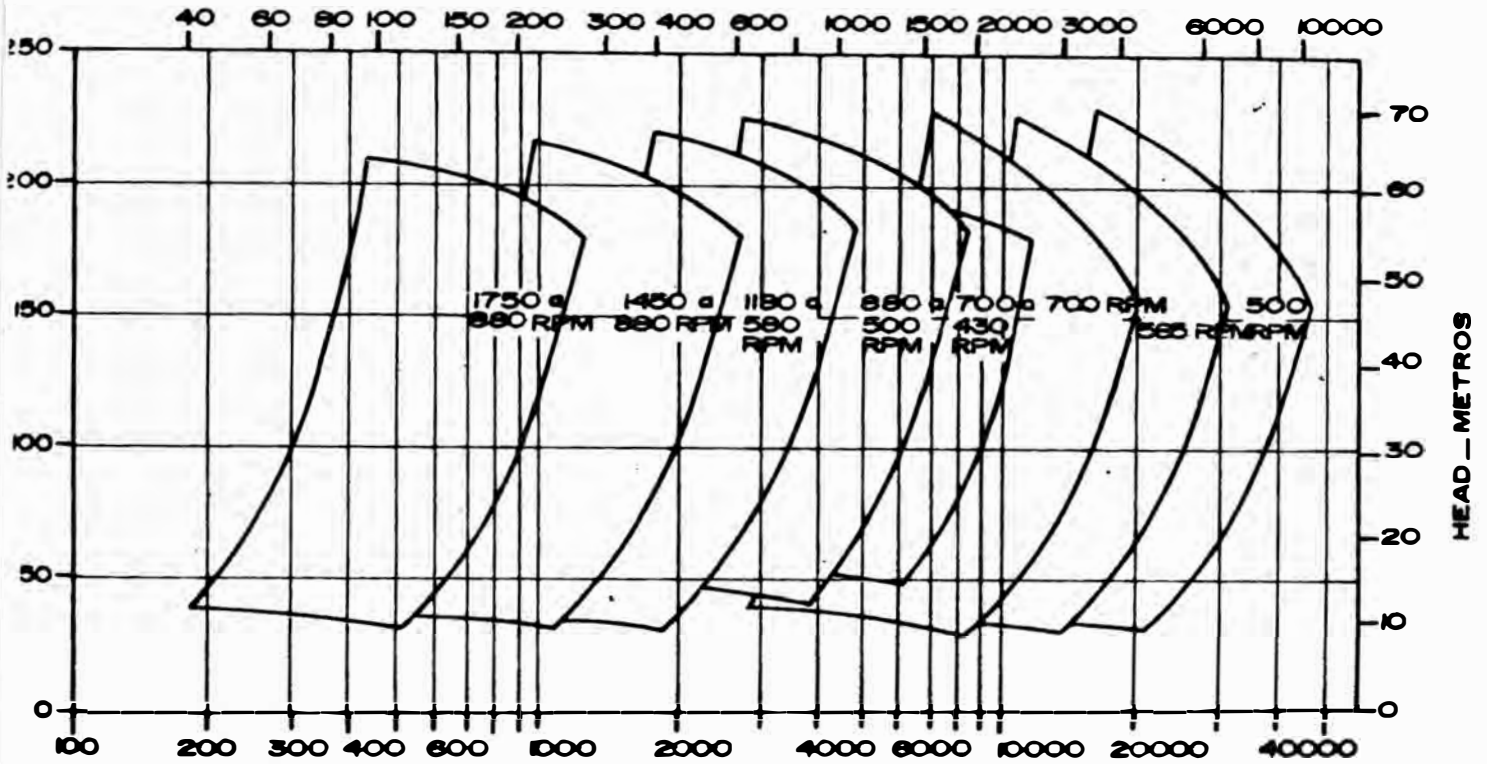
Máxima presión de descarga dinámica caudal en galones por minuto.

Número de unidades = Caudal total del sistema por caudal en galones por minuto de la máxima presión de descarga.

Todo número de bombas utilizados deberán ser montadas en paralelo ó en serie ya que deberá de cumplirse con las leyes de la hidráulica.

El tamaño del motor deberá estar seleccionada como sigue; aunque existe diferentes fórmulas para realizar esta selección:

CAPACIDAD — METROS CUBICOS POR HORA



CAPACIDAD — U.S. GALONES POR MINUTO

FUENTE: MORRIS PUMP, INC

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

DEJADO: V.R.M.V.

REQUERIMIENTOS DEL BOMBEO Y TIPO DE BOMBA A UTILIZARSE

VºBº : V.R.M.V.

ESCALA: SIN ESCALA

FECHA: JUNIO 1982

$$\text{HP} = \text{Altura dinámica (pies de mezcla)} \times \text{Caudal (libras de mezcla por minuto)} \times E \div 3300$$

Donde:

E = Eficiencia del sistema motor - bomba

1 galón = 8.33 libras

1 HP = $76 \frac{\text{mts. kg}}{\text{seg}}$

TUBERIAS; nuevamente se tendrá que utilizar la gráfica del perfil de la tubería y la gradiente hidraulica para hallar el espesor de la tubería como la disponibilidad y calidad de acero que deb erá de utilizarse.

El máximo espesor entonces corresponderá a la de la máxima presión que será hallado utilizando la fórmula del "Esfuerzo de un anillo".

$$t = \frac{p \cdot D}{s} + C$$

TIPICA FORMA DE ESTIMACION PARA UNA TUBERIA DE ACERO

DISTANCIA		PERDIDA DE CARGA EN LA MEZCLA		PRESION *	ESPESOR **	
Millas	Kms	pies	metros	lbs/pulg ²	pulg	mm.
0	0	3300	1006	1657	1.00	25 máximo
25	40	2300	701	1655	0.95	24
50	80	1400	427	703	0.46	12
75	120	1700	518	854	0.55	14
100	161	1700	518	854	0.55	14
125	201	800	243	402	0.29	7
150	241	700	213	352	0.26	7
175	282	100	30	50	0.09	3
200	322	500	152	251	0.20	5
225	362	600	182	301	0.23	6
250	402	1100	335	553	0.37	7 mínimo
275	442	1000	305	502	0.35	9
300	483	1000	305	502	0.35	9

* lbs/pulg² = máxima presión = altura x gravedad específica

** $t = \frac{\text{máxima presión} \times \text{Diámetro}}{\text{esfuerzo permisible}}$ x desgaste por presión

FUENTE: World Mining, Enero 1979.

Donde: t = espesor máximo de la tuberfa (pulgs).

p = máxima presión (lbs por pulgs²)

D = diámetro interno (pulgs)

s = esfuerzo de tensión permisible.

C = desgaste por convención asignado para una vida de 20 años (mils)

" s " será usado de acuerdo al material de la tuberfa que se deberá emplearse que lo podemos encontrar en los catálogos de las listas de materiales, por ejemplo:

Acero ASTM A -53 $s = 16000$ lbs por pulg²

Acero API-5LX-X60 $s = 60000$ lbs por pulg²

BOMBAS AUXILIARES; éstas bombas como su nombre las- especificas son bombas que sirven para la limpieza y mantenimiento de las bombas principales; ya que generalmente las bombas - utilizadas son de pistón y émbolo se necesita entonces de éstas bombas auxiliares para la limpieza y conservación.

La carga de bombeo para éstos fines será la mínima presión de carga de succión como la especificada por los fabricantes, comunmente es para vencer una carga de presión vertical de 100 libras por pulgada cuadrada.

El cálculo de la energía utilizada y el número de unidades es similar al cálculo anterior de las bombas y motores principales.

5.3. CONTROL DE LA CORRASION Y LA ABRASION EN LA TUBERIA.-

El control de la abrasión y la corrosión de las tuberías es un factor predominante en el diseño de las tuberías.

Para prevenir entonces la corrosión galvánica; la pared exterior de la tubería está protegida por un baño de pintura, papel adhesivo como el alquitrán, etc; que sella la tubería de otros agentes.

La protección catódica de la tubería también permite dispersar el zinc ó otros cátodos insertados en una tubería de acero.

El uso de materiales similares deberán de ser usados en las uniones de los tubos, pestañas ó ajustes que deben de ser fuertemente seguros para prevenir la formación de compuestos galvánicos.

Las tuberías de acero al carbón es usado en la mayoría de las tuberías. Los tubos generalmente son soldados en el campo en longitudes de fácil maniobrabilidad y enterrados con una capa externa de cintas de papel como el alquitrán ó otros materiales de protección.

Otros materiales de tubos incluyen grados especiales de aceros al carbón, acero inoxidable, tubos de acero, tubos de acero con plásticos y caucho, tubos de materiales plásticos, vidrio, aluminio, materiales especiales y cemento.

Para minimizar la abrasión en la tubería debemos de tomar las siguientes medidas:

- Tamizar las partículas gruesas.
- Controlar las concentraciones de los sólidos en la mezcla con partículas finas.

Buenos resultados se obtienen con la adición de materiales arcillosos, arenas finas para arenas de grano grueso en una mezcla.

La rotación de la tubería permite que el desgaste de ésta sea bastante uniforme durante toda la vida utilizable de estas tuberías.

La prevención del desgaste prematuro de las tuberías se evitan utilizando una tolerancia ó factor de seguridad en los cálculos del espesor de la tubería, dependiendo de la lugar de utilización ya sea en la operación de la planta ó del transporte hidráulico de los sólidos.

Los plásticos y el caucho para la protección de las tuberías usualmente incrementan la vida de una tubería de acero.

Para evitar las presiones bajas generalmente se utilizan tuberías de plástico hechas de polyvinylchloride ó polietileno, éstas tuberías tienen una buena resistencia a la abrasión llevando una capacidad equivalente a las tuberías de acero con caucho.

El desgaste en las tuberías por la abrasión puede averiarse con mayor facilidad con la experiencia de mezclas similares y por exámenes realizados en los laboratorios.

Durante las operaciones es una práctica importante entonces girara la tuberfa y llevar un control de la medida del espesor para evaluar el desgaste de las tuberfas, para el futuro.

5.4. LINEAS DE TUBERIAS: CEMENTO, CAUCHO Y PLASTICOS

La capacidad de resistencia a la abrasión del cemento, caucho y plásticos a las partículas sólidas y a la corrosión química de los ácidos ó soluciones ácidas; hacen posible su utilización aceptando a las mezclas y sus procesos en las tuberfas. Sin embargo; éstos materiales son generalmente limitados para la utilización a bajas presiones, es decir generalmente - para presiones menores a 140 libras por pulgadas cuadrada- y para mayores presiones se utilizan tuberfas de acero al carbón que internamente son protegidas por cualquiera de los siguientes materiales:

- a) Protección de cemento especial con un espesor de 1/8" a 1/4", es usado para la resistencia a la corrosión y a la abrasión de la mezcla.

Las secciones de éstas tuberfas son biseladas ó utilizan pestañas para ser posteriormente soldadas en el campo una vez que la tuberfa ha sido protegida con cemento.

b) Protección con caucho con espesores de 1/8" a 1/4", es comunmente usado como un antiabrasivo, protector de la corrosión y aumento de la vida de la tuberfa.

Las tuberfas son igualmente unidos por pestañas ó por acoples de tipo VIC Ø TAULIC; que para el soldado debemos de cuidar esta protección.

c) Los plásticos tienen una gran variedad química tal como PVC polyvinylchloride, PE polietileno, PPL polipropileno, etc, que con espesores de 1/16", 1/8", 1/4" son usados como protección de las tuberfas contra la abrasión y la corrosión de la mezcla.

Las secciones de las tuberfas son usados con protectores de caucho, con pestañas, con uniones para tipos de acoples VICTAULIC.

Para las suposiciones del cálculo del espesor de las tuberfas la tensión de esfuerzos permisibles de las líneas de tuberfas de acero es solamente proveniente de los materiales de acero solamente.

Las tuberfas de plástico estan incrementando el mercado competitivamente por muchas ventajas que la experiencia estan dando la razón; muchas de estas ventajas son:

- a) Es libre de abrasión y corrosión interna.
- b) No causa la corrosión galvánica
- c) Es altamente resistente a la abrasión.
- d) Tiene una gran flexibilidad en las operaciones de campo, pues se pueden cortar y unir fácilmente en cualquier punto de la trayectoria
- e) Es de peso muy ligero.

Las tuberías plásticas estandares, son agrupadas por el INSTITUTO DE TUBERIAS PLASTICAS que han modificado la fórmula del "esfuerzo en un anillo"

$$t = \frac{p D}{2 s}$$

$$p = \frac{2 s D}{t}$$

Donde:

t = espesor de la tubería

p = presión interna

D = diámetro interior

s = esfuerzo de tensión permisible

Por consiguiente:

$$p = \frac{2 s}{R - 1}$$

$$R = \frac{D_e}{t}$$

donde:

$$D_e = \text{diámetro exterior} = D + t$$

Los valores * estandares del radio R son los siguientes:

$$R = 11, 13.5, 17, 21, 26, 32.5, 41, 64$$

Por ejemplo, las tuberías de plástico de polietileno tienen un esfuerzo permisible de 730 libras por pulgada cuadrada y una tubería con un R = 21 podría resistir a una presión de:

$$p = \frac{2 s}{R - 1} = 73.0 \text{ lbs/pulg}^2$$

Los materiales comunes para las tuberías de plástico son el polietileno con diámetros de hasta 36" y el polyvinylchloride con diámetros de hasta 12".

Por ejemplo para una tubería de 4" de diámetro, sus longitudes son variables para presiones desde 25 lbs/pulg² a 150 - lbs/pulg² aunque pueden llegar a 200 lbs/pulg² dependiendo de la disponibilidad de los fabricantes de las tuberías plásticas.

La elasticidad de las tuberías plásticas decrece con la temperatura, su radio normal es de 75°F a 140°F.

Esta también es el factor determinante para la vida de las - tuberías plásticas. Otro material común para las tuberías

plásticas es el asbesto-cemento que tienen las paredes lisas y son antiabrasivas y no corrosivas para el manejo de mezclas de sólidos y para soluciones de agua con un PH dentro del rango de 4.5 a 14, trabajando a presiones de 100, 150 y 200 libras por pulgada cuadrada.

Los tamaños de las tuberías son generalmente de 24" de diámetro fabricadas para un radio de espesores de 0.5 a 1.5 pulgadas.

Las tuberías hechas de asbesto-cemento están siendo usadas en alcantarillados subterráneos, pulpas de papel y en el tratamiento de aguas servidas.

FUENTE: * World Mining , Enero 1979.

5.5. EQUIPO DE BOMBEO

Los dos tipos comunes de bombas para servicios de mezclas de sólidos son las bombas centrífugas horizontales para la aplicación de bajas presiones y las bombas recíprocas para las altas presiones- de descarga.

Las bombas centrífugas son desarrolladas para la minería y las industrias del dragado que tienen como máxima presión de descarga menores que 700 libras por pulgada cuadrada que es una de las limitaciones del uso de éstas bombas.

Las bombas centrífugas son horizontales con una simple estación de impulso con un diseño abierto para las partículas gruesas y un diseño cerrado para las partículas medianas ó finas.

La eficiencia de éstas bombas varían entre el 60 a 70 por ciento. Por la abrasión natural de muchos compuestos de la mezcla de sólidos éstas bombas están protegidas con metales ó caucho. El caucho es usado para la protección de las partículas sólidas de malla 8 (2300 micrones)

El caucho sirve para la protección de los impulsores rotativos de una velocidad tope de 5000 pies por minuto para minimizar los impactos en la conducción de la mezcla.

Los metales duros de protección tales como el Níquel duro es usado para mezclas con partículas gruesas; forros metálicos en los impulsores rotativos sirven para permitir una velocidad tope de 8000 pies por minuto generando éstos una pérdida

de carga de 250 pies por cada estación.

Los forros metálicos son usados generalmente para limitaciones de pérdida de carga de 200 pies; para pérdidas de carga mayores se requiere por consiguiente bombas colocadas en serie para vencer las limitaciones de la presión.

Las bombas centrífugas de mezclas son equipadas con prensas topes que sellan las bombas para el suministro de agua limpia con un caudal de 10 a 50 galones por minuto con una presión de 10 libras por pulgada cuadrada que disminuyen altamente la presión de descarga.

Las prensas- topes sella el escape de agua para permitir el paso hacia la caja de envío y al eje del motor de la bomba para mantener la mezcla abrasiva en suspensión sin que llegue a dañar las partes elementales de la bomba.

El performance de las bombas centrífugas es expresada por - las siguientes ecuaciones:

$$\frac{D1}{D2} = \frac{N1}{N2} = \frac{Q1}{Q2}$$

$$\frac{D1^2}{D2^2} = \frac{N1^2}{N2^2} = \frac{H1}{H2}$$

$$\frac{D1^3}{D2^3} = \frac{N1^3}{N2^3} = \frac{P1}{P2}$$

Donde:

- D = diámetro del impulsor**
- N = velocidad del impulsor**
- P = Poder**
- Q = capacidad**
- H = Pérdida de carga total**
- 1 = bomba número 1**
- 2 = bomba número 2**

Estas ecuaciones nos indican entonces la flexibilidad del performance de las bombas centrífugas para el control del tamaño y la velocidad del impulsor para ajustar la capacidad entre los rangos recomendadas por las fábricas.

Las bombas recíprocas son para el servicio de altas presiones, Ellos deben su desarrollo a las experiencias en la industria petrolífera, que usan mezclas de bentonita para perforar taldros profundos y luego bombearlas a presiones superiores a 2000 libras por pulgada cuadrada.

Las bombas recíprocas son divididas en dos tipos principales; bombas de pistón y bombas de émbolo. Las bombas de pistón son de simple acción ó de doble acción, independientemente, ellos impulsan la mezcla en ambos sentidos al final del lanzamiento de la mezcla.

En ambos casos, el cuerpo y los elementos principales de la bomba ya sea de pistón ó de los émbolos están en contacto con

la mezcla. Las bombas de pistón producen altos radios de flujos que las bombas de émbolos por el mismo desplazamiento del pistón. Sin embargo ellos están restringidos para el uso de mezclas con materiales no abrasivos.

Mezclas abrasivas, cuerpos de fierro, y concentrados de cobre, requieren bombas del tipo émbolo, que generalmente son de simple acción.

Estas bombas tienen un gran recurso en el soplado de agua limpia que se introduce por las empaquetaduras para mantener - y soportar el émbolo en rotación libre del contacto con las partículas abrasivas sólidas.

El agua es introducido a presión en el cuerpo del émbolo en el momento del golpe de succión sumando ésta un 50 por ciento al volumen de la mezcla en el flujo, a través de las tuberías de transporte.

Materiales cueros y especiales en las paredes de las bombas en las válvulas de descarga y al inicio de las tuberías son las partes que generalmente están sujetas a la abrasión de la mezcla.

El flujo de la capacidad de las bombas recíprocas es una función directa del tamaño del pistón ó émbolo y a la velocidad final de impulso. La presión de descarga es limitada solamente por el poder disponible del motor y la resistencia de las partes principales de las bombas. Muchas de las bombas recíprocas tienen parejas de pistones ó émbolos trabajando

coordinadamente para permitir una pulsación uniforme y lisa de flujo de la mezcla.

Estas bombas son las llamadas bombas múltiples, en contraste con los tipos simples de bombas.

Actualmente, las bombas de triple pistón y las bombas de émbolo son las comúnmente utilizadas, Existen bombas recíprocas que son limitadas por la presión de descarga, generalmente la máxima presión de descarga es del orden de los 2150 libras por pulgada cuadrada.

Esto es generalmente separado de las unidades dispuestas en paralelo para atender los requerimientos del radio de descarga y volumen; pues muchas de las bombas recíprocas tienen baja capacidad de descarga de las mezclas.

Un tipo especial de las unidades del tipo recíproco, es la que descarga de la bomba y transmite la presión a través de un diagrama flexible hecho de metal, caucho ó otro material plástico. Esta es una de las principales ventajas, pues permiten la eliminación de las empaquetaduras ó sellados que están expuestos al contacto de la mezcla. Este uso es restringido por las aplicaciones de baja capacidad de transporte como es la medición y control de la mezcla ó por la localización distante de los servicios auxiliares.

La eficiencia de las bombas recíprocas está sobre el 90 por ciento especialmente con instalaciones nuevas en lugares secos

que decrecen con el uso y el tiempo.

Desde que las bombas de mezcla continuamente operan en periodos largos de tiempo los fabricantes garantizan unos 100000 horas de trabajo para las partes principales de las bombas y su sellado.

5.6. BOMBAS ESPECIALES PARA EL MEZCLADO DE LOS CONCENTRADOS O SOLIDOS.

Existen dos patentes de bombas que son utilizados en el manejo de las mezclas que son usados bajo condiciones difíciles que valen la pena mencionarse.

La bomba "MARS" con una presión de descarga de cerca de 1140 libras por pulgada cuadrada, y la del sistema "LOCK HOPPER". Ambas son usadas en el drenaje hidráulico de minas muy profundas.

La bomba "MARS" de manufactura japonesa cuya propietaria de la patente es la MITSUBISHI COMPANY es una bomba recíproca de doble pistón; éste tiene el pistón de doble acción que usa una bomba de aceite que previene el contacto de los pistones y cilindros con la mezcla.

La mina VAAL REEF de Sudafrica instaló para el izaje de 580 galones por minuto de material contenido oro con cuatro estaciones desde una profundidad de 7200 pies a una presión de 1140 libras por pulgada cuadrada; moviendo cerca de -

de 250000 toneladas por día.

El sistema "LOCK HOPPER" pionero de los mineros ingleses de las minas de carbón, usa dos recipientes para las presiones; que alternativamente se llenan de agua a alta presión y mezcla de carbón a baja presión. Estas dos fases son separadas por bolas libres en movimiento de caucho. El flujo de las fases es controlado por válvulas de succión y descarga.

La operación alternada de éstos recipientes y de descarga en las tuberías comunes produce un continuo flujo de la mezcla.

La principal ventaja del sistema "LOCK HOPPER" es la ausencia del movimiento de las partes, excepto que la alta presión en la bomba de agua y en baja presión en la mezcla del carbón podría alejar la ubicación de la bomba principal de impulso.

5.7. TUBERIAS AUXILIARES.

Grandes distancias y longitudes de tuberías para el transporte de mezclas, requieren de una buena preparación de ésta en el punto inicial antes de ingresar a la tubería de transporte, como también ésta mezcla debe de ser fácilmente recibida con una gran facilidad de la tubería en el punto final de descarga

La preparación y la recepción de las mezclas en distancias cortas entre las plantas y las tuberías, aunque menos complejas que las grandes longitudes de tuberías; son consideradas separadas del sistema general de tuberías.

Las válvulas de control y la instrumentación son bastante sofisticados para éstas grandes longitudes de tuberías con mecanismos automáticos que son diseñados para la operación por control remoto.

Distancias cortas entre las plantas de preparación las válvulas y la instrumentación esta generalmente a lo largo de todo el sistema de control de las plantas que combinen muchas mezclas en las líneas de tubería en cada control local del flujo mediante válvulas y con indicaciones de la presión de la mezcla, densidad, velocidad y temperatura.

La preparación de la mezcla incluye el tamaño de las partículas sólidas que es reportado por la molienda y la clasificación en la planta de preparación.

Mezclas heterogéneas hechas de partículas gruesas de clasificación arenosa tal como las arenas de la playa, roca fosfatada, bauxita, etc; requiere un tamizado de las partículas gruesas con tamizadores estacionarios.

Mezclas de consistencia propia son hechas en tanques agitadores de mezcla que recibe la alimentación como un fluido, del sobre flujo de la mezcla.

Mezcla de sólidos con agua también pueden realizarse en tan-

ques agitadores que tienen un dispositivo de suministro de agua para reimpulsar la mezcla.

La capacidad de almacenamiento de las mezclas es efectuado generalmente en varios tanques con una capacidad de alimentación de más o menos una hora de alimentación continua, en una tarea ordinaria de 8 horas de trabajo; que después muchos otros tanques de la mezcla reciben la alimentación a través del cicloneado.

Luego cada tanque de almacenamiento requiere de un agitador de eje vertical que mantiene los sólidos uniformemente suspendida en el líquido.

5.8. DESCARGA TERMINAL

En el diseño para la descarga final de la mezcla, se deberá de asumir las siguientes condiciones:

- a) Si la mezcla se almacenará para su comercialización o procesamiento posterior.
- b) Si la mezcla se procesará inmediatamente en el punto final de descarga.

Si sucede el primera condición como es generalmente normal en los sistemas de transporte; entonces se deberá de utilizar tanques desaguadores con equipos de hidrociclones, tamizadores y bombas centrífugas que mueven el material antes

de almacenarlos.

Los tamizadores y los hidrociclones son los que permiten el decantamiento y la fijación de la partículas por la gravedad y el agua es drenada de ésta manera por el sobre flujo de ésta ó por medio tubos decantadores.

Esto principalmente es usado para tipos de concentrados que requieren llevarlo hacia las fundiciones para su procesamiento final.

En el segundo caso como son los transportes de concentrados de fierro para su transformación en cuerpos pelletizados ó cuerpos de calizas para la fabricación de cemento, entonces la descarga final se efectuará en tanques de recibimiento - que directamente alimentarán la mezcla a la planta por medio de bombas centrífugas evacuándolo de los tanques, en éstos casos generalmente se construyen estanques de emergencia en la descarga final, que posteriormente se remueven con el agua del drenaje obtenido por medio de circuitos cerrados.

5.9. CONTROL E INSTRUMENTACION

Para el transporte de sólidos en grandes distancias de tuberías, es utilizado generalmente operaciones automáticas con un control central, de funcionamiento sobre el flujo de los sólidos en las tuberías.

El trabajo entonces en las tuberías será un sistema de auto-

regulación, que es reforzado por bombas de interrupción tanto para impulsar ó detener el transporte por medio de la presión de succión; muchas veces se requieren pares de bombas que son ubicadas en línea, cuando la operación de éstos es remover las mezclas en líneas multifuncionales, y la velocidad variable se incrementa ó reduce las revoluciones por minuto de la bomba, para mantener la presión de descarga normal de los rangos especificados para una operación normal. Los principales parámetros del flujo de la mezcla que deben de medirse son la temperatura, densidad, velocidad y la presión.

Los instrumentos más comunes para las mediciones de los parámetros por sus funciones son los Rayos Gamma de densidad; el flujometro magnético, los diafragmas capilares conectados a la sensibilidad de las presiones.

Todos estos instrumentos no causan restricciones en el flujo y tienen un contacto indirecto con la mezcla.

Muchos instrumentos son locales y que estan ubicados en la alimentación final de la estación de bombeo , en los refuerzos de la estación de bombeo y en la descarga final.

Todos estos instrumentos tienen su control de lectura fuera de éstos, que son transmitidos hacia un tablero de control central por medio de cables eléctricos, radio ó control retroalimentado por microondas.

Las operaciones lógicas de la mezcla en las tuberías es mani-

pulado mediante instrumentos análogos ó por computadoras digitales, generalmente las computadoras son las comunmente utilizadas por ser más flexibles, estandares y de costo relativamente más barato; desde que las computadoras digitales son de composición sólida, su vida es expresamente superior.

5.10. FACILIDADES DE EMERGENCIA

El lanzado de las mezclas en tuberías es relativamente fácil, el problema es generalmente contenerlo; ésto es más difícil si se trata de grandes longitudes de tuberías.

La ingeniería del transporte hidráulico de sólidos, permite sin embargo darle el impulso necesario a la mezcla según lo permiten las circunstancias é incluye las emergencias que podrían suceder en caso de fracasos.

La tubería deberá entonces mantener el flujo que esta siendo impulsada por inercia y por gravedad en los puntos terminales mediante by-pass que reducen en cierto modo la velocidad, que luego también son atrapadas en estanques ó tanques de suficiente capacidad para prevenir accidentes.

Las emergencias en este tipo de transporte es deterctado inmediatamente por la instrumentación utilizada.

5. 11. REQUERIMIENTO DE AGUA

De los resultados experimentales de la concentración de sólidos se llegará a obtener los requerimientos de agua que se necesitarán para el transporte de los sólidos en tuberías. En nuestra minería, el problema de abastecimiento de agua no sería un factor determinante, ya que los concentrados para su transporte por éste sistema hidráulico utilizarán el mismo elemento líquido utilizado en el proceso de la concentración de los minerales.

El agua a utilizarse también puede ser potable residuales ó el agua de mina.

El agua potable se podrá extraer de fuentes cercanas al punto inicial de impulso; del caudal de la mezcla en las tuberías. El agua potable podrá utilizarse luego de un breve estudio; donde se contemplen los siguientes puntos:

Fuentes; riachuelos, lagos, pozos etc.

Cantidades; para cada una de las fuentes encontradas.

Disponibilidad mensual

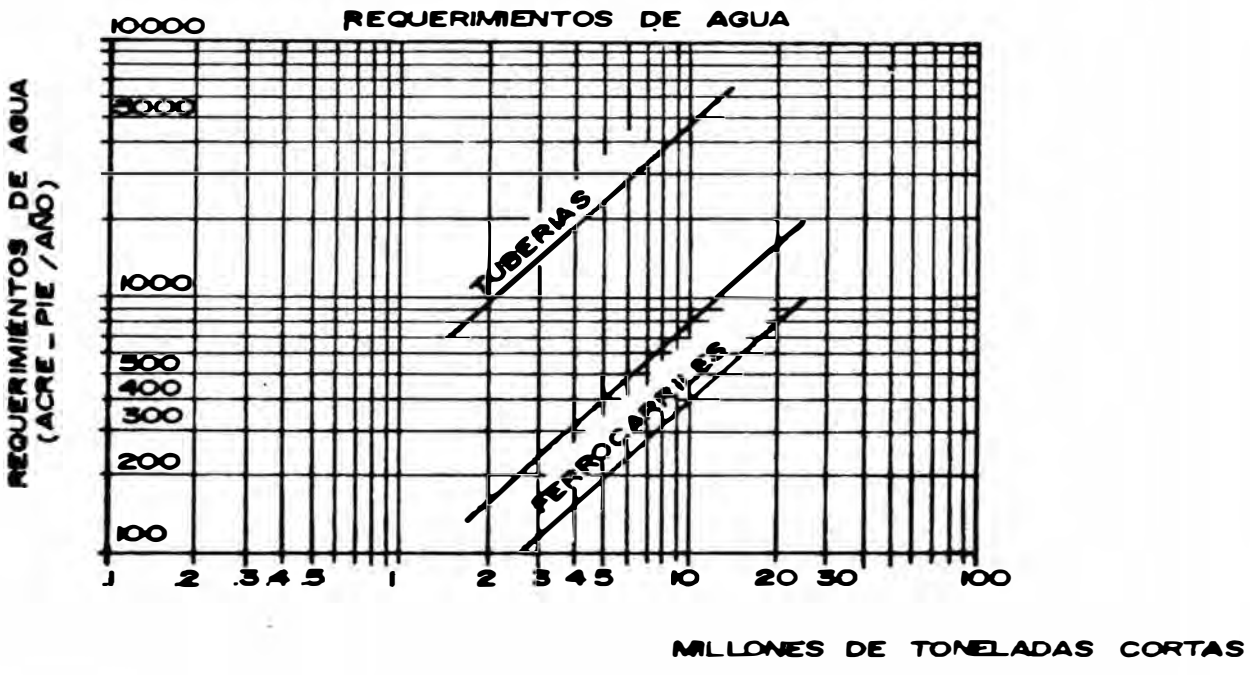
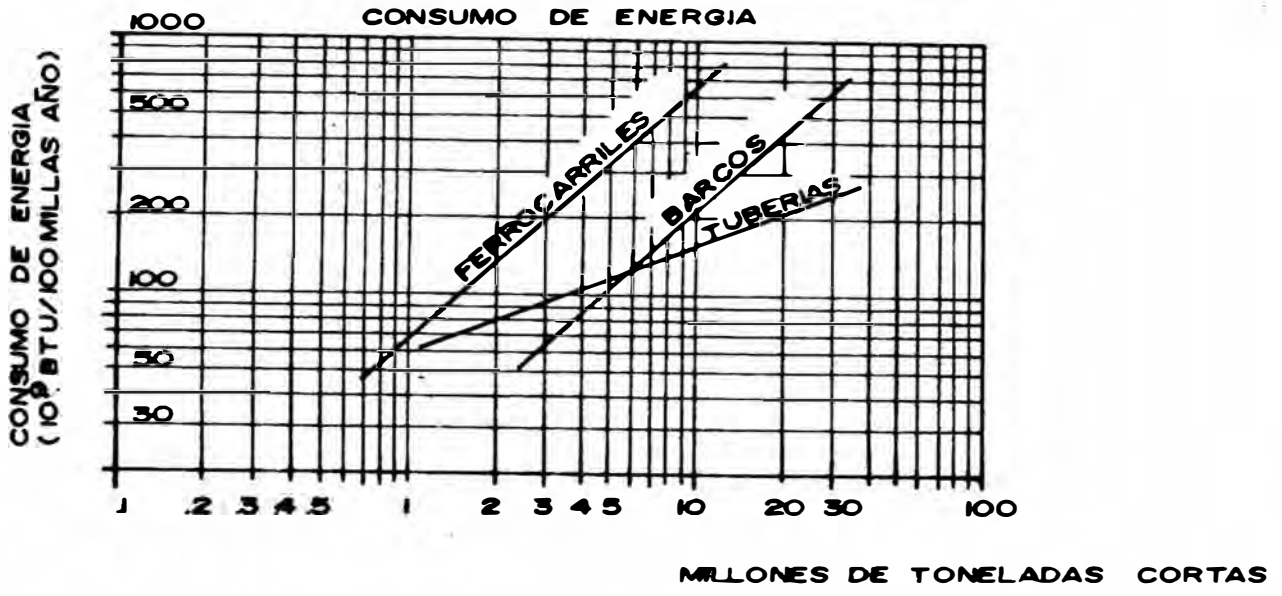
Tasa de afluencia, condiciones de sequía y heladas de invierno.

Propiedad.

Derechos de agua

Costo

Restricciones locales



FUENTE: SKILLINS' MINING REVIEW	UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA	
DIBUJADO: V.R.M.V.	CONSUMO DE ENERGIA Y REQUERIMIENTOS DE AGUA	
V ^o B ^o : V.R.M.V.		
ESCALA: SIN ESCALA	FECHA: JUNIO 1982	

Calidad, posibilidad de cambiar la calidad desde la fuente rfo arriba y su efecto de contaminación de los usuarios rfo abajo.

El agua de mina, también puede utilizarse para lo cual se deberá de tener presente lo siguiente:

Profundidad y fuentes

Cantidad

Calidad, temperatura, PH, contenido de mineral.

Método de drenaje

La determinación de los requerimientos de agua para suministrar un buen bombeo, será determinada mediante simples operaciones aritméticas.

Se tiene como datos: C (w) y S (s)

Luego Calcularemos:

$$DR = \frac{1 - C (w)}{C (W)}$$

$$S (m) = \frac{1 + DR}{DR + \frac{L}{S (s)}}$$

$$C (v) = \frac{S (m) - 1}{S (s) - 1}$$

donde:

DR = radio de dilución

De esta forma C (v), que será el porcentaje de sólidos por volúmen que nos estará indicando los requerimientos de agua; para el caudal a transportarse en las tuberías.

C A P I T U L O VI

6. ASPECTOS ECONOMICOS Y FINANCIEROS

El carácter estratégico de las inversiones han aconsejado la utilización de métodos adecuados para su evaluación,.- en términos de rentabilidad, riesgo y liquides como proceso previo a la selección entre los diferentes alternativas. El proceso de sofisticación de la metodología para la evaluación de las inversiones ha ido realizando cada vez más crítica la validez de la hipótesis que apoyan éstos procesos como la constancia adquisitiva de la moneda; y la asunción de certidumbre del futuro; el pronóstico de los precios y costos.

Generalmente la estimación de los costos y precios se realiza en "monedas sólidos" es decir que su poder adquisitivo sea constante y concluirá con indicadores fundamentales económico-financiero.

6.1. ESTIMADO DE LOS COSTOS DE INVERSION DEL CAPITAL Y PLAN DE DESEMBOLSOS.

Para nuestros estimados tendremos que tomar en cuenta los términos de INFLACION e INVERSION.

Se entiende por inflación al fenómeno de alza general y persistente, del nivel de los precios y costos; cuya expresión en el orden monetario consiste en la depreciación interna de la moneda en términos de poder adquisitivo.

La inflación es una magnitud suficiente para introducir distorsiones significantes dentro de la evaluación misma.

Los proyectos sufren un incremento en los costos operativos y su incapacidad de transferir el precio es efecto de la inflación que obliga a considerar una nueva variable, para los efectos de las evaluaciones.

El riesgo inflacionario es un factor de contexto que, para los efectos sobre la evaluación no puede dejarse de lado. Se requiere a la situación donde ya la inflación existe a escala que requiere ser tomada en cuenta en el cálculo económico ó aplicarse en el curso en que se anticipen cambios futuros, de significancia en el nivel general de precios a partir de una situación de relativa estabilidad.

El análisis de los efectos de inflación sobre los presupuestos de capital estimados para el proyecto es sobre una premisa. Así como las decisiones financieras se toman bajo el supuesto de estabilidad monetaria (constancia del poder adquisitivo) necesariamente basados en criterios matemáticos que reflejan la bondad del proyecto, frente a indicaciones de costo de oportunidad de capital y costos de capital.

La tasa de interés, es la medida en que se pretende hacer una

retribución del capital, la situación debe de comprender: el rendimiento del capital, una cobertura para el riesgo de la actividad y el de la desvalorización por inflación.

6.1.1. INVERSION DE CAPITAL

La inversión de capital es la suma de todos los costos de la infraestructura del sistema así como los equipos a utilizarse.

La inversión de capital así como los costos de operación son los criterios que deberán utilizarse en la evaluación del proyecto.

Un análisis de estos costos de inversión del capital de - presentaremos; para una mejor comprensión de los indicadores del proyecto.

Dentro de los costos de inversión también debemos de considerar el capital de trabajo, que no es más que la inversión para iniciar la infraestructura del sistema que generalmente es el 1% la inversión total más los pequeños imprevistos que puedan suceder.

A. Costo de la propiedad estimada para el transporte en tuberías.

Se tiene en cuenta la longitud directa de la tubería además de:

- El derecho de la propiedad y caminos
- Propietarios de los terrenos a cubrir la ruta de las tuberías
- Costo de la propiedad
- Uso actual del terreno, etc.

B.- Costo de material e instalación de la tubería para el cálculo de los costos aproximados utilizaremos como unidad de medida pie y milla.

Costo de la tubería por pie

Costo de las acoples, pernos, empquetaduras. por pie

Costo por milla= 5280 costo total de tubería derechos de caminos por milla.

Costo de trabajo; cuerdas, ganchos y recubrimientos de las tuberías.

Costo de la instalación por milla.

C.- Costo de instalación de los tanques de almacenamiento.

Datos del tanque; diámetro, área, volumen de acero utilizado, peso del acero, gravedad específica del acero= 7.8

Costo del acero por tonelada

Costo del tanque y materiales

Costo directo de campo, materiales adicionales mano de obra.

Costo instalación del tanque.

Costo del agitador y del motor

Costo directo del campo, materiales adicionales mano de obra.

Costo total de instalación del tanque de almacenamiento y el agitador.

D. Costo de las Bombas de Mineral.

Para los diseños de las tuberías, la pérdida de carga por fricción para una tubería con una velocidad y diámetro determinado; es muy importante.

Todas las condiciones para el bombeo son suministrados por el estudio de los productos y el análisis de sus cotizaciones.

En todo caso experimentaciones previas con la bomba nos dará como resultado el performance de las bombas, unidades requeridas, características de desgaste y mantenimiento.

Costo de la bomba

Costo del motor

Costo de los accesorios, empaquetaduras, correas

Costo de campo, mano de obra

Costo del motor & bomba instalada.

E. Costo de suministro de agua

El costo de los requerimientos de agua estará en función del caudal calculado.

Costo de operación e instalación

F. Costo de subestaciones de Energía Eléctrica como es de conocimiento general; la bomba utilizadas son de

alto consumo de energía por lo tanto es necesario que para cada estación de bombeo existe una subestación de Energía Eléctrica.

Costo de las subestaciones y su instalación.

Costo de la línea de alto voltaje para cubrir toda la longitud de la tubería.

G. Otros Costos; de bombas auxiliares, pozos, sistemas de control para el arranque y parada del sistema.

6.2.2. DESEMBOLSOS PARA LA CONSTRUCCION DEL PROYECTO

Los desembolsos para la construcción de un proyecto de transporte en tuberías; será efectuado a medida que se vaya construyendo toda la infraestructura del sistema.

Los desembolsos se efectuarán por un plazo definido en el que el sistema en su conjunto inicia plenamente su opera-

ción ; pero antes de iniciar los desembolsos se debería de conocer toda las indicadores del aspecto económico-financiero que iremos desarrollando en el presente estudio.

Por ejemplo se requiere realizar una inversión de 4.236 millones de US.\$ 3 años antes de poner en funcionamiento el sistema "GOOD BYE" de tuberías.

El Plan de desembolsos ó calendario de inversiones podría ser el siguiente:

AÑO	INVERSION		FUENTES DE INVERSION		% DEL
	MILLONES DE US \$		Propio	Financiado	Total
1	0.700		X		16.56
2	0.359	1.600	X	X	45.80
3		1.577		X	37.30
3	1.059	+ 3.177			
	=	4.236			100.00

En este punto se debe tener muy en cuenta el problema de la AMORTIZACION, especialmente si la inversión es financiada.

La amortización es el proceso mediante el cual se extin-

que gradualmente una inversión financiada mediante una serie de pagos periódicos.

Cada pago incluye el interés sobre la deuda pendiente y un pago parcial de la deuda sobre el capital prestado.

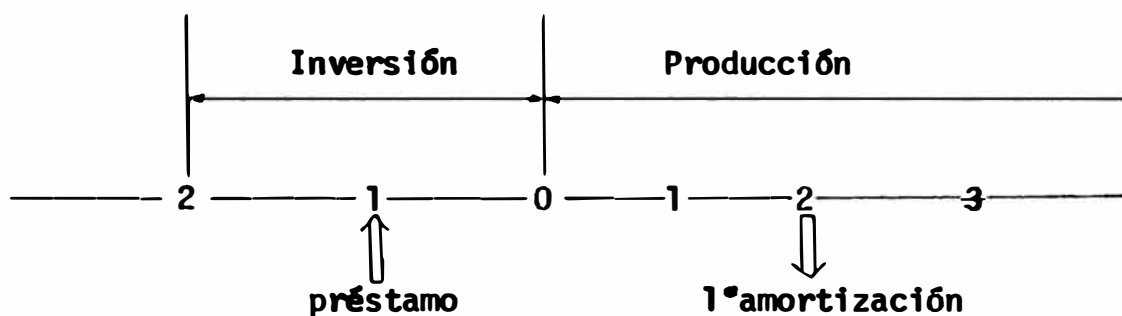
$$R = P \times \frac{i (1 + i)^n}{(1 + i)^n - 1}$$

donde:

R = Anualidad

P = Capital amortizado

El plan de desembolso podemos graficarlo de la siguiente manera; teniendo siempre en cuenta el ejemplo anterior.



donde:

* Capital a financiarle sería

$$C = C. (1 + i)^n$$

* Préstamo para iniciar el 2º año

* Amortizar en 5 años a partir del 2º año de producción.

* Co= Inversión líquida.

6.2. INGRESOS POR CONCEPTO DE LA UTILIZACION DEL SISTEMA DE TRANSPORTE DE SOLIDOS EN TUBERIAS

Los ingresos por concepto de la utilización del sistema de transporte de sólidos entuberías tendrá dos alternativas, si el sistema pertenece a la compañía minera que explota los yacimientos minerales que luego son transportados hasta los mercados de consumo; y así este pertenece a un consorcio de inversionistas extraños a la producción minera. En el primer caso sería el "ahorro" por concepto de fletes de camiones ó ferrocarriles para el transporte de los concentrados; éste un rubro que encarece los costos de operación de un negocio minero.

En el segundo caso, los ingresos tendrán una unidad parecida a los fletes ó alquileres de otros sistemas de transporte con la particularidad que sus costos de inversión y operación serán mucho más bajos.

El servicio que presta este sistema de transporte es un flujo continuo de concentrados ó materiales que evitará demoras en las transacciones de minerales ó abastecerá de materias a las plantas de producción.

Se puede terminar definiendo el Ingreso en este segundo caso como una comisión sobre el servicio del transporte que generalmente es un 15% del costo operativo.

6.3. COSTOS DEL SISTEMA DE TRANSPORTE DE SOLIDOS EN TUBERIAS

Los costos que son logrados, es una propiedad en la operación y es un parámetro de comparación directo con los demás sistemas de transporte.

Los costos de una operación de éste sistema, puede ser una guía útil para estimar, especialmente si se dividen en unidades operativos. El uso de ellos previene de cualquier descuido, lo que sucede con frecuencia en las evaluaciones. A pesar de todo esto no hay forma de cortar caminos al estimar los costos y un buen estimado requiere un estudio muy cuidadoso.

6.3.1. COSTOS DE OPERACION Y MANTENIMIENTO

Los costos de operación se pueden dividir en cuatro clases.

Qué son:

Mano de obra

Mantenimiento

Fuerza Eléctrica y

Mislaneos

Generalmente la mano de obra, mantenimiento y fuerza eléctrica forman entre el 80% y 90%, de los costos de operación y es importante que se dividan en componentes más pequeños.

La mano de obra se puede dividir en mano de obra fija y mano de obra de producción y puede estimarse con bastante exactitud.

La mano de obra fija incluye los grupos de servicio que se establecen para mantener la producción en forma eficiente y desarrollar el sistema de transporte.

El transporte insumos, abastecimientos y mano de obra del costo de mantenimiento debe estudiarse y estimarse desde el punto de vista de la experiencia.

El análisis del método de trabajo y sus aplicaciones servirán para establecer costos de mano de obra de producción realísticos, basadas en el número total de hombres y sus salarios. Para que sea más fácil estimar los costos de mano de obra, es aconsejable desarrollar una planilla de pagos hipotéticos.

Los costos de mantenimiento son los más difíciles de estimar, estos involucran miles de rubros y constituyen entre el 30% y 60% de los costos totales del sistema de transporte. Ayuda mucho hacer una lista de control para cada equipo, dividiendo el sistema hasta el mínimo detalle.

Usualmente en éstas grandes operaciones que son muy meca-

nizadas se tienen grandes costos de mantenimiento. Luego de una discusión de la selección del método más económico de transporte y ya siendo eliminado los demás sistemas por dificultades de operación y por regulaciones gubernamentales; entonces, un estudio será el que determina la inversión y los costos de operación.

- Producción Requerida
 - costos de operación al año
 - horas de operación al día
- Características del Mineral
 - densidad
 - gravedad específica
 - humedad
 - ángulo de reposo
- Exámen de los datos de las tuberías según datos experimentales de la planta piloto de servicios:
 - porcentaje óptimo de sólidos
 - velocidad crítica
 - Diámetro de la tubería
 - Espesor más económico de la tubería.
 - Determinación de toneladas secas por hora.
 - Determinación de la densidad de la mezcla.
 - Determinación del radio de flujo en la tubería.

Requerimientos de agua para el bombeo de la mezcla.

- Costo de la Energía de las bombas.

De la pérdida de carga por fricción se obtienen los HP_s necesarios a utilizarse en todo el sistema costo total de la energía de los HP_s requeridos por toneladas secas de producción.

- Costo de la tubería de Repuesto.

La vida promedio de las tuberías es de aproximadamente 20,000 horas de trabajo ó tres años

Las tuberías pueden ser volteadas cada tres veces(180°, 90°, 180°)

Costo de reemplazo por milla, por la longitud total.

Toneladas secas bombeadas en el tiempo de vida promedio de las tuberías a un caudal de producción requerida.

Costo de tubería de repuestos por tonelada seca.

Costo de mantenimiento de materiales.

- Es un costo exclusivamente para el reemplazo histórico de las tuberías.

- Costo de la Energía del suministro de agua - calculamos los HP necesarios para el requerimiento necesario de agua y el tonelaje bombeado.

Costo del poder eléctrico por hora.

Costo del poder eléctrico por tonelada seca

Costo adicional de otros suministros.

Costo total de suministro de agua.

- Costo de Mantenimiento y operación

Costo de mano de obra por hora promedio

* Número total de hombre para la operación completa de la tubería por día.

* Tareas hombre a la semana

* Total de horas- hombres por día, por hora costo por hora.

Costo de mantenimiento y operación por tonelada seca.

Costo de las bombas y sus reparaciones.

Costo total de mantenimiento y operación.

- Intereses, impuestos y Seguros.

Este costo es generalmente un diez por ciento del costo del capital.

Costo anual por tonelada seca.

La unidad de costos en el transporte en tuberías presenta incluida dentro los costos directos de operación más una comisión de servicio, depreciación, impuestos y seguros.

Los costos de operación incluyen costos de energía eléctrica, gerencia, mano de obra ge-

neral suministros de agua, gastos generales Impustos valores y seguros; tambien se incluyen los costos directos de los materiales y la instalación del sistema con las facilidades necesarias entre las estaciones de bombeo hasta la línea final del transporte. Tambien estan incluidos los costos indirectos por Ingenierfa, constitución de la gerencia, repuestos, funcionamientos inicial y final de la línea y costos de propiedad.

6.3.2. DEPRECIACION

La Depreciación es el costo destinado a la recuperación del capital invertido mediante el trabajo.

La depreciación es también la disminución del valor del costo operativo del sistema; también es un monto de capital permanente que se utilizará en casos de energía y en reposición de la maquinaria necesaria para continuar el desarrollo normal del sistema.

Costo de depreciación = Costo total-la inversión-Costo
reemplazo de accesorios

Depreciación por año = Costo de depreciación
vida del sistema

Costo de depreciación por tonelada seca

= Depreciación por año
tonelada secas por hora. horas de operación por día. días de operación por año.

Un resumen de los costos de Adquisición y mantenimiento podría ser el siguiente:

Costo del poder eléctrico de las bombas
Costo reemplazo de las tuberías
Costo de mantenimiento y operación
Costo de mantenimiento de materiales y reparaciones.
Depreciación
Intereses, impuestos y seguros
Suministros de agua

Costo total por tonelada seca.

6.3.3. SEGURIDAD DE LA UTILIZACIÓN DEL SISTEMA

La seguridad de utilización tiene diversos aspectos. Exige ante todo disponer de un capital suficiente que permita una instalación apropiada del sistema. La utilización del sistema debe ser siempre rentable y permite enfrentarse al futuro confiablemente.

Sin apartarnos de los límites del estudio, analizaremos - tras puntos especiales como son, la importancia de los

derechos de la propiedad, la situación de la competencia y los impuestos y arbitrios que se gravan a la industria y el comercio.

A) Derechos de propiedad y uso, antes de emprender cualquier negocio deberá siempre tenerse en cuenta los derechos de propiedad y la utilización de todos sus elementos.

Los conflictos y disgustos que sobrevienen al proyecto es por no tomar a tiempo las previsiones del caso como los contratos de las tierras, patentes, comisiones. etc.

B) Situación de Competencia; el futuro éxito del sistema también depende de la situación de la competencia. Existe muy pocas empresas para las que se puede decir que no existe competencia alguna, por lo general la lucha es dura y disputada. Ello no quiere decir que la competencia impida el mejor planteamiento del negocio. El costo que se obtiene de la competencia debe ser objeto de un estudio a fin de compararlo con el que se espera obtener; ya que puede monopolizarse el sistema de transporte.

C) Impuestos y arbitrios, la influencia que ejerce sobre

el costo de operación los impuestos tales como los arbitrios, derechos ú otros, deben ser objeto de un atento estudio por cuanto pueden afectar en forma considerable los beneficios posibles tambien es un factor que debe tenerse en cuenta y que influye sin duda alguna en el éxito del sistema de transporte.

6.4. INTERESES

El efectuar una misión de dinero se establece un tipo nominal de intereses que permanece invariante.

No obstante, lo que más importa es el tipo real de interes tanto para una sociedad de trabajo como para el inversionista, el tipo real de intereses no coincide siempre con el nominal que figura en un empréstito, practicamente sería un caso raro el que coincidieran.

Existe en la mayoría de países fuertes imposiciones fiscales sobre los intereses de valores inmobiliarios que, de hecho, reducen considerablemente el rendimiento de las obligaciones.

El tipo de intereses es un sintoma de crédito que disfruta el inversionista; éstos usualmente se denominan "tasas"

El problema de las tasas nominales y reales de interés viene a ser estudiado por su implicancia d en las decisiones de financiamiento.

El interés nominal (K_f) es la tasa declarada en la operación independiente de sus modalidades y características.

El interés real (K_f) es el aumento ó disminución del capital de una unidad económica en un período dado, despojado de las alternaciones procedentes de los cambios en el nivel general de los costos-del proyecto y precios.

La inflación(\emptyset) ; es una determinante en el tratamiento de los intereses, se define como el cambio esperado en el comportamiento de los costos é índices de precios pre-determinados para un determinado período y que a juicio del inversionista es el más apropiado para tomar en cuenta su decisión sobre los efectos de un continuo crecimiento en los bienes de precios, sujetos a transacciones económicas.

$$(1 + K_f^*) = (1 + K_f) (1 + \emptyset)$$

$$K_f = \frac{K_f^* - \emptyset}{1 + \emptyset}$$

Depreciación monetaria (DM), es la depreciación con respecto a un año base de las oscilaciones del nivel general de precios y costos.

$$DM = \frac{P_n - P_o}{P_n} \times 100$$

donde:

P_o = índice del precio del año base.

P_n = índice del precio correspondiente al año para el cual se calcula la depreciación.

6.5. UTILIDAD NETA

Este es un parámetro que mide la bondad del proyecto; el término utilidad neta significa la ganancia del inversionista; de la operación del sistema; por cada unidad monetaria invertida. La utilidad neta para nuestro estudio estará determinada por:

$$\text{UTI} = \text{Costo de Inversión de capital} - \text{Costo de repuestos del sistema}$$

Lógicamente debemos de tener en consideración que tanto la utilidad así como los costos están afectados por los intereses e impuestos de ley.

6.6. PROYECCION FINANCIERA

MORRILL y HOSKOLD, métodos no flexibles que se basan en un flujo de caja que es el movimiento de capital durante una transacción económica-financiera; descartada a una tasa única elegida de acuerdo al, riesgo de la inversión, costo de capital y retribución del capital invertido.

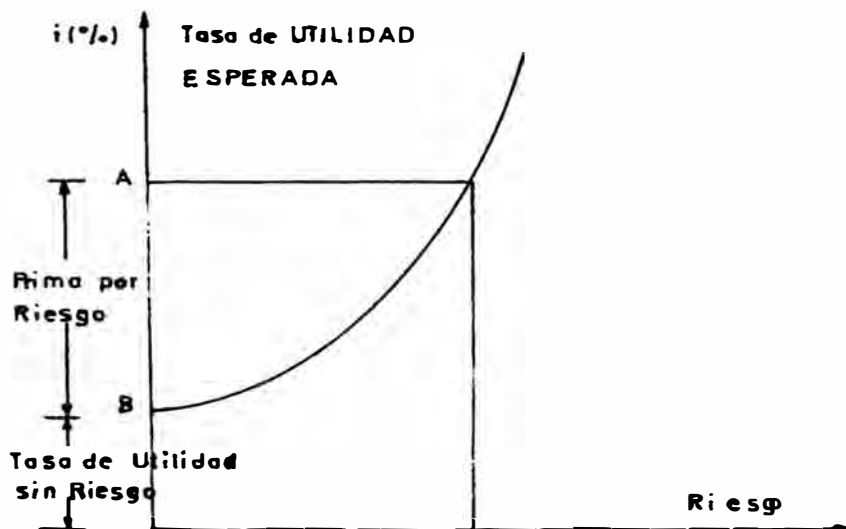
La elección de la tasa de interés pertinente bajo condiciones de incertidumbre tiene su fundamento en el costo del capital, el grado del riesgo de la actividad y beneficio que se espera reditue al inversionista frente al costo de

oportunidad del capital COK (tasa de interés lograda en una inversión alternativa).

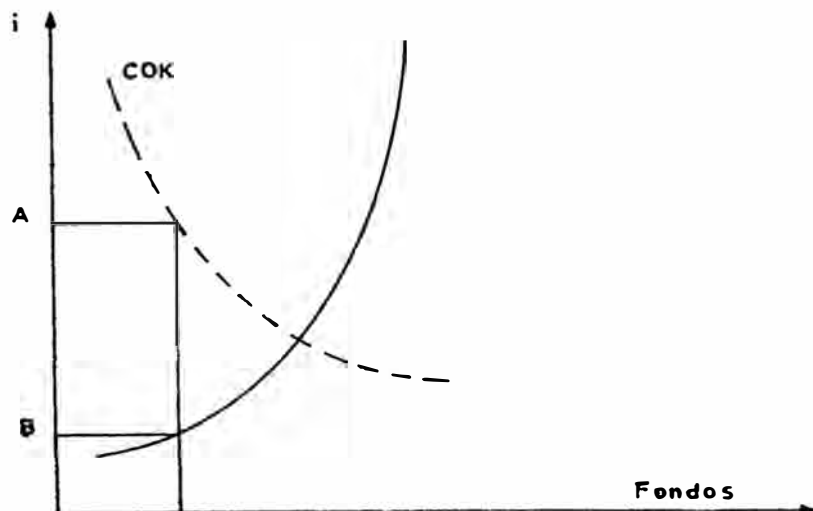
COK = utilidad que se espera recibir sin riesgo alguno derivado de los depósitos a plazo fijo.

tasa de descuento = c.c. + prima por riesgos + Beneficios pertinentes.

$$i = \alpha + \beta + \gamma$$



RELACION ENTRE RIESGO-UTILIDAD



COSTO CAPITAL VS COSTO DE OPORTUNIDAD DEL CAPITAL

FORMULA DE HOSKOLD, es una fórmula de tasas de interés (r) y (r^*) empleada para determinar el valor presente de un flujo de caja, se recomienda ser uso de la Ley General de Minería D.L. 18880, Reglamento de tasación de negocios mineros, Art. 11.

$$VP = \frac{Fi (R^n - m)}{1 + r^* \frac{(R^n - 1)}{r}}$$

donde:

VP = valor presente

Fi = flujo de caja neto

R = 1 + r

m = año del flujo

n = horizonte del año base

r = tasa de interés amortizado

r^* = COK costo de oportunidad de capital

FORMULA DE MORKILL, es el valor presente de una serie uniforme de flujo de caja futura descontada a una tasa r^* .

$$VP = \frac{A (1 + r^*)^n - 1}{(1 + r^*)^n}$$

donde:

VP = Valor presente

A = anualidad (flujo efectivo)

r^* = tasa de interés

n = número de años del horizonte del proyecto.

6.6.1. METODOS DE EVALUACION FINANCIERA

La depreciación de la moneda es la razón que obliga a tratar de cuantificar el grado de riesgo y la rentabilidad de la inversión a través de una tasa de interés pertinente, ajustándolo al riesgo.

Los métodos reconocen el valor del dinero a través del tiempo.

VALOR ACTUAL NETO; es el balance neto del flujo final de cada periodo(beneficio-costos) del proyecto ponderado en el tiempo.

Este es un cálculo matemático considerado debidamente la influencia del tiempo.

$$VAN = \sum_{t=0}^n \frac{B_t - C_t}{(1+i)^t} = \frac{-C_0}{(1+i)^0} + \frac{B_1 - C_1}{(1+i)} + \frac{B_2 - C_2}{(1+i)^2} + \dots$$

$$+ \frac{Bu - Cu}{(1 + i)^n} + \text{valor residual}$$

donde:

Bt = Beneficio de la operación

Co = Costo de la inversión

Ct = Costo de operación

**i = tasa de descuento pertinente - ajustado
al riesgo**

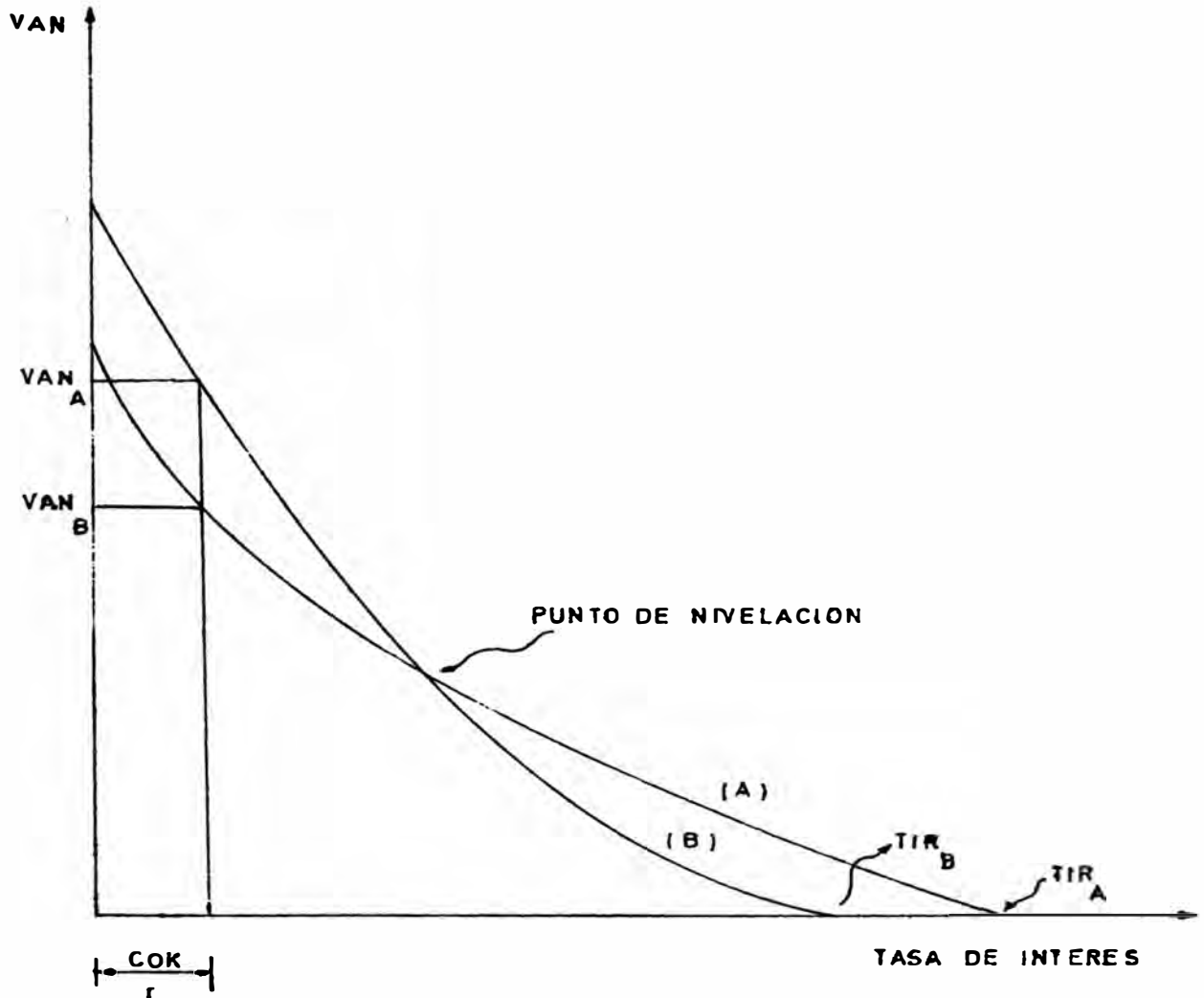
Regla de decisión:

VAN > 0 se realiza ó se continúa el proyecto.

**VAN = 0 Es indiferente, entra en juego algunos
factores como el riesgo.**

VAN < 0 Se rechaza el proyecto.

**Cuando existen varios proyectos de comparación se elige
el de mayor VAN.**



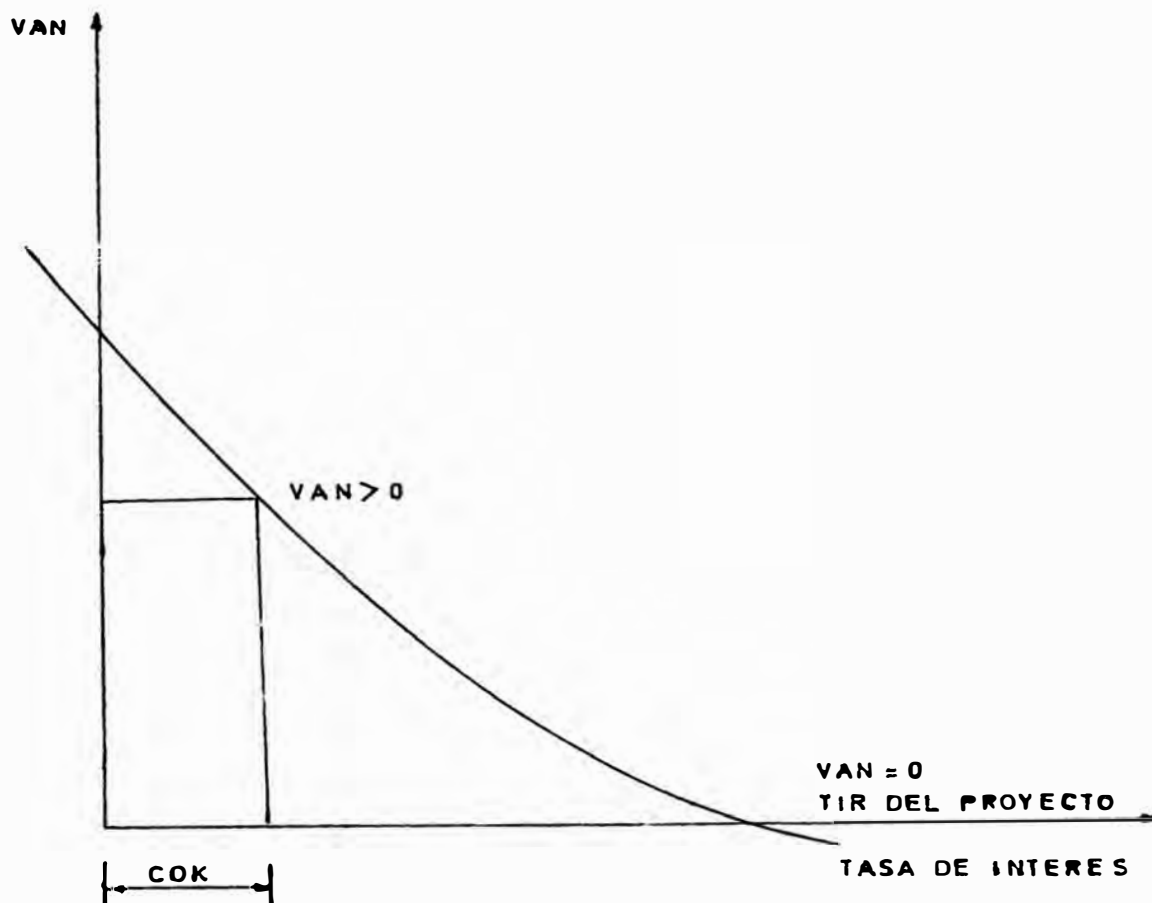
TASA INTERNA DE RETORNO: es el indicador que mide el mérito considerando el beneficio intrínseco del flujo de beneficios y costos.

El TIR refleja el rendimiento flujos discontinuos. Se toma en cuenta indispensable cuando la selección del proyecto se hace bajo restricción en la disponibilidad de financiamiento.

El TIR de un proyecto se determina de la condición del VAN igual a cero

$$VAN = \sum_{t=0}^n \frac{Bt - Ct}{(1+i)^t} = 0$$

$$\sum_{t=0}^n \frac{(Bt - Ct)}{(1 + TIR)^t} = 0$$



RELACION BENEFICIO- COSTO (B/C): es un indicador que resulta dividiendo los beneficios actualizados y los costos actualizados del proyecto.

$$\frac{B}{C} = \frac{\sum_{t=0}^n \frac{Bt}{(1+i)^t}}{\sum_{t=0}^n \frac{Ct}{(1+i)^t}}$$

Regla de Decisión:

$$\frac{B}{C} > 1 \text{ Se acepta el proyecto}$$

$$\frac{B}{C} < 1 \text{ Se rechaza}$$

COSTO EQUIVALENTE ANUAL, en cierta forma, es una fórmula simplificada del VAN, se usa para comparar alternativas que tengan iguales beneficios (generalmente para optimizar el proyecto).

Es igual al producto del VP de los costos multiplicados por un factor de recuperación del capital.

$$CEA = \left[\sum_{n=1}^n \frac{C_n}{(1+i)^n} \right] \left[\frac{1(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right]$$

También existen factores secundarios que no toman en cuenta el valor del dinero a través del tiempo.

PERIODO DE RECUPERACION, Se define como el tiempo que se requiere para que los beneficios netos del proyecto compensen al costo de inversión..

VIDA ECONOMICA DEL PROYECTO, esta se define la duración

del sistema en el tiempo, generalmente finalizará con la estimación de la vida de una mina.

De donde:

$$\text{Vida Mina} = \frac{\text{Reservas (TM)}}{\text{Capacidad de producción (TM/hora)}}$$

En todos estos métodos convencionales de análisis de la inversión; consideran constante el poder adquisitivo del dinero; ésta, es una hipótesis muy importante. En base a éste impuesto es posible considerar como homogénea las diferentes unidades monetarias obteniéndose los distintos precios de inversión una vez que han sido descartadas financieramente.

Los métodos de evaluación de inversiones requieren para su aplicación el cálculo de los balances por período, de-
sitos de impuestos, ingresos- desembolsos ó cajas netas que se generán al acometer el proyecto en la sucesión periódica de la vida útil del mismo.

Estas cantidades aproximadas mediante diferentes técnicas de previsión, se expresan en la unidad monetaria del período correspondiente.

"Capitalización"; es la operación que trasforma una unidad monetaria presente en una unidad monetaria futura y "actualización", es la operación inversa.

Luego de hacer comparable y poder operar con el desembolso inicial y el flujo de fondos de la inversión, el análisis financiero le bastaba un supuesto considerado actualizado ó capitalizar las correspondientes cantidades. La pérdida del poder adquisitivo se puede expresar mediante la fórmula de descuento:

$$\frac{1}{(1 + \theta)^n}$$

La pérdida por inflación en cada período es:

$$Fn - \frac{Fn}{(1 + \theta)^n}$$

Como la tasa de inflación es estimada mensualmente (θ_n) y puede crecer ó decrecer con respecto al mes anterior, la fórmula del valor actual F^* , de un monto en n meses será:

$$F^* = \frac{F}{(1 + \theta_1) (1 + \theta_2) \dots \dots \dots (1 + \theta_n)}$$

Se puede concluir que:

$$\theta^* = \sqrt[12]{1 + \theta}$$

donde:

ρ^* = tasa mensual

ρ = Tasa anual

Si el poder adquisitivo aumenta con el transcurso del tiempo (deflación) la tasa en aplicarse será negativa:

$$\frac{1}{(1 - \rho)^n}$$

Para una mayor comprensión definiremos "Deflactación", es la metodología de transformación de valores expresados en precios corrientes a valores en precios constantes de un año base; el propósito es limitar el empleo de la "deflación" para caracterizar en ésta última expresión el fenómeno opuesto a la inflación.

6.6.2. RENTABILIDAD

La rentabilidad de un proyecto es el beneficio que se logra tanto financieramente como económicamente de un proyecto.

RENTABILIDAD FINANCIERA

La rentabilidad financiera de un proyecto puede definirse como el beneficio contable que resultará de ser ejecución. Cuando el proyecto es complejo, es decir, consta de varias unidades operativas que tienen cuentas automáticas; el análisis financiero y el cálculo de rentabilidad financiera deberá de realizar a nivel de cada una de las unidades y después de una manera conjunta para todo el proyecto.

La rentabilidad financiera consta de calcular matemáticamente.

Tasa aproximada de rendimiento bruto

$$r_m = \frac{R_m - E_m}{\sum_{t=1}^n I^t}$$

$$r_m = \frac{\sum_{t=p}^n (R_t - E_t)}{(n - p) \sum_{t=1}^n I_t}$$

Tasa aproximada del rendimiento neto.

Los cálculos procedentes pueden ser afectados utilizando las amortizaciones.

Si la amortización se calcula para todo el periodo del proyecto y efectúa por medio de la anualidad constante.

$$a = \frac{I i}{(I + i)^n} - I$$

i = interés

$$I = \sum It$$

$$r_h = \frac{R_m - E_m - a}{\sum_{t=1}^p It}$$

$$r = \frac{\sum_{t=p}^n (R_t - E_t - a)}{(n - p) \sum_{t=1}^p It}$$

Beneficio total actualizado y tasa media anual de rentabilidad financiera.

Son muy aproximados pues no tienen cuenta el encarecimiento en el tiempo de los Ingresos y pagos.

$$B = \sum_{t=1}^n \frac{R_t}{(I + i)^t} - \sum_{t=1}^n \frac{E_t}{(1 + i)^t} - \sum_{t=1}^n \frac{I_t}{(1 + i)^t}$$

$$B = \sum_{t=1}^n \frac{R_t - E_t - I_t}{(I + i)^t}$$

El beneficio anual medio equivale al monto de la causalidad constante b .

$$b = \frac{B_i (I + i)^n}{(I + i)^n - I}$$

La tasa anual media de rentabilidad se obtiene dividiendo el beneficio entre las inversiones.

$$I = \sum \frac{It}{(I + i)^t}$$

$$r = \frac{b}{I} = \frac{i (I + i)^n \sum (Rt - Et - It) (I + i)^{-t}}{[(I + i)^n - I] \sum It (I + i)^{-t}}$$

$$r = \frac{B_i (I + i)^n}{I [(I + i)^n - I]} = \frac{B}{I} f(i)$$

$$f(i) = \frac{i (I + i)^n}{(I + i)^n - I}$$

Tasa interna de Rentabilidad financiera.

Es la tasa K que resulta de la tasa de actualización igual a cero.

$$\sum \frac{Rt - Et - It}{(I + K)^t} = 0$$

$$\sum \frac{Rt}{(I + K)^t} = \sum \frac{Et + It}{(I + K)^t}$$

$$\frac{R_t - E_t}{(I + K)^t} = \frac{I_t}{(-I + K)^t}$$

Todo esta rentabilidad financiera esta evaluada p or un plan financiero; que es un estado en el que se reflejan año a año los recursos y los empleos de capitales p ermanentes; en cuentas de Ingresos y costos.

El plan financiero indica las cantidades que deben de proporcionar cada una de las diversas fuentes de capitales permanentes: auto-financiación, préstamos, aumentos de capital, subvenciones, y muchas otras fuentes de ingreso.

PLAN FINANCIERO

NECESIDADES DE CAPITAL

a) Inversiones

Terrenos

Equipos

Trabajo

otros conceptos: formación de personal, adquisición de patentes, gastos de investigación.

b) Otras Inmovilizaciones

Participaciones

c) Crecimiento del fondo de R-otación

activo de rotación compensada tesorería neta.

FUENTES DE FINANCIACION

a) Autofinanciación

amortizaciones

beneficios no distribuidos

aumentos de capital

b) Préstamos

nuevos préstamos

reembolsos de préstamos anteriores

subvenciones y otros recursos.

SALDO.....

Tesorería, indica en un período corto de tiempo las fases de realización del proyecto; la necesidad y liquidez de la operación; y también la facultad para reembolsar los préstamos en corto plazo

Rotación del capital; se refiere a los fondos que se hallan invertidos-en Stocks, sueldos y gastos generados,- éstos valores luego se transforman en un monto de la renta, en créditos a su vencimiento y finalmente en efectivo.

RENTABILIDAD ECONOMICA

La rentabilidad económica debe medir las ventajas que re-

sultan del proyecto para el conjunto de la economía del país ó la región en la que se lleva a cabo.

La rentabilidad económica y la rentabilidad financiera del proyecto esta llevada por la contabilidad de la empresa encargada del proyecto a construirse.

Valor añadido, es la diferencia entre el valor de los bienes y servicios producidos por la actividad y los costos-manuales exteriores a la propia actividad; en el que no sean los salarios ó transformación de rentas de la operación del proyecto.

a) Coeficiente de capital

Una forma aproximada de la tasa de rentabilidad económica del proyecto.

$$r^{\circ} = \frac{\text{Valor añadido anual creado}}{\text{suma de inversiones}}$$

$$= \frac{\Delta (VA)}{\sum I t} = \frac{R_m - E_m}{\sum I t}$$

El coeficiente de capital que representa el costo de la inversión necesaria para aumentar en una unidad el valor añadido, se le llama Intensidad de capital.

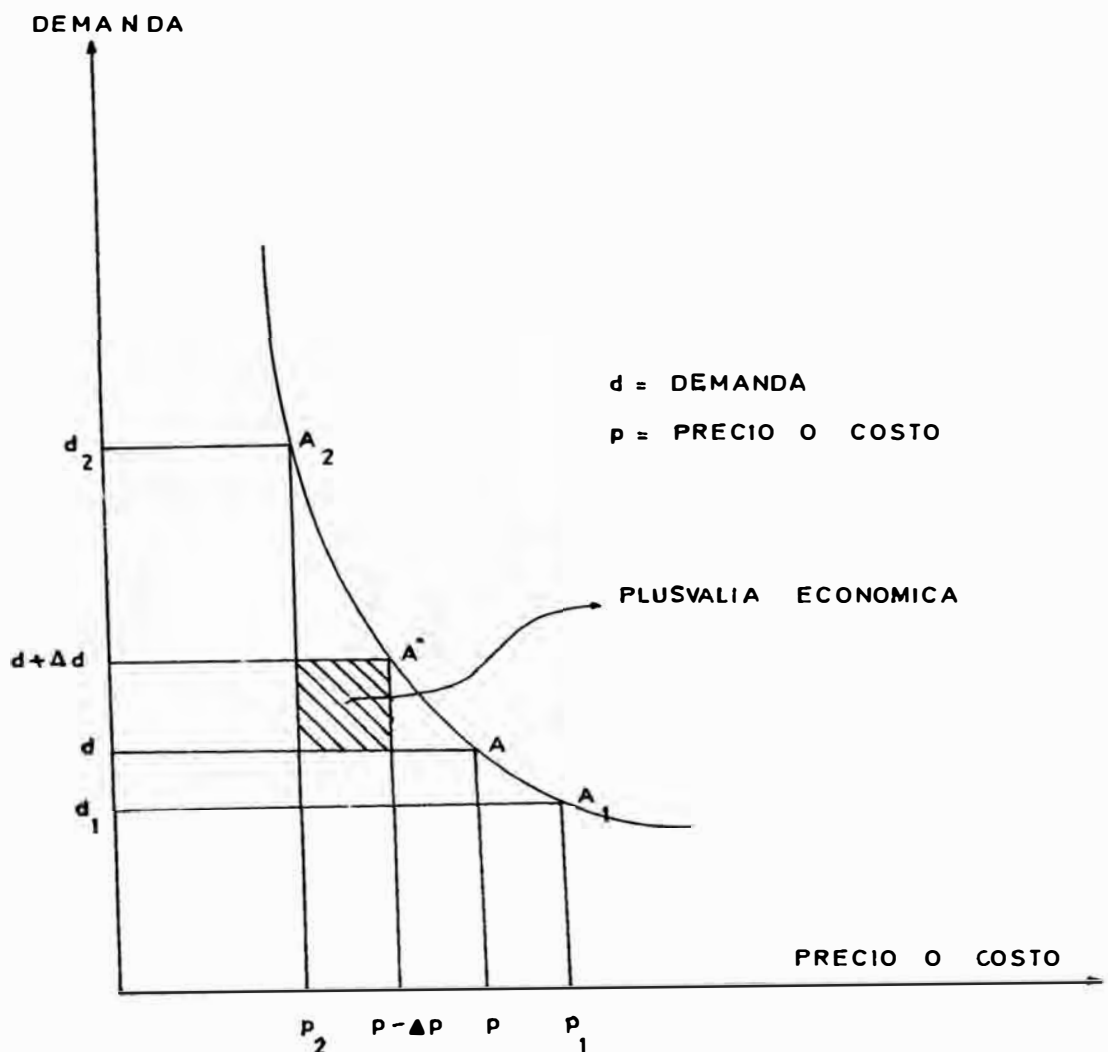
$$C = \frac{I}{r} = \frac{\sum I t}{\Delta (VA)}$$

$$C = \frac{\sum I_t}{\Delta(VA) - a}$$

b) Precios reales y precios económicos.

c) Plusvalía económica.

Es un adicional del valor añadido debido directamente a la realización del proyecto y evaluar los efectos directos.



CURVA DE DEMANDA - PLUSVALIA ECONOMICA

d) Beneficio colectivo total neto actualizado

$$B = \sum \frac{Rt}{(I + i)^t} - \sum \frac{Et}{(I + i)^t} - \sum \frac{It}{(I + i)^t}$$

$$B = \sum \frac{Rt - Et - It}{(I + i)^t} = \sum \frac{\Delta(VA) t}{(I + i)^t} - \sum \frac{It}{(I + i)^t}$$

e) Tasa Interna de Rentabilidad económica.

$$\sum \frac{Rt}{(I + h)^t} - \sum \frac{Et}{(I + h)^t} - \sum \frac{It}{(I + h)^t} = 0$$

$$\sum \frac{\Delta(VA) t}{(I + h)^t} = \sum \frac{It}{(I + h)^t}$$

6.7. COSTOS COMPARATIVOS CON LOS DIFERENTES SISTEMAS DE TRANSPORTE EXISTENTE EN LA MINERIA

Estos costos comparativos es el resumen de un proyecto estimado para una mina a cielo abierto de fosfatos que se requiere transportarlo a una planta de tratamiento-situada a 7 millas de longitud.

La comparación de los costos de tuberías será frente a los costos de caminos y fajas transportadoras; ya que - los ferrocarriles en la actualidad dificultan la operación y existen muchas regulaciones gubernamentales.

DATOS

Producción requerida: 8850,000 yardas cúbicas (banco) por año; con 344 días de operación por año y una operación de la planta de 21.5 horas por día.

Características del mineral:

densidad = 1.593 Tons por yarda cúbica(banco)

gravedad específica = 2.7

humedad = 10%

Sistema de Minerado

El Mineral es cargado y movido por una draga de 35 yardas cúbicas de capacidad.

longitud del sistema= 8 millas

RESUMEN COSTO DE INVERSION:

TUBERIAS

Los costos son para 8 millas de tuberías debido a las consideraciones de propiedad y caminos.

Costo de Material e instalación	554000 \$
Tanques de almacenamiento	42000
Bombas de mineral	1200000
Suministro de agua	145000
Subestaciones	210000
Líneas de poder	55000
Otros	<u>120000</u>
costo total de inversión	2326000 \$

CAMIONES

Toneleros cargadores	500000 \$
12 camioneros	1870000
Llantas	560000
Costo de derecho de camioneros	27000
Dispositivos de voltero en peso	100000
Descarga y lavado de los toneleros	210000
Facilidades de guardiana	100000
Otros	<u>369000</u>
costo total de inversión	3736000 \$

FAJA TRANSPORTADORA

Tonelero de cargo	500000	\$
Alimentador; tableros por milla	731000	
Costo de derechos de caminos	27000	
Tolvas de almacenamiento	50000	
Líneas de poder	52000	
Subestaciones	120000	
Faja principal: 7 millas	4050000	
	<hr/>	
Costo total de inversión	5530000	\$

RESUMEN COSTO DE ADQUISICION Y OPERACION

TUBERIAS

Energía para las bombas	0.057	\$/Tons
Reemplazo de tuberías	0.015	
Costo mantenimiento y operación	0.022	
Costo de materiales y reparaciones	0.035	
Depreciación	0.018	
Interes, Impuesto y Seguros	0.018	
Suministro de Agua	0.015	
	<hr/>	
Costo total por tonelada seca	0.180	

CAMIONES

Adquisición y operación	0.210
Alimentadores	0.013
Llantas	0.018
Facilidad de almacenamiento	0.009
Derechos de camino, y otros	0.029
	<hr/>
Costo total por tonelada seca	0.279

FAJA TRANSPORTADORA

Depreciación	0.055
Interés, Impuesto y seguros	0.044
Energía	0.018
Mantenimiento	0.035
Equipos y operaciones	0.030
	<hr/>
Costo total por tonelada seca	0.182

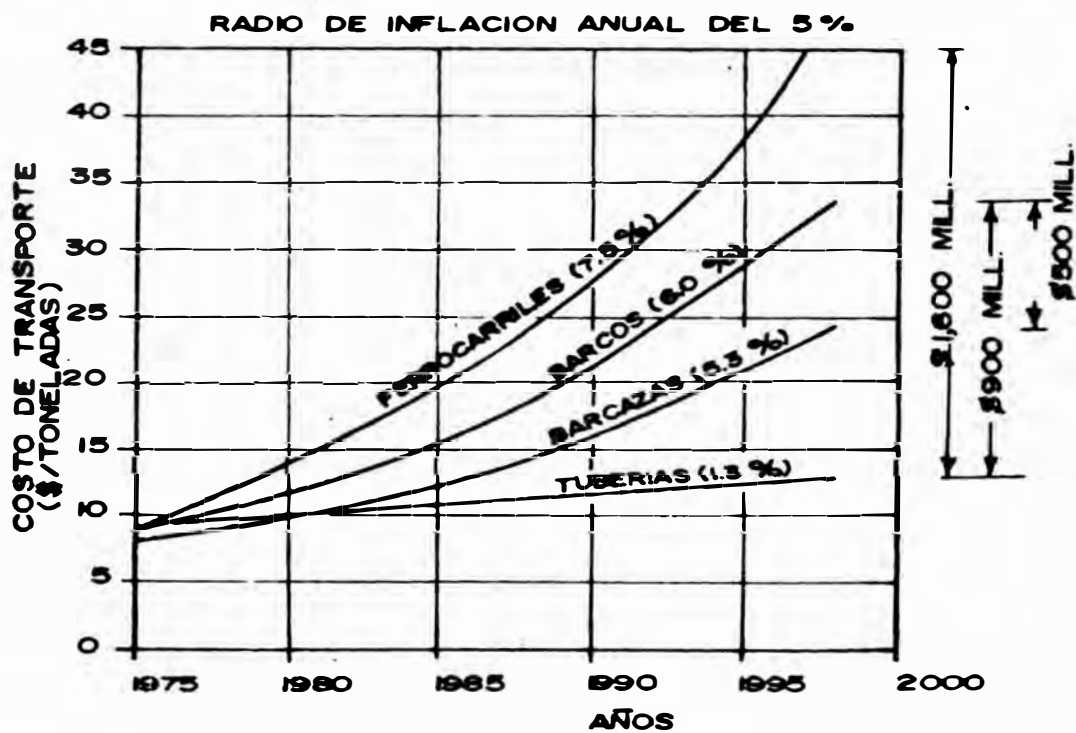
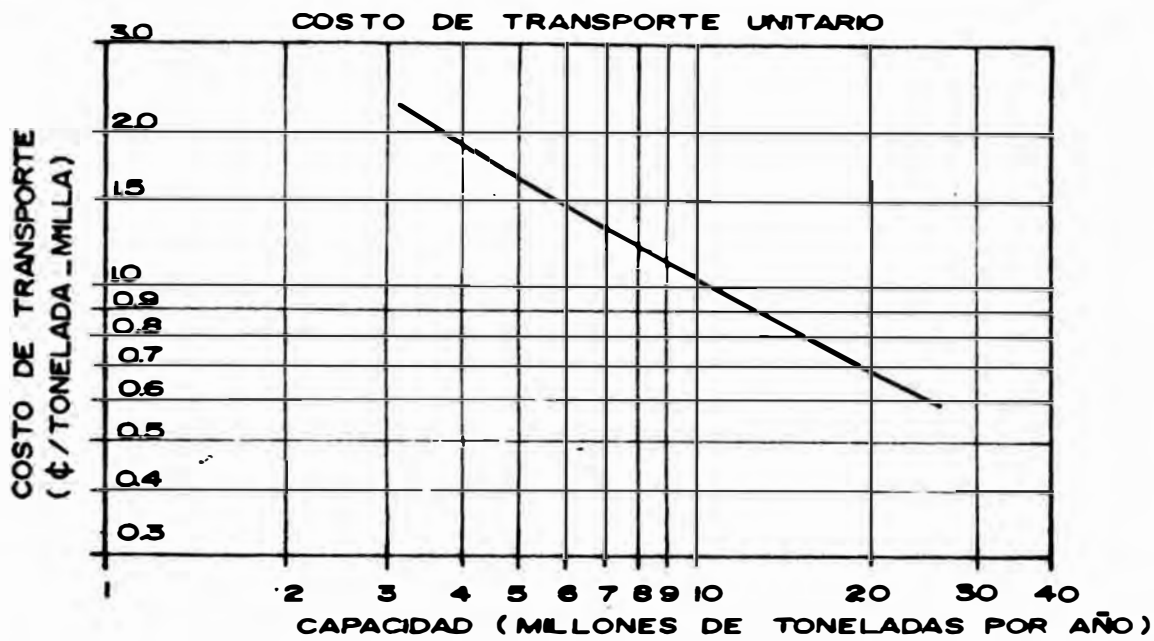
TABLA COMPARATIVA DE LOS COSTOS

	TUBERIAS	CAMIONES	FAJA TRANSPORTA- DORA
Costo de Inversión \$	2326000	3736000	5530000
Costo de Operación \$/Tons	0.180	0.279	0.182

FUENTE: Surface minning; Engene Pleidir

S.S. Scott & T.R. young

1972



FUENTE: SKILLINGS | UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
MINING REVIEW

DEJADO: V.R.M.V. | COSTO DE TRANSPORTE Y
RADIO DE INFLACION
VºBº : V.R.M.V.

ESCALA: SIN ESCALA | FECHA: JUNIO 1982

C A P I T U L O V I I

7. ALGUNOS PROYECTOS APLICADOS A CIERTOS TIPOS DE COMPUESTOS MINERALES.

Esta es una referencia de la extensa utilización del sistema de transporte de sólidos en tuberías.

Mostraremos la técnica de utilización y la ingeniería de los sólidos en las tuberías; además de realizar una breve introducción histórica de su utilización.

7.1. TRANSPORTE DE CALIZAS

Este tipo de transporte se efectuó en California, Estados Unidos.

El rápido agotamiento de reservas de calizas agotó la producción de la planta cemento portland; y después de haber permanecido un año cerrada; entró a reparación general y nuevamente a producir cemento.

Luego de buscar afanosamente otro depósito, se encontró un depósito de 100 millones de toneladas de calizas con mármol de origen marino, formación de arrecifes coralinos de la etapa paleozoica. Una nueva mina a cielo abierto empezó su producción, que suministraría un 80% del material a la planta de cemento con un 10% de arcilla en su composición.

El problema de suministrar el material para producción de cemento en la planta fue el transporte desde el nuevo depósito, por lo tanto surgieron varias alternativas como:

- a) Cerrar la planta reabierta y construir una nueva cerca del nuevo depósito.
- b) Transportar mediante camiones por una carretera de 24 millas.
- c) Instalar una planta de chancado y molienda para producir "lodos" de calizas y enviarlo por tuberías con una longitud de 17.6 millas hasta la planta ya existente.

Más tarde, este fue un nuevo concepto de transporte en la - Industria productiva de cemento, lógicamente se tuvo bastante problema con el nuevo sistema de transporte.

La mina prácticamente no requería de mucho desbrozamiento lo cual facilitaba enormemente las operaciones mineras.

Se optó por la tercera alternativa; la operación de la mina; las plantas de chancado y molienda, la instalación de la tubería, planta de bombeo y planta de chancado fueron ejecutados por la misma compañía con la respectiva ayuda de empresas afines; nos ocuparemos de preferencia al sistema de transporte utilizado ya que es la finalidad del tema.

El sistema y equipo de bombeo fue el siguiente:

la planta de bombeo constaba de 2 bombas centrífugas reforzadas de pistones y 17.6 millas de tubería, ésta era limpiada mediante un soplado de agua. Las bombas tenían una velocidad variable, pero normalmente operaban mantenimiento en flujo adecuado en las tuberías para evitar problemas.

La concentración de los sólidos era del 70% en peso con la adición de un agente reductor de la viscosidad que mejora el flujo transportado. El flujo de la mezcla puede 772 galones por minuto y era operado 3 veces por día ó 5 veces a la semana.

Las unidades de bombeo fueron 2 bombas CONTINENTAL-EMSCO DN- PLEX M 1000 que trabajaba con un caudal de 772 galones por minuto; presión de 1275 lbs. por pulgada cuadrada y 61 RPM, con motores eléctricos de 700 HP.

La tubería fue construida con un diámetro exterior de 7.625 pulgadas con un espesor permisible de 0.250 pulgadas; ésta reabierta por una capa de pintura. La máxima presión operacional diseñada fue 1470 libras por pulgada cuadrada.

La mezcla era recibida y almacenada en tanques de acero de 134 pulgadas de diámetro y 50 pies de altura para almacenar unos 5 millones de galones.

Se cuenta también con 2 bombas auxiliares WILFLEY 5 KB de 100 HP y 900 galones por monto para la limpieza de la tubería.

Los recursos de agua son proporcionados en capacidades necesarias desde un pueblo muy cercano en la mina.

El poder eléctrico por una línea de transmisión de 115 KV con una estación primaria WESTING HOUSE de corriente 7500 / 9375 KVA.

Para las reservas de energía se cuenta con un generador BRUCE G.M. DIESEL INC. de 750 KW.

El tiempo de envío promedio de la mezcla de calizas cubriendo los 17.6 millas entre la mina y la planta de producción de cemento fue de:

4 horas y 5 minutos.

7.2. TRANSPORTE DE FOSFATOS

Este es el transporte que se efectuó a una distancia relativamente corta que transportó sulfato de calcio caliente para fabricación de fertilizantes complejos y ésta ubicada en la parte meridional de los Estados Unidos.

El problema fue transportar 5,000 galones por minuto de mezcla de sulfato caliente desde un reservorio ubicado a 0.5 millas frente a la planta, se tomó la decisión del empleo debido a la inestabilidad del terreno.

El proyecto uso una tubería Thermoplastica, Polybutylene de 18 pulgadas de diámetro y para un servicio de 10 años.

La tubería de la mezcla de sulfato de calcio fue instalada

como parte de una creciente expansión de la planta de fertilizantes que podrían producir 400,000 toneladas por año de ácido y 1.5 millones de toneladas por año de fosfato de amonio.

Como se sabe el sulfato de calcio es un biproducto formado cuando la roca fosfatada reacciona con el ácido sulfúrico y produce el ácido fosfórico; luego éste es reunido para los siguientes procesos mediante el agua y en este instante forma un 22% de sólidos en la tubería con una temperatura de 120°F- y 47 libras por pulgada cuadrada.

Las características corrosivas y abrasivas del sulfato de calcio caliente y agua son muy grandes por lo tanto se necesitara una tubería de una combinación química y abrasiva resistente.

La tubería convencional de caucho y acero fue eliminada por ser alto costo de instalación y problemas asociados a la futuras recolección y extensión de la tubería.

La tubería de Polybutyleno fue seleccionada por tener una instalación económica, de peso ligero, de alta resistencia a la corrosión y a la abrasión de gran resistencia a la formación de lamas en la superficie interior de la tubería, de excelentes características por el flujo y su gran flexibilidad.

Esta flexibilidad permite que las tuberías pueden adaptarse y atravesar diferentes tipos de suelos con un mínimo de esfuerzo en las uniones.

La tubería tipo MLS SCOPP/405; fue suministrada por la división de tuberías plásticas de la ML.

SHELDON PLASTICS de New York; que tenían una longitud de 34 pies y 114 pies. La facilidad con que puede desconectarse la tubería y el peso ligero de ésta compensará la carga que llevará interiormente de cualquier desbrocamiento o rotación de ésta.

La tubería no requiere baños de pintura ni exteriormente ni interiormente por ser de plástico.

La resistencia de la tubería a la abrasión y la corrosión es capaz de estar expuestos a elevadas temperaturas: ser uso esta incrementándose en la remoción de mezclas de cenizas del quemado del carbón en las calderas y depositarlos en los tanques de cola ó canchas de relaves.

7.3. TRANSPORTE DE COBRE

Esta se refiere al sistema utilizado en la mina Bongainviele en Nueva Guinea.

La mina tiene una reserva de 900 millones de toneladas con unas leyes de 0.48 % Cu, 0.018 onzas de oro, 2.75% magnetita por tonelada.

La mina produce 200,000 toneladas por día y 90,000 toneladas en mollienda y concentración.

La operación del transporte hidráulico de sólidos entuberias es la primera vez en lo que se refiere a concentrados que se bombea una apreciable distancia en esta zona, aunque en Chile se tenían 2 líneas que han estado operando con éxito por muchos años.

La planta de bombeo y 17 millas de un sistema de tuberías ha sido diseñado para poder mover 2,000 toneladas de concentrados por día desde la planta de concentradora hasta la planta de filtrado y secado ubicada al final de las tuberías.

El concentrado es tamizado en un cedazo de 100 y con una densidad regulada en un 70% y aprovisionados en los tanques de almacenamiento de 750 toneladas de capacidad; este concentrado llega a chequearlo mediante circuitos cerrados antes de enviarlos por la tubería determinando, la viscosidad, densidad así como también la abrasión de los sólidos.

Los tanques de almacenamiento son de 32 pies de diámetro y 30 pies de altura.

El concentrado posee un 70% de sólidos que han sido tamizado en un cedazo de -325.

Para prevenir la corrosión en los tanques de almacenamiento como en las tuberías se le añade "arcillas" para mantener un PH de 11 en las mezclas ya que con un PH alto es muy difícil de bombear.

Se utilizó una bomba INGERSOLL-RAND de émbolo vertical triplex ubicada en una sola estación.

La mezcla tiene una presión de 1,240 libras por pulgada - cuadrada y alimentada a la tubería de 5.312 pulgadas externa, y un desnivel de 1120 pies lo cual hace que el flujo sea gravitatorio.

CAPACIDAD LIMITE

% Sólidos	Toneladas de concentrado por hora	
	mínimo	máximo
70	125	172
65	90	150
60	77	129
55	65	110

BOMBA

En una estación, una bomba IR de émbolo vertical triplez; de 60 HP por bomba.

CARACTERISTICAS DEL CONCENTRADO DE COBRE

*** Composición mineralógica**

principalmente chalcopirita con un menor porcentaje de hombita, pirita y cuarzo.

*** gravedad específica**

3.72 - 4.26

*** Tamaño de los sólidos**

Tipo de malla	% en peso	
	experimental	diseñado
65	100	100
100	100	98
150	99	95
200	97	83
270	90	77
325	84	70
400	77	65

Ecología

% Sólidos en peso	Viscosidad de la pulpa
65	10.24 centipoises
70	19.43 centipoises

TUBERIA

Longitud = 38,700 pies

Elevación ; punto inicial = 2,080 pies

punto final = 80 pies

máxima elevación = 3,200 pies

diámetro externo = 6 pulgadas

Espeor permisible = 0.344 pulgadas

Area transversal = 22.16 pulgadas

PRODUCCION

Caudal diseñado = 386 galones/minuto

Rango operacional = 1250 - 1590 libras/pulg²

máxima presión admisible

en la tubería : 1º año = 4290 lbs/pulg²

36º año = 3060 lbs/pulg²

Máxima velocidad = 10.4 pies/seg.

Volúmen en la longitud

total de la tubería = 13,650.9 pies³

85,318.3 galones

Rango del caudal (Gra, esp. sólidos = 4.26)

Sólidos (Tons/hora)	% de sólidos (pies/seg)		Tiempo de transporte por minuto
	65	70	
150	6.7	5.7	
125	5.6	4.9	
90	4.0	4.9	

C A P I T U L O V I I I

8. APLICACION DEL PERT-CPM EN LA CONSTRUCCION DEL SISTEMA DE TRANSPORTE DE SOLIDOS EN TUBERIAS EN LA MINERIA

El PERT-CPM. Son dos métodos usados por la dirección para, con los medios disponibles, planificar el proyecto a fin de lograr su objetivo con éxito. Estos métodos no sustituyen las funciones de la dirección, sino es una herramienta de mucha utilidad.

El PERT-CPM no resuelven los problemas por sí solos, sino que relacionan todos los factores del problema de manera que presentan una perspectiva más clara para su ejecución. Muchas veces las decisiones no son fácilmente tomadas debido a su gran incertidumbre, pero el PERT-CPM ofrecen un medio eficaz para reducir ésta y que las decisiones tomadas sean las adecuadas al problema, con una gran probabilidad de éxito. El mayor problema que la dirección enfrenta en un proyecto complejo, es cómo coordinar las diversas actividades para lograr su objetivo, Generalmente los enfoques tradicionales sobre planificación y programación resultan inadecuados e insuficientes, ya que los diferentes grupos que trabajan en un proyecto tienen sus propios planes de realización entre sí, esta separación conduce a una falta de coordinación para el

proyecto como conjunto. En cambio, las técnicas de PERT-CPM preparan el plan mediante la representación gráfica de todas las operaciones que intervienen en el proyecto y las relacionan, coordinándolas de acuerdo con las exigencias - tecnológicas.

En el sistema del transporte de sólidos en tuberías el factor tiempo adquiere mayor importancia en la construcción; no solo por el plazo de iniciación del sistema, sino por el concepto de los costos; si la construcción del sistema de transporte puede conseguir una reducción de tiempo en la realización del proyecto con los mismos medios existentes y no causa aumento de los costos, ésto significará un beneficio. Esta economía indirecta puede ser conseguida mediante el PERT-CPM que mejora el método para la planificación, programación y control de la construcción del sistema.

El PERT-CPM son técnicas del progreso científico que controla la producción por medidas de transporte.

El PERT, es utilizado con mayor acierto en la investigación de los parámetros del proyecto, en los cuales existe el problema de la estimación de los tiempos de trabajo.

En cambio el CPM es utilizado en la construcción general del sistema, en los cuales es fácil estimar los tiempos y costos, y lo que más interesa es la combinación costo-duración de cada tarea para poder lograr un costo total mínimo del proyecto.

Al planificar la construcción del sistema de transporte - existirán máximos y mínimos en las necesidades de los especialistas e individuos particulares que intervienen, y en ocasiones en que éstas se conozcan con anterioridad, puede dedicarse el excedente de tiempo a otra actividad que la empresa considere útil ó desee realizar, como por ejemplo, un esfuerzo a la investigación directa del sistema; y como resumen, las informaciones costo-duración pueden ser utilizados en la planificación empresarial con los siguientes fines:

- a) Determinación y comprobación de su utilización.
- b) Regulación y equilibrio de las cargas de trabajo.
- c) Valorización del tiempo- costo de su construcción
- d) Determinación del porcentaje del trabajo directo
- e) Programa de la mano de obra descompuesta en sus factores.
- f) Identificación y destino del trabajo técnico de la construcción.

El éxito ó fracaso de la construcción del sistema de transporte puede depender directamente de la capacidad para com-

prender rápidamente y utilizar con efectividad, los conceptos del PERT-CPM en las operaciones diarias y en la planificación.

El PERT-CPM tiene razones fundamentales que son interesantes y útiles para la construcción del sistema de transporte ya - que hay una necesidad continua de comprobar la eficacia de las operaciones a través de controles rápidos, directos y muy unidos y, especialmente ver los resultados tangibles de las inversiones; detectando problemas en el curso de su aplicación, preveyendo a largo plazo las desviaciones sufridas por el plan é intentar prevenir sus futuras consecuencias;- finalmente enfrentar la necesidad de reducir el tiempo y los costos de los programas del desarrollo de la construcción del sistema de transporte en tuberías.

C A P I T U L O IX

9. EMPLEO OPTIMO E IMPORTANCIA INDUSTRIAL DE ESTE SISTEMA DE TRANSPORTE.

El transporte en tuberías es diseñado para preveer una gran cantidad de materiales mediante un flujo continuo fundamentalmente.

El transporte de un gran volumen de materiales, la experiencia nos indica que se manifiesta mediante incrementos de mayor número de unidades ó en dificultad del tráfico continuo en las provisiones. Las experiencias también nos indican que los diferentes métodos encuentran las mayores dificultades en los tramos finales; la posibilidad de descarge de los productos al medio ambiente como el incremento de accidentes es muy notorio.

Tomando como unidad fundamental toneladas-milla, el sistema de ferrocarriles por ejemplo tiene 250 veces más accidentes fatales asociados a los sistemas de transporte por tuberías con las experiencias que hasta hoy se tiene. Los ferrocarriles son frecuentes fuentes de incendios debido a la combustión de petróleo ó por las chispas producidas durante el movimiento del equipo; la combustión tiene un inherente riesgo en los incendios.

Las tuberías no constituyen un riesgo de incendios por la

combinación mineral y agua que se transporta.

El ruido producido por los sistemas de transporte como los camiones y ferrocarriles están en el rango de 80 a 100 decibelios y tiene una influencia aproximada de 20 km a la redonda, sin embargo el ruido en el transporte en tuberías está restringido al espacio de las estaciones de bombeo que están cerradas.

El problema compuesto por el gran movimiento anual y por consiguiente los incrementos en unidades de transporte.

Por ejemplo el transporte de carbón en ferrocarriles y camiones es superior al 1% de su carga como fuga de mineral en polvo.

En concentrados de minerales con una alta gravedad específica ésta pérdida es mucho menor; pero siempre un 0.2% de pérdida, podría representar una deposición de 20,000 toneladas de sólidos a lo largo de los caminos de un millón de toneladas movidas por año.

El transporte y manejo de los concentrados en las tuberías no presentan estos inconvenientes.

Las grandes longitudes de tuberías son muchas veces enterradas para protegerlas del frío, calor y clima ambiental. Los impactos de sensibilidad para las facilidades de emergencia está limitada a las estaciones de bombeo cada 100 millas ó más; y las fugas y ruidos son prácticamente despreciables.

Las tuberías generalmente rescatan áreas sin desarrollar, - por lo mayor flexibilidad en las construcciones de sus caminos y accesos.

Las tuberías utilizan cantidades significantes de agua y que esta puede ser utilizada en el proceso final de los productos; pero este es un recurso que debe ser experimentalmente considerado en el estudio preliminar.

Un concepto equivocado acerca de las tuberías es la capacidad y su relativa inflexibilidad; pero la variación de la capacidad siempre tendrá una, disponibilidad eficiente mediante la variación de la densidad y velocidad límite; como también el efecto total puede ser logrado por un grupo de alternativa- del compuesto mineral y agua.

Las comunidades específicamente afectadas por el proceso de instalación y facilidades del transporte a emplearse deberán escoger la mejora que se logrará mediante los impuestos básicos que deberá aportar el tipo de transporte elegido.

El transporte en tuberías es una intensiva inversión de capitales; y uno de los mayores negocios que modifican la estructura socio económica de la zona.

En la actualidad las estimaciones de las tarifas para el - transporte de camiones, ferrocarriles, faja transportadoras son comparadas con los costos de transporte en tuberías.

C A P I T U L O X

10. PROYECTO DE TRANSPORTE DE SOLIDOS EN TUBERIAS "EL INCOGNITO"

El proyecto de transporte en tuberías "Incognito" es, un supuesto proyecto ó es una operación particular de este tipo de transporte.

Supongamos entonces; que se requiere transportar unos diez millones de toneladas de carbón por año entre las minas y el centro de consumo industrial.

Este proyecto permite un cálculo muy rápido de los parámetros preliminares del transporte en tuberías.

Sin embargo, para determinar el proyecto es necesario contar con las bombas y tuberías de uso comercial.

Es importante éste proyecto por utilizar los convenios de la ingeniería preliminar así como los costos de Capital y operación estimados.

Para determinar los requerimientos del transporte, asumiremos las siguientes condiciones.

a) Material: Carbón

Características físicas:

Densidad del cuerpo a granel= 50

Gravedad específica= 1.4

Humedad = 5%

Angulo de reposo = 30 °

b) Condiciones del sistema

Capacidad = 10'000,000 toneladas por año

dfas de operación = 340 dfas por año

hora de operación = 24 horas por dfa

c) Distancia del transporte y elevaciones:

Punto de impulso = 1830 mts.

Punto de descarga = 762 mts.

longitud aproximada = 200 kms

d) Una planta piloto reporta los siguientes datos:

máximo tamaño de las partículas sólidas= debajo de la
malla 8 (2.38
mm)

Porcentaje de sólidos en peso = 50

Velocidad crítica = 6 pies/seg.

PROYECTO:

a) Determinación de la gravedad específica de la mezcla

Radio de dilución = $\frac{\% \text{ en peso agua} = 0.5}{\% \text{ en peso carbón } 0.5} = 1 \text{ DR}$

Gravedad específica = $\frac{\text{DR} + 1}{\text{DR} + 1}$
Sp.Gr. (Sp.Gr. = 1.4)

Gravedad específica = 1.16

$$\text{Densidad} = 1.16 \times 62.4 \frac{\text{lbs}}{\text{Pie cúbico}} = 72.4 \frac{\text{libras}}{\text{Pie cúbico}}$$

b) Determinación de los parámetros de capacidad.

producción por año = 100000 Toneladas cortas

$$\begin{aligned} \text{Hora por día} &= 340 \text{ días por año} \times 24 \text{ horas por día} \\ &= 8160 \text{ horas} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Radio de sólidos por hora} &= \frac{1000000 \text{ toneladas}}{8160 \text{ horas}} \\ &= 1226 \text{ toneladas por hora} \end{aligned}$$

c) Flujo H-idráulico sólido = líquido.

Peso de sólidos en la mezcla = 1226 toneladas por hora

peso de agua en la mezcla = 1226 toneladas por hora
 2452 toneladas por hora

$$\begin{aligned} \text{caudal} &= \frac{2452 \text{ Ton} \times 2000 \frac{\text{libras}}{\text{tonelada}}}{72.4 \frac{\text{libras}}{\text{pie cúbico}}} \end{aligned}$$

$$\text{caudal} = 67734 \text{ pies cúbico por hora}$$

$$\begin{aligned} \text{Caudal} &= \frac{67734 \frac{\text{pies cúbico}}{\text{hora}} \times 7.48 \frac{\text{galones}}{\text{pie cúbico}}}{60 \frac{\text{minutos}}{\text{hora}}} \end{aligned}$$

Caudal = 8444 galones por minuto

d) Cálculo de los requerimientos de agua

caudal de agua en la mezcla = $\frac{1226 \text{ tons}}{\text{hora}}$

agua contenida en los sólidos = $\frac{1226}{0.95} - 1226 \frac{\text{tons}}{\text{horas}}$
 = $64.53 \frac{\text{tons}}{\text{hora}}$

Requerimiento de agua = $(1226 - 64.53) \frac{\text{Tons}}{\text{hora}}$

Requerimientos de agua = 1161.47 tons/hora

= $\frac{1161.47 \frac{\text{tons}}{\text{horas}} \times 2000 \frac{\text{lbs}}{\text{tons}}}{72.4 \frac{\text{lbs}}{\text{pie cúbico}}}$ =

= $\frac{32084.81 \frac{\text{pie cúbico}}{\text{hora}} \times 7.48 \frac{\text{galones}}{\text{pies}}}{60 \text{ minutos por hora}}$

Requerimiento de agua = 4000 galones por minuto

e) Cálculo del diámetro de la tubería

Area = $\frac{\text{Caudal}}{\text{Velocidad del flujo}} = \frac{\pi D^2}{4}$

$$D = \frac{4}{\pi} \times \frac{67734 \text{ pie}^3}{\text{hora}}$$

$$6 \text{ pie} \times 36000 \frac{\text{seg.}}{\text{hora}}$$

D = 24 pulgadas

f) Cálculo de la pérdida de carga por fricción de la fórmula de Hazen & Williams

Q = 8,400 galones por minuto

V = 6 pies por Seg.

D = 24 pulg.

C = 100

$$f = 0.2083 \left(\frac{100}{C} \right)^{1.85} \times \frac{Q^{1.85}}{D^{4.8655}}$$

$$f = 0.2083 \left(\frac{100}{100} \right)^{1.85} \times \frac{(8400)^{1.85}}{(24)^{4.8655}}$$

f = 0.73 pies /100 pies

Para una tubería de C = 140 que son comunmente usados en éste tipo de transporte; su factor de conexión será: 0.54; de donde:

$$f = 0.73 \times 0.54 = 0.394 \text{ pies}/100 \text{ pies}$$

f = gradiente de la pérdida de carga por fricción.

g) Del perfil de la tubería y la gradiente hidráulica se obtiene:

Presión de impulso = 3300 pies

presión de descarga = 1000 pies

h) Selección de equipo

Bombas

Q = 8400 galones por minuto

máxima presión de impulso ó altura total dinámica =

3,300 pies; gravedad específica de mezcla = 1.16

$$\text{máxima presión} = 3300 \text{ pies} \times \frac{1 \text{ mt}}{3.28 \text{ pies}} \times 1.16 \frac{\text{tons}}{\text{m}^2}$$

Máxima presión = 1657 libras por pulgada cuadrada

De los Catálogos de los fabricantes de bombas:

$$\text{Para: presión de descarga} = 1657 \frac{\text{lbs}}{\text{pulg}^2}$$

máximo caudal = 1,400 galones/minuto

entonces para Q = 8400 galones/minuto

$$\text{número de unidades} = \frac{8400}{1400} = 6; \text{ todo los cuales}$$

deberán de estar indicados en paralelo.

Motor

$$HP = \frac{\text{pies (mezcla)} \times \text{libra/minute (mezcla)}}{33000 E}$$

$$\text{pies (mezcla)} = 3300$$

$$\frac{\text{libra (mezcla)}}{\text{minute}} = 1400 \text{ galones/minute} \times 8.33 \frac{\text{lbs}}{\text{Gal.}}$$

x gravedad especifica.

$$= 1400 \times 8.33 \times 1.16$$

$$= 13528 \text{ lbs}$$

motor

$$E = \text{eficiencia total} = G. \text{ motor} \times E. \text{ Bomba}$$

$$E = 0.95 \times 0.9 = 0.85$$

$$HP = \frac{3300 \times 13528}{33000 \times 0.85} = 1600$$

$$HP = 1600$$

Espesor de la tuberfa

Usando :

$$t = \frac{pD}{S} + C$$

$$p = 1657 \frac{\text{lbs}}{\text{pulg}^2}$$

$$D = 24 \text{ pulg}$$

S = (para tubería de acero al carbón ASTM-A53)

$$S = 60,000 \frac{\text{lbs}}{\text{pulg}^2} \times \text{eficiencia de campo (0.75)}$$

$$S = 42,000 \text{ lbs/pulg}^2$$

C = 3 mils por año

$$C = 0.003 \text{ pulg} \times 20 = 0.06$$

$$t = \frac{1657 \times 24 \div 0.06}{42000}$$

$$t = 0.94 + 0.06 = 1 \text{ pulg.}$$

Bomba auxiliar

Es necesario para limpieza del sistema; y asumiremos una máxima presión de 100 lbs/pulg², para Q = 3400 galones/minuto.

$$\begin{aligned} \text{pies de mezcla} &= 100 \text{ lbs/pulg}^2 \times 2.31 \text{ horas} \times \frac{\text{lbs}}{\text{pulg}^2} \\ &= 199 \text{ pies} \quad 1.16 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{libra/minuto} &= 3400 \text{ galones/minuto} \times 8.33 \frac{\text{lbs}}{\text{galones}} \\ &= 1.16 = 81544 \frac{\text{lbs}}{\text{minuto}} \end{aligned}$$

$$E = 0.65$$

$$\begin{aligned} \text{HP} &= \frac{199 \times 81544}{33000 \times 0.65} = 755 \end{aligned}$$

INVERSION DE CAPITALBOMBAS

Bomba Triplex 11 x 10 pulg.	\$ 190000
Motor 1000 HP a \$ 20/HP	20000
Fajas de motor (10% Bomba)	19000
Empaquetaduras (agua)	<u>19000</u>
Bomba & Motor	\$ 248000
Materiales del campo (25% Bomba & Motor)	\$ 62000
Mano de obra (25% Bomba & Motor)	<u>62000</u>
Costo directo	\$ 372000
Costo Indirecto (30% costo directo)	111600
Emergencias (10% costo directo)	<u>37200</u>
Costo total de Instalación	\$ 520800
por 6 unidades	\$ 3124800

Costo bomba auxiliar

Bomba centrífuga	\$ 8000
motor 200 HP \$ 25/HP	5000
Fajas de motor	<u>1400</u>
Bomba & motor	\$ 14400
Materiales de campo	4300
Mano de obra	<u>4300</u>
Costo directo	23000

costo indirecto	6900
Emergencias	<u>2300</u>
Costo de Instalación	\$ 32200

Costo tuberfa

Material de la tuberfa = acero al carbón de -
\$ 400 por tons.

D = 24 pulg.

e = 1 pulg.

longitud = 200 kms ó 476000 pies

peso tuberfa = 50 lbs

pie

costo unitario = 12.5 \$ /pie

costo tuberfa = \$ 5950000

costo de Instalación : 3.75 \$/pie incluyendo todo
los accesorios indispensa-
bles.

costo Instalación = \$ 4165000

costo total de Instalación = \$ 10115000

Costo de los tanques de almacenamientos

Para 8,400 galones/minuto requerimos 2 tanques de D = 40 p ies
y 40 pies de altura.

Gr. Esp. = 7.8

Peso total = 51 tons.

Costo material 51 ton x 400 \$/ ton.	\$	20400
mano de obra 1.0 costo material		20400
accesorios 50% de costo material		<u>10200</u>
costo directo	\$	51000
costo indirecto		15300
Emergencias		<u>5100</u>
costo total de instalación	\$	71400
del tanque.		
costo de un agitador 6 pies de diámetro		15000
motor 100 HP, \$ 30/HP		<u>3000</u>
agitador & motor		18000
costo materiales (0.1- agitador & motor)		1800
mano de obra(0.2 agita- dor & motor)		<u>3600</u>
costo directo	\$	23400
costo indirecto (0.3 costo directo)		7000
emergencias(0.1 costo- directo)		<u>2400</u>
costo instalación del agitador	\$	32800
costo de Instalación de tanque.		<u>71400</u>
costo instalación tan- ques & agitador	\$	104200
Por 2 unidades		234000

Inversión de capital total

Bombas	\$	3124800
Bombas- auxiliar		32200
Tuberfa		10115000
tanques de almacenamien- tp		<u>234000</u>
Total	\$	13506000

COSTO DE OPERACION

Costo energia = 0.010 \$ /KwH

HP = pies de mezcla x lbs/minuto

33000 x E

pie de mezcla = 3300

lbs/minuto = 8400 galones/minuto x 8.33 lbs x 1.16
Galones

lbs/minuto = 81167.52

E = 0.85

HP = 3300 x 81167.52 = 9,600

33000 x 0.85

Costo energia = 9600 x (0.746) (0.010) = 0.058

1226

costo energia = 0.058 \$/toneladas

Costo reemplazo de tuberfa:

se sabe; vida tuberfa = 2000 hora de trabajo

costo reemplazo = 39500 \$ /km

para 200 km = 7900000 \$

toneladas de sólidos bombeo en 20000 hora x 1226 tons =
hora

24520000 Tons

costo de reemplazo = $\frac{7900000}{24520000} = 0.322$

costo reemplazo = 0.322 \$ /Tons.

Mano de obra de operación y mantenimiento asumiendo; costo de mano de obra = 3 \$/hora

asumiendo 20 hombres para la operación

completa de la tuberfa; en 2 guardfas, solo 5 días a la semana.

total horas - hombre/dfa = $20(24) + \frac{16(40)(5)}{7}$
= 937

total hora - hombre/hora = $\frac{937}{24} = 39$

Costo /hora = 39 x 3 = 312

Costo de mano de obra = $\frac{312}{1226} = 0.250$ \$/Tons

Mantenimiento materiales, historicamente = 0.035

Depreciación

$$\begin{aligned} \text{Costo depreciable} &= \text{total capital invertido} \\ &\quad - \text{costo de reemplazo} \\ &= 13506000 - 7900000 \\ &= 5606000 \end{aligned}$$

Para una vida 20 años = 280300

$$\begin{aligned} \text{Costo depreciación/Tonelada} &= \frac{280300}{1226 \times 24 \times 340} = 0.0280 \end{aligned}$$

Intereses, Seguros & Impuestos.

es un 10% del capital invertido

$$\begin{aligned} \text{costo anual/Tonelada} &= \frac{1350600}{10004160} = 0.135 \end{aligned}$$

costo de suministro de agua, generalmente para los 4,000 galones por minuto de:

$$\text{costo suministro} = \$ 0.015/\text{Tons}$$

COSTO DE OPERACION POR TONELADA

Energía	\$ 0.058
Reemplazo de tuberías	0.322
Mano de obra	0.250
Depreciación	0.028
Interes, Seguro &	
Impuestos	0.135
Requerimientos de agua	<u>0.015</u>
Costo total	\$ 0.808 /Tons.

CONCLUSIONES

- 1.- El consumo y la producción de los minerales muestran anualmente un incremento significativo, que son imágenes representativas del desarrollo industrial y que fuerza a una rigurosa evacuación económica de todos los costos comprometidos en la producción de metales refinados.
Es por eso la incesante búsqueda de nuevos sistemas de transporte que minimicen los costos de refinamiento de los minerales y uno de los que está dando mejores resultados es el transporte hidráulico en tuberías.
- 2.- La actual tecnología del transporte en tuberías está bien sustentada por los trabajos experimentales y los dos billones* de toneladas anuales-milla de transporte comercial de carbón, calizas, concentrado de hierro y cobre.
- 3.- El transporte por tuberías tiene un pequeño ecológico, en la etapa de construcción como en la etapa operacional.
- 4.- La utilización de la mano de obra y energía en el transporte por tuberías es mucho más baja en comparación con otros tipos de transporte; teniendo ésta, aún una ventaja adicional en cuanto a la mejor utilización de estos recursos.
- 5.- La aplicación del transporte por tuberías permite que los -

costos de transporte sea competitivo con la importación de productos extranjeros.

- 6.- En el transporte de sólidos en tuberías no existe limitación tecnológica en cuanto se refiere a la densidad ó tamaño de las partículas en el transporte de cualquier material de un proceso minero; y proporciona un flujo continuo de materiales en los centros de consumo.
- 7.- El sistema permite el trazado de una vía más corta entre dos puntos de transporte, pudiendo ser instalado contrapendientes; además de eliminar la influencia de los factores climáticos adversos.
- 8.- La contaminación ambiental producida por los sistemas de transporte por la emisión de hidrocarburos ú otros elementos nocivos a la vida es intensa, sin embargo; en el sistema de transporte en tuberías es definitivamente nula.
- 9.- El porcentaje de sólidos no cambia las condiciones del flujo al menos cuando éste es por gravedad, ya que éstas condiciones son independientes de la densidad de la mezcla; pero para un flujo constante, un mayor porcentaje de sólidos significa mayor peso a transportar; pero la pérdida de carga es proporcional a la densidad de la mezcla.

- 10.- El tamaño de las partículas así como la distribución granulométrica tiene una fuerte influencia en el comportamiento hidráulico de las mezclas. Pero un porcentaje adecuado de partículas finas disminuye la tendencia a una mayor sedimentación.
- 11.- En el transporte hidráulico en tuberías el material sólido debe mezclarse muy bien con agua hasta formar una buena mezcla, ésta luego requiere agitación natural ó artificial para mantener las partículas en suspensión.
- 12.- El flujo en las tuberías deberá de ser un régimen turbulento a lo largo de toda la red de tuberías; y lógicamente la velocidad será un factor predominante para mantener todo el material en suspensión.
- 13.- Los efectos del diseño de duración, considerando una vida de 20 años es considerada dramática para la mayoría de los sistemas de transporte; sin embargo para grandes longitudes de transporte en tuberías es modestamente corta.
- 14.- Los costos del transporte por tuberías están en menor sensibilidad a la inflación por la característica del sistema.
- 15.- Del análisis de éste sistema puede verse que tiene una gran

ventaja económica por la simplicidad de trabajo ya que puede ser totalmente automatizada, además de la ausencia de costos de descarga en el punto final de las tuberías.

* SKILLINGS' Mining Review Mayo 1976.

RECOMENDACIONES

- 1.- El presente estudio no pretende dar reglas absolutas para el desarrollo de un sistema de transporte por tuberías más por el contrario proporciona las pautas e inquietud necesaria para seguir desarrollando los principios teóricos del transporte hidráulico de los sólidos.
- 2.- El estudio permite obtener parámetros aproximados del sistema de transporte por tuberías que se ajustan mucho en la realidad.
- 3.- La determinación del sistema óptimo, es decir número de plantas de bombeo, sistema de tuberías, diámetro; es materia de un estudio más detallado que se determina mediante en el trabajo de campo.
- 4.- Los proyectos y la explotación del sistema de tuberías para cortas ó grandes distancias requieren detenidos estudios y cálculos tanto en el aspecto teórico como en el económico.
- 5.- Los parámetros experimentales del porcentaje de sólidos, velocidad crítica y el diámetro de la tubería obtenidos de "plantas pilotos", la ley de semejanza juega un papel importante en la simulación del fluido sólido-líquido en las tuberías.

- 6.- El transporte de sólidos en tuberías si bien es un transporte sencillo que fácilmente puede superar obstáculos como montañas y ríos, tiene ciertas dificultades técnicas en su ejecución que merecen ser estudiados detenidamente.

- 7.- Existen muchos excelentes estudios y la información disponible de la teoría de sólidos en tuberías no ésta muy avanzada; pero la teoría de la hidráulica y la mecánica de fluido podrían proporcionar una velocidad máxima y mínima del flujo, pérdida de carga por fricción, requerimientos de energía, tamaño de la bomba y la tubería; muy aproximador.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- **MECANICA DE FLUIDOS**
Streeter, Victor
Mc. Graw- Hill
New York, 1963

- 2.- **MECANICA DE FLUIDOS E HIDRAULICA**
Ronal V. Giles B.S., M.S.U.C.E.
Mc Graw- Hill Schaum
1966

- 3.- **HIDRAULICA**
Apuntes del curso- UNI 1977

- 4.- **SME MINNING ENGENIERING HANDBOOK**
Cummins, Arthur B y Given, Ivan A.
New York, 1973

- 5.- **XII CONVENCIÓN DE MINERIA**
Arequipa 1972

- 6.- **THE TRANSPORTATION OF SOLIDS IN STEEL PIPELINES**
Colorado School of Mines Research Ron Foundation INC 1963

- 7.- **FLOW OF LIMESTONE AND CLAY SLURRIES IN PIPELINES**
Smith R. W-. AINE 1960

- 8.- **PUMPING SOLIDS THROUGH A PIPELINE**
Julian Nardi
Minning Engineering 1959

- 9.- SLURRY PIPELINES
V.R. Cabrera
World Mining 1979
- 10.- MINERALS TRANSPORTATION
Mining Magazine 1976
- 11.- FEASIBILITY OF LONG DISTANCE PIPELINE TRANSPORTATION OF
IRON ORE CONCENTRATE.
Jid Pitts And to aude Mining
Review, 1976
- 12.- RELLENO HIDRAULICO
Memorandum interno de Centromin-Perú 1974
- 13.- FLUID AND PARTICLE MECHANICS
Newark, University of de la Ware, 1951
- 14.- TRANSPORTE HIDRAULICO DE SOLIDOS EN TUBERIAS
Juan Rayo
Minerales 1974
- 15.- TRANSPORTE HIDRAULICO DE RELAVES DE COBRE
Pablo Keiman
Minerales 1974
- 16.- SOLID-LIQUID FLOW SLURRY PIPELINE TRANSPORTATION
E.J. Weep J.P. Kenny, R.L.
Bechtel Inc., 1977
- 17.- PARAMETERS AND FLOW REGIMES FOR HYDRAULIC TRANSPORTATION OF COAL
BY PIPELINES
V.V. Traynis
USSR 1977

- 18.- PIPELINE TRANSPORT OF CONCENTRATES SLURRIES
A.Y. Smoldyrev, Y.K. Safonov
USSR 1979
- 19.- SLURRY HYDROTRANSPORT OF MINERALS AND TAILINGS
V.M. Karasik
USSR 1979
- 20.- OPTIMUM PIPE SIZE SELECTION
Claude B. Nolte 1978
- 21- HANDBOOK OF MINERAL ORE DRESSING AND INDUSTRIAL MINERALS
Arthur F. Taggart
John Wiley & Sons, Inc.
New York, 1927
- 22.- HYDRAULIC FILL SYSTEM
Felipe de Lucio
Yauricocha- Departamento de Minas
Oroya 1969
- 23.- THE HANDLING AND PLACEMENT OF HYDRAULIC BACK FILL UNDERGROUND
R.C. Mott
The Canadian Mining And Metallurgical
1960
- 24.- ESPECIFICACIONES Y TEORIA PARA EL RELLENO HIDRAULICO
Felipe de Lucio
XII Convención de Ingeniería de Minas
1972

- 25.- CITEM REVISTA DEL INSTITUTO CIENTIFICO Y TECNOLOGICO MINE---
RO
Energfa y Minas
1976
- 26.- PROYECTOS DE INVERSION EN MINERIA
Elmer Arauzo B.
Tesis de Grado
Universidad Nacional de Ingenierfa
1978
- 27.- SURFACE MINNING
Pfleider, Eugene P.
Asociacion de Ingenieros de Minas del AIME
New Y-ork
1968
- 28.- FINANCIAL MODELING AND EVALUATION OF NEW MINE PROPERTIES
Gentry, D.W. y O'Neil T.J.
12°Simposium de APCOM, Co.
1974
- 29- PUMP SLURRY BACKFIELING OF INACCESSIBLE MINE WORKING
Whafte, R.H. & Allen A.S.
U.S. Bureau of Mines
1975
- 30.- BOMBAS- APLICACION EN LA INGENIERIA
Tyler G. Hicks, P.E.
Mc Graw- Hill Inc.
1971.

- 31.- TRANSPORTE DE FLUIDOS POR TUBERIAS
FRitz Herning
1975
- 32.-- PROYECTOS DE INVERSIONES
Rosenfeld , Felix
EHE, 1968
- 33.- TECNICA DE LA FINANCIACION DE EMPRESAS
Urbain J. Vaes
Enciclopedia del Management
1969
- 34.- TECNICA DE COSTOS
A. Kaye
Editorial Asociados S.R.L.
1979
- 35.-- HYDRAULIC SANDFIEL IN DEEP METAL MINES
M.C. Nay, Lewis M.
1975
- 36.- PERT-CPM Y TECNICOS RELACIONADOS
Munier Nolberto
Colección Empresa
1966
- 37.- CAPITAL COST ESTIMATING
K.W. Guthrie
Chemical Engineering, March
1969

- 38.- **MANUAL DEL INGENIERO**
John H. Perry, PH. D
Union Tipográfica
EHA, 1976
- 39.- **HIPERCONCENTRACION DE SEDIMENTOS SUSPENDIDOS**
Beberage J.P. & Culberton J.K.
1964
- 40.- **MECANICA DE FLUIDOS**
Levi, ENZO
Universidad Autonoma México
1965
- 41.- **MECANICA DE FLUIDOS**
Casas, Manuel
UNI, 1966
- 42.- **PERT, UN NUEVO INSTRUMENTO DE PLANIFICACION Y CONTROL**
Stilian, Grabiell N.
Ediciones Deusta
1973
- 43.- **APLICACIONES PRACTICAS DEL PERT-CPM**
Yu Chuen-Tao, Luis
Ediciones Deusta,
1974

PESOS Y MEDIDAS

1.- MEDIDAS DE LONGITUD

1 Centímetro = 10 milímetros
= 0.3937 pulgadas

1 Metro = 100 centímetros
= 39.37 pulgadas
= 1.094 yardas

1 kilómetro = 1000 metros
= 0.6214 millas

2.- MEDIDAS CUADRADAS

1 Centímetro cuadrado = 0.155 pulgadas cuadradas

1 Metro cuadrado = 10.764 pies cuadradas

1 Kilometro cuadrado = 247.1 acres
= 0.3861 milla cuadrada

1 Area = 100 metros cuadrados

1 Hectárea = 2.471 acres

3.- MEDIDAS DE CUBICACION

1 Centímetro cúbico = 0.061 pulgadas cuadradas

1 Metro cúbico = 35.31 pies cúbicos
= 1.308 yardas cúbicas

4.--- MEDIDAS DE CAPACIDAD

1 Litro = 1000 centímetros cúbicas
= 0.22 galones

5.- PESOS

1 Gramo = 0.0352 onzas
1 Kilómetro = 2.2045 libras
1 Quintal Métrico = 100 kilogramos
= 220.45 libras
1 Toneladas = 1000 kilogramos
= 0.9842 Toneladas Corta