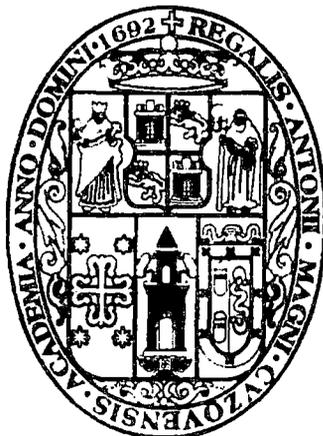


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO  
ABAD DEL CUSCO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA E INGENIERÍA  
METALÚRGICA**

**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA**



**TESIS**

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN A NIVEL DE LABORATORIO  
DE UNA CELDA DE FLOTACIÓN POR AIRE FORZADO  
APLICADO A MINERALES SULFURADOS DE COBRE”  
(INVESTIGACIÓN TECNOLÓGICA)**

Presentado por el Bachiller:  
**RONI JOSE PEZO PEREZ**

Para optar el Título Profesional de:  
**INGENIERO METALÚRGICO**

Asesor:  
**ING. ELIAS PEÑA PEÑA**

**“TESIS AUSPICIADA POR LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE  
SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO – UNSAAC”**

**CUSCO – PERÚ  
2014**

## DEDICATORIA

*A mi alma máter por ser pionera en la formación de profesionales, por su noble labor de volcar sus conocimientos y experiencias en nosotros.*

*A los Señores Docentes de la Carrera Profesional de Ingeniería Metalúrgica, quienes con ímpetu y dedicación contribuyen en nuestra formación profesional.*

*A mi Madre Alicia Perez Carlos y mi linda Hermanita Flor de Chapi Pezo Perez, a mis tías: Jenara Ramírez, Julia Ramírez y a mi primo Elar Ramirez y familia, a mis mejores amigos Aldo Huacarpuma y familia, Cristian Huillca, que los quiero muchísimo y o todos los presentes.*

*Que sin ellos no hubiera tenido fuerza y aliento constante. Gracias, por ayudarme a realizar y hacer posible el logro del presente trabajo.*

*A la Carrera Profesional de Ingeniería Metalúrgica.*

**RONI JOSE PEZO PEREZ**

## **AGRADECIMIENTO**

Un especial y sincero agradecimiento a los ingenieros: Ms. José Manzaneda Cabala, Ing. Teófilo Cáceres, PhD. Edmundo Alfaro Delgado, y un especial agradecimiento al señor Eucebio Vellido Chavez y Flavio Champi Quejia; Por haberme orientado y brindado sus apoyos incondicionales en el presente trabajo de investigación.

A los señores docentes de la Carrera Profesional de Ingeniería Metalúrgica, quienes con ímpetu y dedicación contribuyeron en nuestra formación profesional. Absolviendo las inquietudes habidas que sin su apoyo no se hubiera podido realizar el presente trabajo.

A todos nuestros amigos que nos incentivan y nos colaboraron de una u otra forma durante el desarrollo del presente trabajo.

Y un especial agradecimiento a nuestro amigo Jarry Ccapa Cuti por su apoyo en los momentos difíciles así como también al Ing. Luis Eduardo Dulanto que sin su orientación no se hubiera podido realizar esta investigación.

## **PRESENTACIÓN**

**SEÑOR DECANO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA E INGENIERÍA METALÚRGICA, SEÑORES CATEDRÁTICOS MIEMBROS DEL JURADO.**

De conformidad con las disposiciones del Reglamento de Grados y Títulos para Optar al Titulado Profesional de Ingeniero Metalúrgico de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, pongo a vuestra consideración la Tesis Intitulada:

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN A NIVEL DE LABORATORIO  
DE UNA CELDA DE FLOTACIÓN POR AIRE FORZADO APLICADO A  
MINERALES SULFURADOS DE COBRE”  
(INVESTIGACIÓN TECNOLÓGICA)**

El presente trabajo es resultado de una ardua investigación tecnológica, que representa el interés por plasmar nuestros conocimientos técnicos y científicos, adquirida en nuestra vida universitaria en el área de procesamiento de minerales, buscando lograr una recuperación de grado óptimo de minerales sulfurados y minerales oxidados.

Espero que este trabajo de investigación sea tomado en cuenta para futuras investigaciones y tratar minerales sulfurados en ella.

**RONI JOSE PEZO PEREZ**

## LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 2.1: Propiedades hidrofílicas e hidrofóbicas de los minerales. Fuente Roberto Chávez G. UNSAAC.</i> .....	9
<i>Figura 2.2: Fases e interfaces de flotación por espuma. Fuente Roberto Chávez G. UNSAAC.</i> .....	10
<i>Figura 2.3: Estructura de moléculas de agua asociadas. Fuente Roberto Chávez G. UNSAAC.</i> .....	12
<i>Figura 2.4: Interpretación esquemática del origen de la tensión superficial. Fuente Roberto Chávez G. UNSAAC.</i> .....	14
<i>Figura 2.5: Equilibrio de presiones e la interface liquido – gas. Fuente Roberto Chávez G. UNSAAC.</i> .....	15
<i>Figura 2.6: Adsorción del espumante en la burbuja de gas. Fuente Roberto Chávez G. UNSAAC.</i> .....	17
<i>Figura 2.7: Adsorción del colector en el mineral. Fuente Roberto Chávez G. UNSAAC.</i> .....	18
<i>Figura 2.8: Esquema idealizado de la doble capa eléctrica. Fuente Roberto Chávez G. UNSAAC.</i> .....	19
<i>Figura 2.9: Punto de carga cero. Fuente Roberto Chávez G. UNSAAC.</i> .....	22
<i>Figura 2.10: Angulo de contacto. Fuente Roberto Chávez G. UNSAAC.</i> .....	23
<i>Figura 2.11: Angulo de afinidad de contacto. Fuente Roberto Chávez G. UNSAAC.</i> .....	23
<i>Figura 2.12: Termodinámica de la adhesión de una burbuja. Fuente Roberto Chávez G. UNSAAC.</i> .....	25
<i>Figura 2.13: Recuperación VS Tiempo. Fuente: Figueroa Loli Melchor Aquiles. UNMSM.</i> .....	30
<i>Figura 2.14: Log 1/1-R VS Tiempo. Fuente: Figueroa Loli Melchor Aquiles. UNMSM.</i> .....	31
<i>Figura 2.15: Representación esquemática de patrones de circulación de flujo de pulpa en celdas de flotación mecánica: (a) auto-aspirante (Wemco); y (b) aire forzado (Dorr-Oliver). Fuente: Wemco; Dorr-Oliver. 3ra Edición, 2010.</i> .....	39
<i>Figura 2.16: Banco de celdas Wemco-SmartCell instaladas en Perú; y esquema de montaje y mecanismo de control del caudal de descarga en cajón de colas. Fuente: Wemco-SmartCell. 3ra Edición, 2010.</i> .....	41
<i>Figura 2.17: Primera celda Wemco-SmartCell de 8.830 pie<sup>3</sup> instalada en Chile el 2004. Fuente: Wemco-SmartCell. 3ra Edición, 2010.</i> .....	41
<i>Figura 2.18: Esquema del rotor (a); y visión general de partes de una celda Dorr-Oliver (b). Fuente: Dorr-Oliver. 3ra Edición, 2010.</i> .....	42
<i>Figura 2.19: Celdas de flotación Dorr-Oliver de gran volumen instaladas en planta. Fuente: Dorr-Oliver. 3ra Edición, 2010.</i> .....	43
<i>Figura 2.20: Esquema del impulsor/estabilizador (a); y vista del sistema en celdas Outokumpu de pequeño tamaño (b). Fuente: Outokumpu. 4ta Edición, 2010.</i> .....	44
<i>Figura 2.21: Planta de flotación con celdas de tanque circular (a); y celda de fondo curvo del tipo U-Shaped OK de pequeño tamaño (b). Fuente: Outokumpu. 4ta Edición, 2010.</i> .....	44
<i>Figura 2.22: Esquema de una celda TankCell de Outokumpu (a); y planta de flotación con celdas industriales de 160 m<sup>3</sup> (b). Fuente: Outokumpu. 4ta Edición, 2010.</i> .....	44
<i>Figura 2.23: Vista de la espuma (a); de una planta de flotación con celdas Outokumpu (b). Fuente: Outokumpu. 4ta Edición, 2010.</i> .....	45
<i>Figura 2.24: Esquema de la celda SkimAir de Outokumpu (a); y vista de una instalación industrial para tratar partículas gruesas en la descarga de un molino (b). Fuente: Outokumpu. 4ta Edición, 2010.</i> .....	45
<i>Figura 2.25: Representación esquemática de la celda Metso RCS (a); y una línea en arreglo 2x2 (b). Fuente: METSO. 5ta Edición, 2010.</i> .....	46
<i>Figura 2.26: Celdas Metso en planta de flotación. Fuente: METSO. 5ta Edición, 2010.</i> .....	46
<i>Figura 2.27: Representación esquemática de las zonas de una columna de flotación (a); y celdas en columna industriales (b). Fuente: CELDA COLUMNA. 5ta Edición, 2010.</i> .....	48

Figura 2.28: Vista de la zona de espuma (a); y de inyección de aire en una columna de flotación (b). Fuente: CELDA EN COLUMNA. 5ta Edición, 2010.....	49
Figura 2.29: Estrategias de control automático de BIAS (a); y control de nivel (b) para columnas de flotación. Fuente: CELDA EN COLUMNA. 5ta Edición, 2010.....	49
Figura 2.30: Diagrama esquemático celda Jameson (Taşdemir, 2007). Fuente: CELDA JAMESON. 4ta Edición, 2010.....	50
Figura 2.31: Fig. 2.32 Diagrama esquemático de la celda Jameson (Harbort, 2003). Fuente: CELDA JAMESON. 4ta Edición, 2010.....	51
Figura 2.32: Fig. 2.33 Celda Imhoflot (V-Cell) flujo vertical (a); Celda (G-Cell) flujo tangencial (b). Fuente: IMHOFLOT G-CELL Y V-CELL. 4ta Edición, 2010.....	53
Figura 2.33: Celdas Imhoflot en operación. Fuente: IMHOFLOT G-CELL Y V-CELL. 4ta Edición, 2010.....	53
Figura 2.34: Esquema del sistema de generación de burbujas de una celda Microcel (Pyecha, 2006) (a); y mezclador estático (Yoon, 1998) (b). Fuente: CELDA MICROCEL. 4ta Edición, 2010.....	54
Figura 2.35: Representación esquemática de una celda Microcel (Yoon, 1998, USA patente 5, 814, 210) (a); y vista de celdas Microcel industriales (b). Fuente: CELDA MICROCEL. 4ta Edición, 2010.....	55
Figura 2.36: Esquema de Vassos y Katavolos. Fuente: <a href="http://www.es.scribd.com/doc/14435351/Concepto-de-Diseno">www.es.scribd.com/doc/14435351/Concepto-de-Diseno</a> .....	57
Figura 2.37: Caída de presión de la fluidización. Fuente: <a href="http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lim/davila_n_jr/capitulo3.pdf">http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lim/davila_n_jr/capitulo3.pdf</a> .....	60

Figura 3.1: Puyñun o Aríbalo. Museo de Arte Precolombino, Cuzco, Perú. Fuente: <a href="http://www.es.wikipedia.org/wiki/Aríbalo_incaico">www.es.wikipedia.org/wiki/Aríbalo_incaico</a> .....	62
Figura 3.2: Diagrama de la estructura de funciones.....	67
Figura 3.3: Detalle de prototipo N° 01.....	68
Figura 3.4: Detalle de prototipo N° 02.....	69
Figura 3.5: Detalle de prototipo N° 03.....	70
Figura 3.6: Detalle de evaluación de prototipos.....	72
Figura 3.7: Detalle y dimensionamiento del diseño de soporte.....	73
Figura 3.8: Diseño del eje principal.....	75
Figura 3.9: Detalle del diseño de área circular.....	77
Figura 3.10: Diseño de las ranuras del RIN.....	78
Figura 3.11: El RIN.....	78
Figura 3.12: Diseño de ingreso de la pulpa.....	79
Figura 3.13: Diseño de ingreso del aire.....	80
Figura 3.14: Diseño del sistema de burbujas.....	81
Figura 3.15: Rotor A.....	83
Figura 3.16: Rotor B.....	83
Figura 3.17: Rotor C.....	84
Figura 3.18: Diseño parte superior cónica de rebose de concentrado.....	86
Figura 3.19: Detalle del diseño de plantilla.....	87
Figura 3.20: Diseño parte central de la celda.....	88
Figura 3.21: Detalle de diseño del ala helicoidal.....	89
Figura 3.22: Detalle de distribución del ala helicoidal.....	90
Figura 3.23: Diseño parte inferior como invertido.....	91
Figura 3.24: Diseño de goma.....	92
Figura 3.25: Diseño Completo de la celda.....	93
Figura 3.26: Diseño Completo en corte transversal.....	94
Figura 3.27: Representación del cordón de soldadura. Fuente: UTN-FRBB Cátedra: Elementos de Máquinas.....	99

<i>Figura 4.1: Motor 1HP. Variador de velocidad. Válvula de aire.....</i>	<i>106</i>
<i>Figura 4.2: Construcción del soporte.....</i>	<i>109</i>
<i>Figura 4.3: Torneado del Eje Vertical.....</i>	<i>110</i>
<i>Figura 4.4: Ingreso de la pulpa.....</i>	<i>111</i>
<i>Figura 4.5: Ingreso del aire.....</i>	<i>112</i>
<i>Figura 4.6: Sistema de burbujas.....</i>	<i>113</i>
<i>Figura 4.7: Maquinado y soldado de los rotores A, B y C.....</i>	<i>113</i>
<i>Figura 4.8: Construcción terminada antes de lijar los Rotor A, B y C.....</i>	<i>114</i>
<i>Figura 4.9: Construcción parte superior cónica de rebose de concentrado.....</i>	<i>115</i>
<i>Figura 4.10: Construcción parte central de la celda.....</i>	<i>116</i>
<i>Figura 4.11: Construcción parte inferior como invertido de la salida del relave.....</i>	<i>117</i>
<i>Figura 4.12: Construcción y ensamblaje de la celda RONI.....</i>	<i>118</i>
<i>Figura 4.13: Acabado con AZUL TURQUESA.....</i>	<i>119</i>
<i>Figura 4.14: Pintura Epóxica, Catalizador, Diluyente Fuente: <a href="http://www.chemifabrik.com.pe">www.chemifabrik.com.pe</a>.....</i>	<i>120</i>
<i>Figura 4.15: Acabado con Pintura Epóxica.....</i>	<i>121</i>
<i>Figura 4.16: Acabado final de la Celda RONI. ....</i>	<i>122</i>
<i>Figura 4.17: Partes principales de la celda.....</i>	<i>123</i>
<i>Figura 4.18: Válvula VORTEX. Fuente: <a href="http://www.aguamarket.com/productos/productos.asp?producto=17365&amp;nombreactivo">http://www.aguamarket.com/productos/productos.asp?producto=17365&amp;nombreactivo</a>.....</i>	<i>126</i>
<i>Figura 4.19: Válvula de presión de aire.....</i>	<i>127</i>
<i>Figura 4.20: a) Forma del ARIVALO, b) forma de la Celda RONI.....</i>	<i>128</i>
<i>Figura 4.21: Distribución de burbuja en la pulpa.....</i>	<i>133</i>
<i>Figura 4.22: Diagrama de flujo.....</i>	<i>134</i>
<i>Figura 4.23: Diagrama de flujo en planta.....</i>	<i>135</i>
<i>Figura 5.1: Pruebas de agitación con agua en la celda.....</i>	<i>149</i>
<i>Figura 5.2: Instalación de la celda para la prueba de funcionamiento.....</i>	<i>149</i>
<i>Figura 5.3: Pruebas de agitación en el balde.....</i>	<i>150</i>
<i>Figura 5.4: Pruebas de agitación en la Celda RONI.....</i>	<i>151</i>
<i>Figura 5.5: Procedimiento de preparación del mineral.....</i>	<i>152</i>

## LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 2.1: Volumen de celdas WEMCO-SmartCell. Fuente: Wemco-SmartCell. 3ra Edición, 2010.....</i>	<i>40</i>
<i>Tabla 2.2: Volumen de celdas Dorr-Oliver. Fuente: Dorr-Oliver. 3ra Edición, 2010.....</i>	<i>42</i>
<i>Tabla 3.1: lista de exigencias.....</i>	<i>65</i>
<i>Tabla 3.2: Valoración técnica.....</i>	<i>71</i>
<i>Tabla 3.3: Valoración económica.....</i>	<i>72</i>
<i>Tabla 3.4: Especificaciones de la Celda RONI.....</i>	<i>95</i>
<i>Tabla 3.5: Fluidización de pulpas.....</i>	<i>96</i>
<i>Tabla 3.6: Representación del cordón de soldadura. Fuente: UTN-FRBB Cátedra: Elementos de Máquinas.....</i>	<i>100</i>
<i>Tabla 3.7: soldadura sometida a esfuerzos cortantes. Fuente: UTN-FRBB Cátedra: Elementos de Máquinas.....</i>	<i>101</i>
<i>Tabla 3.8: Especificaciones de esfuerzos de fluencia en soldadura. Fuente: Juan J. Hori.</i>	
<i>Tabla 3.9: Resistencia de los electrodos. Fuente: Juan J. Hori.....</i>	<i>104</i>
<i>Tabla 4.1: Especificaciones técnicas del equipo.....</i>	<i>125</i>
<i>Tabla 4.2: Detalle de los planos.....</i>	<i>137</i>
<i>Tabla 4.3: Costos de Ingeniería.....</i>	<i>139</i>
<i>Tabla 4.4: Costos de adquisición y fabricación de elementos.....</i>	<i>139</i>
<i>Tabla 4.5: Costo por maquinaria y equipos utilizados.....</i>	<i>141</i>
<i>Tabla 4.6: Costos de montaje.....</i>	<i>142</i>
<i>Tabla 4.7: Costo total de fabricación.....</i>	<i>142</i>
<i>Tabla 4.8: Costo de mantenimiento.....</i>	<i>144</i>
<i>Tabla 4.9: Costo de operación.....</i>	<i>145</i>
<i>Tabla 5.1: Prueba de selección de agitadores.....</i>	<i>148</i>
<i>Tabla 5.2: Condiciones de operación.....</i>	<i>156</i>
<i>Tabla 5.3: Cuadro de pulpa.....</i>	<i>157</i>
<i>Tabla 5.4: Informe de Ensayo LAS.....</i>	<i>159</i>
<i>Tabla 5.5: Balance Metalúrgico.....</i>	<i>159</i>

## LISTA DE ABREVIATURAS

$t$	= Tiempo de flotación.
$R$	= Recuperación metalúrgica.
$\rho_p$	= Densidad de la Pulpa.
$U$	= Velocidad del fluido o pulpa.
$T$	= Torque
$H$	= N° de frecuencia
$W_t$	= Velocidad tangencial
$V$	= Velocidad de flujo
$F$	= Flujo de la pulpa
$K$	= Constante de Ley
$P$	= Diferencia de presiones a lo largo del orificio.
$\rho_f$	= Densidad del fluido
$\rho_p$	= Densidad de la partícula
$\rho_{ps}$	= Densidad de la masa de partículas en reposo
$\nu_f$	= Viscosidad cinemática del fluido
$\gamma$	= Tensión superficial
$G^S$	= Energía libre superficial
$V_c$	= Velocidad mínima de fluidización
$h_g$	= Espesor de garganta
$e_{min}$	= Espesor mínima
$\sigma'$	= Esfuerzo de torque
$\sigma''$	= esfuerzo por deflexión
$\sigma_y$	= Esfuerzo permisible

## **RESUMEN**

El diseño es una actividad creativa en innovar e inventar otros tipos de equipos o mejorar la eficiencia de recuperación de una gama de procesos, para aplicar y ejecutar las ideas en el área de procesamiento de minerales, tales como la recuperación óptima de minerales sulfurados y oxidados y mejorar con el mismo equipo en el área del medio ambiente.

La flotación es un proceso metalúrgico de separación de metales de distinto origen que se efectúa desde sus pulpas acuosas por medio de burbujas de gas y a base de sus propiedades hidrofílicas e hidrofóbicas. Así como también la lixiviación por agitación de minerales preciosos.

En la actualidad las maquinas de flotación más usada por su importancia tecnológica, son las celdas de flotación Denver Sub-A, Agitair y de Columna, etc. Equipos netamente mecánicos y/o neumáticos de altos costos de operación y mantenimiento. Se propone investigar estas deficiencias, mediante el uso de la Celda RONI en la compleja metalurgia peruana.

La Celda RONI tiene principios sencillos, es una unidad compacta y de muy buena eficiencia para flotación de minerales sulfurados u otros, desarrollada por el Bachiller Roni Jose Pezo Perez de la UNSAAC, esperando buenos resultados en las pruebas de funcionamiento.

Las pruebas de funcionamiento a nivel de laboratorio se desarrollaran en el laboratorio de la Carrera Profesional de Ingeniería Metalúrgica, esperando dar un buen resultado para una posterior aplicación en los circuitos de flotación de minerales.

Se preparó y desarrollo el siguiente programa escalonado típico de pruebas metalúrgicas.

- Diseño de la Celda Roni
- Construcción de la Celda Roni
- Pruebas de funcionamiento de la Celda Roni

Observando los resultados de la Celda Roni en diseño y construcción se desarrolla su respectivo manual de operación y las especificaciones importantes para su uso, también se incluye fotos y figuras de la celda en su construcción y sus pruebas metalúrgicas, también esta los diseños en AutoCAD 2010 impresas en la Tesis.

Se espera incentivar la investigación de la Celda Roni u otros procesos acorde a las tecnologías nuevas con tendencia a minimizar las emisiones al medio ambiente.

## INTRODUCCIÓN

La flotación es un proceso metalúrgico de separación de materiales de distinto origen que se efectúa desde sus pulpas acuosas por medio de burbujas de gas y base de sus propiedades hidrofílicas e hidrofóbicas. En general, es un proceso de separación, pues se trata de la individualización de las especies mineralógicas, una mezcla mecánicamente preparada.

La flotación es un proceso sumamente complejo donde intervienen muchas variables que se explican mejor mediante el estudio de la cinética de la flotación o sea, la recuperación de especies minerales en la espuma en relación con el tiempo.

Desde que se desarrolló por primera vez la flotación como un método de concentración, se han introducido muchos diseños de máquinas de flotación, todas con operaciones mecánicas y/o neumáticas que originan desgastes de quipo y altos consumos de energía.

La eficiencia de una máquina de flotación, en consecuencia, se determina por el tonelaje que puede tratar por unidad de volumen, capacidad de los productos obtenidos y recuperaciones, consumo de energía eléctrica, reactivos, gastos de operación y mantenimiento necesarios por tonelada del mineral.

En esta tesis de investigación se diseña y construye una celda de flotación por aire forzado para el tratamiento de minerales sulfurados, un prototipo con fines académicos para el desarrollo de pruebas metalúrgicas, empleada en la etapa Rougher con un mineral artificial de galena, resultado que permitirá las correspondientes conclusiones de su porcentaje de recuperación.

## ÍNDICE

	Pág.
Dedicatoria.....	i
Agradecimiento.....	ii
Presentación.....	iii
Lista de figuras.....	iv
Lista de tablas.....	vii
Lista de abreviaturas.....	viii
Resumen.....	ix
Introducción.....	xi
Índice.....	xii

## CAPITULO I

### METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Planteamiento del problema.....	1
1.2 Objetivos.....	2
1.2.1 Objetivo general.....	2
1.2.2 Objetivos específicos.....	2
1.3 Justificación del estudio.....	2
1.4 Limitaciones de la investigación.....	3
1.5 Antecedentes.....	3
1.6 Hipótesis.....	4
1.7 Variables.....	5
1.7.1 Independientes.....	5
1.7.2 Dependientes.....	5
1.8 Metodología.....	5
1.8.1 Metodología de investigación.....	5
1.9 Técnicas de recolección de información.....	7

## CAPITULO II

### MARCO TEÓRICO O CONCEPTUAL

2.1 Principios de la flotación.....	8
2.2 Definición de la flotación por espuma.....	9
2.3 Fases e interfaces de flotación por espumas.....	10
2.3.1 Fase solida.....	10
2.3.2 Fase liquida.....	11
2.3.3 Fase gaseosa.....	13
2.3.4 Contacto entre las tres fases (S-L-G).....	22
2.4 Termodinámica de la flotación por espumas.....	24
2.5 Cinética de flotación.....	27
2.6 Equipos de flotación convencional.....	33
2.7 Avances en la tecnología de celdas de agitación mecánica.....	35
2.7.1 Aumento de volumen de celdas de agitación mecánica.....	36
2.7.2 Tipos y funciones de la celda de agitación mecánica.....	38
2.8 Celdas de gran volumen.....	39
2.8.1 Celda Auto-Aspirante Wemco-Smartcell.....	40
2.8.2 Celda de aire forzado Dorr-Oliver.....	42
2.8.3 Celda de aire forzado Outokumpu.....	43
2.8.4 Celdas Metso.....	45
2.9 Desarrollo de la celda en columna y otras celdas no convencionales.	47
2.9.1 Celda en Columna.....	47
2.9.2 Celda Jameson.....	49
2.9.3 Celdas neumáticas Imhoflot G-Cell y V-Cell.....	51
2.9.4 Celda Microcel.....	53
2.10 Fluidización. ....	55
2.11 Concepto de diseño.....	56
2.12 Introducción al diseño de celda.....	57

**CAPITULO III**  
**DISEÑO DE LA CELDA RONI**

3.1 Prototipo de diseño.....	61
3.1.1 Proceso de diseño. ....	61
3.1.2 Variables del diseño .....	63
3.2 Diseño de la Celda RONI. ....	63
3.2.1 Estructura de funciones.....	64
3.2.2 Prototipo de diseño de la Celda RONI.....	68
3.2.2.1 Selección de alternativas.....	71
3.2.3 Diseño de soporte del eje vertical.....	73
3.2.4 Diseño del eje vertical.....	75
3.2.4.1 Diseño de ingreso de la pulpa .....	79
3.2.4.2 Diseño de ingreso de aire a presión.....	80
3.2.4.3 Diseño del sistema de burbujas .....	80
3.2.5 Diseño de los agitadores.....	82
3.2.6 Diseño de las secciones de la celda.....	85
3.2.6.1 Diseño parte superior cónica de rebose de concentrado...	85
3.2.6.2 Diseño parte central de la celda .....	88
3.2.6.2.1 Diseño del ala helicoidal .....	89
3.2.6.3 Diseño parte inferior cono invertido de la salida del relave.	90
3.3 Diseño de la goma.....	92
3.4 Diseño completo de la Celda RONI .....	93
3.5 Fluidización de pulpa en la celda.....	95
3.6 Cálculo de soldadura.....	99
3.6.1 Dimensionamiento del espesor de garganta de la soldadura...	100
3.6.2 Cálculo de esfuerzo por torque y deflexión.....	101
3.6.3 Cálculo del esfuerzo permisible.....	103

4.8.2.6 Válvula de relave.....	129
4.9 Cálculos importantes de la Celda RONI.....	129
4.9.1 Ducto de la alimentación.....	130
4.9.2 Cálculo del flujo alimentador de pulpa.....	131
4.10 Bernoulli en el sistema de burbujas.....	132
4.11 Dispersión de pulpa dentro de la Celda RONI.....	133
4.12 Balance de la Celda RONI.....	134
4.13 Capacidad operativa.....	136
4.13.1 Descripción de los planos.....	137
4.14 Costos de fabricación.....	138
4.15 Costos de mantenimiento de la Celda RONI.....	143
4.16 Costos de consumo de energía de alimentación.....	144
4.17 Costos de operación.....	144

## **CAPITULO V**

### **PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DE LA CELDA**

5.1 Puesta en marcha de la Celda RONI.....	146
5.1.1 Páralización de la Celda RONI.....	147
5.2 Prueba inicial con agua.....	147
5.3 Pruebas de selección de agitadores.....	148
5.4 Pruebas de funcionamiento de la celda de flotación.....	151
5.5 Identificación de variables.....	161
5.6 Rendimiento de la Celda RONI.....	162
5.7 Capacidad de tratamiento.....	163
5.8 Evaluación de los resultados.....	163

### **CONCLUSIONES**

### **RECOMENDACIONES**

### **BIBLIOGRAFÍA**

### **ANEXO**

# **CAPITULO I**

## **METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN**

### **1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En la flotación tradicional se obtiene burbujas de gran tamaño que dependen del reactivo para su estabilidad, como también la forma del equipo de flotación.

Si diseñamos y construimos una Celda RONI de aire forzado permitirá un aumento en la recuperación de concentrados debido a que la inyección de aire a presión tipo tobera forma burbujas de tamaños menores y aumenta su cinética de reacción y eficiencia, incrementando así el tiempo de residencia del proceso.

La presente investigación está basada en el diseño y construcción en un nuevo diseño de Celda RONI y lograr su funcionamiento para una

recuperación óptima de los minerales que tienen un valor económicamente rentable.

**¿Es posible diseñar y construir una celda por aire forzado para recuperar los minerales sulfurados y así demostrar el funcionamiento de la celda?**

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 OBJETIVO GENERAL**

Diseñar y construir un nuevo tipo de celda de flotación de minerales sulfurados.

### **1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Diseñar una celda de flotación de minerales sulfurados con aire forzado a escala de laboratorio.
- Construir la celda de flotación por aire forzado a escala de laboratorio.
- Puesta en operación de la celda de flotación por aire forzado.
- Evaluar el funcionamiento del nuevo tipo de celda de flotación.

## **1.3 JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO**

Las operaciones de flotación que se están realizando para tratar concentrados sulfurados utilizan celdas de flotación convencionales de acondicionamiento mecánico y otros neumáticos. Estas tecnologías faltan mejorar en su diseño y no logran una reacción completa reactivo/mineral. Por lo tanto el diseño de la Celda RONI y su construcción es mejorar todas estas perspectivas. Las nuevas celdas de flotación con aire forzado poseen un nuevo diseño de hélices aerodinámicas y cuyas paredes tienen la forma de

un ala helicoidal y el reboce de la celda es de cono invertido. Y el punto clave para este diseño es la alimentación de la pulpa en el eje vertical con aire forzado en el mismo eje, también posee un sistema de burbujas único en su diseño.

#### **1.4 LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN**

En el diseño de la celda se tuvo tres limitaciones una de ellas es el Software y su manual de manipulación *Computational fluid dynamics – CFD (Autodesk Simulation)*, y la otra, las herramientas para determinar la fluodinámica de la celda (*Sensores de movimiento*), por lo tanto no estamos capacitados para el manejo de este programa de simulación. Y otra limitación son los libros de diseño especializados en celdas de flotación y lixiviación por agitación.

#### **1.5 ANTECEDENTES**

El diseño de una celda de flotación o celdas de lixiviación por agitación, según su variedad y sus funciones donde las grandes empresas vienen diseñando y construyendo para realizar pruebas metalúrgicas, estas industrias cuentan con tecnología de punta para realizar este tipo de investigación y con frecuencia son lanzados al mercado como se observa en el capítulo III. Nuestra riqueza en minerales polimetálicos nos hace difícil de recuperar y en algunos casos es bajo la recuperación del concentrado y/o material valioso. A pesar que las nuevas tecnologías están en nuestro país pocas universidades o instituciones se dedican a investigar nuevas alternativas y cuidando el medio ambiente.

Según la mineralogía toda celda es diseñada en su capacidad de tratamiento del mineral, su porcentaje de recuperación y lo más importante su cinética de flotación o lixiviación. Los yacimientos se presentan en forma

de sulfuros y oxidados, cuando los minerales se presentan de esta forma, son separados de acuerdo a su composición y la forma de distribución del mineral así como su ley, el proceso consiste en flotar mineral de plomo, cobre, etc. En el caso de minerales sulfurados es usando reactivos con adecuado control del pH, para deprimir el elemento más deseado se usa colectores como los xantatos para la selectividad de la flotación seguido por el de limpieza, en caso de lixiviación se utilizan el cianuro de sodio o el tiosulfato de amonio en caso del cobre el ácido sulfúrico, con el fin de obtener una solución concentrada.

En nuestro país las principales compañías mineras que recuperan por el tipo de proceso de flotación y lixiviación denominada son: Cerro Verde, Toquepala, Yauliyacu, Sociedad Minera el Brocal, Cia. Minera Atacocha, Cia. Minera Raura, Pan America Silver, Cia. Minera Casapalca, Cia. Minera Iscay Cruz, Cia. Minera Santa Lucia y Cia. Minera San Vicente, Xstrata Tintaya S.A., etc.

Por tal motivo son muy importantes las innovaciones de diseño en tecnológicas de equipos y de optimización metalúrgica en los procesos de concentración de minerales específicamente en el caso de Cu, Pb, Au, Ag, etc. del cual somos importante productor mundial.

## **1.6 HIPÓTESIS**

Con el diseño y construcción de la Celda Roni por aire forzado a nivel de laboratorio se incrementara la recuperación de minerales sulfurados.

## **1.7 VARIABLES**

### **1.7.1 INDEPENDIENTES**

Las variables más influyentes son:

- Grado de agitación
- Tiempo de flotación
- Ingreso de aire

### **1.7.2 DEPENDIENTE**

- Funcionamiento de la Celda Roni.

## **1.8 METODOLOGÍA**

### **1.8.1 METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN**

El presente trabajo de investigación corresponde al empleo del método científico, ya que contribuirá a la innovación tecnológica, tomado como base los conocimientos de la Universidad.

Esta investigación es de carácter innovador en la región, con el fin de aumentar el grado de familiaridad con las ideas respecto a la forma correcta de abordar el diseño de una Celda de flotación por aire forzado aplicado minerales sulfurados.

## **Procedimiento de la investigación**

### *Procedimiento de diseño y construcción.*

- **Diseño del bosquejo de la Celda RONI.**  
En esta sección se realizara las ideas en bosquejos buscando alternativas de innovación y analizando las ideas nuevas.
- **Diseño en AutoCAD 2012 de la Celda RONI.**  
Una vez terminado el diseño, se plasma en dibujos a dimensiones de cada sección de la Celda RONI.
- **Diseño de cálculo de las secciones de la Celda RONI.**  
Se debe determinar los cálculos de flujo de pulpa, aire y el caudal y otros parámetros. Para un correcto dimensionamiento.
- **Construcción de la Celda RONI.**  
Para la construcción se utilizara materiales industriales, equipos de soldadura para las uniones de la Celda RONI y otros.

### *Procedimiento experimental*

- **Acondicionamiento del mineral para las pruebas preliminares.**  
Seacondicionará el mineral de galena para las pruebas preliminares.
- **Reducción de tamaño a 100%-100um.**  
Se reducirá el mineral al tamaño óptimo de liberación para correr las pruebas a nivel de laboratorio.
- **Prueba de agitación con agua.**  
Realizaremos las pruebas de agitación con agua, con respecto a los agitadores.

- **Pruebas de funcionamiento de la celda.**

Realizaremos las pruebas de funcionamiento en la Celda Roni para evaluar su funcionamiento.

- **Resultados.**

Los resultados se obtendrán después de las pruebas preliminares metalúrgicas.

## **1.9 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN**

Dentro del desarrollo de esta investigación, se utilizarán técnicas de recolección de información que se dará de una manera sistemática basada en fuentes como:

Información bibliográfica

- Publicaciones
- Trabajos de investigación (Tesis, Seminarios, Informe de Prácticas Pre-profesionales, etc.).
- Realización de pruebas metalúrgicas en los laboratorios de ingeniería metalúrgica.
- Internet (Páginas Web).

## CAPITULO II

### MARCO TEÓRICO O CONCEPTUAL

#### 2.1 PRINCIPIOS DE FLOTACIÓN

El proceso de flotación se basa en las propiedades hidrofílicas e hidrofóbicas de los minerales.

El **carácter Hidrofílico** o de afinidad (agua) hace que estas partículas se mojen, permanezcan en suspensión en la pulpa, para finalmente hundirse.

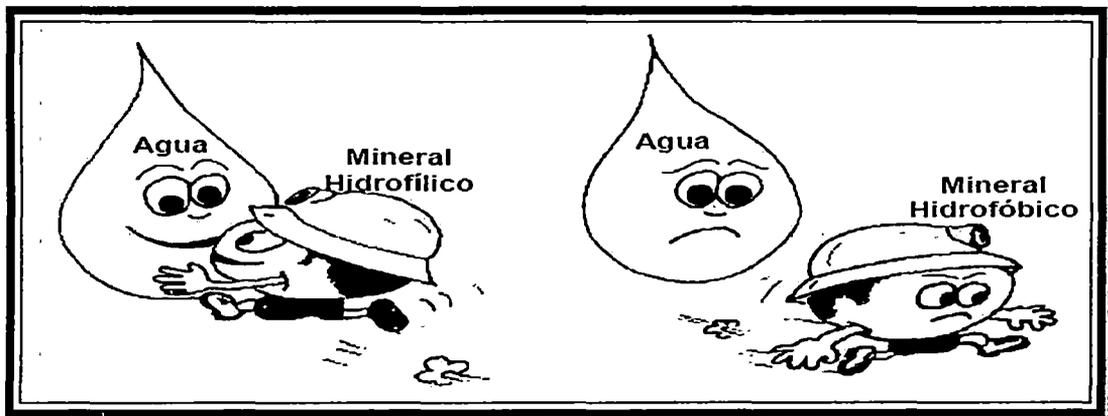
El **carácter hidrofóbico** o de repulsión evita el mojado de las partículas minerales que pueden adherirse a las burbujas y ascender.

Estas propiedades, algunos minerales tienen en forma natural, pero pueden darse o acentuarse mediante los reactivos de flotación.

Los metales nativos, sulfuros o especies como el grafito, carbón bituminoso, talco y otros son poco mojables por el agua y se llaman

minerales hidrofóbicas. Por otra parte, los sulfatos, carbonatos, fosfatos, etc. Son hidrofílicos o sea mojables por el agua.

Se trata fundamentalmente de un fenómeno de comportamiento de solidos frente al agua (Figura N° 2.1).



**Fig. 2.1 Propiedades hidrofílicas e hidrofóbicas de los minerales**

**Fuente: Roberto Chávez G. UNSAAC.**

## **2.2 DEFINICIÓN DE FLOTACIÓN POR ESPUMAS**

La flotación por espumas es un proceso físico-químico de concentración de minerales o compuestos finamente molidos, basados en las propiedades superficiales de los minerales (mojabilidad), que hace que un mineral o varios se queden en una fase o pasen a otra. Las propiedades superficiales pueden ser modificadas a voluntad con ayuda de reactivos.

Tiene por objeto la separación de especies minerales, finamente divididos a partir de una pulpa acuosa, aprovechando sus propiedades de afinidad (hidrofílico) o repulsión (hidrofóbico) por el agua. Las especies valiosas o útiles constituyen una fracción menor del mineral (concentrado),

mientras que las especies no valiosas o estériles constituyen la mayor parte (ganga).

## 2.3 FASES E INTERFACES DE FLOTACIÓN POR ESPUMAS.

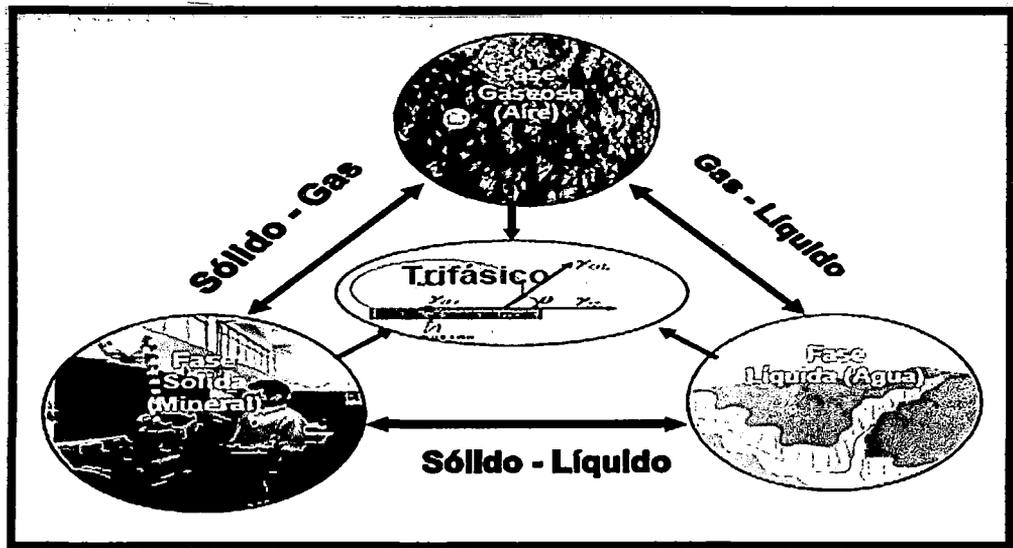


Fig. 2.2 Fases e interfaces de flotación por espuma

Fuente: Roberto Chávez G. UNSAAC.

### 2.3.1 FASE SÓLIDA

Está constituido por partículas de mineral finamente molidas. Las propiedades superficiales de los minerales depende de su composición y estructura, en la estructura de un sólido es de considerable importancia su sistema cristalina. Este sistema influye directamente en el tipo de superficie de ruptura que se va formar en la reducción de tamaño de mineral. Esta superficie y no la estructura interior del mineral es la que determina el comportamiento de la superficie en el proceso de flotación.

En esta fase juega un rol importante los siguientes factores:

- Carácter de la superficie creada en la ruptura del sólido (tipo de superficie, fuerzas residuales de enlaces)
- Imperfecciones en la red cristalina natural (trizaduras, vacancias, remplazo de iones, etc.)
- Contaminaciones provenientes de los sólidos, líquidos y gases (oxidación de la superficie, etc.)
- La presencia de elementos traza, que pueden concentrarse en la superficie de los granos y tener una influencia mucho mayor que su concentración en el mineral.

En relación con su afinidad con el agua, los minerales pueden presentar propiedades hidrofóbicas (sin afinidad) e hidrofílicas (con afinidad), que determinan su flotabilidad natural. Esto está directamente relacionado con su polaridad. Se tiene así:

**Minerales apolares.** Son hidrofóbicos (no reaccionan con los dipolos del agua), ejemplo: azufre nativo, grafito, olivdenita y otros sulfuros. En estos minerales su estructura es simétrica, no intercambian electrones dentro de sus moléculas, no se disocian en iones, son en general químicamente inactivos y con enlaces covalentes.

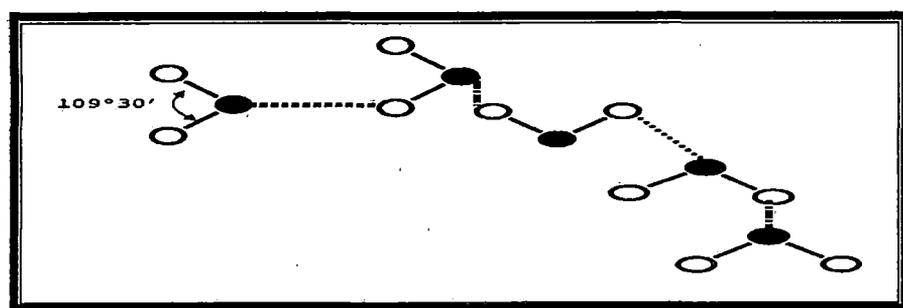
**Minerales polares.** Son hidrofílicos (los sólidos tienen la capacidad hidratarse), ejemplo: los óxidos. En estos minerales su estructura es asimétrica, intercambian electrones en la formación de enlaces (enlace iónico) y tienen extraordinaria actividad química en general.

### 2.3.2 Fase líquida

Está constituida por el agua. Las moléculas de agua están formadas por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno que están ligados por medio de dos enlaces covalentes (figura N° 2.3). La naturaleza resonante de estos

enlaces hace que los átomos de hidrogeno, con respecto al de oxigeno forman entre si un ángulo de  $109^{\circ}30'$ . Dicho angula es la causa de la distribución asimétrica de las cargas eléctricas dentro de las moléculas de agua. Las cargas asimétricas forman un dipolo que comunica a las moléculas de agua, fuertes propiedades polares. La polaridad es la causa de la hidratación de los iones en soluciones acuosas. En consecuencia las propiedades hidrofílicas, no son nada más que la capacidad de los sólidos a hidratarse.

Hay que subrayar la importancia de las impurezas y contaminaciones que tiene toda agua natural o industrial. Contiene generalmente iones (Cl, Na+, K+, Ca++, etc.), impurezas y contaminantes naturales. La dureza del agua, o sea, la contaminación natural causada por sales de calcio, magnesio y sodio, puede cambiar completamente la respuesta de la flotación de algunos minerales, ya sea por consumo excesivo de reactivos, formación de sales de sales insolubles, etc.



- : Enlace covalente.
- ..... : Enlace de hidrógeno.
- : Átomo de oxígeno.
- : Átomo de hidrógeno.

**Fig. 2.3** Estructura de moléculas de agua asociadas

**Fuente: Roberto Chávez G. UNSAAC.**

### 2.3.3 FASE GASEOSA

Es el aire que se inyecta en la pulpa neumática o mecánicamente para poder formar las burbujas que son los centros sobre los cuales se adhieren las partículas sólidas.

Las funciones principales del aire son:

1. El aire influye químicamente en el proceso de flotación.
2. Es el medio de transporte de las partículas de mineral hasta la superficie de la pulpa.

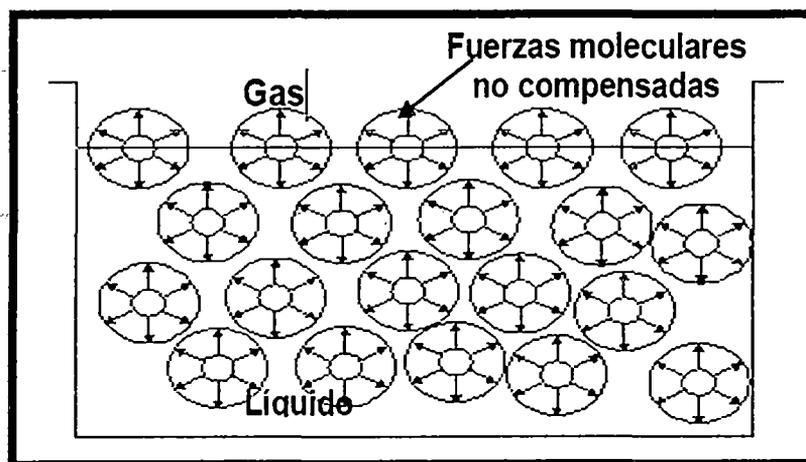
### Interfaces

Los fenómenos que ocurren en flotación son interacciones físicas y químicas específicas entre los elementos y compuestos de las distintas fases. Esto ocurre a través de las tres interfaces posibles: Gas-Líquido, Sólido-Líquido y sólido – Gas. Las interfaces más importantes son las interfaces **Gas – líquido y la interface sólido – líquido.**

Es importante analizar en primer lugar la tensión superficial que mide la propiedad existente entre dos fluidos (Gas – líquido) y en segundo lugar considerando que la flotación está considerado por las propiedades superficiales de los minerales después de su inmersión en el agua, en la que sufre una hidratación dando como resultado la creación de una carga superficial, la que es de vital importancia para la acción de los reactivos.

**Tensión superficial.** Se puede definir como una fuerza normal al plano superficial, dirigida hacia el interior de la fase y que tiene su origen en la descomposición de las fuerzas existentes en las moléculas de la región superficial.

Todo líquido se caracteriza por la existencia en su superficie de una cierta cantidad de energía libre cuya magnitud es definida por la tensión superficial, la interpretación del origen de esta energía es la siguiente: En un líquido todas las moléculas ejercen entre si una serie de influencias y se atraen o se repelen mutuamente; estas fuerzas se compensan entre si dentro de líquido y la resultante de ella es igual a cero. Sin embargo, las moléculas que se encuentran en la superficie no son compensadas completamente, pues la mitad de su volumen está orientada hacia la fase gaseosa (Figura 2.3) donde la dilución de la materia es de tal orden que prácticamente representa el vacío y, donde por supuesto no hay suficiente moléculas para absorber la presión de la partícula superficial. De este modo se crea una cierta cantidad de energía libre cuya magnitud se mide por la tensión superficial.



**Fig.2.4 Interpretación esquemática del origen de la tensión superficial.**

**Fuente: Roberto Chávez G. UNSAAC.**

En una burbuja inmensa en un líquido (Figura 2.5), cada átomo o molécula en el interior de una fase tiene uniones semejantes con sus vecinos. En la interface faltan aproximadamente la mitad de las uniones, lo que genera una fuerza resultante dirigida hacia el interior del gas y una cantidad de energía libre cuya magnitud se mide por la tensión superficial.

Un análisis del equilibrio de presiones de ambos lados de las interface líquido – gas, permite determinar que la presión interna en una burbuja (PB) es:

$$P_B = P_A + \rho gh + 4\frac{\gamma}{r} \quad (2 - 1)$$

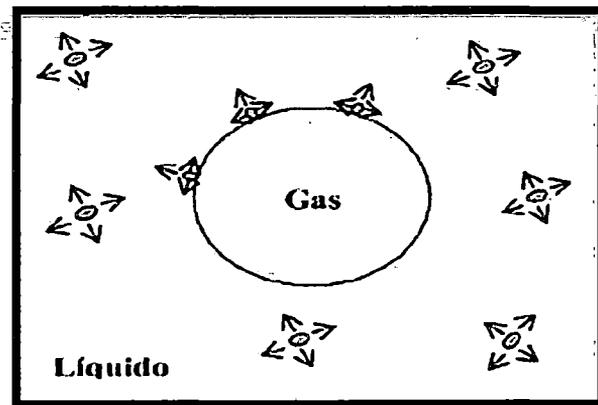
Dónde:

$\rho$ : Densidad del líquido

h: Altura a la interface .

r: Radio de la burbuja.

$P_A$ : Presión atmosférica



**Fig.2.5 Equilibrio de presiones e la interface liquido – gas**

**Fuente: Roberto Chávez G. UNSAAC.**

Quando se trata de la superficie de sólidos, es más apropiado referirse en términos de energía libre superficial. En los sólidos cristalinos se produce

una polarización y deformación de los iones de la superficie debido a la simétrica de la configuración espacial anión – catión en las cercanías de dicha superficie, esto permite la ocurrencia de fenómenos como la adsorción, el mojado y la nucleación.

Termodinámicamente, la tensión superficial y la energía libre superficial se define como:

$$\gamma = G^S = \left( \frac{\partial G}{\partial A} \right)_{T,P,n} \quad (2-2)$$

Dónde:

$\gamma$ : Tensión superficial (dinas/cm).

$G^S$ : Energía libre superficial (ergs/cm<sup>2</sup>)

A : Área interfacial.

N : Número de moles necesarios en el sistema.

P: Presión absoluta.

T: temperatura absoluta.

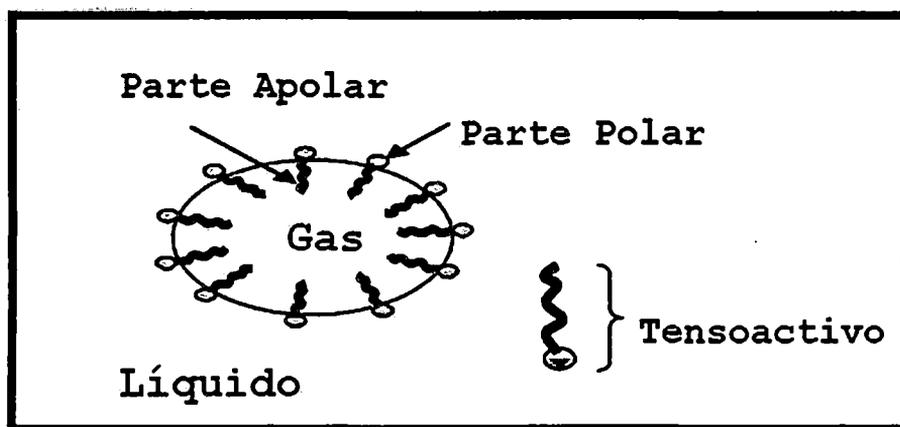
**Fenómeno de adsorción.** Se denomina **adsorción** al fenómeno de acumulación de materia en un interface, de modo tal que su concentración sea mayor o menor que aquellas de las fases que forman la interface. Cuando la concentración es mayor en la interface se dice que la adsorción de mayor interés en flotación son aquellos en la interface gas – líquido (aire – agua) y en la interface sólido – líquido (mineral – agua). También ocurre en la interface gas – sólido (oxidación superficial de minerales).

Es común la clasificación de la adsorción, con base en la naturaleza de la interacción adsorbido/adsorbente, en adsorción física (fisisorción) y adsorción química (quimisorción).

**Adsorción física.** La adsorción física es resultante de interacciones química secundarias o residuales (tipo van der Waals), caracterizándose por un bajo calor de interacción, ninguna o casi ninguna acción de selección entre el adsorbente y el adsorbido, siendo posible la formación de multicapas.

**Adsorción química.** La adsorción química se debe a interacciones químicas primarias (por ejemplo, covalentes) entre el adsorbente y el adsorbido. Existe selectividad, formándose compuestos de superficie. Apenas una camada puede ser adsorbida.

**Adsorción en la interface gas – líquida (G – L).** Los compuestos que se adsorben selectivamente en la interface G- L se llaman tensoactivos y hacen reducir la tensión superficial. Los reactivos llamados espumantes, generalmente alcoholes cumplen con este rol (figura 2.6).

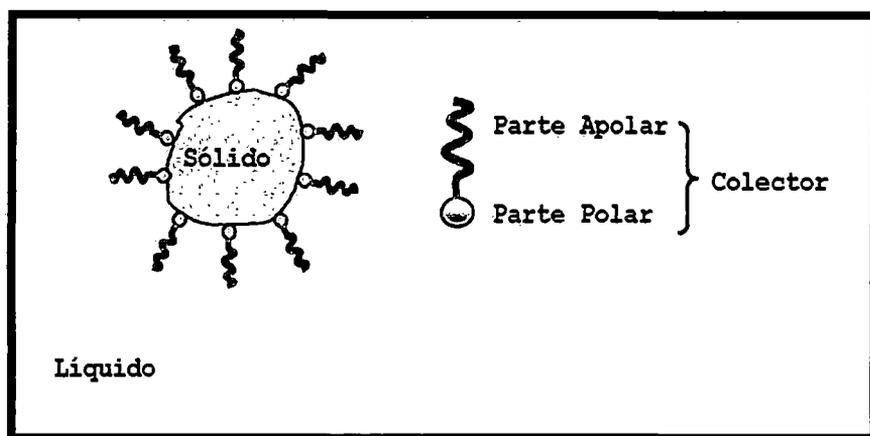


**Fig.2.6 Adsorción del espumante en la burbuja de gas**

**Fuente: Roberto Chávez G. UNSAAC.**

**Adsorción en la interface solido-líquido (S-L).** Los compuestos que se adsorben en la superficie de los minerales se llaman colectores. Estos

producen el fenómeno de hidrofobización artificial de los minerales y en general, el cambio de sus propiedades de mojabilidad (figura 2.7).



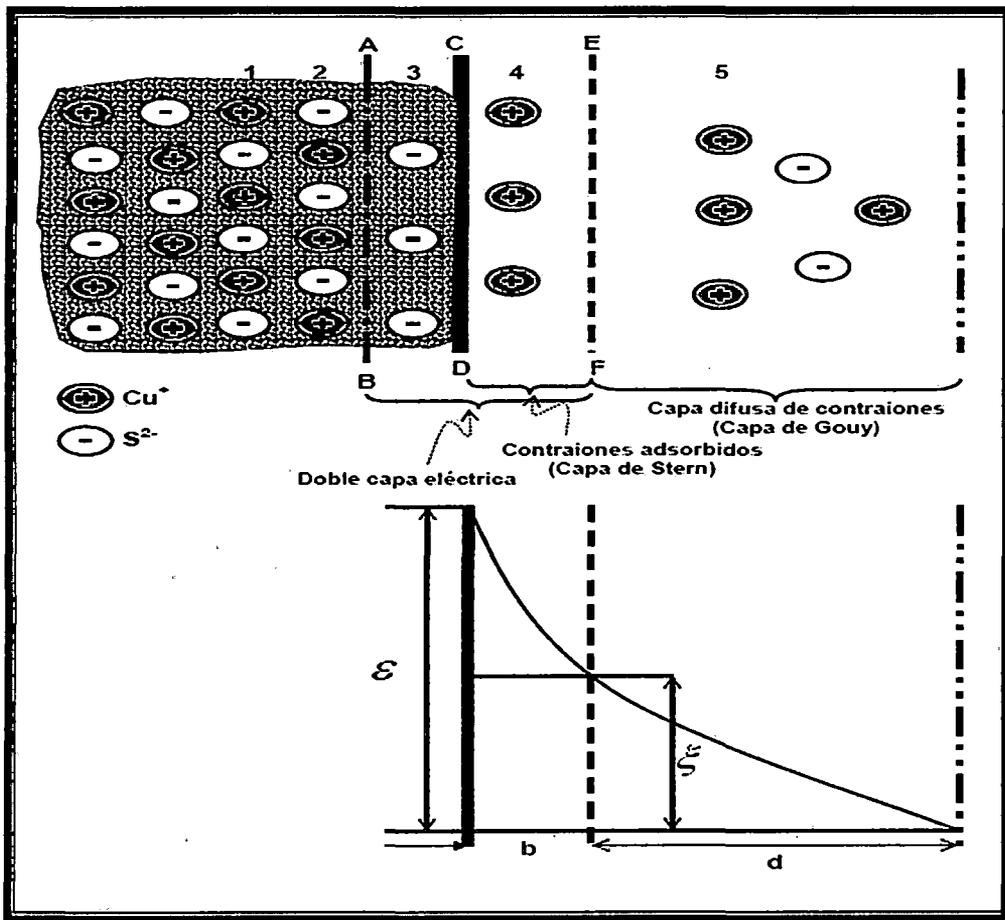
**Fig.2.7 Adsorción del colector en el mineral**

**Fuente: Roberto Chávez G. UNSAAC.**

**Doble capa eléctrica.** En las partículas del mineral en contacto con un líquido (agua), las reacciones entre moléculas de agua y varias superficies de minerales no son todas iguales; esto es las energías libres de las soluciones varían. Como resultado de esto, algunos iones. De acuerdo a esto, el alcance eléctrico en las superficies de las partículas cambia, porque la superficie mineral, adquiere una carga que es opuesta en signo a los iones que han sido disueltos.

El incremento en la carga superficial eléctrica debido a la concentración de un tipo de ion en la superficie, comienza a obstruir el movimiento de iones tipos migrantes desde la celda cristalina a la solución están concretados por la acción de la carga superficial, en la vecindad inmediata de la cara mineral. De esta manera, ocurre una separación de cargas y esta condición es llamada la doble capa eléctrica; la carga interior se debe a la superficie cargada de mineral y la carga exterior, está constituida de iones extraídos e la superficie de mineral por la acción de las

moléculas de agua. La capa interior de esta doble capa eléctrica, se esparce solamente sobre la superficie mineral inmediata y no penetra profundamente en la fase sólida. Opuestos a esta capa interior se cree que los iones en la capa exterior, están posicionados a alguna distancia en la fase líquida. Estos iones probablemente están dispersos hacia fuera de la superficie mineral, pero sujetos a las grandes fuerzas eléctricas, tanto como existe en el agua; la concentración del ion es una función de la distancia, como se muestra en la figura N° 2.8.



**Fig. 2.8 Esquema idealizado de la doble capa eléctrica.**

**Fuente: Roberto Chávez G. UNSAAC.**

Dónde:

- Filas 1 y 2: Iones no disturbados en el mineral.
- A y B: Representa la celda no disturbada del mineral.
- Fila 3: la parte de la celda de donde se extrajeron los cationes; un exceso de aniones de una carga negativa a la superficie.
- CD: Representa el límite físico del sulfuro de cobre.
- Fila 4: Representa la capa exterior ordenada de cationes en el líquido.
- EF: Representa el límite de líquido el cual está fuertemente enlazado a la superficie del mineral; esta, marca el límite exterior de las moléculas de agua y se mueve con la partícula.
- Fila 5: la capa de iones difusos.

**Potencial superficial ( $\epsilon$ ).** Aunque la carga superficial no se pueda medir, es posible determinar la diferencia de potencial entre la superficie y la solución, lo que se denomina potencial superficial o potencial electroquímico, "E".

Las propiedades hidrofílicas de la superficie de los minerales tienen una relación directa con el potencial de la doble capa eléctrica, que, en este caso, forma un fuerte campo eléctrico que atrae moléculas y iones de alta constante dieléctrica (agua). Un campo eléctrico débil atrae moléculas de baja constante dieléctrica (moléculas orgánicas) que fomentaran las propiedades hidrófobas de la superficie. El potencial electroquímico depende de la concentración de los iones de la capa doble y se calcula según la formula.

$$\epsilon = \frac{RT}{nF} \ln \frac{a}{a_0} \text{ (Volt)} \quad (2 -3)$$

Donde:

- F : constante de Faraday
- R : constante de los gases.
- T : temperatura absoluta.
- n : valencia del ion determinante del potencial.
- a : actividad del ion determinante del potencial en solución
- a<sub>0</sub> : actividad del ion determinante del potencial al PCC (punto cero de carga).

**Potencial electro cinético o potencial zeta (ξ).** Cuando existe un movimiento relativo entre el sólido y el líquido, los iones que forman la capa Stern quedan firmemente asociados con la superficie del sólido, mientras que los iones de la capa difusa quedan o se mueven con el líquido. Esto genera un plano de corte entre ambas capas, generando un potencial eléctrico entre los dos superficies, denominado potencial electro cinético o potencial “ξ”.

El potencial zeta “ξ” puede ser determinado mediante electrophoresis según:

$$\xi = \frac{4\pi nV}{DE} (\text{Milivolts}) \quad (2 - 4)$$

Donde

D: constante dieléctrica del líquido.

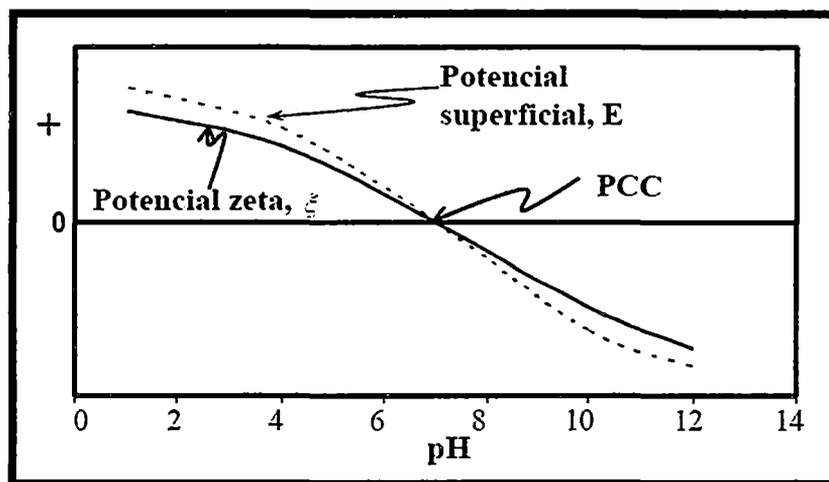
N : viscosidad del líquido ( 0, 01 a 20 ° C)

V : velocidad de movimiento del solido micrones/segundo.

E : intensidad del campo eléctrico volt/cm.

Para muchos minerales los iones determinantes del potencial son los iones H<sup>+</sup> OH<sup>-</sup>. Casos, el PH al cual la carga superficial es cero, se denomina

**punto cero de carga, (PCC).** Aquel al cual el potencial zeta es igual a cero, se denomina punto isoeléctrico (IEP) (figura N° 2.9).



**Fig.2.9 Punto de carga cero**

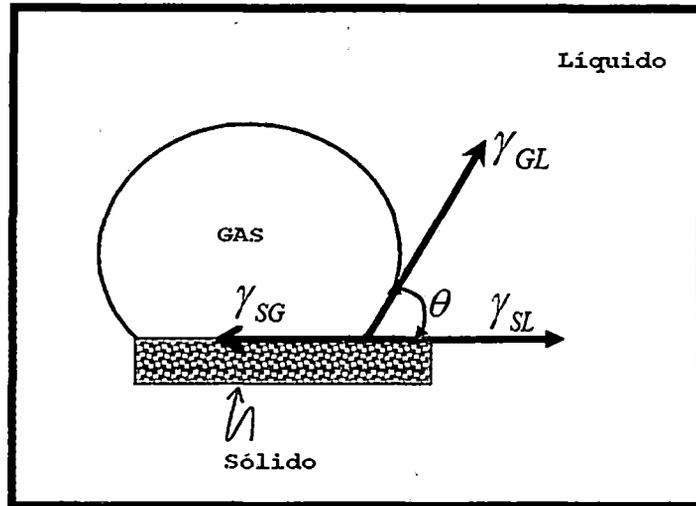
**Fuente: Roberto Chávez G. UNSAAC.**

#### **2.3.4 CONTACTO ENTRE LAS TRES FASES (S-L-G)**

El estudio de las distintas fases y sus interfaces nos lleva finalmente al contacto trifásico que es el más importante, pues representa la realidad de lo que sucede en el proceso de flotación.

**Angulo de contacto y ecuación de Young.** Tiene una importancia extraordinaria porque relaciona en forma cuantitativa las propiedades hidrofobicas de un mineral con su flotabilidad.

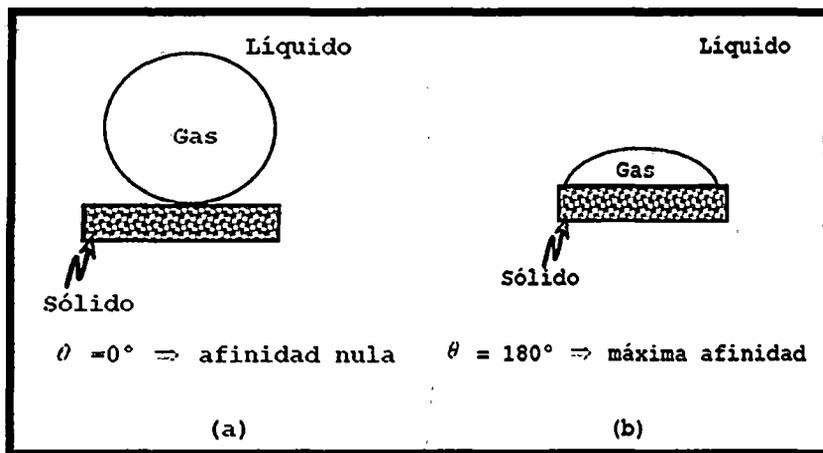
Si el sólido es hidrofobico, ya sea en forma natural o por la adsorción de un colector en su superficie, la película de líquido retrocede hasta una posición en la que las tres tensiones superficiales se encuentren en equilibrio (figura 2.9). El ángulo que se genera entre las tenciones interfaciales y LG y y st se llama ángulo de contacto (figura N° 2.10).



**Fig.2.10**Angulo de contacto

Fuente: Roberto Chávez G. UNSAAC.

A mayor ángulo de contacto, mayor es la variación de la energía libre por lo tanto, el proceso de adhesión partícula-burbuja es más espontaneo. Cuando no hay contacto entre las tres fases,  $\theta$  es cero (Figura N° 2.11 a) y, por el contrario, cuando es máxima la afinidad,  $\theta$  es  $180^\circ$  (Figura N° 2.11 b).



**Fig.2.11**Angulo de afinidad de contacto

Fuente: Roberto Chávez G. UNSAAC.

Las energías interfaciales “ $\gamma$ ” de las tres fases (Figura 2.9) en equilibrio (sumatoria de energías interfaciales igual a cero) se pueden relacionar por la ecuación de Young, con el ángulo de contacto “ $\theta$ ”:

$$\gamma_{sg} \equiv \gamma_{sl} + \gamma_{lg} \cos\theta \quad (2-5)$$

## 2.4 TERMODINÁMICA DE LA FLOTACIÓN POR ESPUMAS

Durante la flotación existe un sistema relativamente inestable de dos grupos; es decir burbujas separadas y partículas de mineral (Figura N° 2.12a), se convierten en un sistema relativamente estable; en este caso un grupo mineral-burbuja (Figura 2.12b). La probabilidad de si ocurriera o no este proceso, se puede estimar mediante el uso de la segunda ley de la termodinámica.

De acuerdo a la segunda ley, cualquier proceso o reacción, puede ocurrir espontáneamente, solo en la dirección que corresponde a la reducción en energía libre del sistema dado. Bajo estas condiciones el sistema alcanza estabilidad máxima cuando la energía libre es mínima. Por energía libre nos estamos refiriéndonos a aquella parte de la energía interna, que puede convertirse en trabajo y temperatura; permaneciendo constante el volumen del sistema. Por lo tanto, en el uso del método termodinámico, se debe tener en cuenta la energía libre antes y después del proceso.

Considerando la posibilidad de formación de grupo burbuja-mineral, las energías libres que debemos considerar son aquellas de las interfaces:

1. Solido-gas (sg).
2. Solido-líquido (sl).
3. Líquido-gas (lg).

La cantidad de energía libre, se determina mediante la suma de las energías libres sobre las áreas de las correspondientes interfaces.

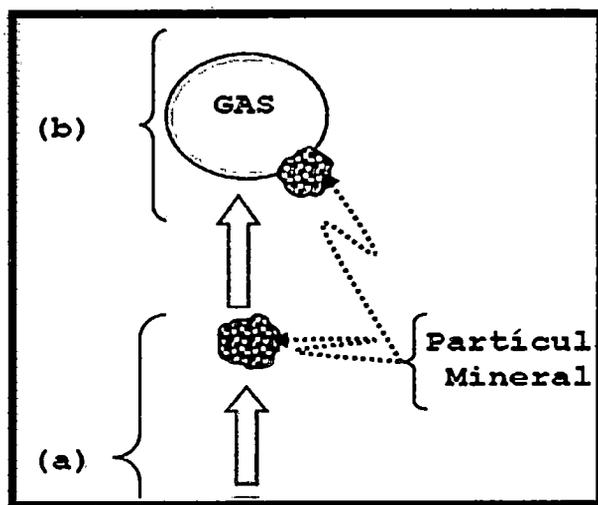
La reserva de energía libre ( $G_1$ ) en el sistema, antes de la adherencia o unión, (figura 2.12a), está dada por:

$$G_1 = S_{1g}\gamma_{1g} + A_{sl}\gamma_{sl} \quad (2 - 6)$$

Donde:

- $A_{lg}$  : Área de la interfase líquido – gas.
- $\gamma_{lg}$ : Energía superficial (ergios por  $cm^2$ ) de la interfase líquido – gas.
- $A_{sl}$  : Área de la interfase sólido – líquido
- $\gamma_{sl}$ : Energía superficial (ergios por  $cm^2$ ) de la interfase sólido – líquido

El balance de la energía libre ( $G_2$ ) en el sistema después de la adhesión, para un área de  $1\text{ cm}^2$  (Figura 2.11.b), está dado por:



**Fig. 2.12 Termodinámica de la adhesión de una burbuja**

**Fuente: Roberto Chávez G. UNSAAC.**

Si,  $G_1 > G_2$ , se concluye que se ha producido una reducción en energía libre, por unidad de área, correspondiente al proceso de adhesión.

partícula/burbuja, esta reducción de energía libre esta expresada por la ecuación de Dupre:

$$G_2 - G_1 = \Delta G = \gamma_{sg} - \gamma_{sl} - \gamma_{1g} < 0 \quad (2 - 7)$$

En esta forma particular, no se puede utilizar para los cálculos, porque no se conocen los valores de la tensión superficial para las fases sólido – líquido y sólido – gas. Sin embargo podemos medir el ángulo de contacto  $\theta$ , por la ecuación de Young, la misma que esta expresado en la ecuación (2.3).

$$\gamma_{sg} = \gamma_{sl} + \gamma_{1g} \cos\theta$$

De donde:

$$\gamma_{1g} \cos\theta = \gamma_{sg} - \gamma_{sl} \quad (2 - 8)$$

Sustituyendo los valores del lado izquierdo de la ecuación 2.9 en la ecuación 2.8 se obtiene

$$\Delta G = \gamma_{1g} (\cos\theta - 1) < 0 \quad (2 - 9)$$

En la ecuación 2.10 para:  $\theta = 0^\circ$ ,  $\Delta G = 0$  y para  $\theta > 0^\circ$ ,  $\Delta G < 0$ .

De aquí entonces, que minerales cuyo ángulo de contacto con el agua sea cero, han sido definidos como hidrofílicos y termodinámicamente no flotables. Lo contrario es aplicable a minerales con ángulo de contacto mayor que cero sin embargo, debe dejarse en claro que el ángulo de contacto es una condición termodinámicamente o de equilibrio de sistema.

La ecuación (2.10) sirve para un área de contacto de 1cm<sup>2</sup>. Si se considera la deformación de la burbuja y sus cambios de superficie entonces

$$\Delta G = \left( \frac{G_1 - G_2^1}{A_{sg}} \right) = \left( \frac{A_{1g} - A_{1g}^1}{A_{sg}} - \cos\theta \right) \quad (2 - 10)$$

Donde:

$A_{1g}^1$ : Superficie de agua que rodea la burbuja después de la adhesión.

$G_2^1$ : Energía libre del sistema después de la adhesión, considerando la deformación de la burbuja

Ambas ecuaciones (2.9 y 2.10), muestran que el decrecimiento en la energía libre del sistema es proporcional al ángulo de contacto; esto quiere decir que cuando más repelente al agua sea la superficie, es mucho más probable la adhesión a la burbuja. Las ecuaciones (2.9 y 2.10), también indican que el decrecimiento de energía libre en el sistema depende de  $\gamma_{1g}$ .

Teniendo en cuenta la ecuación (2.9) es posible determinar la condición termodinámica para los materiales de estudio (sulfuros de cobre). Para dicho fin, en la literatura de la flotación no se cuenta con datos garantizados sobre los valores de  $\gamma_{1g}$  y el ángulo de contacto de calcosina (mayor proporción) frente a los Xantatos, sin embargo es posible determinar la condición termodinámica de los minerales: calcopirita y bornita (menor proporción).

## 2.5 CINÉTICA DE LA FLOTACIÓN

Entre los problemas más importantes de la cinética de la flotación se encuentra el de la definición de velocidad de flotación, o sea, la recuperación de especies minerales en la espuma en relación con el tiempo.

En el proceso de flotación, dentro de un solo experimento que dura varios minutos, participan normalmente centenares de millones de partículas y decenas de millones de burbujas. Sin entrar en detalles del mecanismo

como se unen las partículas con las burbujas, se pueden considerar los fenómenos en forma estadística, utilizando los factores cinéticos que participan en el proceso.

Supongamos que:

- n** Es el número inicial de partículas disponibles para la flotación.
- N** Es el número de burbujas introducidas en la pulpa en la unidad de tiempo.
- F** Es la fuerza promedio con que las partículas minerales se adhieren a las burbujas.
- t** Es el tiempo de flotación.

Supongamos ahora, que dentro del tiempo  $t$  desde el principio de la flotación flotaron en el concentrado  $x$  partículas de una cantidad inicial  $n$ . Si el número de burbujas introducida durante la unidad de tiempo,  $N$  se mantuvo constante y si la fuerza media  $F$  con que las partículas se asocian con las burbujas también se mantuvo constante, entonces dentro del tiempo  $dt$  flotaron en el concentrado  $dx$  partículas.

Como durante el tiempo  $dt$  a través de la pulpa que contiene  $(n - x)$  partículas, pasan  $Ndt$  burbujas, entonces el número de asociaciones exitosas entre burbujas y partículas tiene que ser proporcional a  $N(n - x) dt$ . De que el número de partículas flotadas en el concentrado en la unidad de tiempo es:

$$dx = KNF(n - x)dt \quad (2 - 11)$$

$F$  es la fuerza media que une las partículas con las burbujas y  $K$  una constante que reúne las características de la máquina de flotación.

La ecuación diferencial (2.1) describe el proceso de flotación sin considerar los detalles de su mecanismo. La integración de esta ecuación es posible solo cuando **N** y **F** son funciones del tiempo, lo que es posible aceptar.

Entonces:

$$\int_0^x \frac{dx}{n-x} = K \int_0^t NFdt$$

$$\ln \frac{n}{n-x} = K \int_0^t NFdt \quad (2-12)$$

Al dividir el miembro de la izquierda por  $n$  y sabiendo que  $x/n$  es  $R$ , la recuperación, resulta que:

$$\ln \frac{1}{1-R} = K \int_0^t NFdt \quad (2-13)$$

Como durante un experimento  $N$  y  $F$  son constantes, la ecuación (2.3) toma la forma:

$$\ln \frac{1}{1-R} = K_1 t \quad (2-14)$$

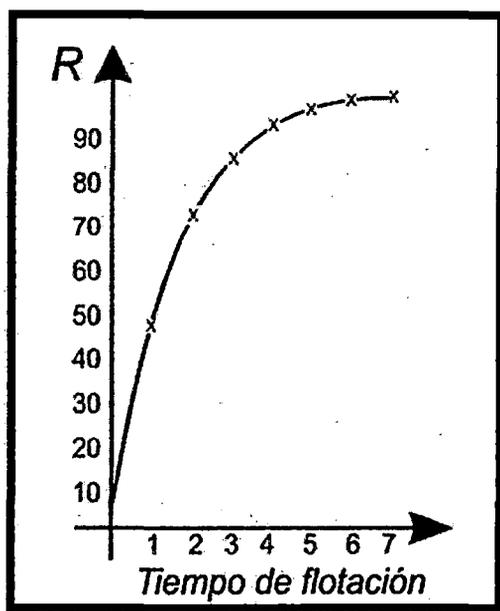
$K_1$  es evidentemente una constante específica para todo mineral.

La ecuación (2.4) se puede expresar también en forma exponencial:

$$R = 1 - e^{-K_1 t} \quad (2-15)$$

Las ecuaciones (2.4) y (2.5) explican que la recuperación por flotación es una función exponencial del tiempo (3).

Esto significa, que anotando nuestras experiencias de flotación en diagramas Recuperación-tiempo, en un caso normal, tendremos curvas logarítmicas, como lo demuestra la Fig. 2.13.

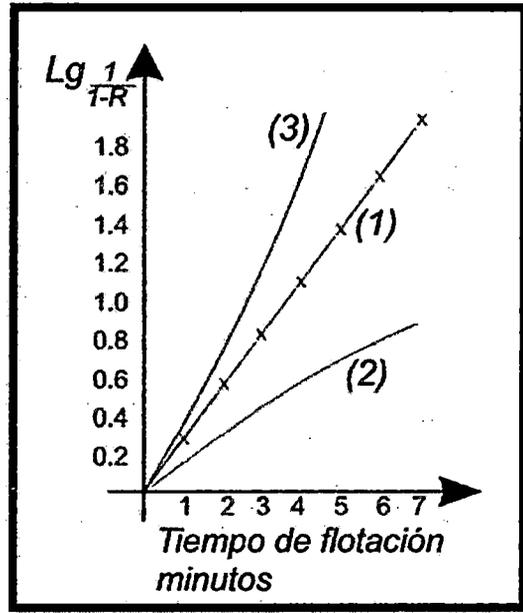


**Fig. 2.13 Recuperación VS Tiempo**

**Fuente: Figueroa Loli Melchor Aquiles. UNMSM.**

El trabajo con estas curvas no es cómodo, particularmente en la parte avanzada de la flotación o hacia el fin de la misma; pues los incrementos de recuperación con el tiempo son muy bajos y dificultan las comparaciones necesarias. Y estos son precisamente los lugares que principalmente interesan en la flotación, pues en ellos se efectúa la lucha decisiva por obtener una mejor recuperación.

Este Problema, se puede resolver cómodamente con coordenadas semilogarítmicas, donde la ordenada es  $\log. 1/1-R$  y la abscisa el tiempo.



**Fig. 2.14 Log 1/1-R VS Tiempo**

**Fuente: Figueroa Loli Melchor Aquiles. UNMSM.**

De este modo, la curva de la Fig. (2.14) A toma el aspecto de la curva de la Fig. (2.13).

La importancia práctica de estas curvas reside en el hecho de que un proceso de flotación, que se desarrolla normalmente, en la figura (2.14) tiene que estar representado por una recta de inclinación variable (1) que depende del carácter del mineral y de la **máquina de flotación**. Si hay desviaciones de esta recta, estas significan que el proceso de flotación no se desarrolla normalmente. La curva convexa (2) significa que el proceso de flotación es obstaculizado, mientras que la curva cóncava (3) significa que el proceso es favorable.

Al tratar de abordar el problema de la velocidad de la flotación podemos ver los siguientes pasos consecutivos en su solución:

1. El método empírico, que trata de solucionar el problema en base a los gráficos recuperación-tiempo que se obtiene en forma experimental.
2. El método semi-empírico que contempla el análisis de los datos experimentales mediante ecuaciones diferenciales tal como lo hizo H. Garcia Zuñiga.

En forma definitiva estas ideas se pueden expresar mediante la ecuación diferencial:

$$\frac{dR}{dt} = KNF(1 - R) \quad (2 - 16)$$

Esta ecuación hace posibles comparaciones y análisis con las reacciones químicas. En realidad una serie de investigadores consideran a la flotación como una reacción química de primer orden. En forma experimental con flotaciones unitarias esto se ha podido comprobar en varias oportunidades.

Sin embargo, hay desviaciones que afirman que la expresión más completa para el proceso de flotación según Arbiter, sería una ecuación diferencial:

$$\frac{dR}{dt} = KNF(1 - R)^n \quad (2 - 17)$$

Donde  $n$  sería una cantidad variable, pero fija para cada caso particular. La mayoría de los autores concuerdan en que  $n$  varía entre 1 y 2.

Es necesario mencionar que últimamente han aparecido nuevos movimientos para describir el proceso de flotación por ejemplo por el método analítico que contempla la hidrometalurgia y la teoría de la probabilidad en la descripción del encuentro y contacto entre la partícula y la burbuja, analiza con detalle el mecanismo y las variables conocidas que intervienen en el proceso.

Con respecto a las variables, es necesario mencionar que en la flotación estas son innumerables y son poco consideradas integralmente en las deducciones propuestas.

## **2.6 EQUIPOS DE FLOTACIÓN CONVENCIONAL**

Desde que se desarrolló por primera vez la flotación como un método de concentración, se han introducido muchos diseños de máquinas de flotación.

Todas ellas pueden considerarse comprendidas en dos categorías: Las máquinas de FLOTACIÓN MECÁNICAS, que han sido las de mayor uso hasta la actualidad y las máquinas de FLOTACIÓN NEUMÁTICA.

Dentro de cada categoría existen dos tipos, las que trabajan como un solo tanque y las que trabajan como una batería de tanques. La mayor parte de la flotación se lleva a cabo en bancos de celdas de flotación.

Aunque existen muchos diseños diferentes de máquinas de flotación, todas ellas tienen la función primaria de hacer que las partículas que se han convertido en hidrofóbicas entre en contacto y se adhieran a las burbujas de aire, permitiendo así que dichas partículas se eleven a la superficie y formen una espuma, la cual es removida.

Para lograr esta función, una buena máquina de flotación debe:

1. Mantener todas las partículas en suspensión
2. Asegurar que todas las partículas que entren en la maquina tengan la oportunidad de ser flotadas.
3. Dispersar burbujas finas de aire en el seno de la pulpa.
4. Promover el contacto partícula-burbuja.
5. Minimizar el arrastre de pulpa hacia la espuma.

6. Proporcionar suficiente espesor de espuma.
7. Selección de partículas de mayor peso específico de la pulpa.

Los factores principales para calificar el rendimiento de la maquina son:

1. Rendimiento metalúrgico, representado por la ley de recuperación.
2. Capacidad, y por unidad de volumen.
3. Costo de operación por tonelada de alimentación.
4. Facilidad de operación (la cual puede ser objetiva).

Según el método de introducción del aire a la pulpa, podemos distinguir diferentes tipos de máquinas:

1. Maquinas mecánicas, en la que el aire se introduce por agitación mecánica y en cuya distribución es de fundamental importancia un agitador.
2. Maquinas mecánicas; en que el aire se introduce bajo presión en la parte inferior de la pulpa, manteniendo la agitación mecánica.
3. Maquinas neumáticas, la inyección de aire se produce a elevada presión (compresoras) no se cuenta con agitación mecánica.

Una buena máquina de flotación debe tener facilidades para.

1. Alimentación de la pulpa en forma continua.
2. Mantener la pulpa en estado de suspensión.
3. Evitar las sedimentaciones.
4. Separación apropiada de la pulpa y de la espuma mineralizada.
5. Evacuación de la espuma en forma ordenada.
6. Fácil descarga de los relaves.
7. Clasificador de las partículas de mayor densidad.

La eficiencia de una máquina de flotación, en consecuencia, se determina por las toneladas que puede tratar por unidad de volumen, calidad de los productos obtenidos, recuperaciones metalúrgicas, consumo de energía eléctrica, consumo de reactivos, gastos de operación y mantenimiento.

Actualmente las más usadas por su importancia tecnológica, por lo menos en lo que se refiere al Continente.

## **2.7 AVANCES EN LA TECNOLOGÍA DE CELDAS DE AGITACIÓN MECÁNICA**

Las tendencias más relevantes experimentadas en estos 100 años en la tecnología de celdas de flotación han sido:

### **a) Bajar costos de operación.**

El crecimiento del volumen de celda ha permitido un ahorro considerable en el consumo específico de energía, menor costo de adquisición, menor área de piso en plantas, y menor costo de mantención de las celdas por m<sup>3</sup> de pulpa tratada.

### **b) Mejorar la selectividad.**

Este objetivo se cumple, en las celdas en columna, y celdas Imhoflot, las cuales permiten en una sola etapa leyes de concentrado significativamente más altas que las celdas convencionales.

### **c) Mejorar la recuperación de partículas finas o gruesas.**

El sistema de aireación considera como objetivo una mejor recuperación de partículas finas, como las celdas en columna operando

con micro-burbujas; mientras que otras celdas han sido diseñadas sólo para flotar gruesos, como la celda SkimAir.

**d) Conseguir mayor velocidad de flotación.**

Este objetivo apunta a bajar los tiempos de residencia y consecuentemente aumentar la capacidad de tratamiento de un tipo de celda. La celda Imhoffot, y la celda Jameson.

## **2.7.1 AUMENTO DE VOLUMEN DE CELDAS DE AGITACIÓN MECÁNICA**

### **Celdas De Agitación Mecánica**

El diseño y construcción de la primera máquina de flotación usada en Australia en 1910 por la compañía Minerals Separation Ltd., se le atribuye a T.J. Hoover, la cual consistía en una serie de celdas divididas en compartimentos de agitación y formación de espuma. En 1914 fue patentada en USA la máquina de flotación neumática por J.M. Callow y usada en la planta de Inspiration Company.

Desde sus inicios y hasta la década del 60 la tecnología de flotación empleó celdas de agitación mecánica de pequeño tamaño, cuyo volumen fluctuó entre 10 y 100 pie<sup>3</sup>.

Posteriormente, surgen marcas reconocidas hasta hoy, tales como Denver con la celda Sub-A (Sub-aireadas, por ejemplo Diseño cell to cell), Agitair (Galigher), y Wenco (Enviroteck).

Las primeras celdas industriales para flotar minerales de cobre en Chile fueron operadas en la planta El Teniente con tecnología experimental, incluyendo los prototipos de celdas Janney, Callow, Nevada y Forrester. En los años posteriores se instalaron celdas Galigher modelo Agitair 48 de 40

pie<sup>3</sup> y celdas Denver N° 24 y 30, de 50 pie<sup>3</sup> y 100 pie<sup>3</sup> respectivamente. En la década del 30 se usaron las celdas Wemco - Fagergren 66 de 51 pie<sup>3</sup>.

En una perspectiva histórica, lo más impresionante durante estos 100 años ha sido el crecimiento del volumen de las celdas. Este ha aumentado desde alrededor de 10 pie<sup>3</sup> hasta alrededor de 10500 pie<sup>3</sup>, lo cual ha forzado grandes cambios en el diseño de circuitos de flotación, los cuales se han simplificado considerablemente. En equipos de clasificación, lo más importante ha sido la introducción de los hidrociclones en la década del 60. Del mismo modo en molienda lo más importante ha sido el desarrollo del molino SAG de gran capacidad; y en remolienda, el reemplazo del molino convencional por el molino vertical. Otro hito importante lo representa la introducción de la tecnología de celdas en columna en la década del 80.

La actual tecnología de flotación de cobre en la gran minería considera:

- a) El uso de celdas de gran volumen y celdas gigantes, con volúmenes nominales entre 4.500 pie<sup>3</sup> y 10.500 pie<sup>3</sup>.
- b) El empleo de celdas en columna de 12-14 m de alto y gran capacidad.
- c) Diversos avances en el control automático de celdas, tales como, control del nivel de la interfaz pulpa/espuma (espesor de la capa de espuma), control del flujo de aire, medición de tamaño de burbuja, etc.
- d) Empleo de analizadores de leyes en línea con display en terreno.
- e) Empleo de cámaras de video con analizadores de imágenes para optimizar la espuma en celdas unitarias de gran volumen (Bartolacci, 2006; Liu and MacGregor, 2008).

## **2.7.2 TIPOS Y FUNCIONES DE LA CELDA DE AGITACIÓN MECÁNICA**

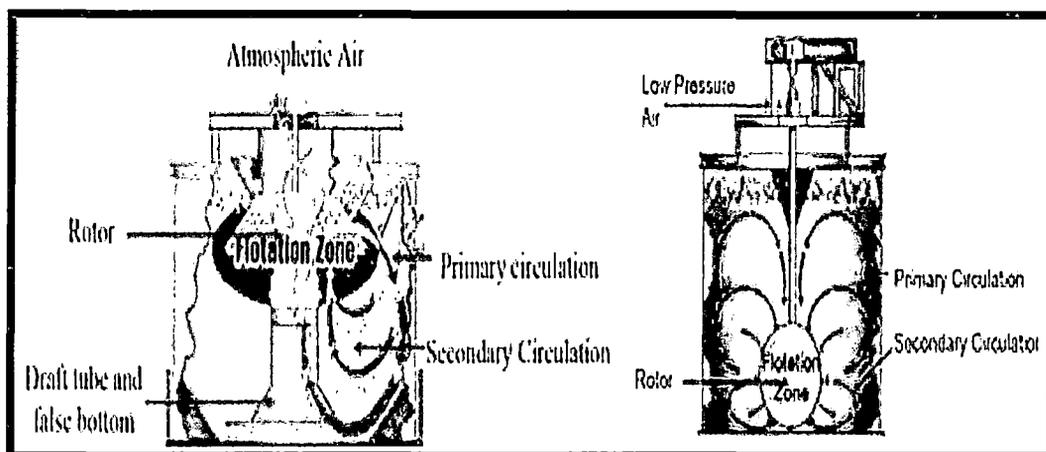
Existen dos tipos de celdas de agitación mecánica, según la forma como se introduce el aire (gas) a la máquina:

- a) Celda auto-aspirante (Denver, Wemco-SmartCell). El flujo de aire se controla por la presión de succión creada por el impulsor y depende de su velocidad de giro.
- b) Celda de aire forzado (Outokumpu, Dorr-Oliver). El aire se introduce en la pulpa mediante un compresor.

En general, las celdas de flotación presentan tres funciones básicas:

- (a). Suspensión de la pulpa.
- (b). Aireación.
- (c). Remoción de espuma. En el diseño de los circuitos de flotación se debe tener en cuenta consideraciones diferentes al seleccionar celdas de aire forzado o auto-aspirantes (granulometría, porcentaje de sólidos, etc.).

Los patrones de flujos de recirculación de pulpa al interior de ambas celdas son diferentes. Para el tratamiento de granulometrías gruesas existe mayor riesgo de decantación de partículas gruesas y densas en las celdas auto-aspirantes. Sin embargo, las celdas de aire forzado tienen mayor costo de operación pues consideraran un compresor de aire.



**Fig. 2.15. Representación esquemática de patrones de circulación de flujo de pulpa en celdas de flotación mecánica: (a) auto-aspirante (Wemco); y (b) aire forzado (Dorr-Oliver).**

**Fuente: Wemco, Dorr-Oliver. 3ra Edición, 2010.**

## **2.8 CELDAS DE GRAN VOLUMEN**

Para el diseño de circuitos rougher y scavenger normalmente se emplean celdas de gran volumen y celdas gigantes en las plantas de flotación de la gran minería. Las compañías proveedoras de equipos, Outokumpu y FLSmidth, son las mejores posicionadas en el mercado chileno. En el mundo son también ampliamente conocidas otras celdas, entre ellas las celdas RCS METSO.

En 2002 se fusionó la compañía Dorr-Oliver con Eimco-Wemco, para ofrecer en una sola compañía celdas auto-aspirantes y de aire forzado. Actualmente, la compañía FLSmidth comercializa las celdas WEMCO®, DORR-OLIVER®, y XCELL™. También ofrecen la SuperCells™, que corresponde a una celda de gran volumen con capacidad de 300m³ y un

diseño de tanque universal. Esto le confiere flexibilidad, porque el mismo tanque puede acomodar un mecanismo de celda auto-aspirante WEMCO o de aire forzado DORROLIVER, o el mecanismo propio de la XCELL™.

Por otro lado, las celdas de gran volumen de Outokumpu, con volúmenes de hasta 300 m<sup>3</sup>, se ofrecen en distintos modelos, como por ejemplo, las celdas con tanque en forma de U, o aquellas con tanque circular. Son equipos muy exitosos en sus aplicaciones industriales, siendo su principal característica un impulsor/estabilizador diseñado para mejorar la hidrodinámica de la celda, y la adhesión partícula burbuja.

### 2.8.1 CELDA AUTO-ASPIRANTE WEMCO-SMARTCELL

Corresponden a celdas auto-aspirantes de gran uso en la industria de procesamiento de minerales sulfurados de cobre.

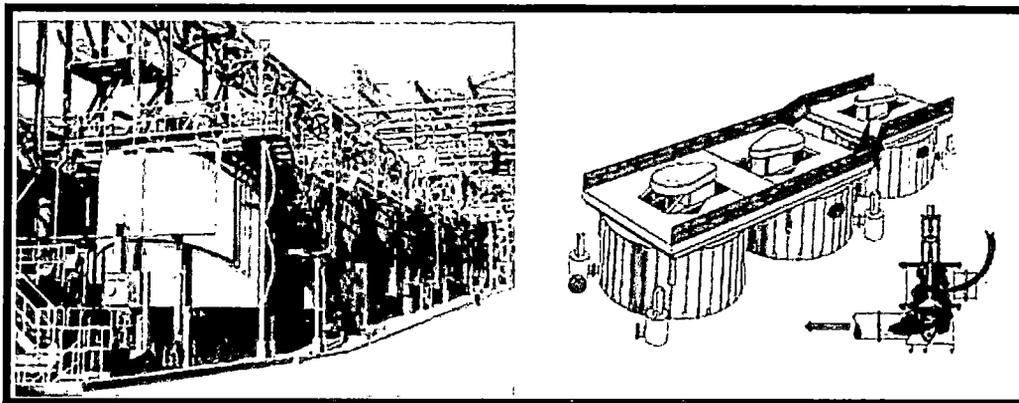
Los volúmenes nominales de las celdas SmartCell se muestran en la

**Tabla 2.1 Volumen de celdas WEMCO-SmartCell.**

Volúmenes nominales de las máquinas de flotación Wemco-SmartCell, en m<sup>3</sup> y pie<sup>3</sup>.

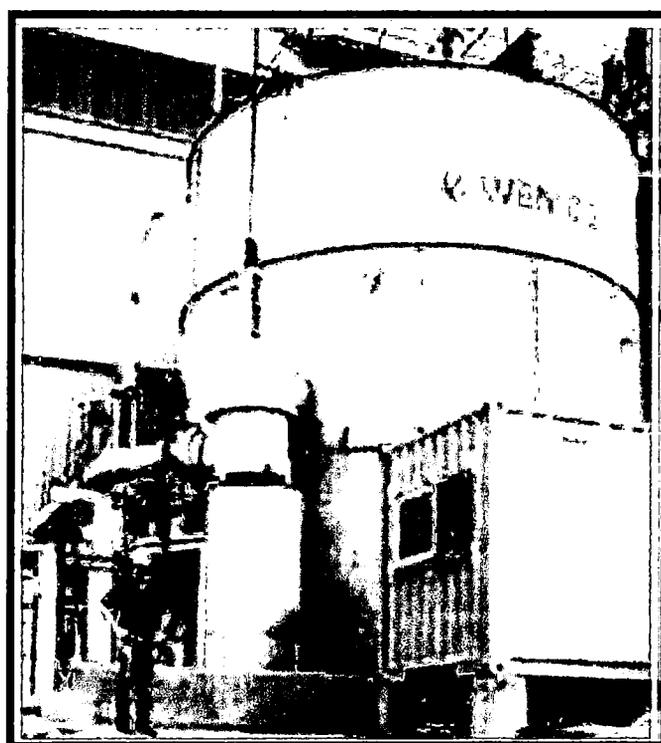
m <sup>3</sup>	5	10	20	30	40	60	70	100	130	160	200	250	300
pie <sup>3</sup>	180	350	710	1060	1410	2120	2470	3530	4590	5650	7060	8830	10595

**Fuente: Wemco-SmartCell. 3ra Edición, 2010.**



**Fig. 2.16 Banco de celdas Wemco-SmartCell instaladas en Perú; y esquema de montaje y mecanismo de control del caudal de descarga en cajón de colas.**

**Fuente: Wemco-SmartCell. 3ra Edición, 2010.**



**Fig. 2.17 Primera celda Wemco-SmartCell de 8.830 pie3 instalada en Chile el 2004**

**Fuente: Wemco-SmartCell. 3ra Edición, 2010.**

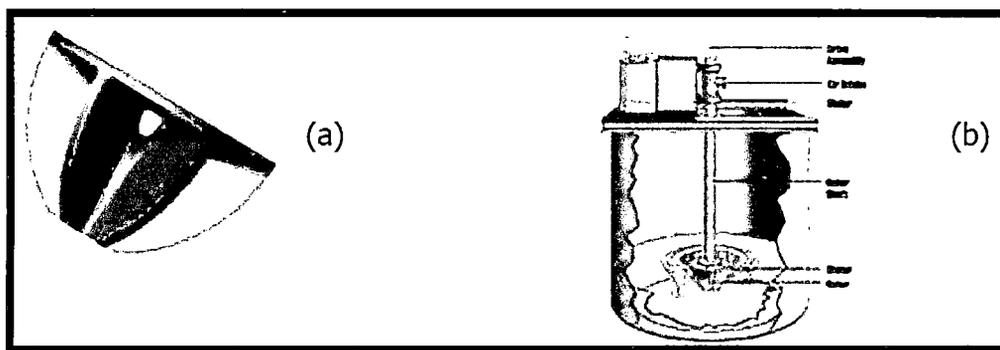
## 2.8.2 CELDA DE AIRE FORZADO DORR-OLIVER

Corresponden a celdas de gran volumen que operan con aire forzado. A continuación se muestra los distintos modelos y sus respectivos volúmenes nominales.

**Tabla 2.2 Volumen de celdas Dorr-Oliver.**

Volúmenes nominales de las máquinas de flotación Dorr-Oliver en m <sup>3</sup> .						
Modelo	DO- 5RT	DO- 10RT	DO- 20RT	DO- 30RT	DO- 40RT	DO- 50RT
m <sup>3</sup>	5	10	20	30	40	50
Modelo	DO- 60RT	DO- 70RT	DO- 100RT	DO- 130RT	DO- 160RT	DO- 200RT
m <sup>3</sup>	60	70	100	130	160	200

**Fuente: Dorr-Oliver. 3ra Edición, 2010.**



**Fig. 2.18 Esquema del rotor (a); y visión general de partes de una celda Dorr-Oliver (b).**

**Fuente: Dorr-Oliver. 3ra Edición, 2010.**



**Fig. 2.19: Celdas de flotación Dorr-Oliver de gran volumen instaladas en planta.**

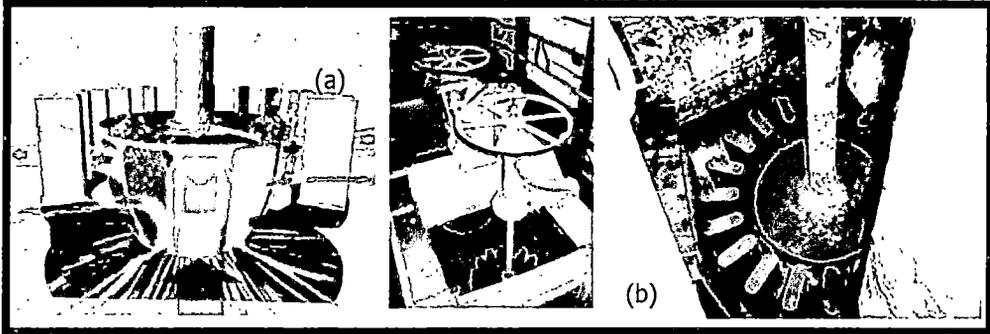
**Fuente: Dorr-Oliver. 3ra Edición, 2010.**

### **2.8.3 CELDA DE AIRE FORZADO OUTOKUMPU**

Outotec es una compañía Finlandesa que comercializa principalmente tres tipos de celdas Outokumpu: Tankcells®, U-shaped cells y Flash Flotation cells® (SkimAir cell).

Normalmente las celdas industriales Outokumpu tienen volúmenes de 5 a 200 m<sup>3</sup>. Recientemente, Outokumpu ha fabricado una de las celdas más grandes del mundo denominada TankCell® -300, de 300m<sup>3</sup> (aprox. 10.595 pie<sup>3</sup>).

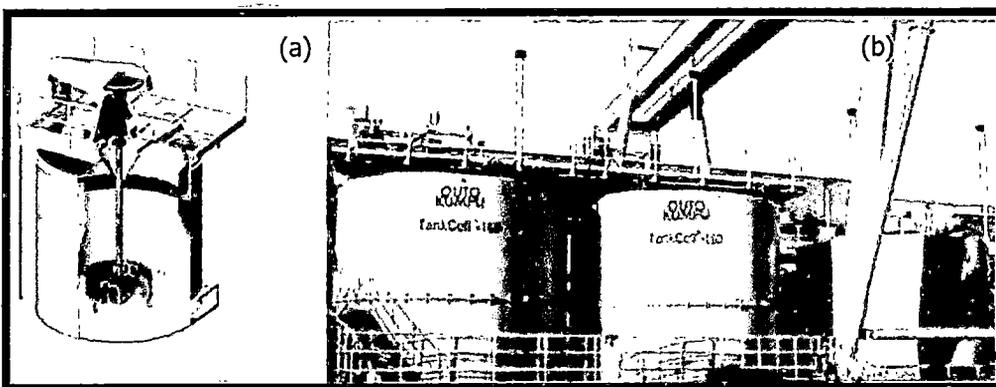
Otras celdas muy reconocidas en la industria son las celdas con fondo curvo U-shaped OK16 y OK-38, de 16 m<sup>3</sup> y 38 m<sup>3</sup> respectivamente, introducidas en los años 1970 y 1980, para posteriormente desarrollar las grandes celdas circulares (conocidas como TankCell®) en los años 1990. Se han instalado numerosas celdas TankCell-150, TankCell-160 y TankCell-200, de 150, 160 y 200 m<sup>3</sup> respectivamente.



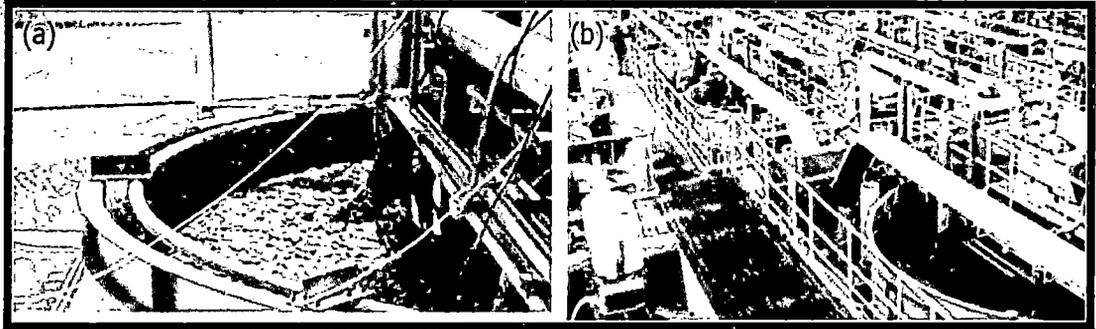
**Fig. 2.20** Esquema del impulsor/estabilizador (a); y vista del sistema en celdas Outokumpu de pequeño tamaño (b).  
 Fuente: Outokumpu. 4ta Edición, 2010.



**Fig. 2.21** Planta de flotación con celdas de tanque circular (a); y celda de fondo curvo del tipo U-Shaped OK de pequeño tamaño (b).  
 Fuente: Outokumpu. 4ta Edición, 2010.

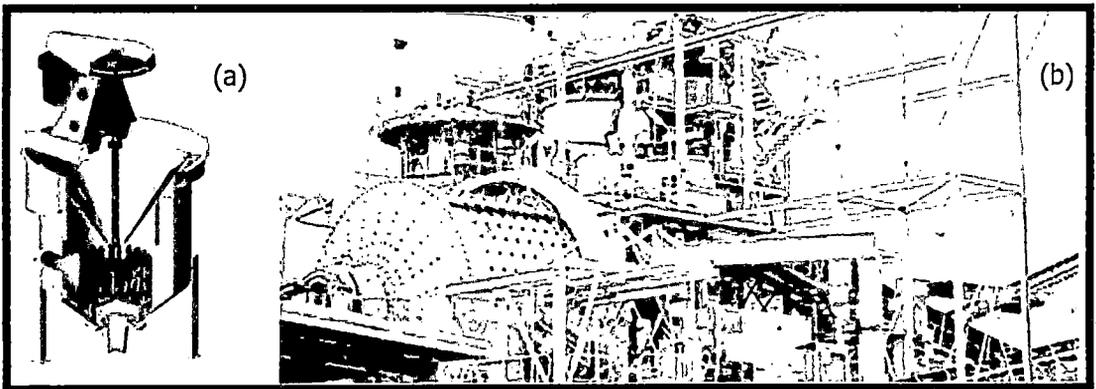


**Fig. 2.22** Esquema de una celda TankCell de Outokumpu (a); y planta de flotación con celdas industriales de 160 m<sup>3</sup> (b).  
 Fuente: Outokumpu. 4ta Edición, 2010.



**Fig. 2.23 Vista de la espuma (a); de una planta de flotación con celdas Outokumpu (b).**

**Fuente: Outokumpu. 4ta Edición, 2010.**

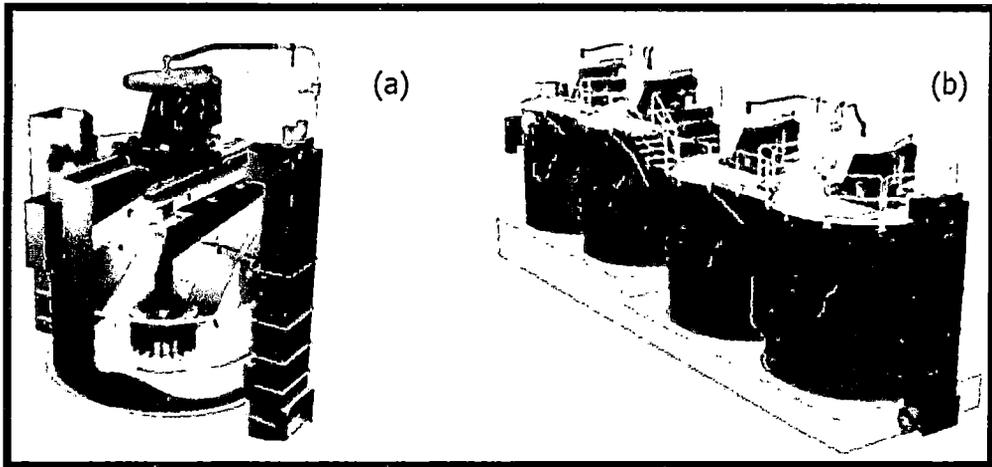


**Fig. 2.24 Esquema de la celda SkimAir de Outokumpu (a); y vista de una instalación industrial para tratar partículas gruesas en la descarga de un molino (b).**

**Fuente: Outokumpu. 4ta Edición, 2010.**

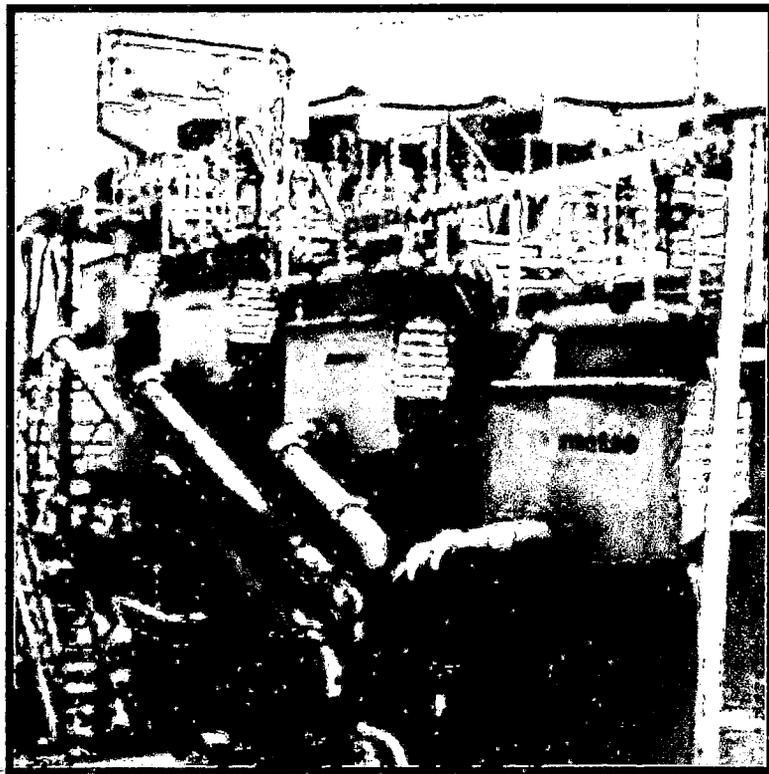
#### **2.8.4 CELDAS METSO**

Estas celdas del tipo de aire forzado son comercializadas por Metso Minerals y su modelo de celda RCS de tanque circular tiene volúmenes que varían entre 5 y 70 m<sup>3</sup> y celdas de gran volumen de 100, 130, 160 y 200 m<sup>3</sup>.



**Fig. 2.25 Representación esquemática de la celda Metso RCS (a); y una línea en arreglo 2x2 (b).**

**Fuente: METSO. 5ta Edición, 2010.**



**Fig. 2.26 Celdas Metso en planta de flotación.**

**Fuente: METSO. 5ta Edición, 2010.**

## **2.9 DESARROLLO DE LA CELDA EN COLUMNA Y OTRAS CELDAS NO CONVENCIONALES**

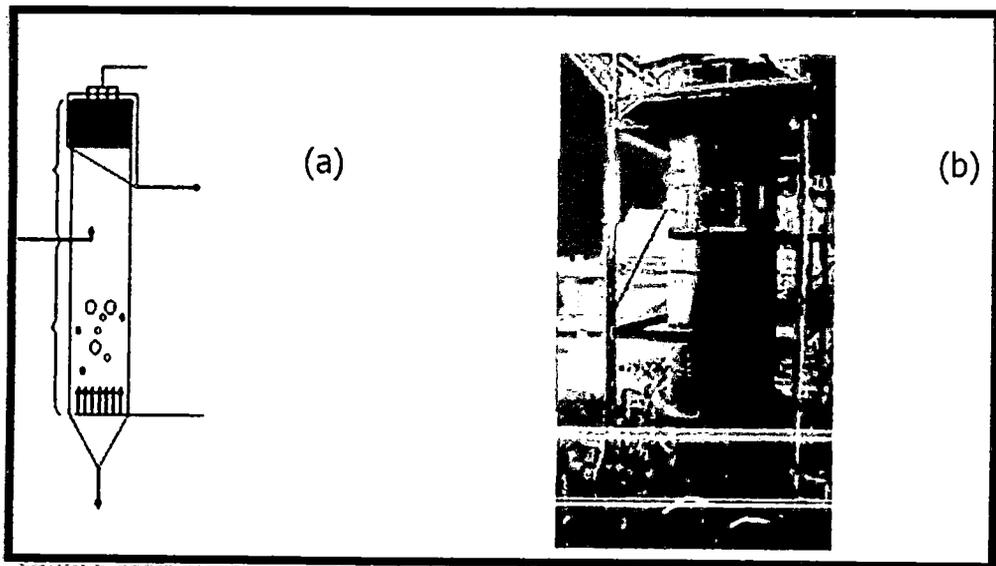
### **2.9.1 CELDA EN COLUMNA**

La columna de flotación fue inventada en Canadá en 1962 para minerales de hierro, pero estuvo en desarrollo experimental hasta 1968 cuando logra los primeros resultados industriales. Sin embargo, después del fracaso en aplicaciones para cobre en el Perú, el proyecto sería retomado en 1975, pero no fue hasta 1979 cuando se proclama el éxito industrial de las celdas en columna para la planta de mina Gaspé-Canadá, reemplazando varias etapas de limpiezas en flotación de molibdeno. Su desarrollo industrial se debe a D.A. Wheeler de Canadá (Wheeler, 1988).

La primera columna para molibdeno en Chile se instaló en la planta de molibdenita de Chuquicamata en 1982. Paralelamente, para limpieza de cobre se evaluaron unidades de prueba en Disputada Los Bronces en 1983 y posteriormente en Andina-Codelco, en 1987. Será en la década de los 90's cuando se producirá la incorporación definitiva de columnas en Chile para la flotación de minerales de cobre y molibdeno. La planta de Minera Escondida en 1990 fue el primer proyecto en cobre en el mundo que se diseñó con celdas en columna como una tecnología aceptada. Además, ratificó la necesidad de complementar la característica baja recuperación de metal fino en columnas, con un circuito scavenger con celdas convencionales.

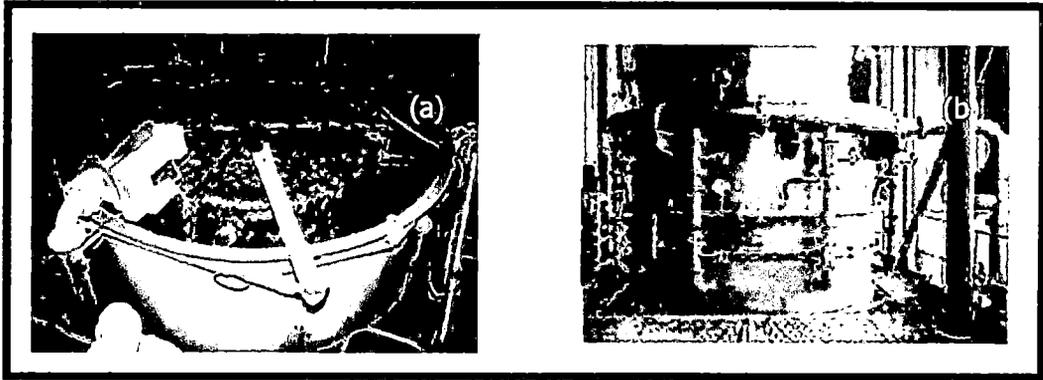
En la tecnología actual, lo más frecuente es aplicar celdas en columna en etapas de limpieza. Se emplea frecuentemente celdas rectangulares de 2 x 6 m; 2,5 x 6 m; 2 x 8 m; o cuadradas de 4 x 4m. La forma rectangular ha predominado sobre la forma circular en columnas de gran volumen debido a la mayor facilidad de construcción y la facilidad para instalar los burbujeadores (spargers).

Las columnas operan bajo control automático, con mediciones en línea del flujo de agua de lavado y espesor de la capa de espuma (Persechini, 2004; Núñez, 2010). Se ha desarrollado complejas estrategias de control, pero en la práctica se prefiere la estrategia de control más simple, es decir, el control de nivel de la interfaz pulpa/espuma (regula el espesor de la capa de espuma). Esta emplea un lazo de control, cuyo actuador es la válvula de control dispuesta en la descarga de la columna; mientras que el caudal de agua de lavado se maneja independientemente. Las parrillas de agua de lavado operan frecuentemente suspendidas sobre la espuma para evitar la obstrucción por partículas minerales. La inyección de aire se hace por generadores de burbujas removibles, tipo lanza con insertos de orificio pequeño, o bien con sistemas neumáticos de abertura regulable como el generador de burbujas Minovex u otros similares.



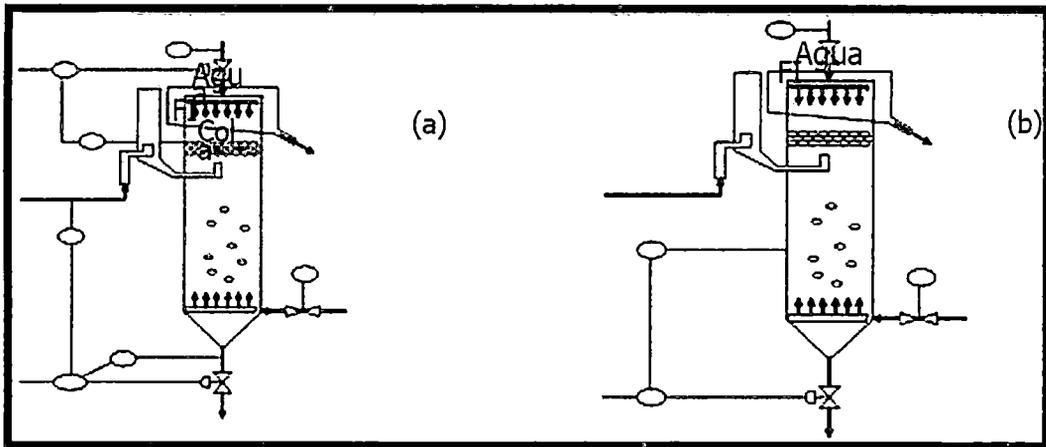
**Fig. 2.27 Representación esquemática de las zonas de una columna de flotación (a); y celdas en columna industriales (b).**

**Fuente: CELDA COLUMNA. 5ta Edición, 2010.**



**Fig. 2.28 Vista de la zona de espuma (a); y de inyección de aire en una columna de flotación (b).**

**Fuente: CELDA EN COLUMNA. 5ta Edición, 2010.**



**Fig. 2.29 Estrategias de control automático de BIAS (a); y control de nivel (b) para columnas de flotación.**

**Fuente: CELDA EN COLUMNA. 5ta Edición, 2010.**

### **2.9.2 CELDA JAMESON**

Se conoce con este nombre a una celda desarrollada por G. J. Jameson en la Universidad de Newcastle en Australia en 1986, en conjunto con la empresa Mount Isa Mines Ltd. (Harbort, 2003). Esta celda se caracteriza por su rápida cinética de flotación, y porque puede emplearse en

funciones rougher, cleaner o scavenger, para un amplio rango de tamaño de partículas.

La celda Jameson opera sin aire forzado, introduciendo el aire a la pulpa por un vacío producido por el descenso de la pulpa dentro del ducto de alimentación, donde ocurre el contacto primario entre partículas y burbujas, siendo esta una de las zonas más importantes de la celda. La segunda zona corresponde al tanque de separación donde las partículas son capaces de mantenerse en suspensión sin la ayuda de agitación mecánica. La tercera zona es la zona de espuma, donde el material flotado es removido de la celda (Harbort, 2003).

La celda Jameson es considerada una celda en co-corriente, porque el aire y la pulpa descienden por el ducto de alimentación en el mismo sentido; contrariamente a una columna de flotación donde lo hacen en sentido contrario y en tal caso es un equipo en contracorriente. Una celda similar reportada por G. Jameson (2010) es la celda Concorde, con velocidades de flotación del orden de 100 veces mayor que una celda convencional.

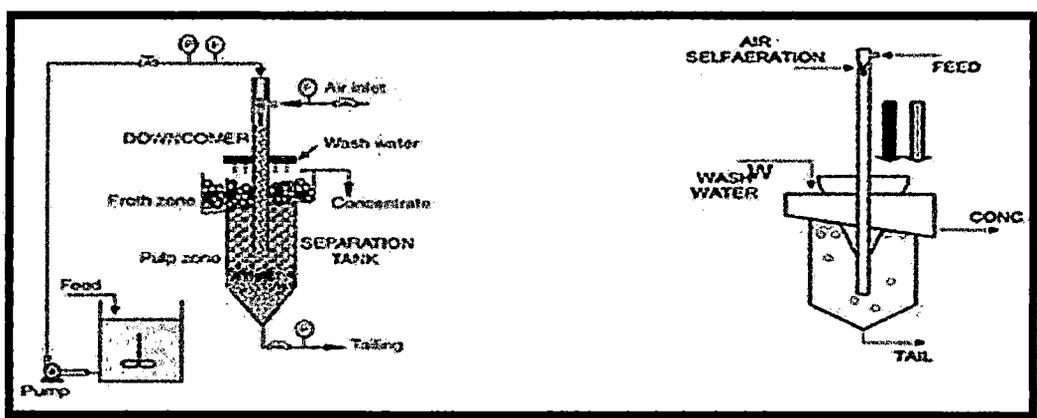
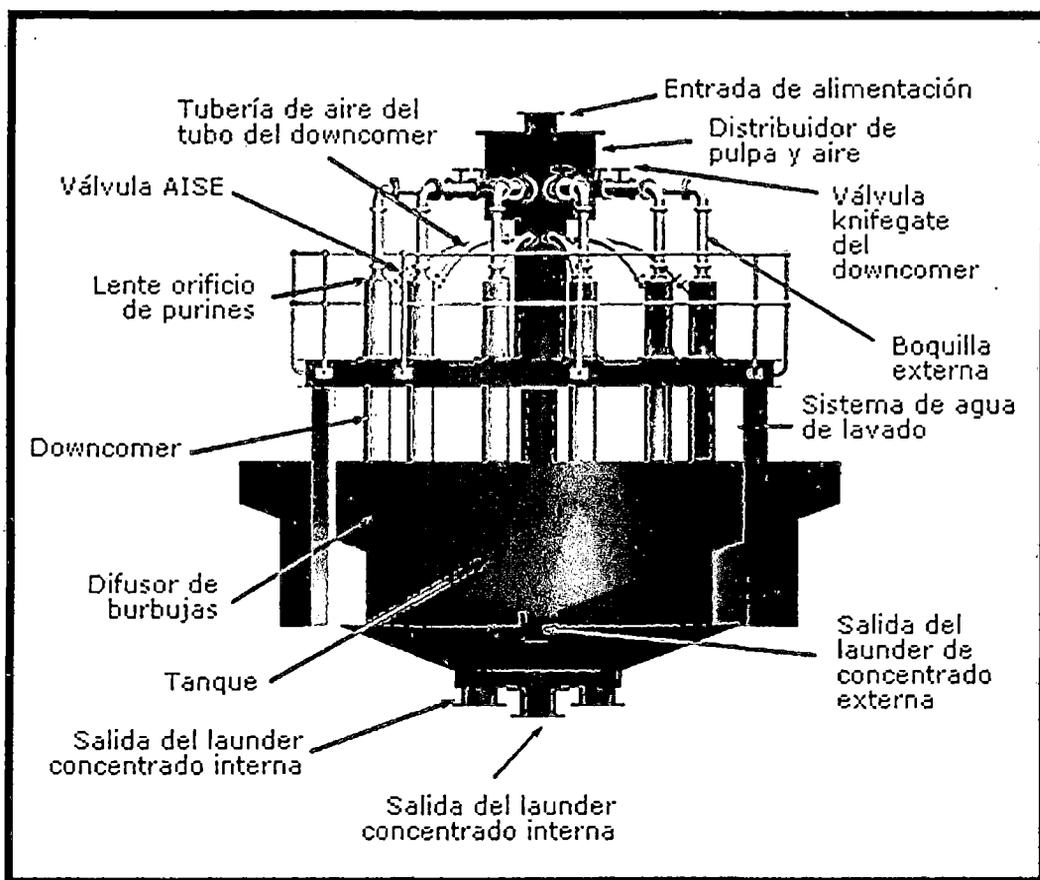


Fig. 2.30 Diagrama esquemático celda Jameson (Taşdemir, 2007).

Fuente: CELDA JAMESON. 4ta Edición, 2010.



**Fig. 2.31 Diagrama esquemático de la celda Jameson (Harbort, 2003).**

**Fuente: CELDA JAMESON. 4ta Edición, 2010.**

### **2.9.3 CELDAS NEUMÁTICAS IMHOFLOT G-CELL Y V-CELL**

La celda neumática imhoflot se introdujo en 1988 y se atribuye al diseño del Dr. Rainer Imhof de Alemania (Battersby, 2003; Imhof, 2007; Sánchez, 2008).

Actualmente se comercializa a través de la compañía Maelgwyn Mineral Services.

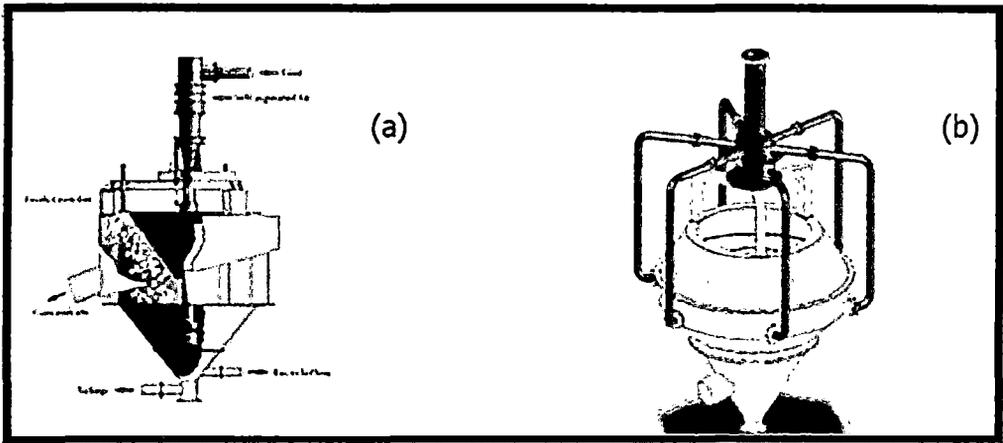
El término "flotación neumática" se acepta generalmente para definir un conjunto de celdas de flotación donde la aireación ocurre fuera del estanque de separación pulpa/espuma. La Celda Imhoflot pertenece a este grupo y se caracteriza porque el proceso de aireación y contacto partícula/burbuja, tiene lugar en dispositivos externos a la celda. No posee partes móviles.

Su principal ventaja es que requiere un tiempo de residencia extremadamente corto, tan corto como 30 seg., lo cual la transforma en una celda de gran capacidad de tratamiento. Se recomienda para flotar partículas finas.

En general son unidades auto-aspirantes, puesto que la celda es alimentada con suficiente energía a través de un ducto central para producir tal efecto. Se han comercializado los modelos G-Cell de flujo tangencial; y modelo V-Cell de flujo vertical. El tamaño de la celda se caracteriza por su diámetro que puede superar los 5 m, y puede tratar sobre 1200 m<sup>3</sup>/h de pulpa de alimentación.

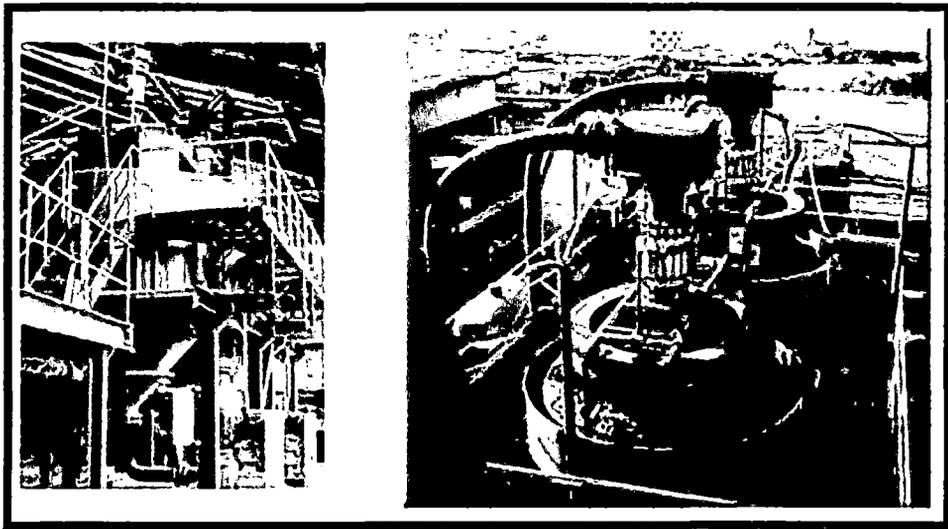
Su aplicación a minerales de cobre en Chile se inició en 1993. Se reporta que el modelo G-Cell es también muy apropiado para molibdeno, hecho que se atribuye al alto hold-up de aire y a una efectiva micro-turbulencia (Sánchez, 2008).

A pesar de las ventajas, estas máquinas se han posicionado preferentemente en la industria de la mediana minería.



**Fig. 2.32 Celda Imhoflot (V-Cell) flujo vertical (a); Celda (G-Cell) flujo tangencial (b).**

**Fuente: IMHOFLOT G-CELL Y V-CELL. 4ta Edición, 2010.**



**Fig. 2.33 Celdas Imhoflot en operación.**

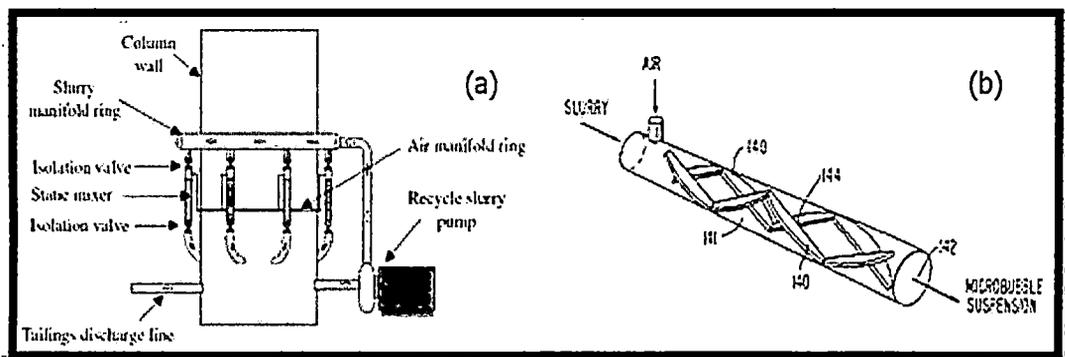
**Fuente: IMHOFLOT G-CELL Y V-CELL. 4ta Edición, 2010.**

#### **2.9.4 CELDA MICROCEL**

La celda Microcel fue desarrollada para carbón en el Virginia Centre for Coal and Mineral Processing, por Roe-Hoan Yoon; y patentada en 1998 (Yoon, USA patente número 5, 814, 210, 1998).

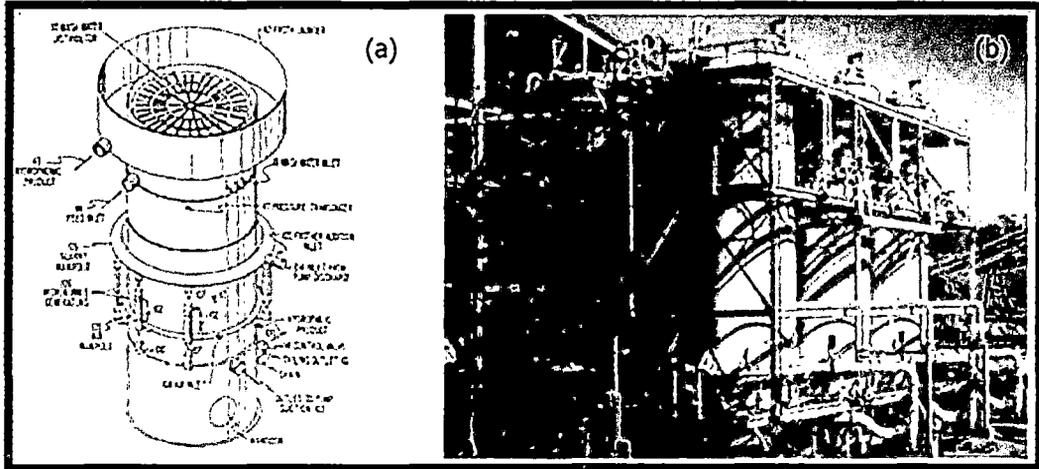
El generador de burbujas de la Microcel es ahora comercializado por la compañía Metso Minerals y usada exitosamente en sulfuros metálicos (Pyecha, 2006). Su particularidad es que opera con una bomba instalada en la parte inferior del tanque circular de la celda, cuya función en una primera etapa es succionar pulpa de la celda; y en una segunda etapa, impulsarla de regreso a la celda a una corta distancia más arriba. En su paso externo de la pulpa por la zona de impulsión de la bomba, se le inyecta aire, el cual se dispersa en finas burbujas con la ayuda de un dispositivo estático de cuchillas en espiral, que favorece la formación de micro-burbujas.

Esta celda ha tenido gran éxito en la flotación de carbón en Estados Unidos.



**Fig. 2.34** Esquema del sistema de generación de burbujas de una celda Microcel (Pyecha, 2006) (a); y mezclador estático (Yoon, 1998) (b).

**Fuente: CELDA MICROCEL. 4ta Edición, 2010.**



**Fig. 2.35 Representación esquemática de una celda Microcel (Yoon, 1998, USA patente 5, 814, 210) (a); y vista de celdas Microcel industriales (b).**

**Fuente: CELDA MICROCEL. 4ta Edición, 2010.**

## **2.10 FLUIDIZACIÓN**

La fluidización ocurre cuando pequeñas partículas sólidas son suspendidas por una corriente de un fluido que se dirige de abajo hacia arriba venciendo el peso de las mismas. Cuando la velocidad del fluido debe ser lo suficientemente alta como para suspender las partículas, pero a la vez no tan elevada como para expulsar las partículas fuera del recipiente. Las partículas sólidas rotan en el lecho rápidamente, creándose un excelente mezclado. El material que se fluidiza es casi siempre un sólido y el medio que fluidiza puede ser tanto líquido como gas. Las características y comportamiento de los lechos fluidizados dependen fuertemente de las propiedades del sólido y del fluido.

## 2.11 CONCEPTO DE DISEÑO

Desde que existe el hombre, existe el diseño, no como modelo disciplinar pero si como un proceso para generar cultura material que ayude a la subsistencia en el medio natural. Desde la vestimenta, la choza, los utensilios de uso cotidiano, las herramientas, las armas de caza, los monumentos funerarios y religiosos rudimentarios, las primeras escrituras o gráficos comunicacionales, hasta la configuración del espacio territorial, máquinas y equipos de construcción y procesos industriales, el ser humano ha intentado transformar su hábitat natural para mejorar su calidad de vida. La cultura material se concretó en obras mediante un trabajo previo de ideación, de prefiguración o de proyecto, a veces casi inconsciente, que es la primera etapa del proceso de diseño. Por ese motivo creemos que el diseño se manifestará siempre mientras exista el ser humano.

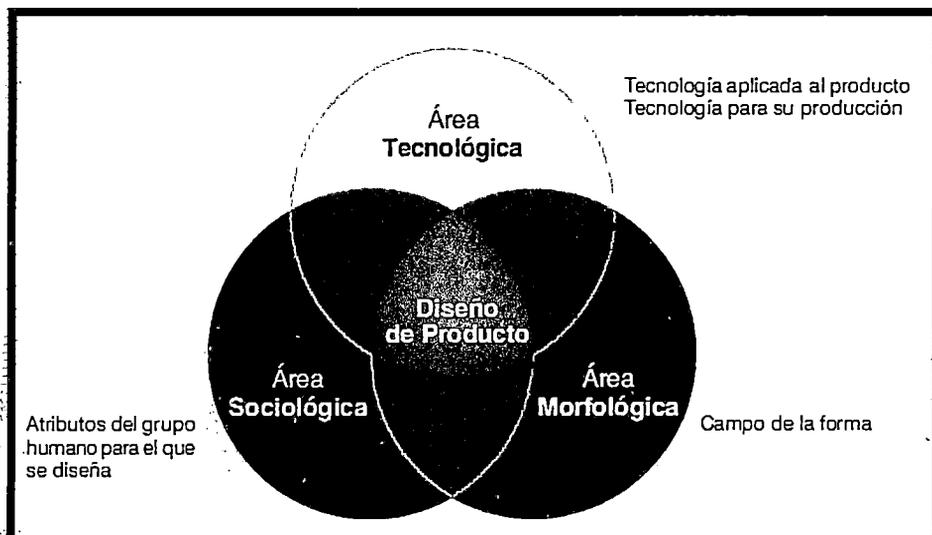
El diseño es una actividad creativa que tiene como objetivo establecer las cualidades multifacéticas de los objetos, procesos, servicios y sus sistemas en sus ciclos de vida completos.

Las actividades de diseño involucran a productos, servicios y sistemas concebidos a través de herramientas, organizaciones y lógicas introducidas por la industrialización, y no solamente cuando se producen mediante procesos seriados.

Diseño Industrial consiste en coordinar, integrar y articular todos los factores que de una u otra forma, participan en un proceso constitutivo de la forma de un producto de la industria, dentro de las condiciones que determinan las condiciones de producción de una sociedad dada.

Tres aspectos evidencian su importancia para el mundo de la empresa:

- **Su carácter totalizador**, todas las propiedades del producto son consideradas como integrantes del concepto de diseño industrial; tanto las funcionales, como las formales o las simbólicas.
- **Su carácter industrial**. Empieza donde empieza la industria.
- **Su carácter técnico-productivo**. El producto se concibe para ser fabricado por unos medios de producción determinados, por el nivel tecnológico de la empresa y de la sociedad concreta que lo va a desarrollar y producir.



**Fig. 2.36 Esquema de Vassos y Katavolos**

**Fuente:** <http://es.scribd.com/doc/14435351/Concepto-de-Diseño>

## 2.12 INTRODUCCIÓN AL DISEÑO DE CELDA

Toda idea es plasmada en diseño y posteriormente construir, para diseñar se tiene que pasar por muchas interrogantes: el porqué de la Celda RONI o como funcionaria y que tanto sería la recuperación, eficiencia y como tomaría la forma para favorecer al material de recuperación.

Todo diseño se toma en cuenta la cantidad de flujo de pulpa que se trata ya sea mineral oxidado o mineral sulfurado para mejorar nuestro diseño y determinar que parte necesita ser mejorada. Y como mejorar si hay un grado de recuperación eficiente para construir celdas de gran volumen si fuese posible.

Otro factor es el mecanismo como se unen las partículas con las burbujas, creadas por el mezclador que se ubica en el eje principal de la celda (Sistema de burbujas), formando burbujas de menor diámetro y como afecta esta variable en la flotación del mineral o lixiviación por agitación, así también como afecta las paredes helicoidales y forma de la celda en la agitación, todas las cosas mencionadas se demostrara en las pruebas preliminares, donde también correremos las pruebas en agua con los rotores A, B y C. posteriormente realizaremos las pruebas solo en flotación ya que en lixiviación se podrá realizar en otro momento.

La capacidad de nuestra celda se determina por el volumen de mineral que puede tratar por unidad de volumen, calidad de los productos obtenidos y recuperaciones, consumo de energía eléctrica, reactivos, gastos de operación y mantenimiento necesarios por tonelaje del mineral.

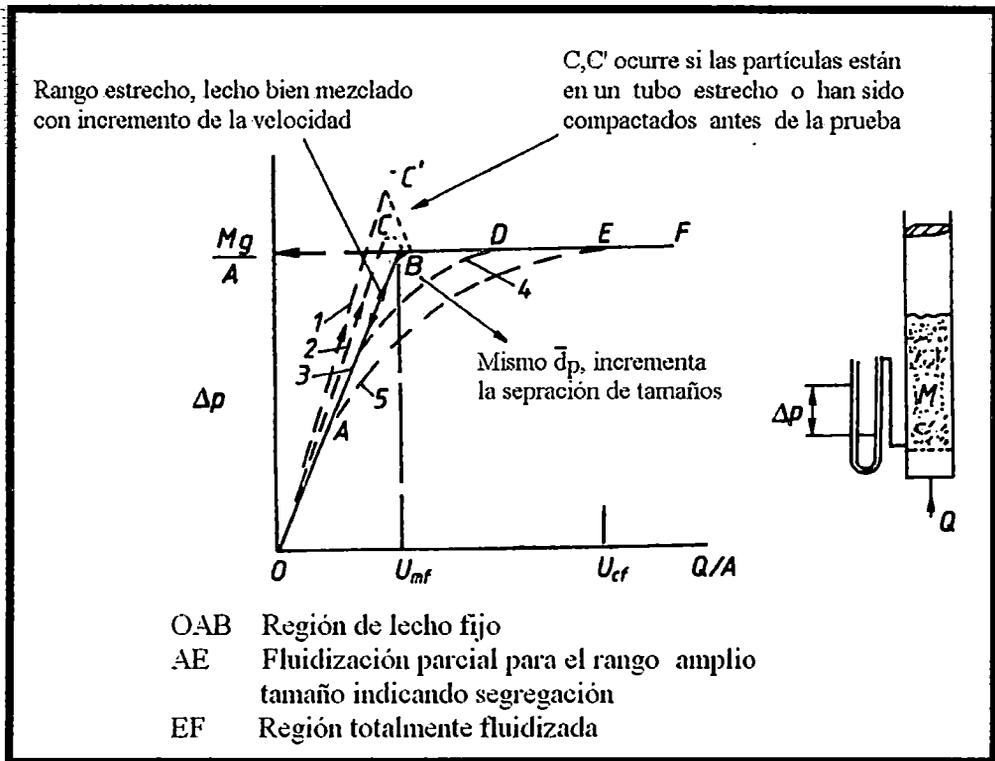
En el Perú, se realizan pocas investigaciones en área de diseño de equipos, en los últimos años se incrementó el interés para crear y diseñar equipos en procesos metalúrgicos, con el objetivo de recuperar el material valioso. El diseño de equipos como celdas de flotación o celdas de lixiviación por agitación se hicieron cada vez más necesarios para la industria minera, tanto los equipos convencionales como los equipos automatizados, esto se

define por la cantidad de material que procesa y el porcentaje de recuperación y su eficiencia, en el mundo existe diferentes marcas y equipos de gran volumen: Agitair, Celda Jameson, Wenco, Outokumpu, Denver, Celdas Dorr Oliver, etc. Todas estas celdas empezaron con una celda de laboratorio que luego se hizo prototipo en las investigaciones respectivas.

A nivel nacional la Universidad Nacional Mayor de San Marcos realizo un estudio de la celda prototipo de nueva generación con éxito y en nuestra Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco estaría aportando en el área de investigación con la Celda RONI con su diseño original y su construcción ya que es multifuncional, que puede tratar minerales sulfurados y minerales oxidados.

En el Perú las principales compañías mineras que aplican este tipo de proceso de flotación y lixiviación denomina Cerro Verde, Xstrata Tintaya, Antamina, Toquepala, Yauliyacu, Sociedad Minera el Brocal, Cia. Minera Atacocha, Cia. Minera Raura, Pan America Silver, Cia. Minera Casapalca, Cia. Minera Iscay Cruz, Cia. Minera Santa Lucia y Cia. Minera San Vicente, etc.

Por tal motivo son muy importantes las innovaciones de diseño en tecnologías de equipos y de optimización metalúrgica en los procesos de concentración de minerales específicamente, del cual seríamos importante productor mundial.



**Fig. 2.37 Caída de presión de la fluidización**

Fuente: [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lim/davila\\_n\\_jr/capitulo3.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lim/davila_n_jr/capitulo3.pdf)

## **CAPITULO III**

### **DISEÑO DE LA CELDA RONI**

#### **3.1 PROTOTIPO DE DISEÑO**

La etapa de diseño es la más importante de la investigación, en esta se demuestra las ideas iniciales y finales que se obtendrán. Mediante la presentación con el programa AutoCAD 2012 English, demostrando así cada parte y accesorios de la celda para minerales sulfurados y oxidados.

##### **3.1.1 PROCESO DE DISEÑO**

En el proceso de diseño se ha tomado una de las consideraciones más importantes la forma de la cerámica de los incas, el Puyñun ó Arivalo ésta cerámica fue diseñada y utilizada ampliamente en la época de los Incas. Es un cántaro de boca abocinada, cuello largo, cuerpo voluminoso y base cónica. Lo había en diversos tamaños, desde pequeños hasta los que tenían

la altura de una persona. Los antiguos peruanos lo llamaban *maka* o *puyñun*; el nombre de aríbalo lo impusieron los españoles, por su ligero parecido con las antiguas ánforas griegas elaboradas desde el siglo VIII a. C. (*aryballos*). Como se observa en la figura siguiente.



**Fig. 3.1** Puyñun o Aríbalo. Museo de Arte Precolombino, Cuzco, Perú.

**Fuente:** [http://es.wikipedia.org/wiki/Ar%C3%ADbalo\\_incaico](http://es.wikipedia.org/wiki/Ar%C3%ADbalo_incaico)

La forma de la celda prototipo es una unidad compacta, prácticamente tiene la forma de un **Puyñun** o Aríbalo (**cerámica incaica**), diseñada para recuperar minerales sulfurados, minerales oxidados y minerales no metálicos. En el laboratorio de procesamiento de minerales de la Carrera Profesional de Ingeniería Metalúrgica.

En la forma y diseño de la celda **PROTOTIPO R-1000**, la llamare **Celda RONI** por la multifuncional de tratamiento de minerales en general. Puede considerarse en la categoría de las máquinas de **FLOTACIÓN MECÁNICA NEUMÁTICA** de un solo tanque. Modelo R-1000.

### **3.1.2 VARIABLES DEL DISEÑO**

Las variables de diseño es la causa de la Celda RONI.

- La alimentación de la pulpa, será por el eje.
- El ingreso del aire por el eje paralelo con la alimentación de la pulpa y a presión, para promover el contacto partícula burbuja y crear burbujas pequeñas dentro del eje vertical.
- Los tipos de agitadores de tres clases para las pruebas correspondientes, para mantener las partículas en suspensión.
- La descarga del relave, será direccionada por debajo de la celda.
- El Ala helicoidal que estará en la pared de la celda. En que direcciones debe de estar diseñada.
- Tipos de celda prototipo en forma de Arivalo.
- Por último el grado de agitación y su influencia en la celda.
- Las burbujas.

### **3.2 DISEÑO DE LA CELDA RONI**

El diseño en 2D y 3D y su respectiva construcción de la Celda RONI, donde explicaremos cada etapa y sus respectivos componentes así como también sus funciones y posteriormente de presentar las dimensionaremos según su forma.

### **3.2.1 ESTRUCTURA DE FUNCIONES**

Los datos de entrada en esta etapa del diseño se encuentran en la lista de exigencias del sistema técnico. Cualquier función o una función total se pueden presentar en forma de una caja, donde se tiene en cuenta tres magnitudes de entrada y salida (señales, energía y materia).

La celda se puede describir como una función total representada por una caja donde ocurre una transformación. Llamado proceso técnico, luego, entender reconocer la transformación que debe ocurrir en la caja que representa a la máquina, es la condición más importante para llegar a la solución exitosa del problema planteado.

Si observamos más en detalle vemos que cada pieza en una máquina contribuye a esa transformación total, ejerciendo su función parcial dentro de ella. Es decir todo equipo o máquina están hechas de funciones parciales. La manera más adecuada de representar la estructura de funciones ya que es fácil establecer las uniones. En la estructura de funciones se presenta las funciones principales, pero también se puede añadir las funciones secundarias que pudieron ser encontradas al fijar el proceso técnico.

Las alternativas de estructuras de funciones aparecen con el cambio de las características del diseño (aplicación, limitaciones del sistema de fluidodinámica) así como con la agrupación de las funciones, partiendo por supuesto de uno o más procesos técnicos.

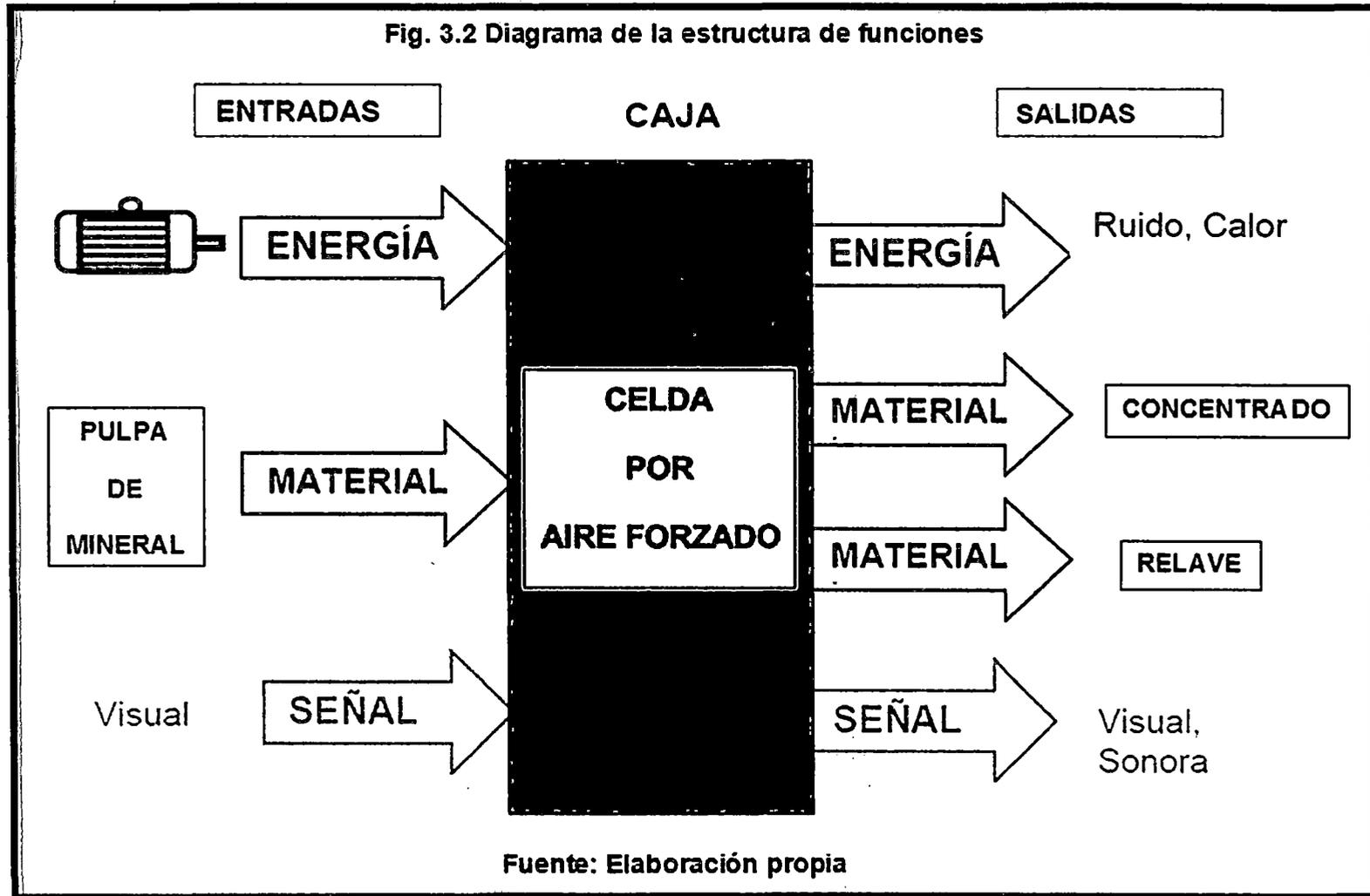
**Tabla 3.1 Lista de exigencias**

<b>LISTA DE EXIGENCIAS</b>		Pág. 1 de 2	
		Edición: Rev. 1	
<b>PROYECTO</b>		Diseño de una celda de flotación por aire forzado a nivel de laboratorio.	Fecha: 15/07/13 Revisado: E.P.P
<b>CLIENTE</b>		Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco	Elaborado: R.J.P.P.
<b>FECHA</b> (cambios)	<b>DESEO O EXIGENCIA</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>RESPONSABLE</b>
15/08/13	E	<b>Función Principal:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Diseñar la Celda Roni por aire forzado.</li> <li>• Construir la celda para poner a prueba y funcionamiento.</li> </ul>	R.J.P.P.
15/08/13	E	<b>Geometría:</b> Las dimensiones del diseño de la celda a aire forzado.	R.J.P.P.
15/08/13	E	<b>Energía:</b> Se usara energía eléctrica mecánica.	R.J.P.P.
15/08/13	E	<b>Seguridad:</b> El diseño de esta celda se realizara de tal forma que el técnico operario esté libre de accidentes, ni daños medio ambientales.	R.J.P.P.
15/08/13	E	<b>Señales:</b> Estará provista por diversas señales durante el proceso como son: de encendido, apagado, parada	R.J.P.P.

		de emergencia.	
15/08/13	E	<b>Fabricación:</b> La fabricación se podrá realizar en detalles y se usaran materiales.	R.J.P.P.
15/08/13	E	<b>Plazo de entrega:</b> se cumplirá con el cronograma dando como fecha de entrega el 31/10/13.	R.J.P.P.
15/08/13	D	<b>Mantenimiento:</b> Fácil ubicación y de fácil accesos, para piezas que requieran remplazo, lubricación y reparación.	R.J.P.P.

**Fuente: Elaboración propia**

Fig. 3.2 Diagrama de la estructura de funciones



### 3.2.2 PROTOTIPOS DE DISEÑO DE LA CELDA RONI

En nuestra investigación de diseño de Celda RONI se tuvo tres prototipos en las cuales mencionaremos por las formas y funciones, así como también su construcción, cada celda tiene su propia definición, para ello aremos la valoración técnica y económica, con los resultados procederemos a su construcción.

#### PROTOTIPO N° 01

El primer diseño tiene un ducto de salida de relave A en la parte central de la celda y su cono truncado de rebose es más largo y las Ala Helicoidales están en toda la pared interna. Y la alimentación de aire y pulpa esta fusionada.

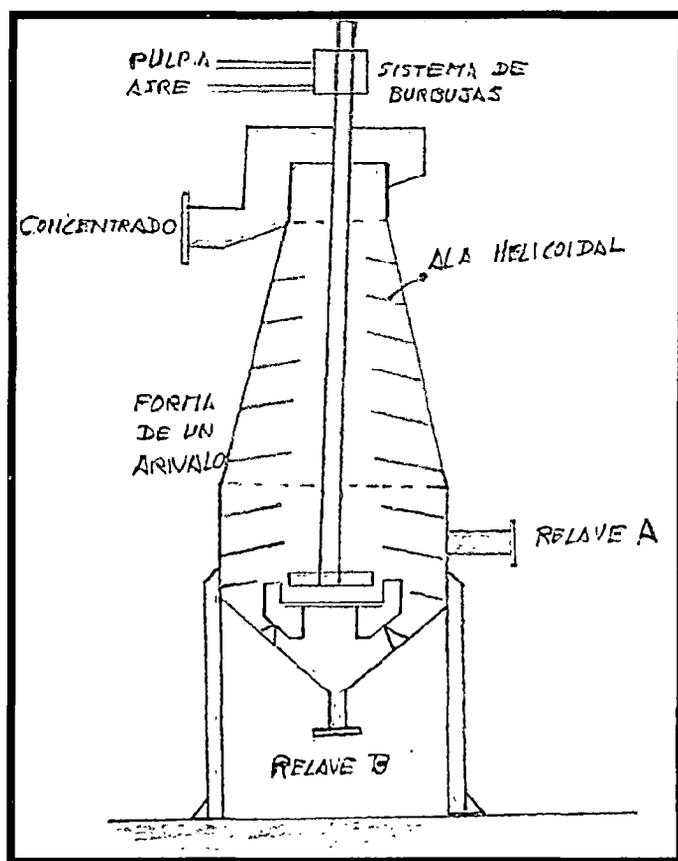


Fig. 3.3 Detalle de prototipo N° 01

Fuente: Elaboración propia

## PROTOTIPO N° 02

El segundo diseño es reducido el cono truncado de rebose y desaparece la salida de relave A, y la alimentación es separada por partes, en el eje vertical superior esta la alimentación de la pulpa y abajo esta la alimentación de aire.

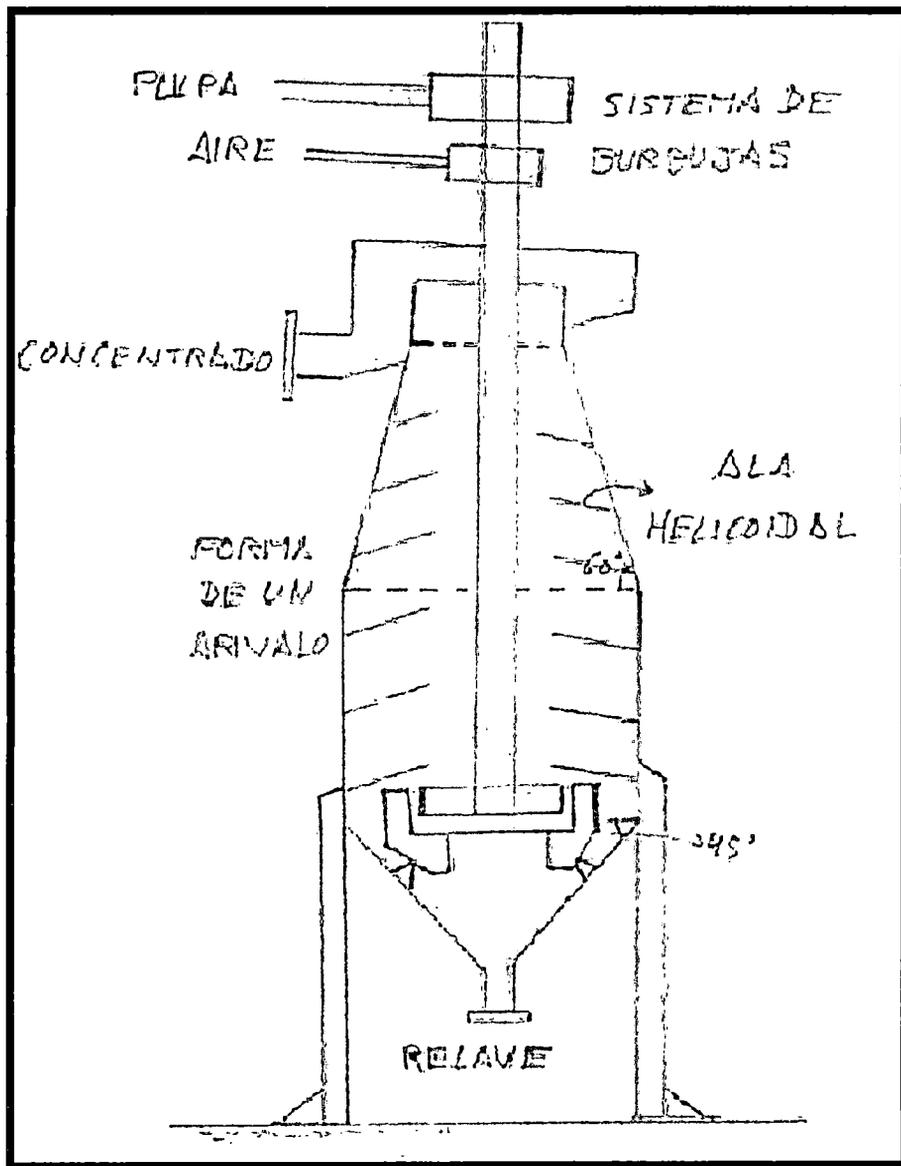


Fig. 3.4 Detalle de prototipo N° 02

Fuente: Elaboración propia

### PROTOTIPO N° 03

El tercer diseño es reducido el cono truncado de rebose de concentrado, en esta parte se diseña el sistema de burbujas ubicado en el eje vertical, se termina de diseñar el Ala Helicoidal las dimensiones de alimentación de pulpa y de aire, también se diseña los rines, que son los sellos de eje y la cámara de ingreso de pulpa y aire. También la forma de la celda y tamaño, como se observa en la figura siguiente.

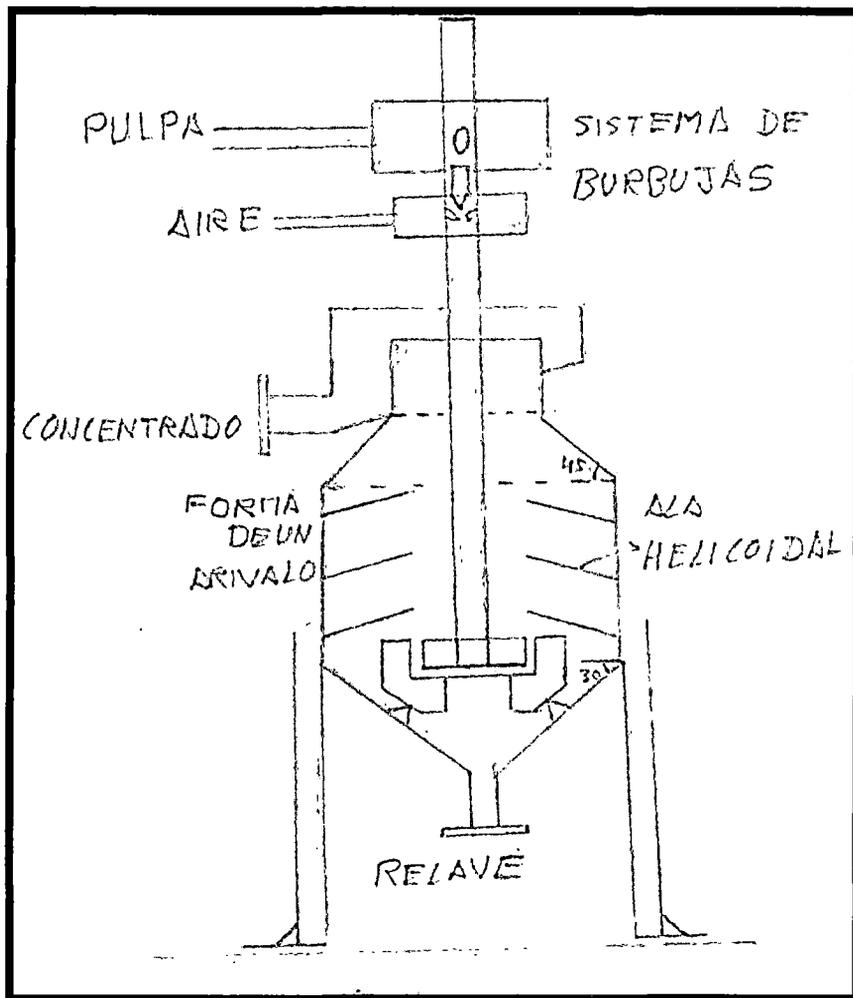


Fig. 3.5 Detalle de prototipo N° 03

Fuente: Elaboración propia

### 3.2.2.1 SELECCIÓN DE ALTERNATIVA

**Tabla 3.2 Valoración técnica**

<b>ESCALA DE VALORES CON PUNTAJE "P" DE 0 A 3</b>					
0 = No Satisface, 1 = Aceptable a las Justas, 2 = Suficiente, 3 = Bien					
<b>Variación del concepto</b>		<b>Importancia "i"</b>	<b>S1</b>	<b>S2</b>	<b>S3</b>
<b>N°</b>	<b>Criterios de Evaluación</b>	<b>%</b>	<b>P</b>	<b>P</b>	<b>P</b>
1	Función	11	3	2	2
2	Cinética	9	2	2	3
3	Recuperación	8	2	2	3
4	Multifuncionalidad	10	2	3	3
5	Fuerza	6	2	2	2
6	Energía	6	3	3	3
7	Seguridad	4	2	2	3
8	Estado real	10	2	2	3
9	Prototipo	7	3	3	3
8	Fabricación	11	3	3	3
9	Montaje	8	2	2	3
10	Transporte	2	3	3	3
11	Mantenimiento	8	2	3	3
<b>Puntaje Total PT =</b> <b><math>\sum \text{pix}(\%)i/100</math></b>		<b>100</b>	<b>2.27</b>	<b>2.36</b>	<b>2.82</b>
<b>Puntaje Unitario PU = PT/3</b>			<b>0.76</b>	<b>0.79</b>	<b>0.94</b>

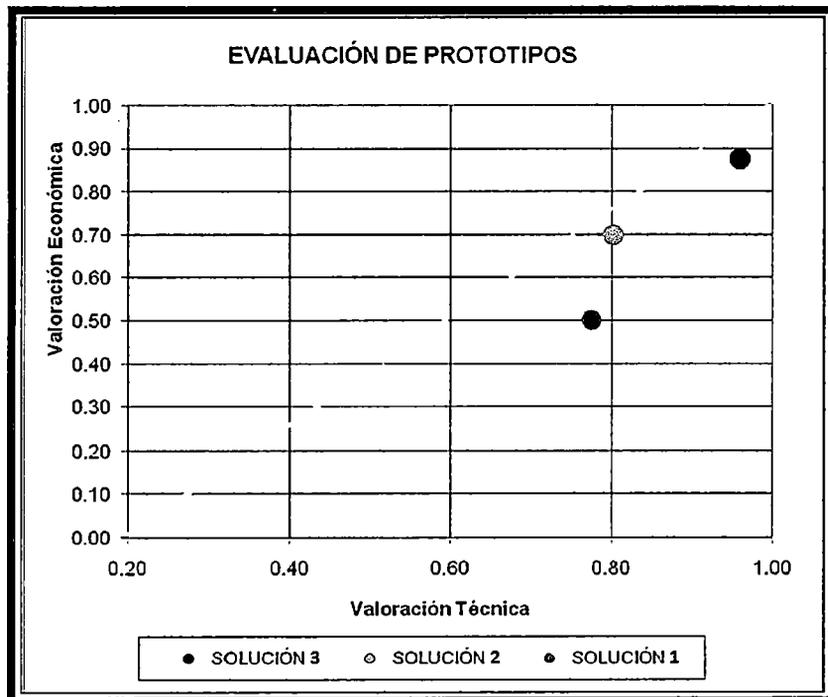
Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.3 Valoración económica**

0 = Costoso, 1 = Medio, 2 = Barato					
N°	Factor económico	Importancia	S1	S2	S3
		"i"			
		%	P	P	P
1	Costo de material	40	1	2	2
2	Costo de fabricación	35	1	1	2
3	Costo de montaje	25	1	1	1
<b>Puntaje Total PT = <math>\sum p_i x_i(\%)i/100</math></b>		<b>100</b>	<b>1.00</b>	<b>1.40</b>	<b>1.75</b>
<b>Puntaje Unitario PU = PT/2</b>			<b>0.50</b>	<b>0.70</b>	<b>0.88</b>

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la valoración correspondiente, el prototipo que se ajusta de mejor forma a las necesidades y exigencias de diseño es el prototipo N° 03.

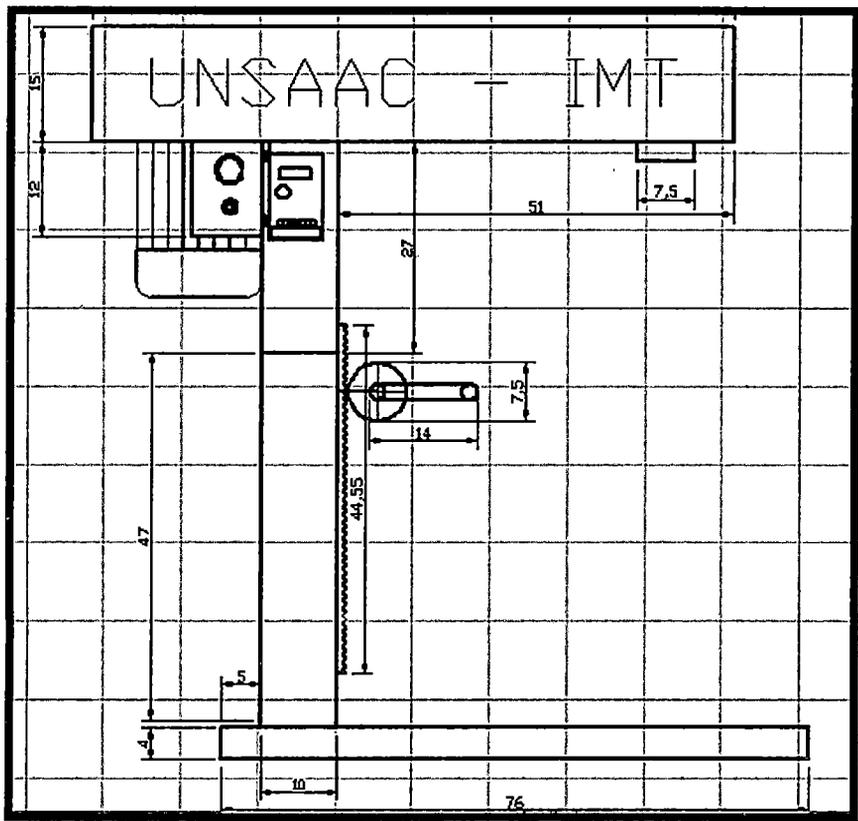


**Fig. 3.6 Detalle de evaluación de prototipos**

Fuente: Elaboración propia

### 3.2.3 DISEÑO DE SOPORTE DEL EJE VERTICAL

El diseño del soporte del eje vertical, es la parte más primordial para el sustento del eje vertical y todos los accesorios que están en ella. Como se observa en la figura siguiente. Anexo 1. Lamina A3 – TES01 – 1/5.



**Fig. 3.7 Detalle y dimensionamiento del diseño de soporte**

**Fuente: Elaboración propia**

Los equipos seleccionados por los cálculos como el motor de 1 Hp, la válvula de control de aire del variador de velocidad, son adquiridos de tiendas de máquinas y herramientas, con excepción el engranaje y el carril de engrane, así como también la manija. Seleccionamos algunos componentes de la celda.

- El motor de 1 Hp. Trifásica baja
- El variador de velocidad capacidad 0 a 1850 rpm.
- La válvula dosificadora de aire
- La válvula dosificadora de pulpa.
- Las poleas y la correa
- El eje vertical.
- Y esta tendrá un engranaje vertical en los tubos cuadrados con manija

Para determinar las rpm necesarias se debe tener en cuenta el diámetro del eje vertical y la variable estándar de revolución es de 600m/min luego de determinar las rpm se debe de buscar en las especificaciones del motor donde será mayores a las rpm calculadas.

Convirtiendo a cm/min:

$$600 \frac{m}{min} * \frac{100 cm}{1m} = 60000 \frac{cm}{min}$$

También sabemos que el perímetro del diámetro está representado por:

$$S = 2\pi r \quad (3 - 1)$$

$$S = 2 * (3.1416) * 6$$

$$S = 37.7 cm$$

Calculamos las revoluciones:

$$60000 \frac{cm}{min} * \frac{1rpm}{37.7cm} = 1591.5 RPM$$

La relación del motor de 1 HP baja es de 1850 RPM, calculamos el porcentaje de exceso.

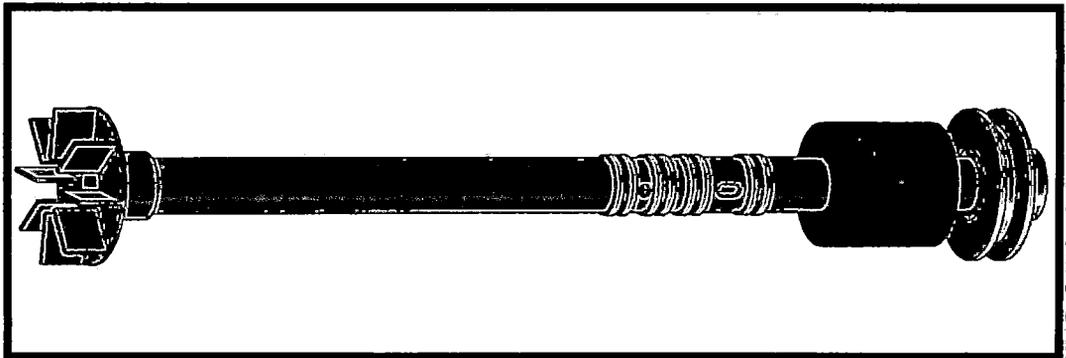
$$\% \text{ de exceso} = \frac{1591.5 RPM}{1750 RPM} * 100 = 90.94\% \text{ *nesesaria*}$$

Por lo tanto el 10 % es exceso y apto para la construcción.

### 3.2.4 DISEÑO DEL EJE VERTICAL

En esta etapa del diseño del eje principal de la Celda RONI se tuvo un concepto sólido, donde la alimentación debería ser en el eje mismo para así tener un incremento de la cinética de reacción. Este es el más importante del equipo de ella depende la eficiencia de recuperación, por lo cual investigamos en base a diseños de otras celda de flotación.

El eje principal tiene dos ingresos de alimentación una de ellas es la pulpa acondicionada y la otra es el aire a presión con un diámetro de  $\frac{1}{4}$  pulg. Y en el interior del eje la abertura del inyector de aire es de 3mm como se observa en la figura 3.14. Y la altura es de 600 mm Como se ve en el plano de diseño.



**Fig. 3.8 Diseño del eje principal**

**Fuente: Elaboración propia**

Las dimensiones de diseño del eje vertical se encuentran en el Anexo 1, Lamina A4 – TES02 – 1/3.

Hallando el torque:

Sabemos que  $n = 750$  rpm.  $P = 1\text{HP} = 745.7$  Watts.

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} \quad (3-2)$$

$$\omega = \frac{2 * \pi * 750}{60}$$

$$\omega = 78.54 \text{ rad/seg}$$

Dónde:

$$\text{Torque} = \frac{\text{Potencia}}{\text{Velocidad Angular}} \quad (3-3)$$

$$T = \frac{P}{\omega} \quad (3-4)$$

$$T = \frac{746 \text{ Watts}}{78.54 \text{ rad/seg}}$$

$$T = 9.496 \text{ Nm}$$

Fuerza tangencial  $\omega_t$  que ejerce el eje.

Sabemos que:

$$Z = N^\circ \text{ de dientes}$$

$$Z = 8$$

Dónde:

$$m = \frac{d_{ext}}{Z + 2} \quad (3-5)$$

$$m = \frac{3.5}{8 + 2}$$

$$m = 0.35 \text{ mm}$$

Es el diámetro del peso.

$$dp = mZ \quad (3-6)$$

$$dp = 0.35 * 8$$

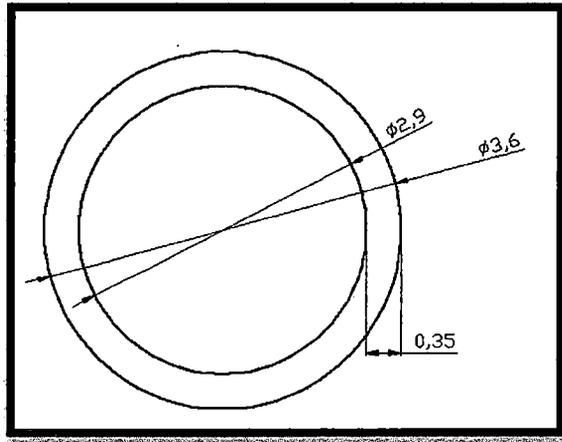
$$dp = 2.8 \text{ mm}$$

$$\omega_t = \frac{2T}{dp} \quad (3-7)$$

$$\omega_t = \frac{2 * 9.498 \text{ Nm}}{2.8 \text{ mm}}$$

$$\omega_t = 6784.28 \text{ N}$$

Para determinar la resistencia mínima del acero del eje principal, para ello terminaremos el área y posteriormente su resistencia de acuerdo a nuestro eje vertical.



**Fig. 3.9 Detalle del diseño de área circular**

**Fuente: Elaboración propia**

Hallando el área circular.

$$Ac = \pi[(R)^2 - (r)^2] \tag{3 - 8}$$

$$Ac = \pi \left[ \left( \frac{3.6}{2} \right)^2 - \left( \frac{2.8}{2} \right)^2 \right]$$

$$Ac = 4.02 \text{ cm}^2$$

$$Ac = 4.02 \text{ cm}^2 * \left( \frac{10 \text{ mm}}{1 \text{ cm}} \right)^2$$

$$Ac = 40.21 \text{ mm}^2$$

Determinamos la resistencia mínima del acero.

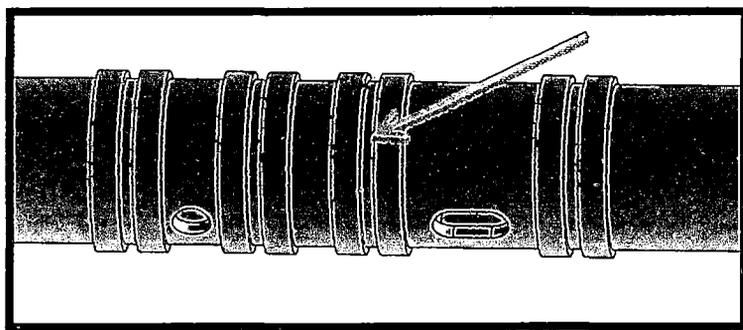
$$R_{min} = \frac{T}{Ac} \tag{3 - 9}$$

$$R_{min} = \frac{6784.28 \text{ N}}{40.21 \text{ mm}^2}$$

$$R_{min} = 17.04 \text{ Kgf/mm}^2$$

### Diseño de la ranura del rin

Para el diseño de la ranura del rin se toma la muestra de 35 mm. De diámetro interior. Se debe diseñar la construcción de los canales para evitar las fugas de la pulpa y del gas, donde la variable importante en este punto es la resistencia y la durabilidad de la pieza.



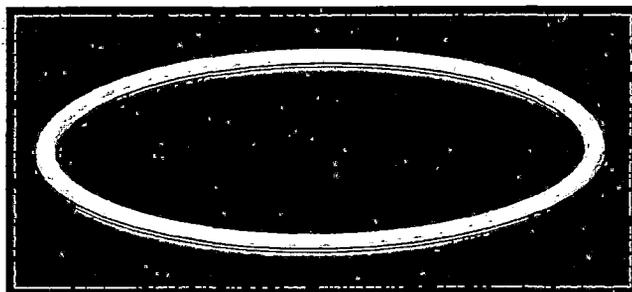
**Fig.3.10 Diseño de las ranuras del RIN**

**Fuente: Elaboración propia**

Las dimensiones de diseño de ranura del RIN se encuentran en el Anexo 1. Lamina A4 – TES14 – 1/1.

### Los RINES

El RIN evita la fuga de la pulpa así como también el aire, esta de 35 mm de diámetro interior con un grosor de 2.5 mm de espesor, en total son 4 rines ubicados en el eje vertical. En la figura siguiente se observa el RIN.

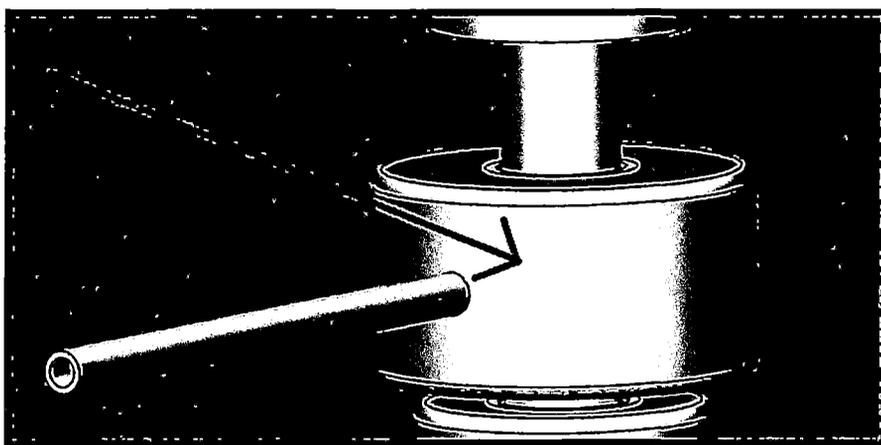


**Fig. 3.11 El RIN**

**Fuente: Elaboración propia**

### 3.2.4.1 DISEÑO DE INGRESO DE LA PULPA

Este diseño es la parte más importante de nuestra investigación de ella depende el funcionamiento de la Celda RONI, si indagamos de otras celdas convencionales y no convencionales, no hay ninguna que alimente en el eje vertical excepto en nuestra celda. Toda alimentación se realiza a una presión variable con una correcta operación.



**Fig.3.12**Diseño de ingreso de la pulpa

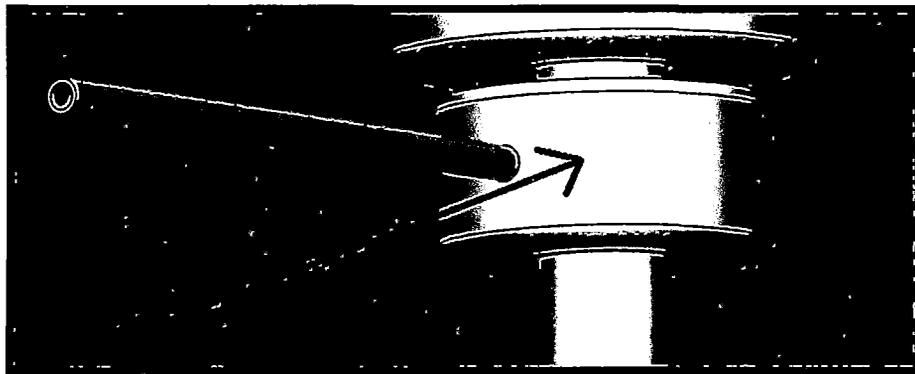
**Fuente: Elaboración propia**

Para evitar algún inconveniente, que es caso de atoro se ideó un ducto de agua, por el costado del cilindro de pulpa, donde cumple la función de limpieza, también de ayudar a un mejor control en la recuperación de minerales. En esta implementación se dedujo después de la prueba de flotación, puesto que se vio una alternativa de un manejo eficiente.

Durante la prueba de agua supusimos que en el futuro la pulpa tendrá un atoro en esta sección, si fuese gruesa ideamos un ducto que contenga agua y desatore en la alimentación de la pulpa hacia el eje vertical, para lo cual se puede observar las especificaciones en el Anexo 1. Lamina, A4 – TES04 – 1/2. La idea era de evitar el atoro del material.

### 3.2.4.2 DISEÑO DE INGRESO DEL AIRE A PRESIÓN

Toda alimentación de aire es comprimido con el fin de formar burbujas como si se estaría pulverizando y en el mezclado de pulpa más aire incrementa su cinética de reacción, donde la hace más rápida y eficiente. Las dimensiones se observa en anexo 1. Lamina A4 – TES05 – 1/2.



**Fig.3.13**Diseño de ingreso del aire

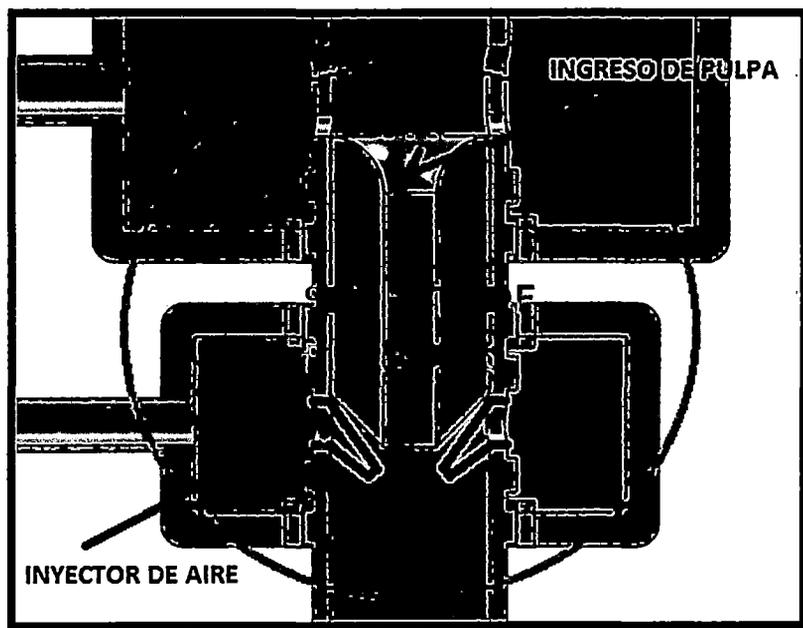
**Fuente: Elaboración propia**

Con respecto en la no utilización de la compresora puede jugar un papel muy importante en la recuperación de otros minerales tantos como sulfurados y minerales no metálicos, todas estas suposiciones faltan profundizar con más intensidad ya que estas investigaciones deducen la necesidad de otras a causas de la falta de información y su respectiva comprobación con respecto a la Celda RONI.

### 3.2.4.3 DISEÑO DEL SISTEMA DE BURBUJAS

Cuando diseñamos la alimentación de pulpa a presión y la admisión de aire a presión, investigamos como debería juntarse la pulpa y el aire, así que tuvimos una idea, dentro del eje vertical debería haber un sistema que produzca burbujas, y mejore exponencialmente la distribución de las

burbujas dentro de la pulpa, este sistema es un diseño único e innovador para la Celda RONI en la que cumple una función de crear burbujas. Analizando este diseño se determinó que también tiende a formar micro burbujas. En la figura siguiente se muestra el diseño y sus especificaciones. Anexo 1. Lamina A4 – TES06 – 1/2.



**Fig.3.14 Diseño del sistema de burbujas**

**Fuente: Elaboración propia**

El sistema de burbujas está diseñada exclusivamente para crear pequeñas burbujas que tienden a micro burbujas, donde el chorro de pulpa ingresa al eje vertical con un caudal determinado y presión, es en esta donde actúa los inyectores de aire de ambos extremos ase que se pulverice las partículas de burbujas de aire creando un ambiente netamente acondicionada y aireada formando burbujas cargadas. Incrementando exponencialmente la cinética de flotación así como también la cinética de reacción.

Calculando la cantidad de aire necesaria para la alimentación a la celda de flotación. Sabemos que:

$$V_1 = 1m^3/Kg \quad (3 - 8)$$

$$P_1 = 1.0333 Kg/cm^2$$

$$P_1 = 10333 Kgf/m^2$$

La presión medida por el manómetro de la celda es:

$$P_2 = 20KPa$$

$$P_2 = 2020 Kgf/m^2$$

Aplicamos la diferencia de presiones:

$$P_2V_2 = P_1V_1 \quad (3 - 9)$$

$$2020 \frac{Kgf}{m^2} * V_2 = 10333 \frac{Kgf}{m^2} * 1m^3/Kg$$

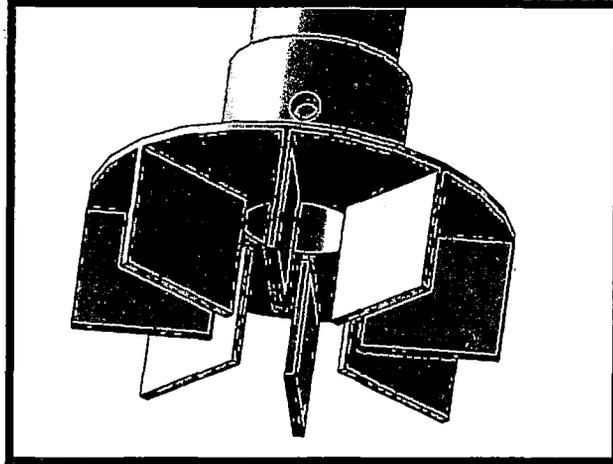
$$V_2 = 5.11535 m^3/Kg$$

Es la cantidad de aire necesaria para la flotación de minerales sulfurados.

### 3.2.5 DISEÑO DE LOS AGITADORES

En la base del eje vertical se encuentran los agitadores A, B y C. Este contiene diseños diferentes de alas, con el fin de provocar el desplazamiento de la pulpa a diferentes direcciones, este tiene la función de agitar, aumentar el contacto Aire/minerales suspendidos en el fluido, cada rotor está diseñado de un ángulo de inclinación de las alas de 90°. La relación entre esta distancia y el diámetro de la hélice se conoce como *paso de hélice*.

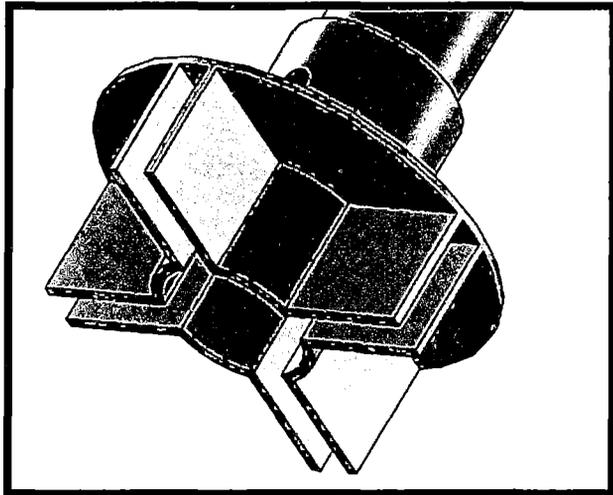
En la figura se muestra el Rotor A, esta tiene un fin, distribuir la pulpa homogéneamente en todas las direcciones. Anexo 1. Lamina A4 – TES07 – 1/2.



**Fig. 3.15 Rotor A**

**Fuente: Elaboración propia**

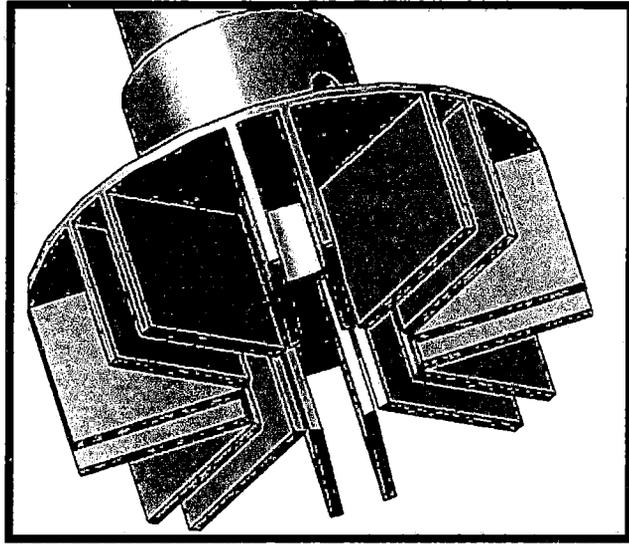
En la figura se muestra el Rotor B. Por la forma de cuatro salidas donde ejerce una presión en la pulpa, en esta se distribuye homogéneamente en cuatro direcciones. En las cuales aumenta el flujo de pulpa así como la dirección en la Celda Roni. Anexo 1. Lamina A4 – TES08 – 1/2.



**Fig. 3.16 Rotor B**

**Fuente: Elaboración propia**

En la figura se muestra el Rotor C. Por la forma del sol en esta la distribución también es homogénea pero la presión baja de la pulpa para una formación de las burbujas así constante, esta se debería a diferentes direcciones. Anexo 1. Lamina A4 – TES09 – 1/2.



**Fig. 3.17 Rotor C**

**Fuente: Elaboración propia**

En la sección de los agitadores A, B y C se determinara cual es la más eficiente y conveniente en la recuperación de minerales según su granulometría.

Como se observa en la sección 4.3.3 este se diseñaron para correr pruebas de distintas especies mineralógicas para evitar cuál de las variables es la más conveniente en la agitación de la pulpa.

## **Analizando los agitadores**

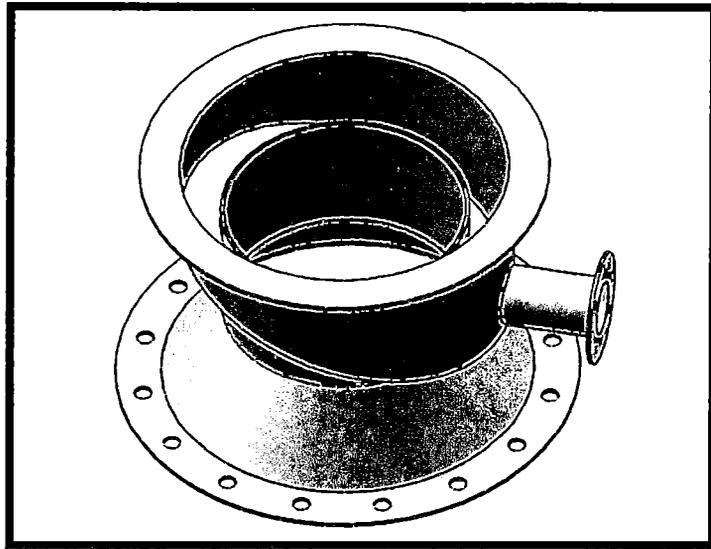
Debemos entender el mezclado fundamental de los fluidos con los impulsores. Si nosotros tendríamos un equipo de agitación de los procesos industriales para 40 años adquiriríamos una experiencia considerable en este campo. La combinación de ambas experiencias y teoría, esta sección cubre los conceptos básicos de los fluidos del mecanismo de mezclado, los principales criterios de mezclado y limitación de los mezcladores de fluido.

### **3.2.6 DISEÑO DE LAS SECCIONES DE LA CELDA**

El diseño de las secciones de la celda es otra parte importante de la investigación, donde detallaremos sus características, su dimensionamiento y la forma de diseño y posteriormente su acabado a escala prototipo, esta impulsaría a la investigación de celdas u otros equipos, que mejore la recuperación o tratamiento de procesos complejos en función al medio ambiente.

#### **3.2.6.1 DISEÑO PARTE SUPERIOR CÓNICA DE REBOSE DE CONCENTRADO**

El diseño de la parte superior cónica se tomó un poco de las celdas de gran escala, con excepción de la sección cónica que la hace característica de la Celda RONI, con el fin de direccionar las espumas hacia la parte superior (rebose). Como se muestra en la figura siguiente. Anexo1. Lamina A4 – TES10 – 1/5



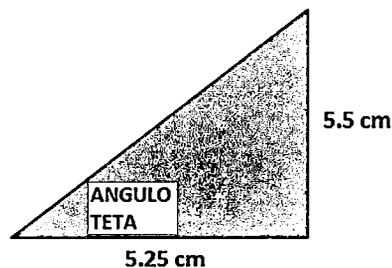
**Fig. 3.18 Diseño parte superior cónica de rebose de concentrado.**

**Fuente: Elaboración propia**

El rebose tiene su diseño con un diámetro de menor tamaño que el del cuerpo, con el único propósito de direccionar las burbujas para su concentración.

### **Calculo de la parte cónica de rebose**

En la parte cónica se rebose se tiene la abertura del rebose se debe de considerar la misma medida del diámetro interior del espiral helicoidal, en este caso también se consideró que las medidas del cateto y la hipotenusa son fijas.



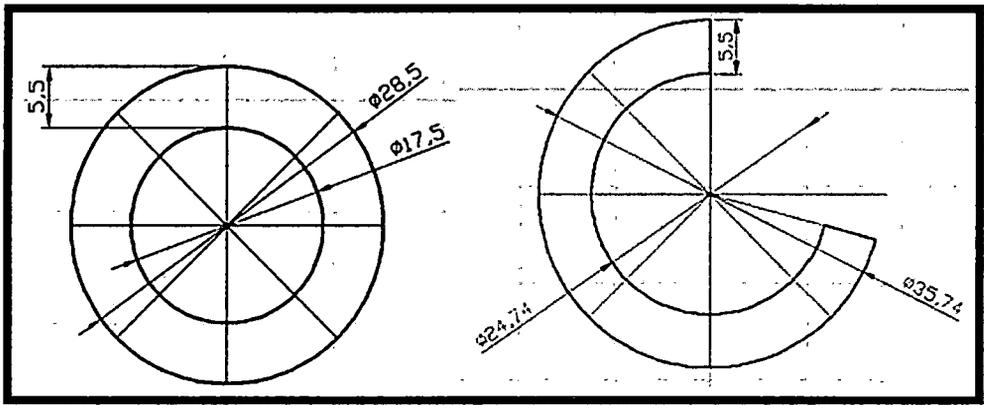
Sabemos que  $Tg = \frac{5.5}{5.25} = 1.048$

Por lo tanto, según las razones de ángulos complementarios "cofunciones". Según la propiedad de Tg y Ctg sus valores del ángulo es de 45° es iguales a 1.

Entonces el ángulo teta es 45°.

Para un correcto corte en la plancha de acero se diseñó las medidas, para las plantillas.

Como se observa en la siguiente figura.



**Fig. 3.19 Detalle del diseño de plantilla**

**Fuente: Elaboración propia**

Hallando el volumen del cilindro interno de rebose:

$$V = \pi r^2 * h \tag{3 - 10}$$

$$V = \pi \left( \frac{17.5}{2} \right)^2 * 10.5$$

$$V = 2525.55 \text{ cm}^3$$

$$V = 2.5 \text{ Lt}$$

Hallando el volumen del cono trunco:

$$V = \pi[(D)^2 - (d)^2] * h \quad (3 - 11)$$

$$V = \pi \left[ \left( \frac{28}{2} \right)^2 - \left( \frac{17.5}{2} \right)^2 \right] * 5.5$$

$$V = 2063.73 \text{ cm}^3$$

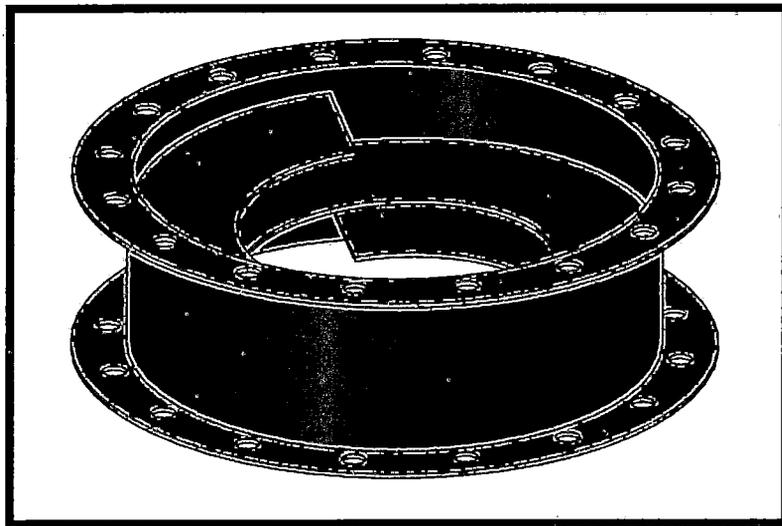
$$V = 2.1 \text{ Lt}$$

Volumen total de parte superior cónica de rebose es.

$$Vt = 4.6 \text{ Lt}$$

### 3.2.6.2 DISEÑO PARTE CENTRAL DE LA CELDA

En esta parte se diseñó la parte central de la celda, donde contiene el ala helicoidal como se observa en la siguiente figura. Anexo1. Lamina A4 – TES11 – 1/5. Cuando las deformaciones son pequeñas no se considera el esfuerzo ni las deflexiones.



**Fig. 3.20** Diseño parte central de la celda

**Fuente:** Elaboración propia

Sobre el cálculo de la parte central es muy simple solo es su altura (9cm) y su diámetro es de (28cm).

Hallando el volumen interno parte central de la celda:

$$V = \pi r^2 h \quad (3 - 12)$$

$$V = \pi \left( \frac{28}{2} \right)^2 * 9$$

$$V = 5541.78 \text{ cm}^3$$

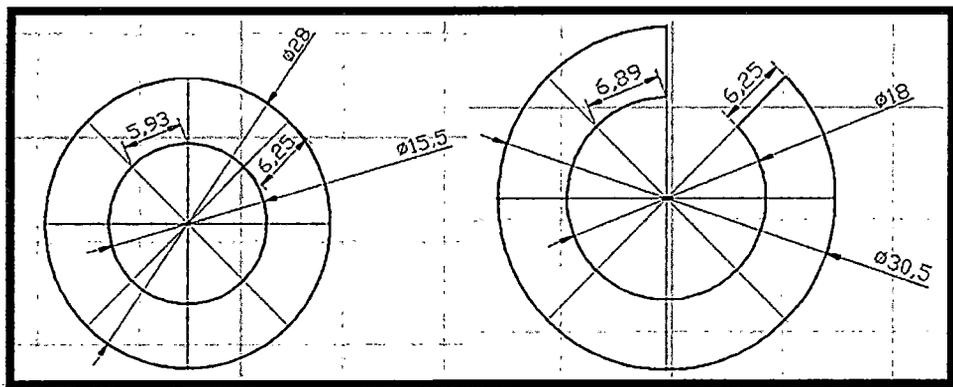
$$V = 5.5 \text{ Lt}$$

Para la unión de las partes de la celda se diseñaron un modelo de goma como se observa en la Pág. (92).

### 3.2.6.2.1 DISEÑO DEL ALA HELICOIDAL

En el diseño del ala helicoidal se desarrolló como la segunda idea principal de la Celda RONI. Este es otra de las más importante del equipo de ella depende la eficiencia de recuperación, se indaga muchas celdas de distinto diseño como se aprecia en el marco teórico pero no se encontró una idea cercana a nuestro diseño original. Anexo1. Lamina A4 – TES12 – 1/5

Su dimensión se puede verificar en el plano de construcción.



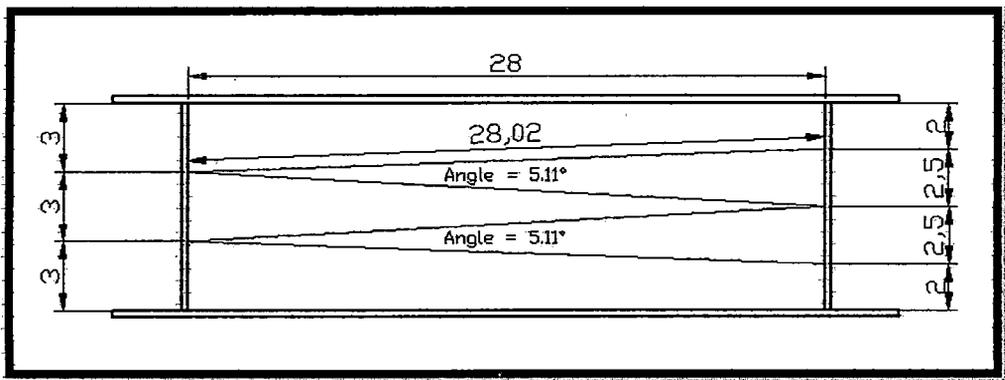
**Fig. 3.21 Detalle de diseño del ala helicoidal**

**Fuente: Elaboración propia**

En esta parte del diseño el espiral helicoidal es diseñada en una sola dirección, pero si invertimos se convierte en sentido contrario.

- a) Ala helicoidal con sentido horario.
- b) Ala helicoidal con sentido anti horaria.

En la distribución del espacio de separación es en forma simétrica, ya que es muy complicado de diseñar tal distribución, llegaríamos al mismo punto como se observa en la figura siguiente.



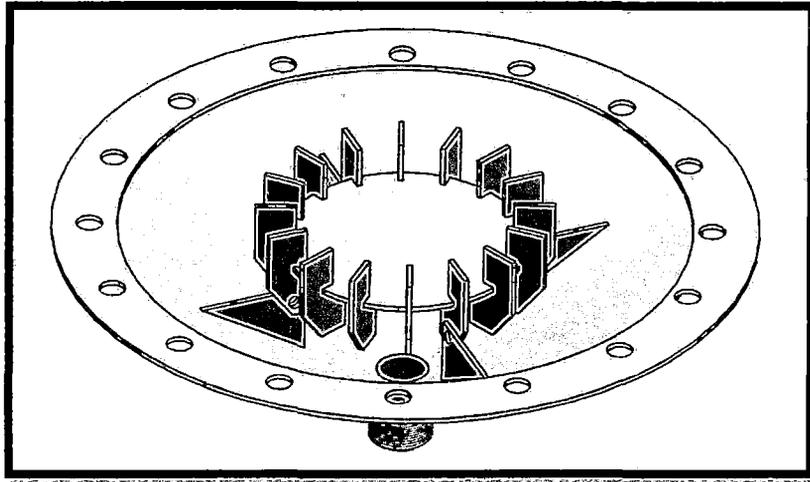
**Fig. 3.22 Detalle de distribución del ala helicoidal**

**Fuente: Elaboración propia**

Este diseño fue elaborado en AutoCAD 2012 English, y también las respectivas medidas y su ángulo de elevación del ala helicoidal.

### **3.2.6.3 DISEÑO PARTE INFERIOR COMO INVERTIDO DE LA SALIDA DEL RELAVE**

En esta sección se diseñó un cono invertido ósea como un plato chino, y en el interior de ella se encuentra un agitador fijo, con la única diferencia que la base es hueca. Y en la parte hueca se determinó la salida del relave. Como se ve en la figura siguiente. Anexo1. Lamina A4 – TES13 – 1/5

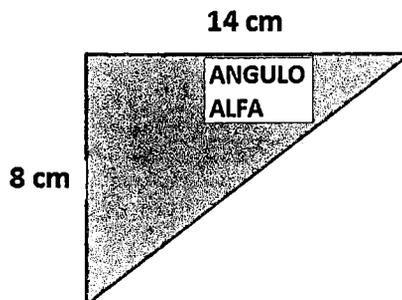


**Fig.3.23Diseño parte inferior como invertido**

**Fuente: Elaboración propia**

### **Cálculos parte inferior como invertido**

Para el diseño del cono invertido se calculó el ángulo, como mostramos a continuación, este cálculo se determina para la salida del relave, si hubiera atoros durante el funcionamiento de la Celda RONI.



Sabemos que  $Tg = \frac{8}{14} = 0.571$

Por lo tanto, según las razones de ángulos complementarios “cofunciones”. Determinamos su propiedad de Tg y Ctg sus valores del ángulo 30° son igual a 0.577 equivalente a  $\frac{\sqrt{3}}{3}$ .

Hallando el volumen interno parte inferior como invertido de la salida del relave:

$$V = \frac{1}{3}\pi r^2 h \quad (3 - 13)$$

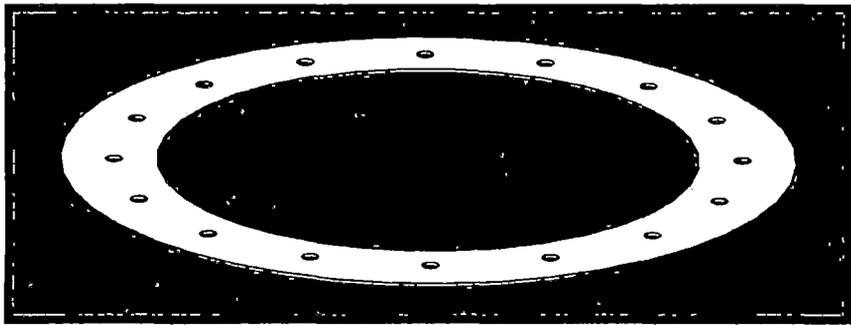
$$V = \frac{1}{3}\pi \left(\frac{28}{2}\right)^2 * 7.5$$

$$V = 1539.38 \text{ cm}^3$$

$$V = 1.5 \text{ Lt}$$

### 3.3 DISEÑO DE LA GOMA

Nuestro diseño de goma fue diseñada para unir la sección de la parte superior cónica con la parte central de la celda y así misma esta parte con la parte inferior como invertido. Esta será medida y cortada para su uso.



**Fig.3.24**Diseño de goma

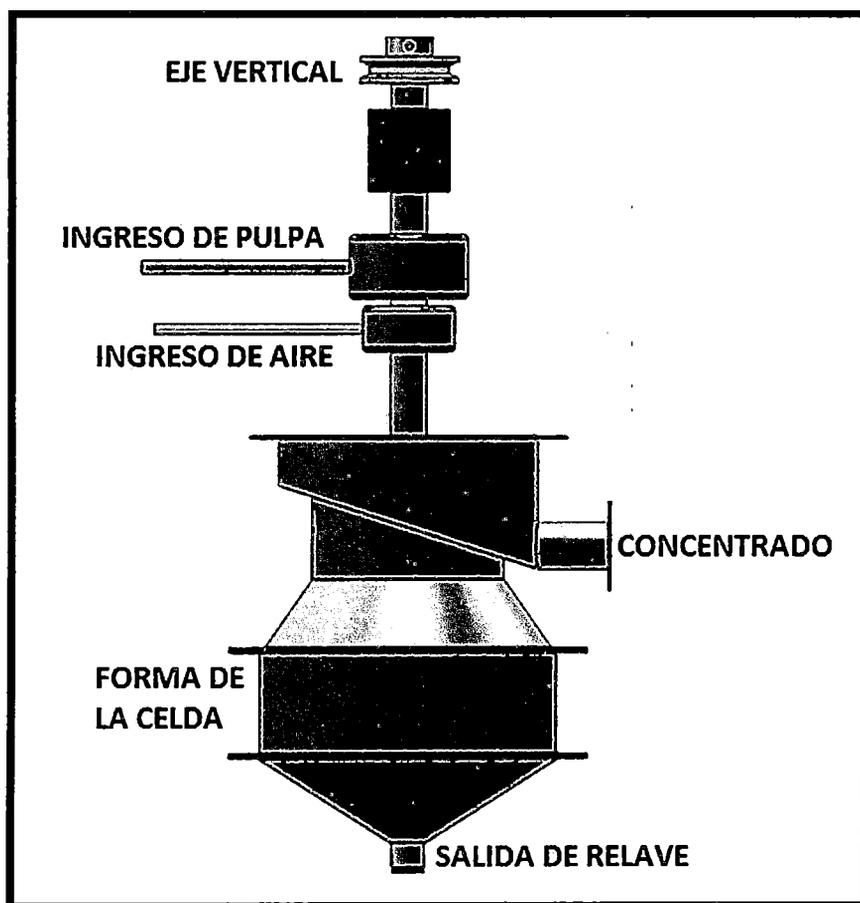
**Fuente:** Elaboración propia

El material de goma o caucho (jebe) con el fin de unir las partes construidas y evitar la salida del agua, también necesitaremos tornillos y tuercas para sujetar las partes señaladas. Este elemento de unión actúa como anti vibración, evitando así los esfuerzos y vibraciones posteriores durante el trabajo de flotación de minerales sulfurados.

### 3.4 DISEÑO COMPLETO DE LA CELDA RONI

En la figura se observa el acabado en su forma completa. Este diseño se realizó con el programa SolidWorks 2012 español y en AutoCAD 2010 español.

El siguiente grafico es la representación en 3D, ensamblado las partes más importantes de nuestra celda, y sus dimensiones está en el anexo 1.

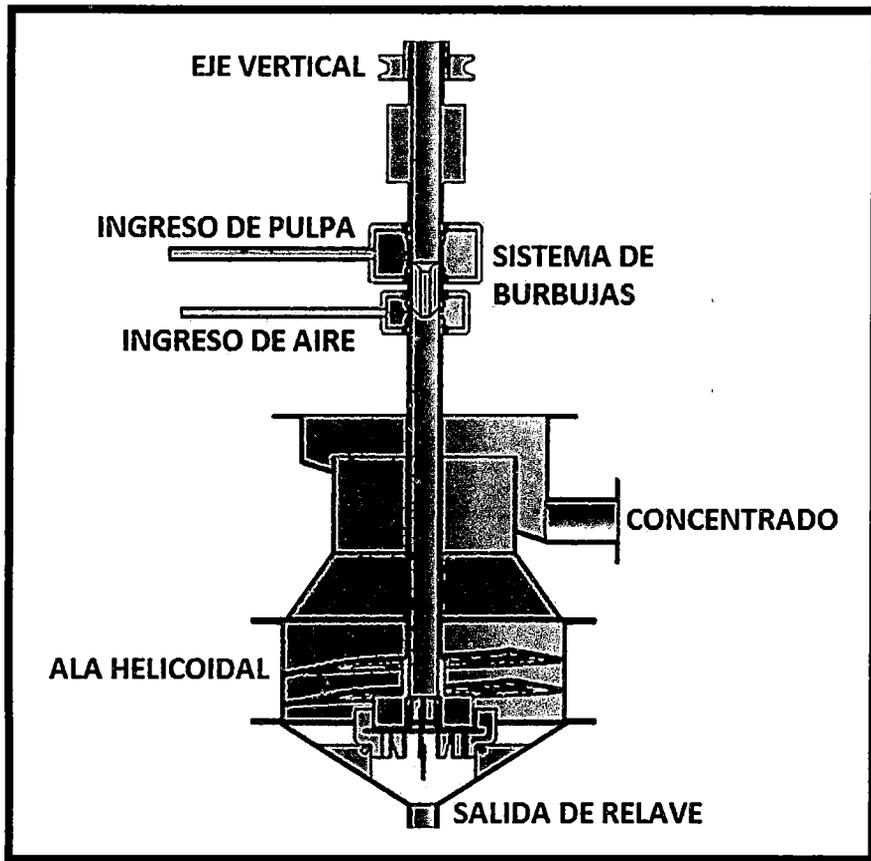


**Fig. 3.25**Diseño Completo de la celda

**Fuente:** Elaboración propia

Para mostrar el interior de nuestra celda realizaremos un corte transversal donde vemos la mitad de nuestro diseño, como están distribuidas

cada una de sus partes y funciones con el fin de tener una idea clara de nuestra investigación.



**Fig. 3.26** Diseño Completo en corte transversal.

**Fuente:** Elaboración propia

Esperamos mejorar este diseño en el futuro u otras investigaciones con respecto a nuestra tesis.

El volumen interno total de la celda es:

$$V_t = 11.6 \text{ Lt}$$

$$V_t = 12 \text{ Lt}$$

**Tabla 3.4 Especificaciones de la Celda RONI**

Categoría de Celda	Modelo	Altura m.	Volumen en Lt.	Capacidad Kg/h	Energ. KW-h	P. pulpa KPa	P. aire KPa
Mecánica Neumática	R-1000	0.50	12	45	1.49	100	100

Fuente: Elaboración propia

### 3.5 FLUIDIZACIÓN DE PULPA EN LA CELDA

La fluidización es un proceso por el cual una corriente ascendente de fluido (líquido, gas o ambos) se utiliza para suspender partículas sólidas. Desde un punto de vista macroscópico, la fase sólida (o fase dispersa) se comporta como un fluido.

En nuestra celda las partículas suspendidas como fluido la pulpa más la circulación de un gas a una velocidad adecuada se produce movimiento de fluido, si se aumenta progresivamente la velocidad del fluido de pulpa, aumentan la caída de presión y el rozamiento sobre las partículas individuales en la Celda RONI. Se alcanza un punto en el que las partículas no permanecen por más tiempo estacionarias a este se le llama *Velocidad Crítica*, sino que comienzan a moverse y quedan suspendidas en el líquido, es decir se fluidizan por la acción del líquido y el gas, esto influye la agitación de la pulpa para aumentar la fuerza tangencial y su distribución de cada partícula según su tamaño y va seleccionando las burbujas, y las partículas sin valor o leyes bajas pasan hacia el relave. La importancia de esta fluidización de la pulpa es la perfecta distribución de las partículas suspendidas en la celda actual. Como se observa la figura de la sección (4.11) que es la dispersión del aire y pulpa dentro de la Celda RONI.

### Simulación para la fluidización.

Para la simulación en la fluidización se trabajara con datos estándares como son:

$$W = 1250 \text{ g/Lt}$$

$$S = 2.8$$

Peso del solido:

$$P \text{ solido} = \frac{W - 1000}{K} \quad (3 - 14)$$

$$P \text{ solido} = \frac{1250 - 1000}{0.643}$$

$$P \text{ solido} = 388.80 \text{ gr}$$

Posteriormente determinamos el cuadro de pulpas.

**Tabla 3.5 Fluidización de pulpas**

	PESO 1 LT		PRUEBA EXPERIMENTAL VOL. 12 LT.	
	PESO (g)	VOLUMEN( $cm^3$ )	PESO (g)	VOLUMEN( $cm^3$ )
<b>Mineral</b>	388.80	138.86	4665.70	1666.32
<b>Agua</b>	861.12	861.12	10333.44	10333.44
<b>Pulpa</b>	1250	1000	15000	12000

**Fuente: Elaboración propia**

Determinando el área interior de la celda.

$$A = \pi (28/2)^2 \quad (3 - 15)$$

$$A = 615 \text{ cm}^2$$

Hallando h:

$$S = \frac{W}{V} \quad (3 - 16)$$

$$S = A * H \quad (3 - 17)$$

$$h = \frac{W}{S * A} \quad (3 - 18)$$

$$h = \frac{4665.70}{1.8 * 615}$$

$$h = 4.214 \text{ cm}$$

### Determinando la velocidad crítica.

A partir del equilibrio de fuerzas de arrastre, peso y flotación, la caída de presión del fluido a través de la masa de partículas es:

$$\Delta P = g \left( 1 - \frac{\rho_f}{\rho_p} \right) h \rho_{ps} \quad (3 - 19)$$

Dónde:

$\rho_f$  : es la densidad del fluido. = 1

$\rho_p$  : es la densidad de la partícula. = 2.8

$\rho_{ps}$  : la densidad de la masa de partículas en reposo. = 1.8

$h$  : la altura de la masa. = 4.214 cm

Reemplazando los valores:

$$\Delta P = 9.81 \left( 1 - \frac{1}{2.8} \right) 4.214 * 1.8$$

$$\Delta P = 33.071 \text{ Pa}$$

La presión cae linealmente con la profundidad de inmersión en la masa, y:

$$P(y) = \frac{\Delta P}{h} y \quad (3 - 20)$$

$$P(y) = \frac{33.071 \text{ Pa}}{4.214 \text{ cm}}$$

$$P(y) = 78.4789 \text{ KPa/m}$$

Dónde:

$v_f$  : es la viscosidad cinemática del fluido. = 2.1

El número de Reynolds crítico:

$$Re_c = 42.86(1 - \varepsilon) \left( \sqrt{1 + 3.11 * 10^{-4} Ar \frac{\varepsilon^3}{(1 - \varepsilon)^2}} - 1 \right) \quad (3 - 21)$$

$$Re_c = 42.86(1 - 0.3571) \left[ \sqrt{1 + 3.11 * 10^{-4}(38.7946) \frac{0.3571^3}{(1 - 0.3571)^2}} - 1 \right]$$

$$Re_c = 0.01831$$

Se calcula utilizando el número de Arquímedes:  $d_p$  es densidad real de la pulpa. = 1.3

$$Ar = \frac{gd_p^3}{V^2} \left[ \frac{\rho_p - \rho_f}{\rho_f} \right] \quad (3 - 22)$$

$$Ar = 9.81 \text{ m}^2/\text{seg} * \frac{(1.3 \text{ Kg/Lt})^3}{1 \text{ m/seg}} \left( \frac{2.8 - 1}{1} \right)$$

$$Ar = 38.7946 \text{ Kg seg/m}^3$$

La fracción de huecos  $\varepsilon$  :

$$\varepsilon = 1 - \frac{\rho_{ps}}{\rho_p} \quad (3 - 23)$$

Dónde:

$$\varepsilon = 1 - \frac{1.8}{2.8}$$

$$\varepsilon = 0.3571$$

La velocidad mínima de fluidización (velocidad del fluido) se determina a partir del número de Re:

$$v_c = \frac{Re_c}{d_p} v_f \quad (3 - 24)$$

$$V_c = \frac{0.01831}{1.3} x * 2.1$$

$$V_c = 0.0295m/seg$$

$$V_c = 2.95 \text{ cm/seg}$$

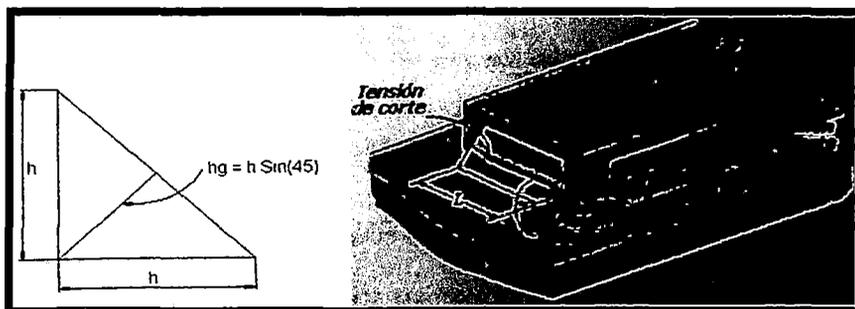
La velocidad crítica es la velocidad mínima para la fluidización de la pulpa, por la acción de las rpm.

### 3.6 CÁLCULO DE SOLDADURA

Se llama soldadura a la unión de dos piezas metálicas de igual o parecida composición, de forma que la unión quede rígida y estancada.

Esto se consigue bien por el efecto de fusión que proporciona la aportación de calor, bien por la aportación de otro metal de enlace o por la combinación de ambos efectos. Existen cerca de 40 sistemas de soldar, pero el más importante para las estructuras metálicas es el sistema de soldadura por fusión.

En la soldadura por fusión el calor proporcionado funde los extremos de las piezas y al solidificar se produce la unión.



**Fig. 3.27 Representación del cordón de soldadura.**  
**Fuente: UTN-FRBB Cátedra: Elementos de Máquinas.**

### 3.6.1 DIMENSIONAMIENTO DEL ESPESOR DE GARGANTA DE LA SOLDADURA

El espesor mínimo de garganta de una soldadura debe cumplir la siguiente condición.

$$h_g \leq 0.7 (e_{min}) \quad (3 - 25)$$

Dónde:

$h_g$ : Espesor de garganta

$e_{min}$ : El menor de los espesores de las piezas a unir.

Calculamos el espesor mínimo de garganta según tabla:

**Tabla 3.6 Representación del cordón de soldadura.**

$h_g \geq 3mm$	Para	$e_{min} \leq 10 mm$
$h_g \geq 4.5mm$	Para	$e_{min} \leq 20 mm$
$h_g \geq 5.6mm$	para	$e_{min} \leq 20 mm$

**Fuente: UTN-FRBB Cátedra: Elementos de Máquinas.**

Como para el perfil a usar de dimensiones TUBO CUADRADO 100x100x100mm, entonces el ancho de garganta de la soldadura será.

$$h_g \leq 0.7(3) \leq 2.1$$

Entonces tomamos el ancho de garganta de la Tabla (3.5) igual a.

$$h_g = 3 mm$$

Como el cordón de soldadura está sujeto a esfuerzo cortante y a esfuerzos de deflexión y mas no a torsión entonces se procederá al cálculo de cada uno de ellos para luego seleccionar el electrodo correspondiente el cual será utilizado en toda la estructura.

### 3.6.2 CALCULO DE ESFUERZO POR TORQUE Y DEFLEXIÓN

Calculo del área sometida a fuerza cortante se obtiene mediante el cuadro siguiente.

Tabla 3.7 soldadura sometida a esfuerzos cortantes

Dimensiones y tipo de soldadura	Esquema o gráfico	Caso de corte con flexión	
		$A$	$I_o$
		$A = h_o d$	$I_o = \frac{h_o d^3}{6}$
		$A = 2h_o d$	$I_o = \frac{h_o d^3}{3}$
		$A = 2h_o b$	$I_o = 2h_o (b^3 d)$
		$A = h_o (d + b)$ $(x, y) = \frac{b^2 d^2}{2(d + b)}$	$I_o = \frac{h_o (bd + d^2)(b + d)}{6}$ Arriba $I_o = \frac{h_o d^2 (b + d)(b + d)}{3(2b + d)}$ Abajo
		$A = h_o (d + 2b)$	$I_o = h_o (2b + d) \left( bd + \frac{d^2}{6} \right)$
		$A = h_o b (d + 2d)$	$I_o = \frac{h_o (2bd + d^2)(2b + d)}{3}$ Arriba $I_o = \frac{h_o d^2 (2b + d)^2}{3(b + d)}$ Abajo
		$A = 2h_o (d + b)$	$I_o = 2h_o (b + d) \left( bd + \frac{d^2}{3} \right)$

Fuente: UTN-FRBB Cátedra: Elementos de Máquinas.

$$A = 2h_g(d + b) = 2(3)(10 + 10) = 120 \text{ mm}^2$$

Reemplazamos en la ecuación tenemos.

$$\sigma' = \frac{W}{A} \quad (3 - 26)$$

$$A = 120 \text{ mm}^2$$

$$W = 402.23 \text{ Kg}$$

$$\sigma' = \frac{402.23 * 9.8}{120}$$

$$\sigma' = 45.51 \text{ Mpa}$$

El momento de inercia sometida a momentos flexionantes se obtiene la Tabla (3.6).

$$I = 2h_g(d + b) \left( db + \frac{d^2}{3} \right) = 2 * 3(10 + 10) \left( (10 * 10) + \frac{10^2}{3} \right) = 16000 \text{ mm}^2$$

Calculamos el momento de la estructura con respecto a la soldadura.

$$M_c = (W)(d) \quad (3 - 27)$$

W: Carga soportada por la estructura

P=577.22 Kg

d: Distancia del centro de la estructura hacia la soldadura d= 2.75m

$$M_c = (577.223)(9.8)(2.75) = 15017.12 \text{ N - m}$$

Calculamos la distancia del centro de la soldadura al exterior crítico:

$$C = 5\sqrt{2} \text{ mm}$$

Calculamos el esfuerzo por deflexión reemplazando en la actuación siguiente.

$$\sigma'' = \frac{Mc}{I} \quad (3 - 28)$$

$$\sigma'' = \frac{(15017.12)(5\sqrt{2})}{16000}$$

$$\sigma'' = 6.64 \text{ Mpa}$$

### 3.6.3 CALCULO DEL ESFUERZO PERMISIBLE

$$\sigma_y = \frac{f_R}{0.4} \quad (3 - 29)$$

Dónde:

$\sigma_y$ : Esfuerzo de fluencia

$\sigma_R$ : Esfuerzo resultante

$$\sigma_R = \sqrt{45.51^2 + 6.64^2}$$

$$\sigma_R = 45.99 \text{ Mpa}$$

Reemplazamos las ecuaciones en (3 - 26).

$$\sigma_y = \frac{45.99}{0.4}$$

$$\sigma_y = 114.98 \text{ Mpa}$$

Con este valor seleccionamos el tipo de soldadura que se utiliza para soldar la estructura completa de la Celda RONI.

**Tabla 3.8 Especificaciones de esfuerzos de fluencia en soldadura**

Tipo de carga	Tipo de junta	Esf. permisibles	h (f.s)
• Tensión	A tope	0.6 Sy	1.67
• Aplastamiento	A tope	0.9 Sy	1.11
• Flexión	A tope	0.6 – 0.66 Sy	1.52 – 1.67
• Compresión			
• Simple	A tope	0.6 Sy	1.67
• Cortante	A tope o de filete	0.4 Sy	1.44

Fuente: Juan J. Hori

Cuadro de resistencia de electrodos según AWS.

**Tabla 3.9 Resistencia de los electrodos**

Electrodo	Resistencia ultima		Sy (Esf. De fluencia)		Elongación
	Kpsi	Mpa	Kpsi	Mpa	
E 60XX	62	(427)	50	(345)	17 - 25
E 70XX	70	(482)	57	(393)	22
E 80XX	80	(551)	67	(462)	19
E 90XX	90	(620)	77	(531)	14 – 17
E 100XX	100	(659)	87	(600)	13 – 16
E 120XX	120	(827)	107	(737)	14

Fuente: Juan J. Hori

El resultado obtenido de la Tabla 3.6 es la que esta resaltado de color rojo, esto indica que los electrodo de la clase E 60XX son las que aplicaremos para la construcción de nuestra Celda RONI.

## **CAPITULO IV**

### **MATERIALES Y CONSTRUCCIÓN DE LA CELDA RONI**

#### **4.1 MATERIALES**

Para la utilización de materiales y equipos se tiene en nuestro mercado nacional infinidad de productos ya sean ferrosos y no ferrosos, algunas son resistentes a insumos químicos como los polímeros y otros altamente corrosivos como los productos ferrosos, y cada una es seleccionada para un uso específico u operación, en nuestro caso seleccionaremos los más apropiados para la construcción de nuestra celda a nivel de laboratorio.

#### **4.2 SELECCIÓN DE MATERIALES DE LA CELDA**

En la selección se considera con qué tipo de material se trabajara, si este puede causar un factor negativo o si el material puede ser de polímero,

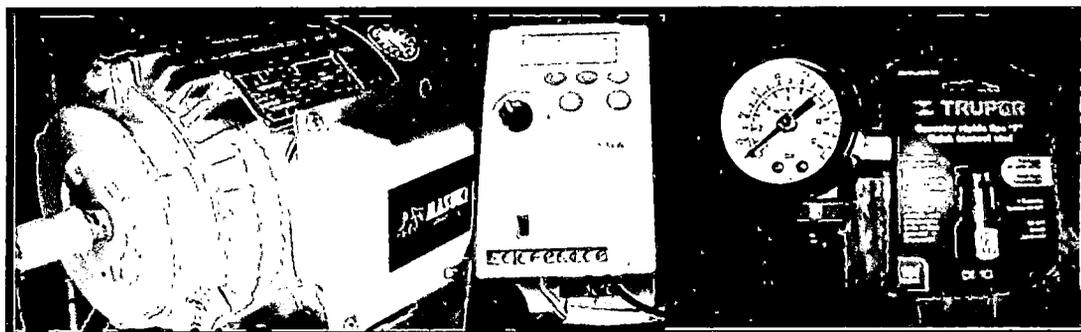
y el costo que representaría para su fabricación, limitando el tiempo de vida de la celda. En este caso con respecto a la selección de materiales se trabaja con un presupuesto determinado, en los equipos, materiales y accesorios para la construcción de nuestra celda multifuncional.

#### 4.2.1 EQUIPOS Y ACCESORIOS

Los equipos y accesorios son las siguientes:

- Motor de 1 Hp.
- Variador de velocidad
- Válvula dosificadora de aire
- Válvula dosificadora de pulpa
- Correa de transmisión N° 53.
- 4 Rines de 1 ½"
- 6 seguros de 1 ½"

En la figura siguiente se observa los equipos y accesorios.



**Fig. 4.1 Motor 1HP. Variador de velocidad. Válvula de aire**

**Fuente: Elaboración propia**

## **4.2.2 MATERIALES SELECCIONADOS**

Los materiales son las siguientes:

- Plancha de acero 3/32".
- Planchas de acero 1/8".
- Tubo Cuadrado 4x4"
- Tubo cuadrado de 2x2".
- Planchas de base 3/8".
- 2 cojinetes de 1 1/2" de diámetro interior.
- Dos poleas de aluminio.
- 2 Kg de soldadura punto azul.
- Un tubo de 1 3/8" diámetro.
- Un tubo de 3" de diámetro.
- Metal solido de 2" de diámetro.
- Engranaje de corona.
- Un engranaje de 2" de diámetro.
- 32 Tornillos de 1/4"x 1".
- 4 Tornillos de 3/8"x 1 1/2".
- Un angular de 2x2".
- 4 m de mangueras de 1/2" de diámetro
- 50 cm de manguera.

## **4.3 CONSTRUCCIÓN Y ENSAMBLAJE DE LA CELDA**

En la construcción de la celda primero se elaboró el plano de diseño, luego se selecciona el tipo de materiales para la construcción y luego se compra los materiales seleccionados.

Para la construcción de la celda de flotación se tomó una decisión importante en la que se trabajó en el taller de mantenimiento, puesto que

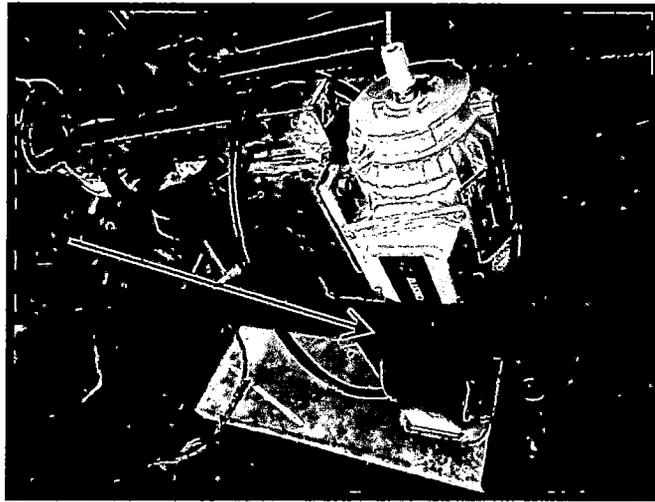
esta nos da más beneficios en experiencia. Su tecnología no es de punta pero el asesoramiento técnico de construcción es la más importante, la experiencia es una herramienta que debemos aprovechar y aprender de ella.

De lo cual describimos brevemente los procedimientos de cómo se construyó la Celda RONI.

1. Se cortó las planchas dibujadas en trocitos de molde, para luego soldarlas
2. Se fabricó el eje vertical, con un tubo de acero dulce, en esta entran las tres variables de gran importancia que es, grado de agitación, alimentación de pulpa, admisión de aire y forma de la celda.
3. Se construye el soporte principal donde estaría sujeta el eje vertical, el variador de velocidad, el motor, las poleas, la correa, etc.
4. Se soldó las piezas para construir la Celda RONI en su totalidad.
5. Se construyó también los agitadores A, B y C.
6. Se maquinó la admisión de pulpa y de aire.
7. Por último se construyó el sistema de producción de burbujas la pieza más importante de la celda.

#### **4.3.1 CONSTRUCCIÓN COMPLETA DEL SOPORTE**

En la construcción del soporte se diseñó del tubo de 4x4 pulgadas una plancha de 1/8 pulgadas para que sea flexible en la subida y bajada del eje vertical. Se toma la medida de las poleas y la correa. Luego se fija el motor para su ubicación fija. Como se ve en la figura siguiente.



**Fig. 4.2 Construcción del soporte**

**Fuente: Elaboración propia**

En la construcción del soporte ya terminado se instala o se presenta como terminaría el motor y el variador de velocidad siendo muy importante la ubicación de todos estos accesorios como se menciona en la sección (3.2.3), para realizar las pruebas, luego de construirlos se tiene una consideración muy especial sobre el variador de velocidad como determinar las rpm correspondientes.

$$RPM = \frac{120 * N^{\circ} \text{ de frecuencias}}{4} \quad (4 - 1)$$

Dónde: N° = Número de frecuencias (En el variador su valor es H).

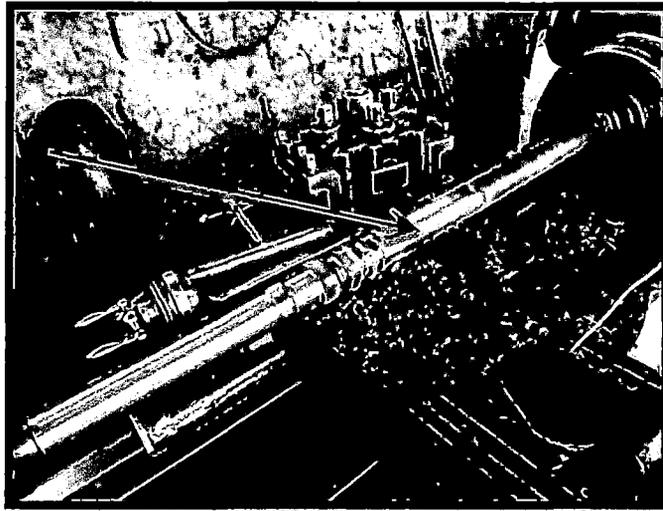
El número de frecuencia es de un rango de cero a sesenta, representada por (H = 0 a 60) estos valores son indicados en el variador de velocidad. Por ejemplo.

$$RPM = \frac{120 * 30}{4} = 900 \text{ rpm.}$$

Los valores de conversión del número de frecuencia H a RPM se puede observar en el Anexo 2.

#### **4.3.2 CONSTRUCCIÓN DEL EJE VERTICAL**

La construcción del eje vertical se inicia con el tubo de 1 3/8 pulg. De diámetro. Y longitud de 80 cm. Luego rellenamos con soldadura el área de los rines y llevamos al torno para fabricar los conductos de los rines. En la figura siguiente se muestra el trabajo realizado.



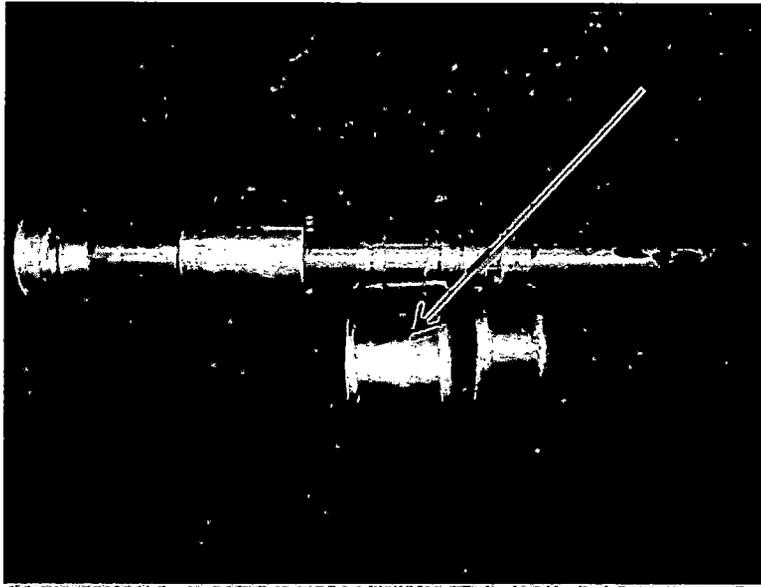
**Fig. 4.3 Torneado del Eje Vertical**

**Fuente: Elaboración propia**

Esta construcción es una de las secciones más prioritarias en la que estará el sistema de burbujas así como también la alimentación de la pulpa y la inyección de aire a presión, de acuerdo al diseño del plano.

##### **4.3.2.1 CONSTRUCCIÓN DE INGRESO DE LA PULPA**

En esta etapa de construcción se tomaron un disco de hierro de 1/2 pulg. De espesor y un tubo de 4 pulg. De diámetro, primero se torneo y luego se soldado y el acabado se realizó en el torno. En esta parte se fabricó un buje de bronce para evitar fugas de la pulpa y su respectivo RIN de goma. A si como se observa en la figura.



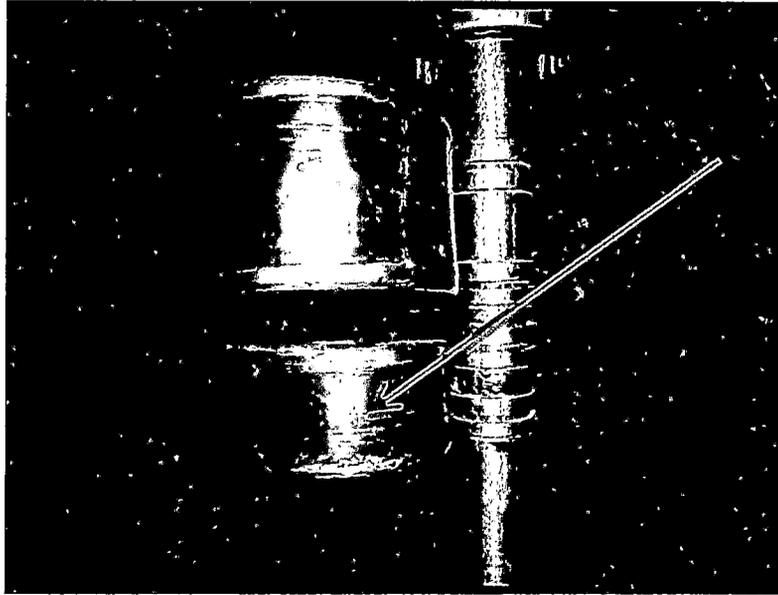
**Fig. 4.4 Ingreso de la pulpa**

**Fuente: Elaboración propia**

En esta sección es la única que tiene en la parte interior resina de fibra de vidrio y su catalizador de secado rápido, con el fin de evitar el desgaste y corrosión en ingreso de pulpa, también se fabricó un acople para el tubo de 1/2 pulg de diámetro de PVC. (La resina adquirida es cortesía de Busmark en contribución a nuestra Tesis).

#### **4.3.2.2 CONSTRUCCIÓN DE INGRESO DEL AIRE**

Esta pieza se construyó de la misma manera para evitar fugas de aire y provocar otros inconvenientes, como se observa en la siguiente manera.



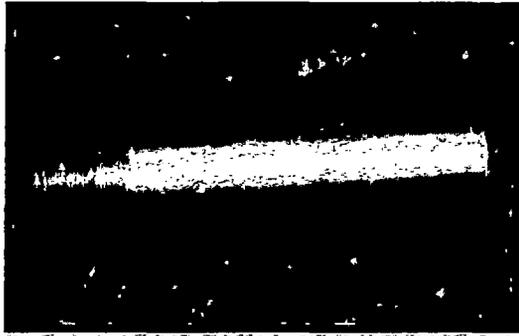
**Fig. 4.5 Ingreso del aire**

**Fuente: Elaboración propia**

También tiene su acople para el tubo de PVC de 1/2 pulg de diámetro, en este no tiene resina de fibra de vidrio.

#### **4.3.2.3 CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE BURBUJAS**

En la construcción de esta pieza es la más importante e innovadora que sin ella no tendría el caso de realizar esta tesis. Se fabricó con acero dulce sólido para luego maquinarlo con torno y tiene un agujero en la mitad del sólido de 1/4 pulg de diámetro, y con respecto al ductos de aire, La cañería es de inyección de motor para resistir presiones altas, pero no el desgaste, este tipo de investigación es de mayor importancia, la forma correcta sería de un material de goma para evitar la corrosión y su desgaste en la salida de la pulpa.



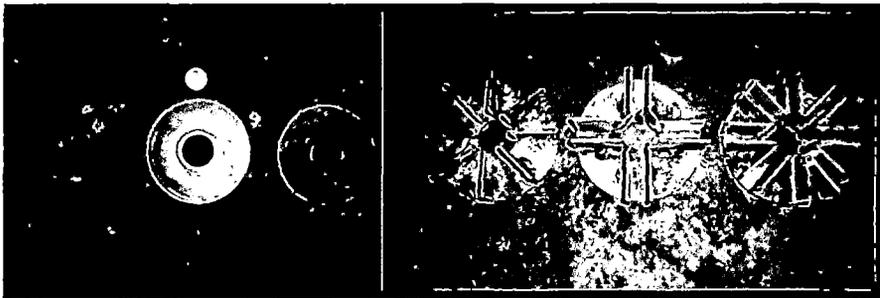
**Fig.4.6 Sistema de burbujas**  
**Fuente: Elaboración propia**

Se torneó todo el sólido en forma de un PIN y agujereadas con una broca de 1/4 pulg de diámetro, y se desbasta uno de los extremos en forma cónica.

#### **4.3.3 CONSTRUCCIÓN DE LOS AGITADORES**

En la fabricación de los agitadores se tomó la plancha de 3/32 pulg. Se maquinó en el torno y se fabricó bujes para cada uno, y la unión de cada parte es por soldadura Arco Eléctrica (Punto Azul).

En la figura siguiente se muestra el maquinado de los disco para cada agitador.



**Fig. 4.7 Maquinado y soldado de los rotores A, B y C.**  
**Fuente: Elaboración propia**



**Fig. 4.8 Construcción terminada antes de lijar los Rotor A, B y C.**

**Fuente: Elaboración propia**

#### **4.4 CONSTRUCCIÓN DE LAS SECCIONES DE LA CELDA**

Para construir las tres secciones de la Celda RONI se tuvo procedimientos; se dibujan las planchas según sus medidas de cada sección, posteriormente se cortan cada molde y luego se sueldan con soldadura Arco Eléctrico (punto azul). Posteriormente se detallaran la construcción de cada sección.

##### **4.4.1 CONSTRUCCIÓN PARTE SUPERIOR CÓNICA DE REBOSE DE CONCENTRADO**

En la construcción de esta sección se optó por soldar las piezas como se ve en la figura, el tubo de 3 pulg de diámetro del concentrado se maquino en el torno para un buen acabado, en la figura se muestra el acabado final de la parte superior cónica.



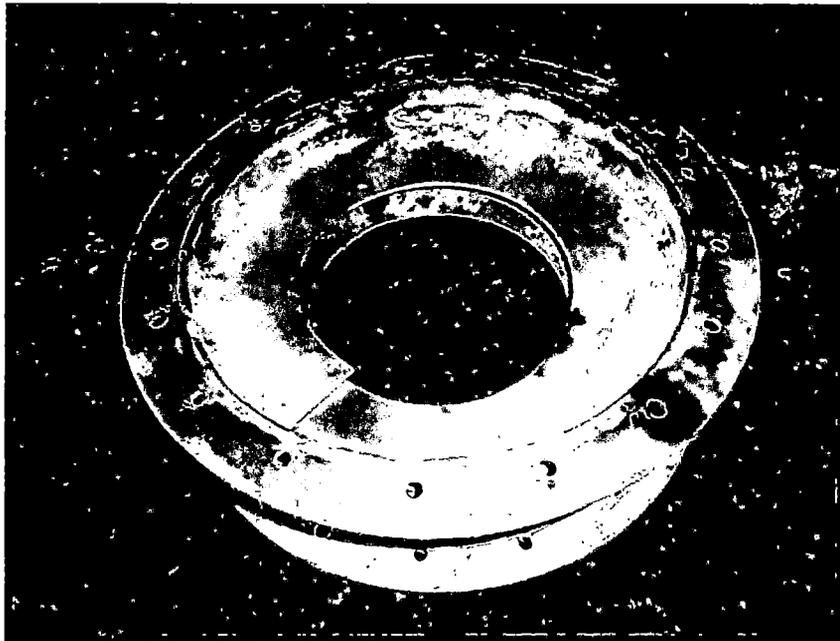
**Fig. 4.9 Construcción parte superior cónica de rebose de concentrado**

**Fuente: Elaboración propia**

La construcción de esta parte se hizo un torneado en los anillos de rebose tanto como en los sujetadores de la parte central y la salida del concentrado, para que nuestro equipo sea de una mejor calidad.

#### **4.4.2 CONSTRUCCIÓN PARTE CENTRAL DE LA CELDA**

En la construcción de la parte central de la celda se cortó la plancha de  $3/32$  pulg de espesor según las medidas así como el Ala Helicoidal, y estas dos partes se sueldan como se ven en la figura siguiente.



**Fig. 4.10 Construcción parte central de la celda**

**Fuente: Elaboración propia**

Del mismo modo se soldó el ala helicoidal con las medidas diseñadas, los agujeros se distribuyen equitativamente de 16 agujeros tanto en los bordes, la parte superior de cono de rebose y parte inferior con invertido.

#### **4.4.3 CONSTRUCCIÓN PARTE INFERIOR CONO INVERTIDO DE LA SALIDA DEL RELAVE**

En la construcción del cono invertido se dibujó las medidas y se cortó la misma plancha de 3/32 pulg de espesor de las paletas y otro de 3/32 pulg de espesor para el disco con el fin de fabricar. Las partes más importantes de agitación.



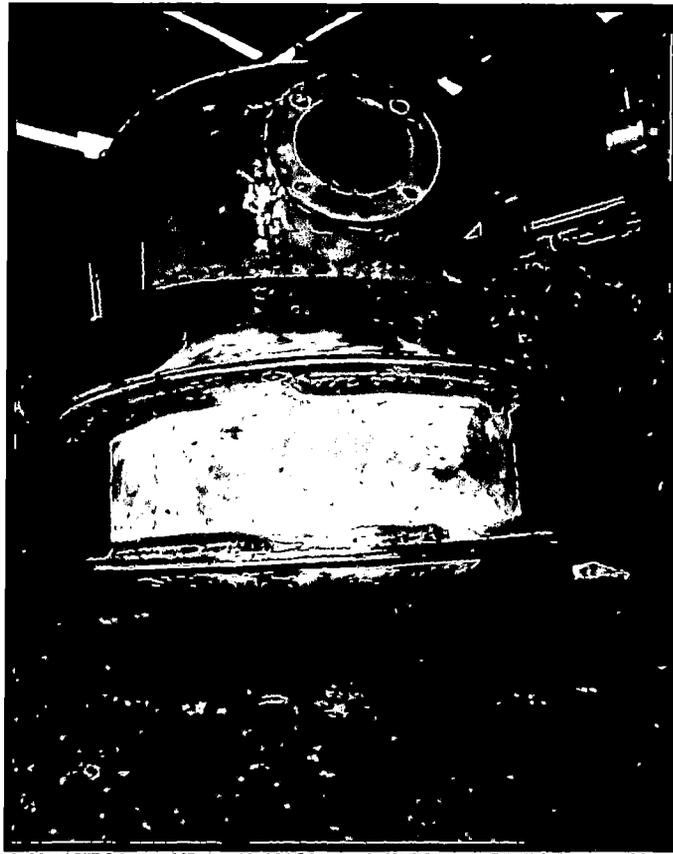
**Fig. 4.11 Construcción parte inferior como invertido de la salida del relave**

**Fuente: Elaboración propia**

En el soldado de estas piezas es de sumo delicado ya que la contracción después de la soldadura es desfavorable, y también es muy dificultoso de lijar de esta pieza. Ya que si no se lija adecuadamente puede formarse corrosión en las partes de nuestra celda.

#### **4.5 CONSTRUCCIÓN DE LA CELDA PROTOTIPO**

En esta sección mostramos el armado total del proyecto, por lo cual aremos unas observaciones menores para el acabado final antes de seguir con el siguiente proceso.



**Fig. 4.12 Construcción y ensamblaje de la celda RONI.**

**Fuente: Elaboración propia**

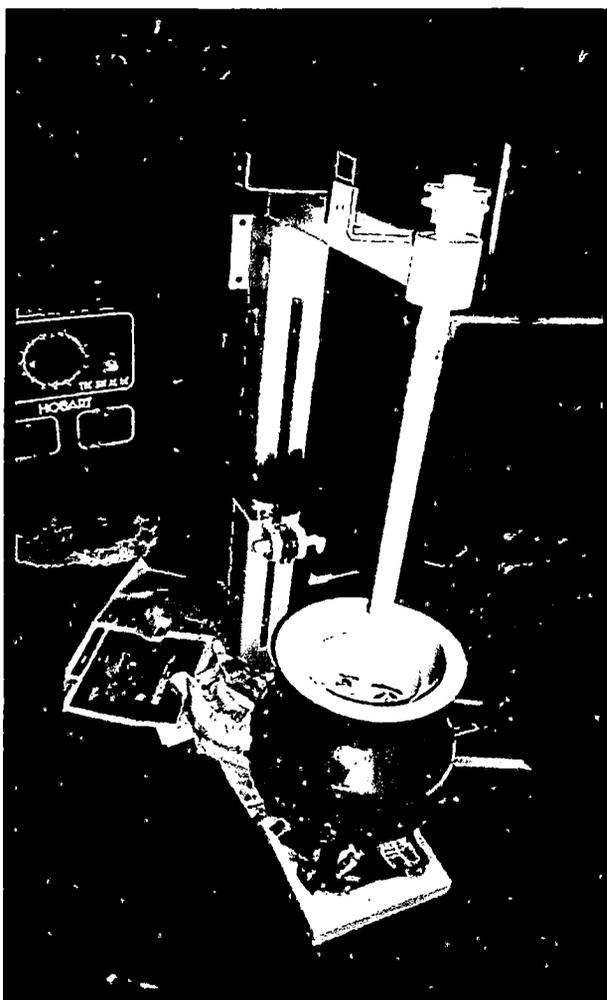
Después de haber seguido todos los pasos se da una presentación más real que el diseño, posteriormente se lijara cada parte para luego ser pintada, tengamos en cuenta la lijada ya que es muy importante para evitar los óxidos y deterioro de la celda.

#### **4.6 REVESTIMIENTO Y PINTADO**

Para el pintado de la celda se realiza de color AZUL en toda la superficie externa. En el interior y exterior de la calda se pinta con PINTURA EPOXICA ANTI CORROSIVA, sus propiedades nos ayudan a proteger la celda y todos sus componentes, en las pruebas futuras de flotación o

lixiviación por agitación evitan la reacción del hierro para formar pilas galvánicas o corroer la misma celda provocando una alteración en los reactivos aplicados.

En la figura se muestra el acabado con la pintura AZUL.



**Fig. 4.13 Acabado con AZUL TURQUESA**

**Fuente: Elaboración propia**

En las composiciones de las pinturas especiales como es el caso la Pintura Epoxica tiene tres componentes especiales de fábrica:

- La misma pintura Epóxica.
- El catalizador diseñado para la Pintura Epóxica.
- Su diluyente de la Pintura Epóxica.

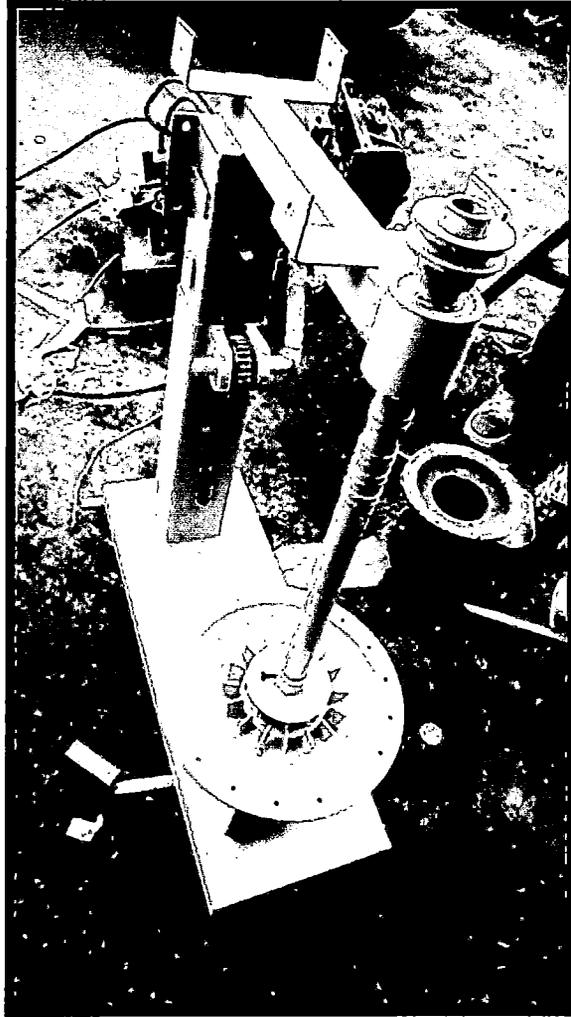
En la figura siguiente se observa los componentes de la Pintura Epoxica.



**Fig. 4.14** Pintura Epóxica, Catalizador, Diluyente.

Fuente: [www.chemifabrik.com.pe](http://www.chemifabrik.com.pe)

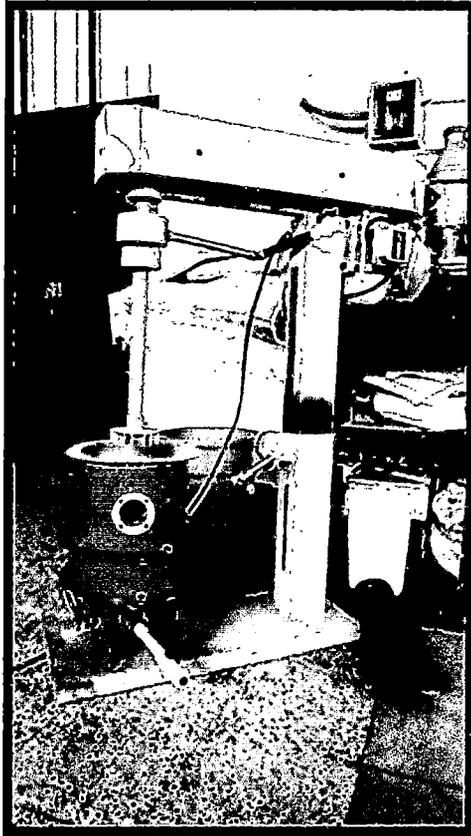
En la figura (4.14) se muestra el pintado con la PINTURA EPÓXICA, el pintado es en la parte interior y exterior de la celda y el eje vertical así como los ductos de alimentación de la pulpa y aire, todos los componentes es pintado sin excepción y el consumo de la pintura es de medio galón puesto que se pinta capa por capa.



**Fig. 4.15 Acabado con Pintura Epóxica.**

**Fuente: Elaboración propia**

En esta parte se observa el pintado final y su acabado, y también se hizo la entrega al laboratorio metalúrgico de la Carrera Profesional de Ingeniería Metalúrgica – UNSAAC.



**Fig. 4.16 Acabado final de la Celda Roni.**

**Fuente: Elaboración propia**

El acabado final de instalación es en el laboratorio, los acoples finales como el medidor de presión, instalación de las válvulas de pulpa y de relave y también la instalación del tanque acondicionador de pulpa con todos sus accesorios, listo para correr las pruebas correspondiente.

#### **4.6.1 CONEXIONES ELÉCTRICAS**

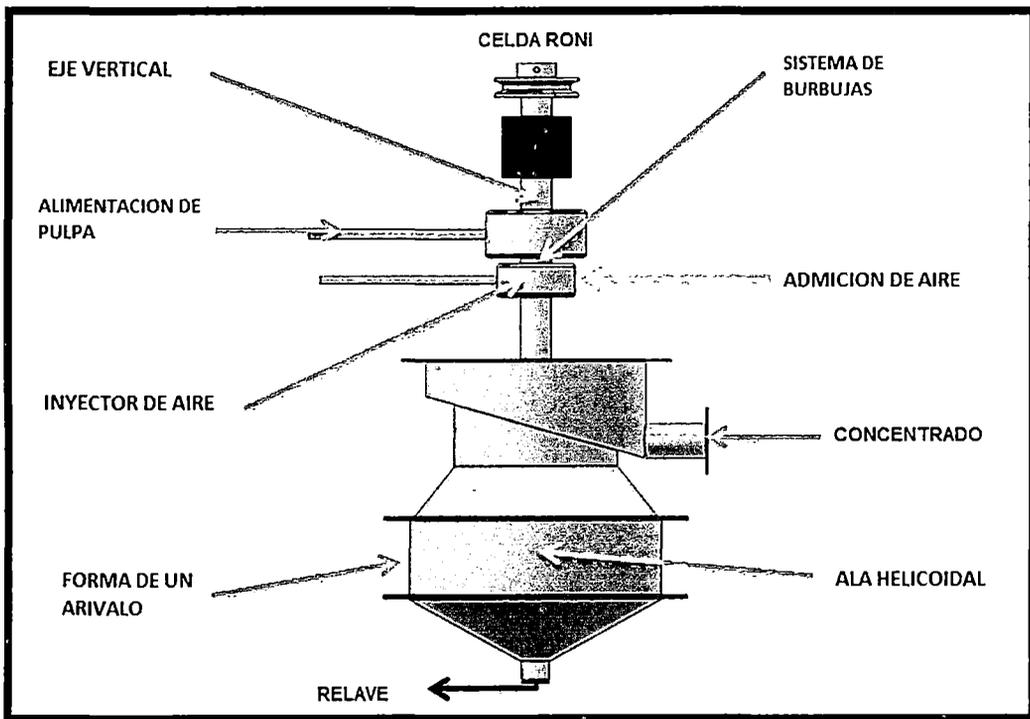
Las conexiones para el correcto funcionamiento de la energía eléctrica de 220 voltios se tienen.

- Las conexiones se realizan con la mayor seguridad posible.

- Terminales de Corriente Alterna al motor de 1Hp
- Conexiones del motor al Variador de Velocidad

#### 4.7 PRINCIPIOS GENERALES DE OPERACIÓN

Los principios de operación de la celda pueden ser explicados refiriéndonos a la figura siguiente. La cual representa la Celda RONI en el diagrama.



**Fig. 4.17 Partes principales de la celda**

**Fuente: Elaboración propia**

Para una correcta operación se debe tener presente las partes principales de operación y los instrumentos que juega en la manipulación de la Celda RONI.

En la operación de alimentación de pulpa, primero se tiene un acondicionador en la que se mezcla los reactivos, seguido a ese se tiene la bomba de pulpa que bombea a presión por las cañerías con dirección al eje vertical, y del mismo modo el aire a presión pasa por un regulador de aire, donde es suministrada según las necesidades de la operación.

Para tener un mejor entendimiento de cómo funciona el mezclado de pulpa/aire dentro del eje vertical, el sistema de burbujas ubicado dentro del eje ase la función de mezclado, la pulpa pasa por el mesclador que tiene un agujero y posteriormente las cañerías de aire ingresan con una presión adecuada según el proceso formando así las burbujas dentro de la pulpa, donde las películas están separadas por películas delgadas del líquido, produciendo un ambiente favorable para un rápido adhesión de las partículas colectadas a las burbujas.

Las burbujas dentro del eje vertical se descargan por la parte inferior de la celda, Las burbujas portando su carga de partículas sólidas son agitadas por los agitadores y la ala helicoidal retienen las turbulencias que suben a la sección superior de la celda, posteriormente las burbujas bien conformadas suben formando un estado de espuma, el cual a su vez muestran movimientos ascendentes pasando por el rebose de la Celda RONI.

Con respecto a la salida de los relaves de la Celda RONI, es por la parte inferior cónica invertida, esta se regula con la válvula de relave.

Cuando la Celda RONI es puesta en operación, la siguiente secuencia de eventos tiene lugar. Se asume que la celda está completamente llena de agua, las válvulas de relave y de admisión de aire están completamente serradas. Luego las tuberías las llenamos con pulpa hacia el eje vertical y la presión aumenta rápidamente hasta alcanzar su valor de trabajo, la pulpa

pasa a través del orificio del sistema de burbujas y fluye hacia la base de la celda, donde se mezcla inicialmente. A medida que ingresa la pulpa en la celda empieza a estabilizarse el flujo, se produce un sello hidráulico y el aire retenido en el tubo de alimentación es atrapado por el chorro introducido por el sistema de burbujas.

La alta velocidad de mezcla pulpa/aire con una elevada área de interfaces, existen un rápido contacto. Si en caso es utilizada la celda en lixiviación por agitación incrementa las reacciones en forma exponencial.

**Tabla 4.1 Especificaciones técnicas del equipo**

tipo	Forma de Arivalo cilíndrica con desfogue en la base inferior de la celda.
tamaño	280 mm de diámetro y 500 mm de altura
revoluciones	De 0 a 1750 rpm.
material	Acero semidulce
motor	1.745 KW motor trifásico a monofásico.
accesorios	Tiene un variador de velocidad, eje vertical, tuberías de pulpa de ½", Tuberías de aire ¼", Tubería de agua de ¼" en la alimentación de la pulpa, ala helicoidal, sistema de burbujas, rotores A, B y C. válvula de relave, válvula de concentrado, manómetro de aire, canaleta de recepción de concentrados, patas de soporte.
tiempo de flotación	20 min para 15 Kg de mineral y 1 hora para 45 Kg de mineral.

**Fuente: Elaboración propia**

## 4.8 DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO Y SUS INSTRUMENTOS

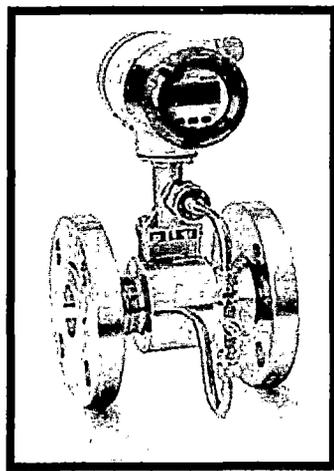
### 4.8.1 LOS INSTRUMENTOS NO UTILIZADOS

#### 4.8.1.1 BOMBA DE ALIMENTACIÓN DE PULPA

La bomba de alimentación de pulpa es un instrumento de alimentación hacia la Celda RONI, esta genera presión para un funcionamiento óptimo de la celda, en esta parte la bomba consta de una sección que es un motor de 2 Hp conectado a un impulsor de partículas densas, según su diseño para que se aplique de acuerdo a sus especificaciones.

#### 4.8.1.2 MEDIDORES DE FLUJO TRIO-WIRL VORTEX

Para una correcta aplicación de este instrumento en el flujo de pulpa, la VÁLVULA VORTEX mide el caudal y la densidad así como también la temperatura, este instrumento es muy útil. Esta controla la alimentación al eje vertical. En su representación tendremos otra manual para simular su existencia. Como se observa en la figura.



**Fig. 4.18 Válvula VORTEX.**

**Fuente:** <http://www.aguamarket.com/productos/productos.asp?producto=17365&nombreproducto=>

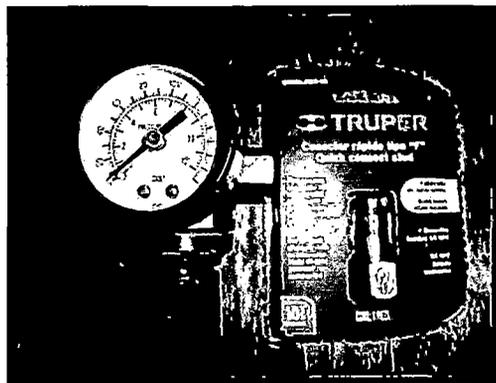
## Características

- Mide líquidos con viscosidad < 7.5 cp. Gases y vapor.
- Tamaños 1/2 pulgada hasta 8 pulgadas sin bridas y 1/2 pulgada a a12 pulgadas bridadas.
- Construcción de cuerpo fundición.
- 316 L SST o hastelloy.
- 0.75% del flujo para líquidos y 1.0% de flujo para gases/vapor para flujo volumétrico.
- ANSI 150/300/600/900.
- -55°C a 280°C standard.
- Futura opción para -55°C a 400°C.
- No es afectado por los cambios en la presión, temperatura, o densidad.

## 4.8.2 INSTRUMENTOS UTILIZADOS

### 4.8.2.1 MANÓMETRO Y VÁLVULA DOSIFICADORA DE AIRE

La válvula dosificadora de admisión de aire, este instrumento tiene la opción de regular el ingreso de aire y una presión dada. La presión se muestra en (psi). Como se observa en la figura siguiente.



**Fig. 4.19**Válvula de presión de aire

**Fuente:** Elaboración propia

#### 4.8.2.2 FORMA DE PARED DE LA CELDA RONI

La descripción del instrumento de la Celda RONI tiene la forma del Arivalo, nos referimos en el interior de ella, por otro lado este beneficia en la flotación de minerales sulfurados así como en la lixiviación de minerales oxidados. En la flotación el ala helicoidal retiene el caudal que migran hacia arriba aumentando así su cinética de reacción. Por otro lado en la lixiviación por agitación las mismas alas retienen por la presión de las partículas que fluyen tangencialmente aumentando la penetración del reactivo en las partículas, la admisión de la burbuja ayuda en la reacción.

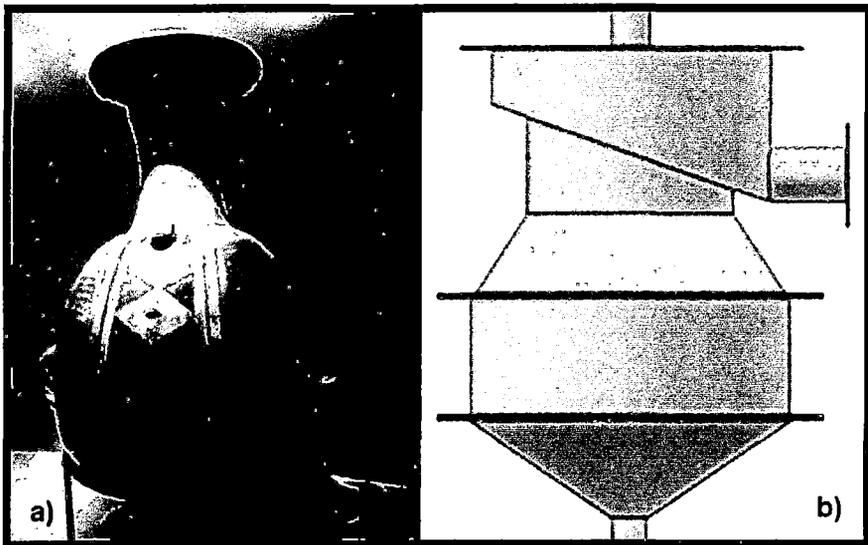


Fig. 4.20 a) Forma del ARIVALO, b) forma de la Celda RONI.

Fuente: Elaboración propia

#### 4.8.2.3 SUMINISTRO DE PULPA A LA CELDA

El flujo de pulpa suministrado es medido por la VÁLVULA VORTEX que es netamente para estos casos, el cual es inducido a presión a al eje vertical.

#### **4.8.2.4 SUMINISTRO DE AIRE A LA CELDA**

El flujo de aire suministrado es medido por la válvula de admisión, el cual es inducido a presión al ducto que se dirige al eje vertical, el aire comprimido se utilizara gradualmente en cada proceso tratado. Ya sea mineral sulfurado u oxidado.

#### **4.8.2.5 AGITADORES**

Los agitadores son diseñados, construidos y posterior mente se les ponen a prueba para su uso correcto en las etapas de tratamiento. Tenemos el agitador A, B y C.

#### **4.8.2.6 VÁLVULA DE RELAVE**

La válvula de relave es un instrumento para la salida de relaves. En la flotación se gradúa la salida una vez que se corra las pruebas, por consiguiente todas las pruebas en la salida del relave son causa de la válvula.

### **4.9 CÁLCULOS IMPORTANTES DE LA CELDA RONI**

Los cálculos de la Celda RONI son importantes para el diseño y construcción, con ella dimensionamos para la cantidad de flujo de pulpa, así como la admisión de aire, la concentración recuperada y el producto del relave. Obteniendo un resultado para las operaciones y su respectiva evaluación, para el desarrollo de las pruebas metalúrgicas.

#### 4.9.1 DUCTO DE LA ALIMENTACIÓN

El ducto de alimentación de ½ pulg es el corazón del equipo, y debe estar en buenas condiciones operativas para alcanzar los resultados metalúrgicos deseados, suponemos que la operación se realiza a una presión deseada de 1 bar (100 KPa), el diámetro del orificio determina la capacidad de la celda.

El flujo a través del orificio y por lo tanto del flujo a través de la celda puede ser calculado usando la siguiente ecuación.

$$P = \frac{1}{2} dp U^2 \quad (4 - 2)$$

Dónde:

P = Diferencia de presión a lo largo del orificio (Pascal)

dp = Densidad real de la pulpa en (Kg/m<sup>3</sup>)

U = Velocidad de flujo o pulpa a través del orificio. (m/s)

Debe tener en consideraciones que P es la presión en el alimento, y no es estrictamente correcto usarla, porque debiera ser el diferente de presión entre ambos lados del orificio.

Hallando P:

$$P = \frac{1}{2} * 2.8 * 3.779^2$$

$$P = 19.9999 \text{ Pascal}$$

#### 4.9.2 CALCULO DEL FLUJO ALIMENTADOR DE PULPA

La velocidad del flujo alimentado, puede ser calculado con las formulas anteriores.

Velocidad del chorro:

$$U = \left( \frac{2P}{dp} \right)^{1/2} \quad (4 - 3)$$

$$U = \left( \frac{2 * 20}{2.8} \right)^{1/2}$$

$$U = 3.779 \text{ m/seg}$$

Hallamos el flujo alimentador del sistema de burbujas.

Dónde:

Diámetro del sistema de burbujas  $d = 6.35 \text{ mm}$

La velocidad el chorro  $U = 12.398 \text{ pies/seg.}$

$$Q = 3.779 (3.1416/4)(0.00635)^2$$

$$Q = 1.1968 * 10^{-4} \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$Q = 7.18 \text{ Lt/min}$$

Hallando el flujo de alimentación.

$$d = \frac{1}{2} \text{ pulg} = 0.0417 \text{ pies}$$

$$Q = U (3.1416/4)d^2$$

$$Q = 12.398 (3.1416/4)(0.0417)^2$$

$$Q = 0.01693 \text{ pies}^3/\text{seg}$$

$$Q = 28.7634 \text{ Lt/min} \cong 28 \text{ Lt/min}$$

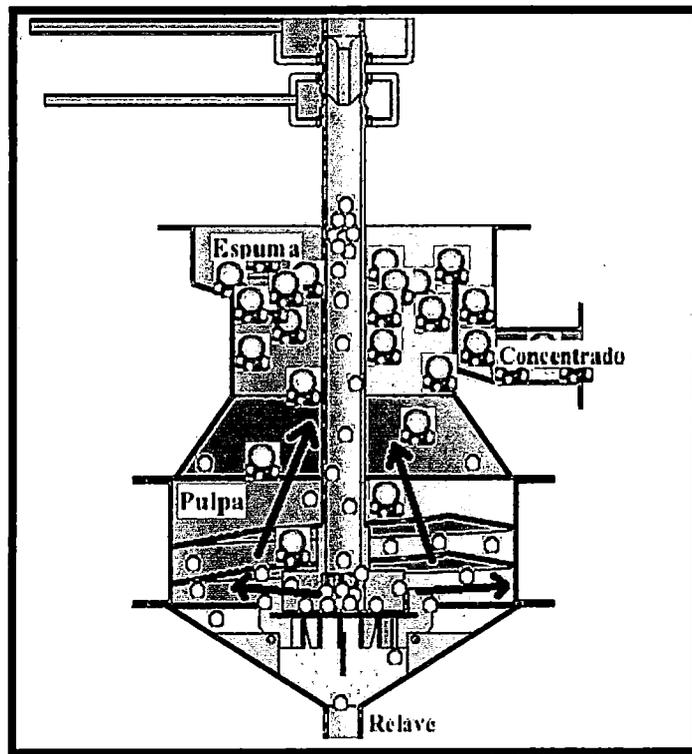
#### **4.10 BERNOULLI EN EL SISTEMA DE BURBUJAS**

En la práctica de la ingeniería química, metalúrgica y de los minerales los sistemas de reacción y procesamiento de fases múltiples, gas-líquido y gas-sólidos-líquido, son comunes en diferentes aplicaciones de esas áreas. En tales sistemas las características de las interfaces que se forman durante la dispersión de las fases, juegan un papel fundamental en los fenómenos que toman lugar durante el procesamiento de los materiales. En estos sistemas de procesamiento de materiales la magnitud del área de la interface gas-vapor determina la eficiencia de aquellos procesos controlados por la transferencia de masa en la interface; entonces, el tamaño de las burbujas producidas por unidad de gas alimentado al sistema de reacción define las propiedades del proceso en cuestión. A su vez, la distribución de los tamaños de las burbujas y su magnitud determinan las características asociadas con la dispersión de gas en los medios de reacción, tales como, la fracción de gas retenido en la dispersión, la velocidad superficial de las fases y sus distribuciones radiales, determinando todo ello las características hidrodinámicas y eficiencias en el sistema. De estas consideraciones, las dimensiones de las burbujas en un medio acuoso o en una pulpa sólidos-líquido, determinan en gran medida la eficiencia del proceso por lo que cualquier esfuerzo por controlar y predecir las dimensiones de las burbujas constituye una contribución importante al estado del arte.

Se construyeron y caracterizaron dos ductos como en el sistema de burbujas de gas tipo tobera, con orificio de descarga de abertura fija, dentro del eje vertical en la Celda RONI prototipo, como se ve en la figura (3.14) del Capítulo III, Los experimentos fueron realizados primero solo sin agua y sin pulpa, luego se realizaron solo con agua y posteriormente se realizaron con pulpa.

#### 4.11 DISPERSIÓN DE PULPA DENTRO DE LA CELDA RONI

Para determinar la dispersión es importante conocer la masa de las partículas que en este caso es  $2.80 \text{ g/cm}^2$ , donde los vectores de desplazamiento son en varias direcciones distintas al del peso de la partícula. Esta debe estar relacionada con la revolución del motor ya que su parte excedente que se calculó es del 10 % que favorece a la agitación y evita el asentamiento de las partículas en suspensión. Con todas estas variables tendremos un adecuado resultado. en la siguiente figura se observa la distribución de las burbujas dentro del eje principal así como también la pulpa dentro de las alas helicoidales en el interior de la Celda RONI, también se observa la dirección de la espuma por efecto de la tención superficial, esperamos los resultados positivos como en la figura siguiente.

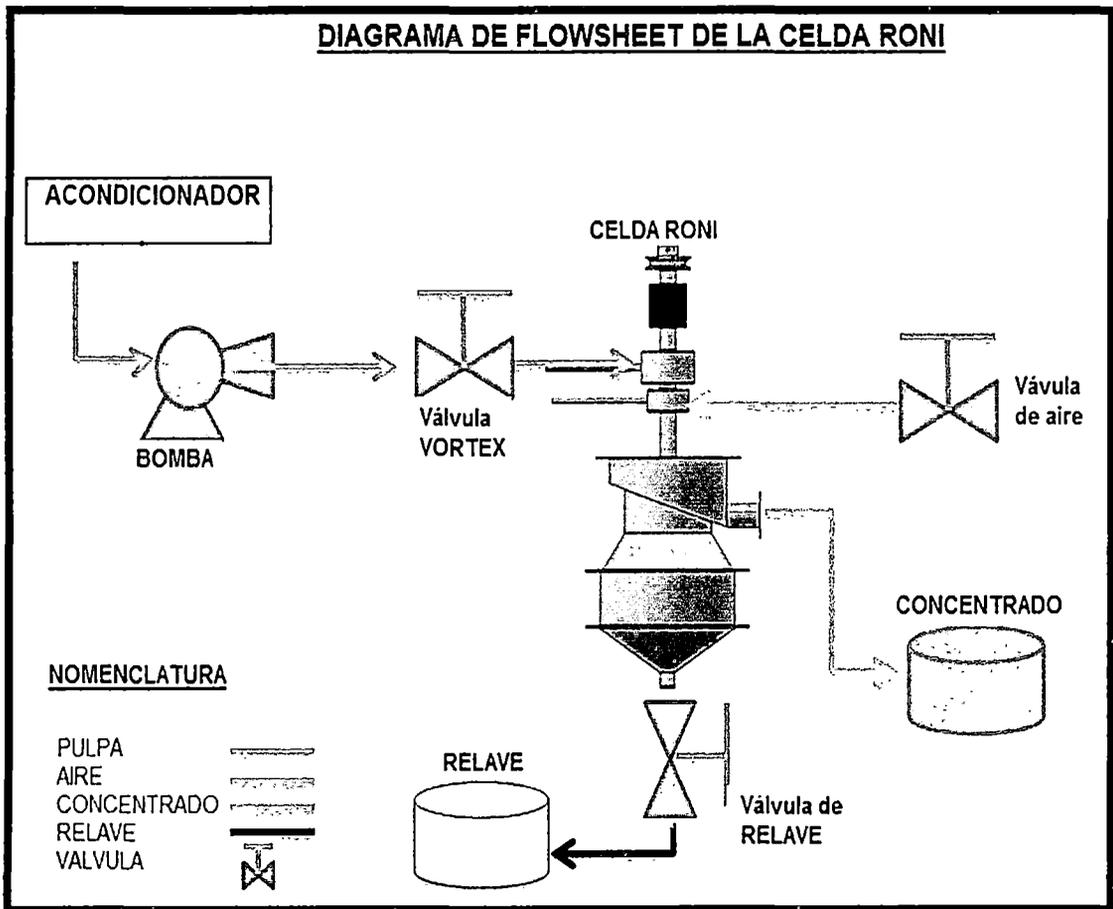


**Fig. 4.21** Distribución de burbuja en la pulpa

**Fuente:** Elaboración propia

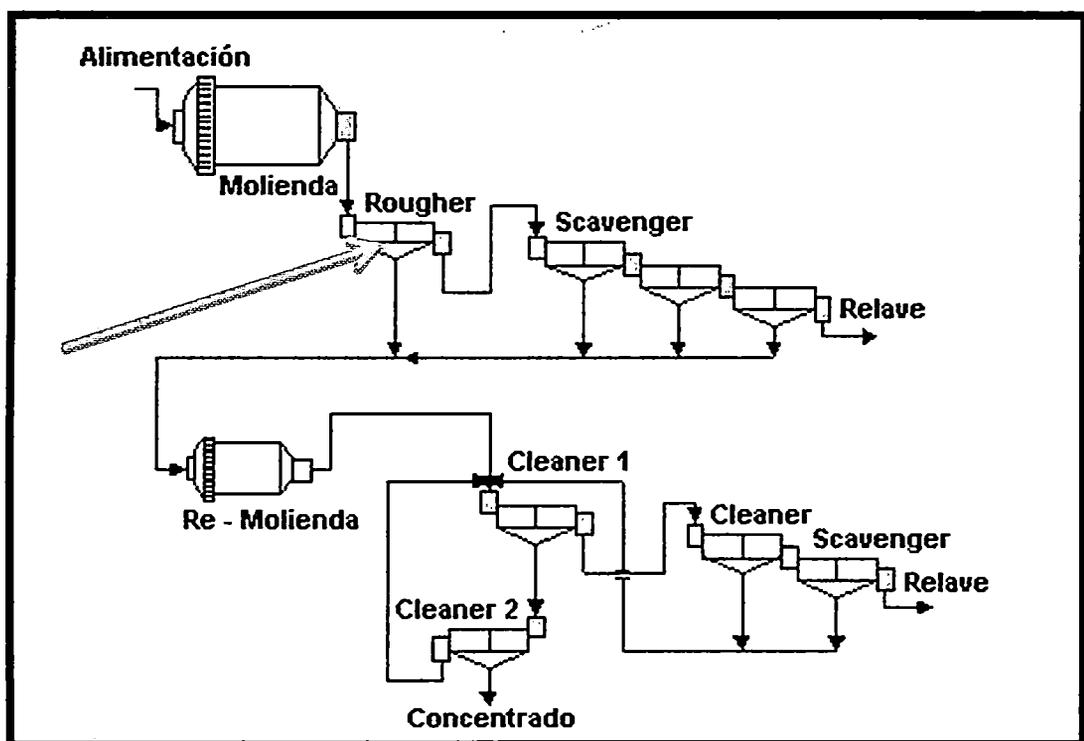
#### 4.12 BALANCE DE LA CELDA RONI

En el balance de la Celda RONI se tiene que entender el diagrama de flowsheet para realizar los flujos de entrada y salida así como también el producto que es el concentrado final de la recuperación de minerales sulfurados y en caso se utilizara minerales oxidados se concentra la solución obtenida de lixiviación por agitación. Como se observa en el siguiente diagrama.



**Fig. 4.22 Diagrama de flujo**  
**Fuente: Elaboración propia**

En esta parte se acondiciona primero, luego se abre la válvula de aire gradualmente y después la válvula de pulpa y una vez que está en un nivel adecuado se abre la válvula de relave y se procede a recuperar el concentrado.



**Fig. 4.23 Diagrama de flujo en planta:**

**Fuente: Elaboración propia:**

En este diagrama de flujo ubicamos nuestra Celda RONI en ROUGHER para dar una idea en el proceso de recuperación de los minerales sulfurados, donde recupera todo lo que pueda y después puede sustituir a las demás como la SCAVENGER y por último la CLEANER.

#### 4.13 CAPACIDAD OPERATIVA

Para la capacidad operativa de la Celda RONI se diseñó con un volumen total de 12 Lt y el sistema es continuo, con una alimentación de pulpa a ½ pulg de diámetro con un tiempo estándar de flotación de 8 min, donde la velocidad estándar es de 1  $cm^3/min$ . Y el tiempo de procesos es de 20 minutos. Estos son los valores estándar para luego realizar las pruebas respectivas de flotación y determinar si el diseño fue adecuado o falta determinar algunos parámetros de suma importancia.

Convertimos los 12 Lt en  $pies^3$ .

$$\text{Volumen de celda} = 12 \text{ Lt}$$

$$\text{Volumen de celda} = 0.48 \text{pies}^3$$

#### Calculo del flujo de la pulpa

$$T = \frac{V * N^{\circ} \text{ de celdas}}{F} \quad (4 - 4)$$

Dónde:

- T: Tiempo de flotación en minutos.
- V: Volumen de celda en  $ft^3$ .
- F: flujo de la pulpa en  $ft^3/min$ .

Reemplazamos de la ecuación de tiempo de flotación y obtenemos:

$$\text{Flujo de pulpa} = \frac{0.48 \text{pies}^3 * 1}{8 \text{ min}}$$

$$\text{Flujo de pulpa} = 0.06 \frac{\text{pies}^3}{\text{min}}$$

Los resultados del flujo de pulpa nos ayudaran para determinar el volumen necesario de pulpa.

#### 4.13.1 DESCRIPCIÓN DE LOS PLANOS

Los planos adjuntos a la tesis tienen por objetivo:

- Mostrar la disposición, funcionamiento, conexión y relaciones entre los diversos elementos que forman parte de la Celda RONI, esto es mostrado en los correspondientes planos de ensamble.
- Mostrar las formas y dimensiones, tolerancias y acabados superficiales para cada uno de los elementos con la finalidad de poder fabricar cada elemento para que cumpla su función de manera óptima. Esto se muestra en los correspondientes planos en cada elemento a fabricar. En el Anexo 1 se hallan la siguiente lista de planos.

**Tabla 4.2 Detalle de los planos**

<b>ID</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CÓDIGO</b>	<b>N° DE LÁMINAS</b>
1	Diseño de Soporte del Eje	A3 – TES01 – 1/5	1
2	Diseño del Eje Vertical	A4 – TES02 – 1/3	1
3	Diseño de Celda RONI	A3 – TES03 – 1/5	1
4	Diseño de Ingreso de Pulpa	A4 – TES04 – 1/2	1
5	Diseño de Ingreso de Aire	A4 – TES05 – 1/2	1
6	Diseño de Sistema de Burbujas	A4 – TES06 – 1/2	1
7	Diseño del Agitador A	A4 – TES07 – 1/2	1
8	Diseño del Agitador B	A4 – TES08 – 1/2	1
9	Diseño del Agitador C	A4 – TES09 – 1/2	1
10	Diseño parte Superior Cónica	A4 – TES10 – 1/5	1
11	Diseño parte Central de la Celda	A4 – TES11 – 1/5	1
12	Diseño del Ala Helicoidal	A4 – TES12 – 1/5	1
13	Diseño parte Inferior Cónica Invertido	A4 – TES13 – 1/5	1
14	Diseño de Rines del Eje Vertical	A4 – TES14 – 1/1	1
<b>NUMERO TOTAL DE PLANOS</b>			<b>13</b>

Fuente: Elaboración Propia

#### **4.14 COSTOS DE FABRICACIÓN**

Las investigación realizado en el laboratorio metalúrgico de la UNSAAC se observó, investigo, se planifico en la construcción de la Celda RONI, con la finalidad de tener gastos que sean considerados propios de fabricación y consideramos como presupuestos de la investigación, ya que la finalidad es obtener la celda construida para evaluar la posibilidad de aplicar en una flotación de minerales sulfurados o minerales oxidados. Por lo cual se observa en los siguientes cuadros.

##### **Consideraciones generales**

- Los Costos de Fabricación será la suma de los Costos de Diseño, los Costos de Adquisición y Fabricación de elementos y los Costos por Montaje del equipo.
- Los Costos de Diseño contempla las horas hombre utilizadas para realizar el desarrollo de Ingeniería del Proyecto, la Elaboración de Planos y la Recolección de datos.
- El Costo de Adquisición y Fabricación de los elementos estará compuesto por aquellos costos de los elementos estándares que pueden adquirirse directamente en el mercado sin necesidad de fabricación (pernos, correa, motor, sierras, rodamientos, etc.) más el costo de aquellos otros no estándares que requieren fabricación (Ejes, Carcaza, eje vertical, entre otros). Éstos últimos cotizados a todo costo (Material y mano de obra).
- En el Costo de Montaje se considera las horas hombre que demora el grupo de hombres en ensamblar todo el conjunto.
- La moneda considerada fue el Sol cotizado al mes de agosto del 2011. Los Costos Presentados no incluyen I.G.V.

### Costo de ingeniería

Los costos de ingeniería se resumen en la siguiente tabla.

**Tabla 4.3 Costos de Ingeniería**

<b>COSTO DE INGENIERÍA</b>					
ID	DESCRIPCIÓN	CANT.	UNID.	COSTO UNITARIO	COSTO PARCIAL
		CANT.	UNID.	C.U (S/.)	C.P.= (CANT)X(C.U.)
1	Desarrollo de diseño de la Celda RONI por el tesista	10	h-h	S/. 20.00	S/. 200.00
2	Elaboración de planos ensamble y detalles	5	h-h	S/. 10.00	S/. 50.00
3	Gasto por recopilación de datos	10	Glb.	S/. 68.00	S/. 680.00
4	Viajes hacia zonas industriales	6	Glb.	S/. 90.00	S/. 540.00
<b>COSTO TOTAL = <math>\sum(C.P.i)</math></b>					<b>S/. 1470.00</b>

Fuente: Elaboración propia

Costos de adquisición se resume en la siguiente Tabla.

**Tabla 4.4 Costos de adquisición y fabricación de elementos**

<b>COSTOS DE ADQUISICIÓN Y FABRICACIÓN DE ELEMENTOS</b>						
ID	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CANT.	UND.	P.U.(S/.)	P.P. (S/.)
1	Motor de 1HP	-	1	Unid.	S/.390.00	S/.390.00
2	Variador de velocidad	-	1	Unid.	S/.950.00	S/.950.00
3	Válvula de aire	-	1	Unid.	S/.35.00	S/.35.00
4	Válvula pa pulpa	-	1	Unid.	S/.20.00	S/.20.00

5	Correa de transmisión	A53	1	Unid.	S/.13.00	S/.13.00
6	Rines	Goma	12	Unid.	S/.6.5	S/.78.00
7	Seguros exteriores	ASTM A36	6	Unid.	S/.4.3	S/.25.80
8	Punto Azul	E6011	180	Unid.	S/.0.40	S/.72.00
9	Plancha 3/32"	ASTM A36	1	Unid.	S/.340.00	S/.340.00
10	Plancha 1/8"	ASTM A36	1/8	Unid.	S/.270.00	S/.33.75
11	Tubo cuadrado 4x4"	ASTM A36	1/8	Unid.	S/.130.00	S/.16.25
12	Plancha 3/8"	ASTM A36	1/16	Unid.	S/.250.00	S/.15.63
13	Rodajes 1 1/2"	SKF	4	Unid.	S/.8.00	S/.32.00
14	Poleas de aluminio	Al	2	Unid.	S/.10.00	S/.20.00
15	Tubo 1 3/8"	ASTM A36	1/4	Unid.	S/.55.00	S/.13.75
16	Tubo 2x2"	ASTM A36	1/4	Unid.	S/.45.00	S/.11.25
17	Tubo 3"	ASTM A36	1/16	Unid.	S/.60.00	S/.3.75
18	Acrílica	Pintura	1/8	Unid.	S/.25.00	S/.3.20
19	Tiñer	Diluyente	1/2	Unid.	S/.9.00	S/.4.50
18	Epoxica Gris	Pintura	1	Unid.	S/.180.00	S/.180.00
19	Epoxica	Diluyente	1	Unid.	S/.25.00	S/.25.00
20	Epoxica	Catalizador	1	Unid.	S/.65.00	S/.65.00
21	Baner	Estiquer	3	Unid.	S/.10.00	S/.30.00
22	Balde Acondicionador	Plástico	1	Unid.	S/.25.00	S/.25.00
23	Tubo de Acople	Plástico	2	Unid.	S/.15.00	S/.30.00
24	Manguera 3/4"	Plástico	1	Unid.	S/.5.00	S/.5.00
25	Niple 1/4"	ASTM A36	1	Unid.	S/.4.50	S/.4.50
26	Niple 1/2"	PBC	3	Unid.	S/.2.00	S/.6.00
27	Niple 3/4"	PBC	2	Unid.	S/.2.50	S/.5.00

28	Codo 1/2"	PBC	1	Unid.	S/.2.00	S/.2.00
29	Codo 3/4"	PBC	1	Unid.	S/.2.50	S/.2.50
30	Malla industrial	ASTM A36	1/8	Unid.	S/.70.00	S/.8.80
32	Remaches	ASTM A36	30	Unid.	S/.0.10	S/.3.00
33	Lijas	--	7	Unid.	S/.2.00	S/.14.00
34	Waipe	Algodón	1/4	Unid.	S/.8.00	S/.2.00
35	Grasa roja	--	1/4	Unid.	S/.20.00	S/.5.00
36	Mineral de plomo	Transporte	20	Kg.	S/.60.00	S/.60.00
<b>COSTO TOTAL</b>						<b>S/.2550.68</b>

Fuente: Elaboración propia

Costo por maquinaria se resume en la siguiente Tabla.

**Tabla 4.5 Costo por maquinaria y equipos utilizados**

<b>COSTO POR MAQUINARIA Y EQUIPOS UTILIZADOS</b>				
<b>ID</b>	<b>MAQUINA Y HERRAMIENTA</b>	<b>COSTO HORA</b>	<b>HORAS EQUIPO</b>	<b>COSTO PARCIAL</b>
1	Torno	S/.25.00	96	S/.2400.00
2	Soldadura eléctrica	S/.10.00	117	S/.1170.00
3	Oxi-corte	S/.7.00	3	S/.21.00
4	Esmeril	S/.3.00	14	S/.42.00
5	Taladro	S/.5.00	5	S/.25.00
6	Plegadora	S/.4.00	2	S/.6.00
7	Compresor	S/.2.00	14	S/.28.00
9	Rectificadora	S/.2.50	18	S/.45.00
10	Otros equipos	S/.6.00	30	S/.180.00
11	Herramienta manual	5% Mano de Obra		S/.195.85
<b>COSTO TOTAL</b>				<b>S/.4112.85</b>

Fuente: Elaboración propia

Costos de montaje se resume en la siguiente tabla.

**Tabla 4.6 Costos de montaje**

<b>COSTOS DE MONTAJE</b>					
<b>ID</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>COSTO UNITARIO</b>	<b>COSTO PARCIAL</b>
		<b>CANT.</b>	<b>UND.</b>	<b>C.U (S/.)</b>	<b>C.P.=(CANT)X(C.U.)</b>
1	Maestro Tornero	56	h-h	40	S/. 2240
2	Maestro mecánico	23	h-h	20	S/. 460
3	Compañero de estudios	35	h-h	20	S/. 700
<b>COSTO TOTAL = <math>\sum(C.P. i)</math></b>					<b>S/. 3400</b>

Fuente: Elaboración propia

Costo total de fabricación se resume en la siguiente tabla.

**Tabla 4.7 Costo total de fabricación**

<b>COSTO TOTAL DE FABRICACIÓN</b>					
<b>ID</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>COSTO UNITARIO</b>	<b>COSTO PARCIAL</b>
		<b>CANT.</b>	<b>UND.</b>	<b>C.U (S/.)</b>	<b>C.P.=(CANT)X(C.U.)</b>
1	Costo de ingeniería	1	Glb.	S/. 1480.00	S/. 1480.00
2	Costos de adquisición y fabricación de elementos	1	Glb.	S/.2550.68	S/.2550.68

3	Costo por maquinaria y equipos utilizados	1	Glb.	S/.4112.85	S/.4112.85
4	Costos de montaje	1	Glb.	S/. 3400.00	S/. 3400.00
<b>COSTO TOTAL =<math>\sum(C.P.i)</math></b>					<b>S/.11543.53</b> <b>\$ 4152.35</b>

**Fuente: Elaboración propia**

### **Costo de inversión aproximado.**

El costo aproximado de construcción de la Celda RONI, se invirtió a la suma de (Once mil Quinientos Cuarenta y tres con 53 /100 Céntimos). (**S/.11543.53**), en toda la infraestructura.

### **4. 15 COSTO DE MANTENIMIENTO DE LA CELDA RONI**

Para la parte de mantenimiento el equipo cuenta con elementos rotatorios como poleas, motor, eje vertical, correa, tuercas, gomas de la celda, válvulas de pulpa y de aire, cañerías, manómetro, variador de velocidad, rines, bujes y rotores, como también las partes a controlar seriamente es la limpieza en los ductos de aire y más aún en el ducto de la pulpa para no tener ningún tipo de obstrucción ni interrupciones durante el funcionamiento de la celda. Necesitaremos mano de obra especializada que tiene un precio diario de S/. 44.00 ver tabla 4.9, necesitando 2 personas para el mantenimiento en un día, el mantenimiento se realiza una vez por mes que viene hacer necesario de acuerdo las recomendaciones del fabricante de los equipos como también al modo de uso y circunstancias climáticas de nuestra ciudad, teniendo también los gastos de los insumos y suministros que se

necesitara para el mantenimiento que se estima en unos S/. 200.00, los datos a continuación se toman anualmente.

**Tabla4.8 Costo de mantenimiento**

<b>COSTO DE MANTENIMIENTO</b>	
<b>Descripción</b>	<b>Total anual (S/.)</b>
Materiales	500
Mano de obra	1000
<b>Total</b>	<b>1500</b>

**Fuente: Elaboración propia**

#### **4. 16 COSTO DE CONSUMO DE ENERGÍA DE ALIMENTACIÓN**

Para determinar el costo de energía eléctrica de alimentación necesitamos el consumo de energía en cada uno, el motor de 1HP y la compresora de 1HP, donde  $1HP = 745.7 \text{ Watts}$ . Estimamos en 1.491KW-h de los dos equipos y el costo por KW-h en zonas industriales que viene a ser S/. 0.35 nuevos soles. Por lo tanto el costo por consumo de energía eléctrica es S/. 0.52 por hora y en 24 horas será S/. 12.48.

#### **4.17 COSTO DE OPERACIÓN**

Los costos de operación incluyen. El empleo de reactivos, mano de obra, volumen del mineral, agua y mantenimiento. El incremento de estos requerimientos se ve reflejado en un aumento de los costos de operación. Como se observa en la tabla siguiente.

**Tabla 4.9 Costo de operación**

<b>N°</b>	<b>Descripción</b>	<b>Total por operación</b>
1	Reactivos	S/. 10.00
2	Mineral de 15 Kg.	S/. 10.00
3	Agua	S/. 1.00
4	Mano de obra.	S/. 20.00
5	Mantenimiento	S/. 3.00
<b>TOTAL</b>		<b>S/. 44.00</b>

**Fuente: Elaboración propia**

## **CAPITULO V**

### **PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DE LA CELDA**

#### **5.1 PUESTA EN MARCHA DE LA CELDA RONI**

La celda y sus accesorios deben ser inspeccionados antes de iniciar la operación para asegurar que ningún resto de partícula de la fabricación ha sido dejado en el interior de los instrumentos o en la propia celda, las líneas de alimentación de la pulpa deben ser lavados y de aire limpiados correctamente, para remover solidos extraños.

Las pruebas de funcionamiento se correrán en la Carrera Profesional de Ingeniera Metalúrgica, en el aula IMT - 105 por razones tecnicas. En la sección (4.8.1.1) Bomba de alimentación de la pulpa, es uno de los instrumentos no utilizados y estas son razones donde se instalara correctamente todos los accesorios listos para una flotación continua.

### **5.1.1 PARALIZACIÓN DE LA CELDA RONI**

Se recomienda lavar cuidadosamente la celda por un periodo reducido de tiempo, porque esto evitara retención de sólidos en el sistema y pueda causar problemas posteriores.

Se recomienda seguir los siguientes pasos:

- Se recomienda reducir gradualmente la alimentación de la pulpa, reduciendo el nivel de pulpa con la Válvula Vortex.
- Se recomienda reducir la válvula de suministro de aire.
- Se recomienda ingresar el agua limpia por la admisión de pulpa para realizar la acción de lavado de la Celda RONI y continuar operando hasta que todo el sistema se encuentre limpia.
- Se recomienda cortar la alimentación de agua hacia la Celda RONI.

### **5.2 PRUEBA INICIAL CON AGUA**

- Cuando se opera la celda por primera vez, o después de una paralización prolongada, en la cual la celda ha llegado a secarse, es recomendable iniciar las operaciones con agua para verificar los sistemas operativos.
- Suministrar flujo suficiente agua en la Celda RONI. Serrar la válvula de agua y abrir la válvula de drenaje (relave), verificar que las descargas de relave y de concentrados estén operativas.
- Cerrar la válvula de suministro de aire a flotación.
- Serrar la válvula de drenaje de la celda, poner en operaciones y abrir la válvula de drenaje (relave).

### 5.3 PRUEBAS DE SELECCIÓN DE AGITADORES

En la prueba de selección de los agitadores se realiza primero con agua, y luego con la pulpa para ver la dispersión de las partículas en suspensión, primero se instala el Agitador A para realizar las pruebas luego el Agitador B y por último el Agitador C.

En esta prueba se instala primero el Agitador A en el eje vertical, luego se introduce el agua en la Celda RONI hasta un cierto nivel. Para trabajar con datos exactos se midió en la probeta de 1000 ml con un resultado de 12000 ml equivalente a 12 Lt. Posteriormente se conecta energía eléctrica para encender la celda. Luego se coloca la celda en el soporte del equipo y se baja el eje vertical con la manija que se ubica en el soporte del equipo. Posteriormente se coloca un recipiente para recepcionar el agua excedente después de su agitación.

Al momento de encender la celda se aumenta las rpm gradualmente para no causar remolinos en el interior de la celda, observamos detenidamente de que el grado de agitación es aceptable como se ve en la figura.

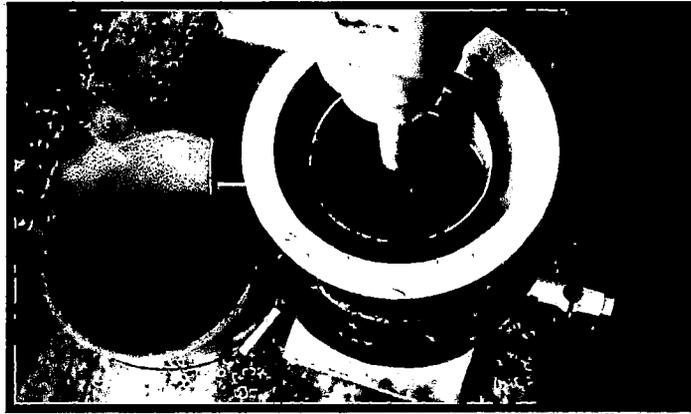
Durante un tiempo determinado de 10 min con 1000 rpm se apaga el equipo y posteriormente se mide el agua excedente en la misma probeta. Como se observa en la tabla de los resultados.

**Tabla 5.1 Prueba de selección de agitadores**

AGITADORES	TIEMPO (MIN)	REVOL. (RPM)	NIVEL AGUA Lt.	PERD. AGUA ml.	PERD. EN %
A	10	1000	12	2360	19.666
B	10	1000	12	2211	18.425
C	10	1000	12	1975	16.458

**Fuente: Elaboración propia**

Esto cabe indicar que el Agitador A es de más turbulencia que los demás, pero el resultado es solo con agua, por lo tanto trabajaremos en las pruebas preliminares con el Agitador A.



**Fig. 5.1 Pruebas de agitación con agua en la celda**

Las causas principales del agitador en que las rpm son altas, es de que la ranura del RIN falta rectificar, es un defecto de construcción y se rectificó limando poco a poco las ranuras y así se hizo. Para realizar las pruebas preliminares se prepara todas las variables controlables con el fin de obtener buenos resultados.



**Fig. 5.2 Instalación de la celda para la prueba de funcionamiento**

## Instalando la Celda para las pruebas de funcionamiento

Para la puesta en marcha se tuvo que instalar la compresora del laboratorio IMT-101 y probar con agua primero en un balde con agua y posteriormente en la Celda RONI, donde se nota que la agitación es muy distinta en ambos casos.

En el balde, la formación de un embudo de la superficie del agua a 600 rpm. Mientras que en la Celda no se forma ese embudo a las mismas revoluciones sino se mantiene el nivel de agua. Pero cuando aumentamos a 1300 rpm se empieza a formar el embudo.

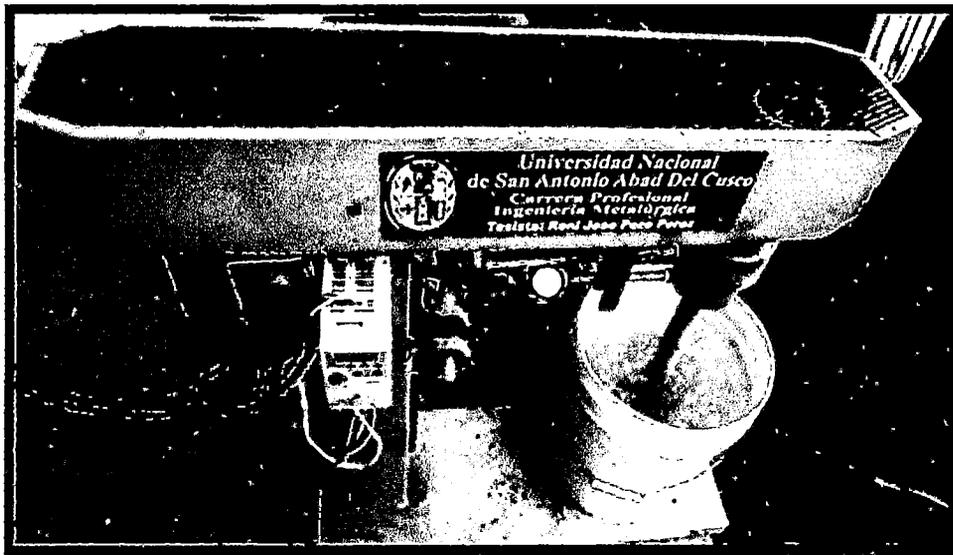
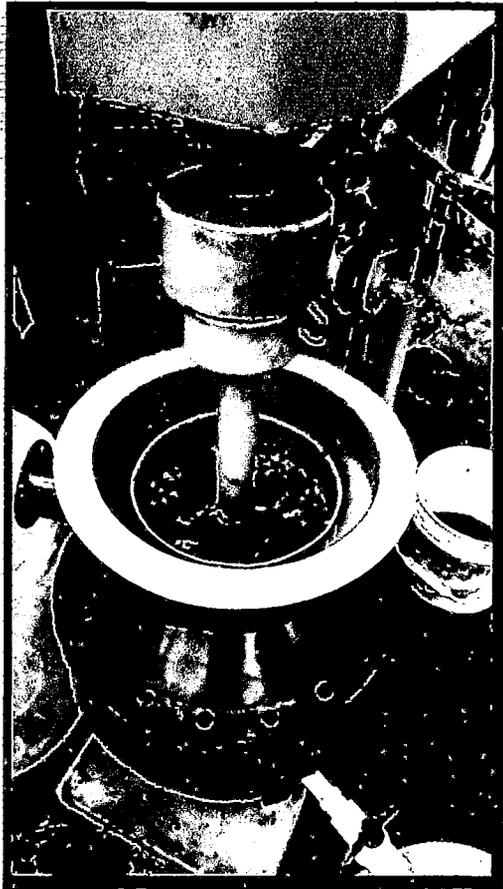


Fig. 5.3 Pruebas de agitación en el balde

La agitación correcta es en la Celda RONI, como se observa en la figura siguiente.



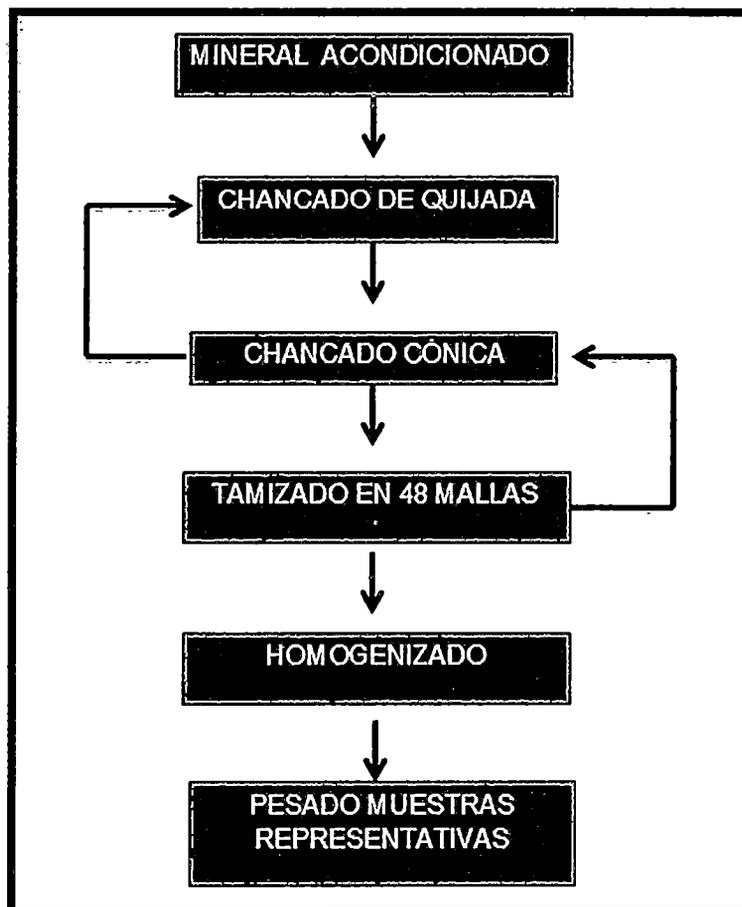
**Fig. 5.4 Pruebas de agitación en la Celda RONI**

## **5.4 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DE LA CELDA DE FLOTACIÓN**

### **Condiciones operativas de la primera prueba de flotación**

Para determinar una correcta prueba de flotación preliminar se determinan los cálculos para realizar las pruebas metalúrgicas, durante la operación describiremos las condiciones más importantes y necesarias para correr las pruebas, donde se terminarán la eficiencia y la aplicación de la celda en dicho mineral. El mineral utilizado es galena una de las especies mineralógicas más flotables, este tomamos como referencia para las pruebas futuras, si algún tesista realiza otras investigaciones con respecto a nuestra

Celda RONI deberá tener en cuenta el manual de uso del equipo donde se encuentra las instrucciones de operación, seguridad y su mantenimiento respectivo.



**Fig. 5.5 Procedimiento de preparación del mineral.**

**Fuente: Elaboración propia.**

### **Determinando los reactivos para la prueba metalúrgica.**

Para determinar los reactivos adecuados para la flotación del mineral de galena (sulfuro de plomo), se observó macroscópicamente el mineral y se determina los reactivos necesarios para el mineral es de 15 Kg.

## Colectores

Se sabe que los colectores Zantato Z-11 flotan todo tipo de sulfuros, donde se han obtenido aplicaciones muy exitosas en la flotación de minerales sulfurados en este caso la flotación se debería realizar con un pH=8.

*Hallando Z-11*

$$Z - 11 = 60 \text{ g/TM}$$

$$Z - 11 = 15 \text{ Kg} * \frac{60 \text{ g}}{1000 \text{ Kg}}$$

$$Z - 11 = 0.915 \text{ g}$$

Con respecto al promotor AEROFLOAT 31, este reactivo tiene un gran poder de flotación en una gran variedad de minerales, su dosificación varía de 0.020 – 0.1 Kg/TM

*Hallando A-31:*

$$A - 31 = 20 \text{ g/TM}$$

$$A - 31 = 15 \text{ Kg} * \frac{20 \text{ g}}{1000 \text{ Kg}}$$

$$A - 31 = 0.3 \text{ g}$$

## Modificadores

Este compuesto favorece o invalida la acción del colector sobre la superficie del mineral y se crea en la superficie del mineral condiciones

propicias para efectuar una flotación satisfactoria. Durante la flotación de galena adicionaremos la cal.

*Hallando la cantidad de Cal:*

$$Cal = 1 Kg/TM$$

$$Cal = 15 Kg * \frac{1 Kg}{1000 Kg}$$

$$Cal = 15 g$$

Durante la flotación, la cantidad de cal determinada no se añadió, por lo cual se floto sin Cal. Como nos olvidamos la cal su pH era de 6.5 a 7 ligeramente acida y disminuye la eficiencia de los colectores y espumantes. También la eficiencia de la celda en su primera prueba metalúrgica.

## **Espumantes**

En nuestra prueba de flotación preliminar es importante determinar la cantidad de los colectores y espumantes para poner en marcha la Celda RONI. En consecuencia el objetivo fundamental en esta práctica, es determinar su eficiencia si nuestro equipo funciona o no funciona y si no funciona cual sería los factores que influyen dicho problema, para proporcionar una recuperación adecuada u optima en este caso, sin dejar de lado la selectividad. Nuestro espumante en este caso sería el Aceite de Pino.

*Hallando el Aceite de Pino:*

$$Aceite de Pino = 50 g/TM$$

$$Aceite de Pino = 15 Kg * \frac{50 g}{1000 Kg}$$

$$Aceite de Pino = 0.75 g$$

### Calculo para la dosificación de los reactivos

Hallamos los cálculos correspondientes para cada reactivo como son Z-11, A-31 y Aceite de pino. La cantidad necesaria para utilizar en la prueba preliminar de la Celda RONI.

Para Z-11 al 5% de solución.

$$Z - 11 = 0.915 \text{ g } Z - 11 * \frac{100 \text{ cc}}{5 \text{ g}}$$

$$Z - 11 = 18.3 \text{ cc al } 5\%.$$

Para A-31 Puro.

$$A - 31 = 0.3 \text{ g } A - 31 * \frac{1 \text{ cc}}{1.1 \text{ g}} * \frac{20 \text{ gotas}}{1 \text{ cc}}$$

$$A - 31 = 5.455$$

$$A - 31 = 6 \text{ gotas Puro.}$$

Para Aceite de Pino puro:

$$\text{Aceite de Pino} = 0.75 \text{ g A.P.} * \frac{1 \text{ cc}}{0.95 \text{ g}} * \frac{20 \text{ gotas}}{1 \text{ cc}}$$

$$\text{Aceite de Pino} = 15.79 \text{ gotas}$$

$$\text{Aceite de Pino} = 16 \text{ gotas Puro.}$$

En la siguiente tabla mostramos las condiciones operativas de las pruebas metalúrgicas.

**Tabla 5.2 Condiciones de operación**

<b>Etapa de molienda</b>	
Peso de muestra seco (100%-100 malla)	15 Kg
Tiempo de molienda	18 min
<b>Etapa de flotación</b>	
Para flotación. Celda Roni	12 Lt
Porcentaje de solidos	30%
Densidad de pulpa	1300 g/lit
Peso de muestra seco	447.76
Agua	852.24
pH	8
Colector Z-11 5 % de solución.	18 gotas
Colector A-31	6 gotas Puro
Espumante Aceite de Pino Puro	16 gotas
Tiempo de acondicionamiento	5 min
RPM de acondicionamiento	1000 rpm
RPM de flotación	900 rpm
Tiempo de flotación	20 min
Remoción de espumas	Cada 10 seg.

**Fuente: Elaboración propia**

### **Hallando el cuadro de pulpa**

El cuadro de pulpa para nuestra Celda RONI, se tiene que tomar datos estándares para su operación. En ella calcularemos cuanto de mineral se requerirá para correr las pruebas de flotación y que cantidad de agua es necesaria en la Celda RONI y cuál es la condición adecuada de nuestra pulpa.

**Tabla 5.3 Cuadro de pulpa**

	Para 1 Lt de pulpa		Para 20 min de trabajo	
	Peso (g)	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Peso (g)	Volumen (cm <sup>3</sup> )
<b>Mineral</b>	447.76	149.25	14.552	4.802
<b>Agua</b>	852.24	850.75	27.698	27.698
<b>Pulpa</b>	1300	1000	42.250	32.500

**Fuente: Elaboración propia**

$$W = 1300 \text{ g/Lt}$$

$$S = 3.00 \text{ g/cm}^3$$

Donde la constante de solidos: (K)

$$K = \frac{S - 1}{S} \tag{5 - 1}$$

$$K = \frac{3.00 - 1}{3.00}$$

$$K = 0.67$$

Calculamos el peso del mineral: (W)

$$W = \frac{W - 1000}{K} \tag{5 - 2}$$

$$W = \frac{1300 - 1000}{0.67}$$

$$W = 447.76 \text{ g}$$

Calculando el volumen del mineral: (V)

$$V = \frac{W}{S} \tag{5 - 3}$$

$$V = \frac{447.76}{3.00}$$

$$V = 149.25 \text{ cm}^3$$

Sabemos de la ecuación (4 – 4) flujo de la pulpa.

$$F_{pulpa} = 0.060 \text{ pies}^3/\text{min}$$

Convirtiendo de pies a litros.

$$F_{pulpa} = 1.699 \text{ lt}/\text{min}$$

Ahora necesitamos el volumen necesario de pulpa.

$$V_{pulpa} = 1.625 \frac{\text{Lt}}{\text{min}} * 20 \text{ min}$$

$$V_{pulpa} = 32.500 \text{ Lt.}$$

Hallamos el peso de pulpa.

$$P_{pulpa} = V * W \tag{5 - 4}$$

$$P_{pulpa} = 32.500 \text{ Lt} * 1300 \frac{\text{g}}{\text{cm}}$$

$$P_{pulpa} = 42.250 \text{ Kg de pulpa}$$

Determinamos el peso del mineral necesario.

$$P_{necesario} = 42.250 \text{ Kg pulpa} * \frac{447.76 \text{ g}}{1300 \text{ g pulpa}}$$

$$P_{necesario} = 14.552 \text{ Kg}$$

$$P_{necesario} = 15 \text{ Kg}$$

## Resultados de la prueba de flotación.

En el siguiente cuadro se observa los resultados de la primera prueba de flotación, en este caso es mineral de galena.

Datos principales.

- Peso de concentrado : 1.8 Kg.
- Ley de cabeza de la tabla (5.3) : 5.07 % de Pb.

Luego de la prueba de flotación se envió las muestras del concentrado y el relave a LAS, ver Anexo 3. Para determinar el % de Recuperación y concluir si justifica o no.

**Tabla 5.4 Informe de Ensayo LAS.**

Muestra	% de Pb
Ley de concentrado	32.1
Ley de relave	1.55

**Fuente: Laboratorios Analíticos del Sur**

Con los datos del laboratorio se determina el balance metalúrgico.

**Tabla 5.5 Balance Metalúrgico.**

	Peso Kg.	Ley %.	Cont. Met. Kg.	R %	K
<b>Cabeza</b>	15.000	5.07	0.7605	100	8.6789
<b>Concentrado</b>	1.800	32.10	0.5778	<b>75.9763</b>	1
<b>Relave</b>	13.200	1.55	0.2046	24.0236	7.6789
<b>Cabeza calculada</b>	<b>15.000</b>	<b>5.216</b>	<b>0.7824</b>		

**Fuente: Elaboración propia**

Hallando la constante.

$$K = \frac{\text{Ley Concentrado} - \text{Ley Relave}}{\text{Ley Cabeza} - \text{Ley Relave}} \quad (5 - 5)$$

$$K = \frac{32.10 - 1.55}{5.07 - 1.55}$$

$$K = 8.6789 \text{ Kg}$$

Hallando peso de concentrado.

$$K = \frac{F}{C} \quad (5 - 6)$$

$$C = \frac{15.000}{8.6789}$$

$$C = 1.728 \text{ Kg}$$

Contenido de concentrado de plomo.

$$Pb = \frac{\text{Ley Conc.} * \text{Peso Conc.}}{100} \quad (5 - 7)$$

$$Pb = 0.5778 \text{ Kg}$$

$$\% R = \frac{Pb \text{ Conc.}}{Pb} * 100 \quad (5 - 8)$$

$$R = \frac{0.5778}{0.7605} * 100$$

$$R = 75.976 \%$$

## 5.5 IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES

Durante la prueba de funcionamiento se trabajó con todos sus instrumentos de la celda (Sección 4.8 Pág. 126), con los suministros de pulpa y aire, también con los agitadores así como también el diseño mismo de la celda, donde se manipulo adecuadamente.

Nuestra celda está diseñada para tratar minerales sulfurados. El proceso de flotación depende de diversas variables operacionales, a nivel de diseño los más esenciales son.

- **Velocidad periférica del agitador:** No se sedimenta y el aire se distribuye uniformemente dentro de la celda.
- **Velocidad de pulpa:** Donde el sólido y agua componen pulpas espesas y diluidas con un rango entre,  $>1200$  y  $< 1300$ .
- **pH:** Relacionado con el grado de acides y basicidad de la pulpa.
- **Tamaño de partícula:** Cuanto puede tratar nuestra celda con límites mayores y menores de partículas,  $-48\mu$  y  $+400\mu$ .
- **Tamaño de burbujas:** El tamaño de burbujas producidas en el eje principal es una gran ventaja para la flotación.

La variable más significativamente es la eficiencia del proceso de separación, el tamaño promedio de burbujas y su distribución. El sistema de burbujas (Sección 3.2.4.2, Pág. 80) genera una condición adecuada de tamaño de burbujas, probablemente  $d_b > 2\text{ mm}$  está sujeta a elección de variables de operación según el mineral tratado. En la (sección 4.7 Pág. 123) se describe brevemente los principios de operación de la Celda RONI. Para realizar el estudio adecuado se tiene las variables a nivel de diseño más importantes para realizar las pruebas metalúrgicas.

En la (sección 3.1.2 Pág. 63) se describe brevemente las variables de diseño en las que estuvo basado, por ende identificamos las variables adecuado a la primera prueba de flotación, procurando mantener las condiciones uniformes el mayor tiempo posible, verificando la correcta operación del equipo y sobre todo la correcta toma de muestras.

## **5.6 RENDIMIENTO DE LA CELDA RONI**

En el rendimiento de nuestra Celda RONI no se encontró alguna fórmula específica de como demostrar el rendimiento con precisión. Por lo tanto hemos visto por conveniente de que la vida útil depende del revestimiento anti ácidos y reactivos así como también el estado de los rodamientos, motor, eje vertical, el variador de velocidad y también los rines y la celda misma.

También se debe tener en cuenta de su rendimiento en la recuperación de concentrados o tal vez su recuperación es relativamente baja.

Con respecto de su alimentación depende mucho la granulometría de la pulpa y la salida de relave, cuanto se pierde o tal vez no fue triturada adecuadamente las partículas del mineral, todo esto nos da un resultado más específico en su ley.

En la vida de nuestra celda el desgaste estará presente siempre ya que trabajamos con granulometrías de 100 um y la única solución es remplazar las secciones desgastadas con otras partes nuevas o en todo caso hacer una mejora.

Para ello se debe leer el manual de mantenimiento y el manual de operación.

## 5.7 CAPACIDAD DE TRATAMIENTO

Para determinar la capacidad de tratamiento de nuestra Celda RONI, partimos de los 15 Kg de tratamiento en un tiempo de 20 min, como se observa en la Tabla (5.1).

$$\text{Cap. Tratamiento} = \frac{60 \text{ min} * 15 \text{ Kg}}{20 \text{ min}}$$

$$\text{Cap. Tratamiento} = 45 \text{ Kg por Hora.}$$

## 5.8 EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS

Las pruebas de funcionamiento tenían como objetivo principal verificar el buen funcionamiento de la celda de flotación, la operatividad del mismo, el entrenamiento de los ayudantes, tomar conocimientos de las variables en general del proceso, tareas que se han cumplido satisfactoriamente.

Para esta prueba se realizó la prueba con agua y con mineral de galena, con condiciones de operación, a criterio del investigador, los resultados obtenidos se aprecian en la tabla 5.5 Pág. (159).

Los concentrados tienen buenas leyes de plomo compatibles con otras celdas de flotación, pero sería necesario mejorar las recuperaciones. De la prueba corrida se seleccionan las variables más representativas como se observa en la sección 5.5 Pág. (161) a nivel de diseño son los más esenciales.

## **CONCLUSIONES**

- I. El diseño de la celda de flotación por aire forzado permite procesar minerales sulfurados a capacidades razonables y versátiles, compatible con otros tipos de celdas de aire forzado.
- II. Es de fácil construcción y escalable a distintas capacidades por su forma, emplea materiales que existen en nuestro medio.
- III. Es de fácil operatividad en cuanto a su funcionalidad permite obtener concentrados en forma continua de igual manera que desechar los relaves, continuamente por la parte inferior, fluidinamicamente trabaja en forma continua.
- IV. La evaluación de las pruebas de flotación realizadas nos permiten concluir que se logra altas recuperaciones (mayor del 75%). Para minerales sulfurados, buena calidad de concentrado.

## **RECOMENDACIONES**

- Se deberá realizar pruebas de pilotaje con la Celda RONI ya sea en el laboratorio de la Carrera Profesional de Ingeniería Metalúrgica – UNSAAC, o en otras plantas del país.
- Previo a la concentración se debe leer el manual de operaciones antes de provocar algún accidente con la Celda.
- Manejar adecuadamente las variables de operación, para una prueba de flotación o lixiviación por agitación a nivel de investigación.
- No se debe descuidar el mantenimiento del equipo, así como de cambiar cada cierto tiempo las piezas que sufren desgaste, como por ejemplo las gomas de los rines que se desgastan en cada operación y también introducir lubricantes como grasa para evitar el deterioro de los rodetes.
- De igual forma será necesario investigar la eficiencia de la Celda Roni en los circuitos de Rougher y Scavenger.
- Aquellas personas que deseen investigar recomendamos mejorar el prototipo de diseño así como también la aplicación de nuestra celda.
- Esta tesis es aplicable para enseñanza de actividades académicas y de investigación a nivel de laboratorio.

## **BIBLIOGRAFÍA**

### **LIBROS**

1. AQUILES FIGUEROA, VÍCTOR VEGA; Eusebio Dionisio, Manuel Caballero, Héctor Villacorta, Luis Moreno. **Construcción de un prototipo de celda de flotación a escala piloto.** Revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG, 1(2) 1-11. 2008.
2. CASTRO SERGIO. **Estado del arte de la flotación de minerales,** Tercera edición, 2010.
3. HUMBERTO GUTIÉRREZ P. Román de la Vera Salazar, **Análisis y diseño de experimentos,** México.2004
4. HORI. JUAN J. **Diseño de elementos de máquinas,** Quinta edición. UNMSM, 2008.
5. KELLY G. ERROI, David S. Spottiswood, 1990, **Introducción al procesamiento de minerales,** Mexico.
6. MANZANEDA CABALA JOSE, 1996, **Aproximación Racional en Flotación con Diseño Experimental,** Lima, Perú.
7. MAMANI FLORES ABSALON R., 1988, **Manual de flotación de minerales,** Lima, Perú.
8. SUTULOV ALEXANDER, 1963, **Flotación de Minerales,** Universidad de Concepción, Chile.
9. Richard G. Budynas. **Diseño en ingeniería mecánica de shigley.** Octava edición. 2010.
10. SERGIO CASTRO. **El estado del arte de la flotación de minerales.** Simposio Internacional de Mineralurgia y Metalurgia Extractiva, TECSUP. 105 – 130.2010.

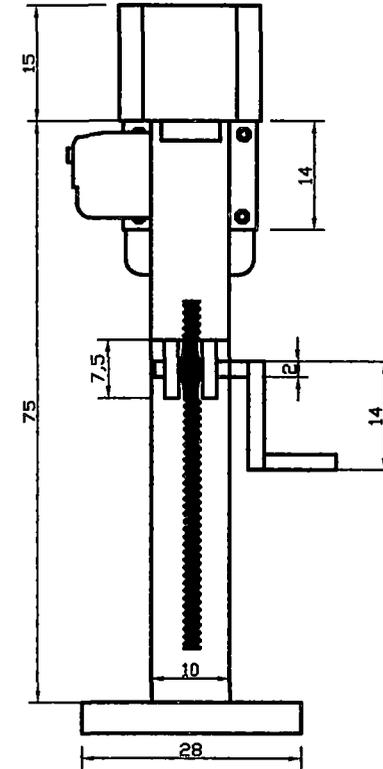
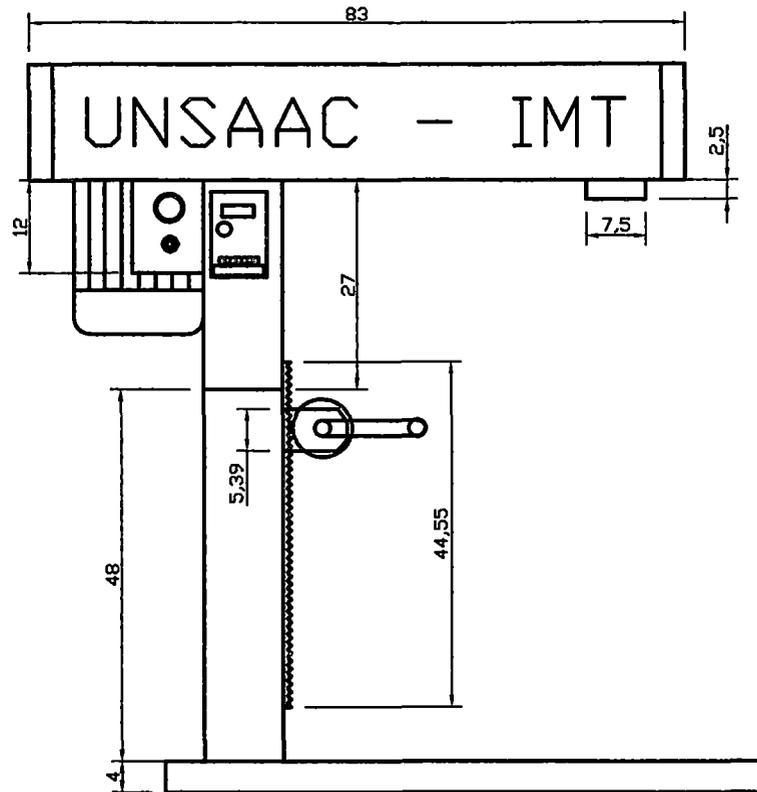
## TESIS

1. LOLI FIGUEROA. **Celda de flotación de nueva generación, prototipo, pilotaje y evaluación.** Tesis de Maestría 2005. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima.
2. NARVAEZ OSCAR. **Diseño de una maquina desmontadora de algodón para la variedad tanguis.** 2009, disertación en Ing. Mecánica Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima.

## INTERNET

1. Aguamarket y Cía. Ltda. Vortex Flowmeter. Disponible en: <http://www.aguamarket.com/productos/productos.asp?producto=17365&nombreactivo=> Acceso el 23 de octubre de 2013.
2. Dávila N. Principios de fluidización. Disponible en: [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lim/davila\\_n jr/capitulo3.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lim/davila_n jr/capitulo3.pdf) Acceso el 23 de octubre de 2013.
3. ICSID. Diseño Industrial Introducción al concepto de diseño. Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/14435351/Concepto-de-Diseño> Acceso el 23 de octubre de 2013.
4. Museo de Arte Precolombino, Cuzco, Perú. Disponible en: [http://es.wikipedia.org/wiki/Ar%C3%ADbalo\\_incaico](http://es.wikipedia.org/wiki/Ar%C3%ADbalo_incaico) Acceso el 23 de octubre de 2013.

**ANEXO 1**  
**PLANOS DE LA CELDA RONI**



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO  
 FIGIMTL - CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA METALURGICA

TEMA: DISEÑO Y CONSTRUCCION A NIVEL DE LABORATORIO  
 DE UNA CELDA DE FLOTACION POR AIRE FORZADO APLICADO  
 A MINERALES SULFURADOS DE COBRE

ESCALA  
 1:5

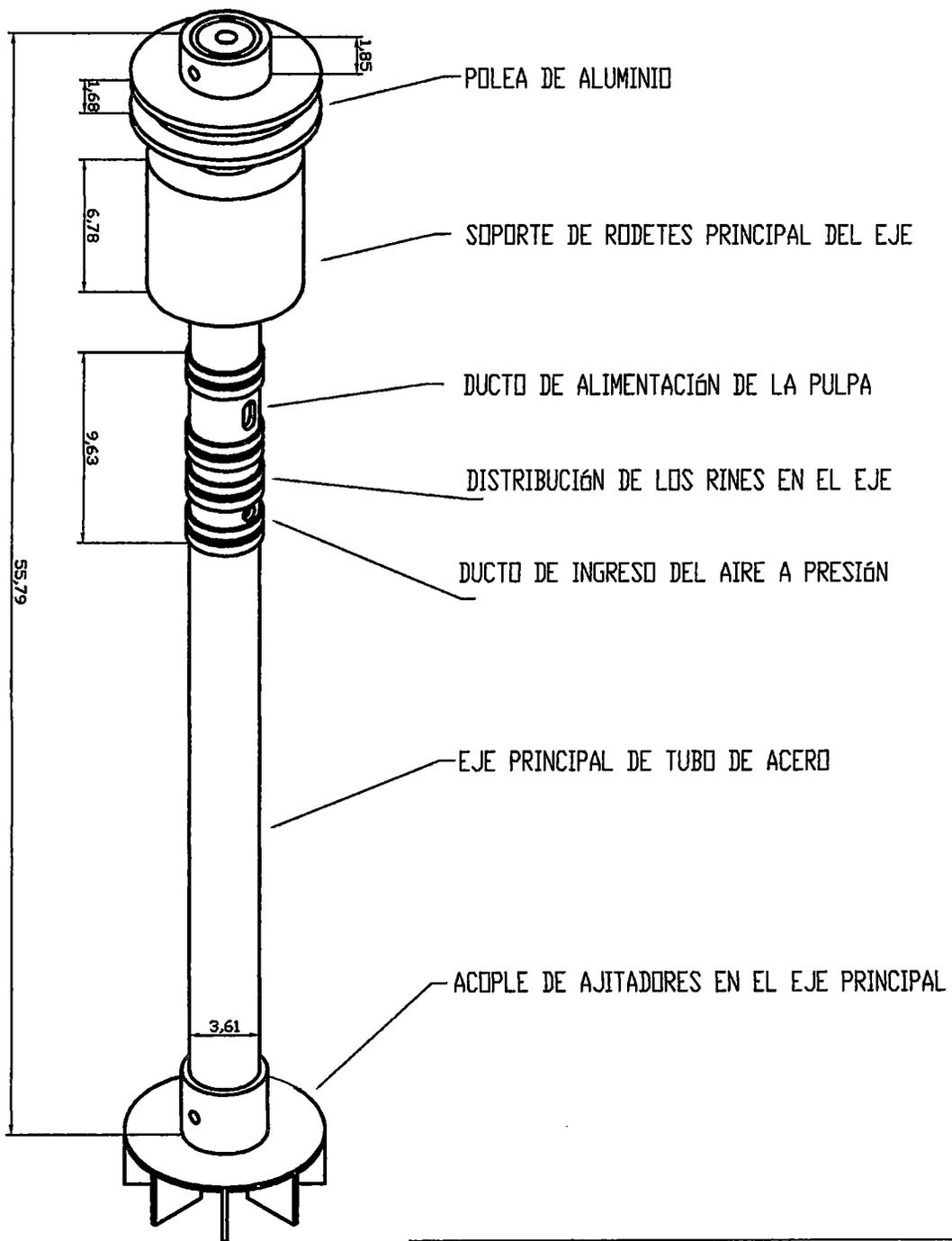
DISEÑO: SOPORTE DEL EJE VERTICAL

TESISTA: RONI JOSE PEZO PEREZ

FECHA:  
 2012.05.30

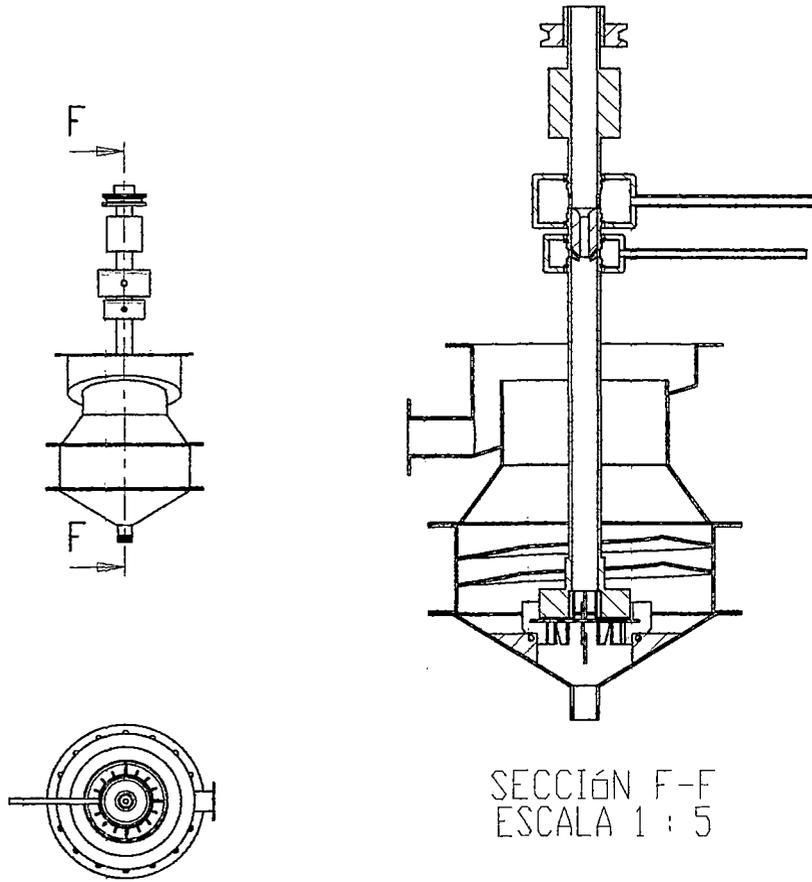
ASESOR: ING. ELIAS PENA PENA

LAMINA:  
 A3.TES01

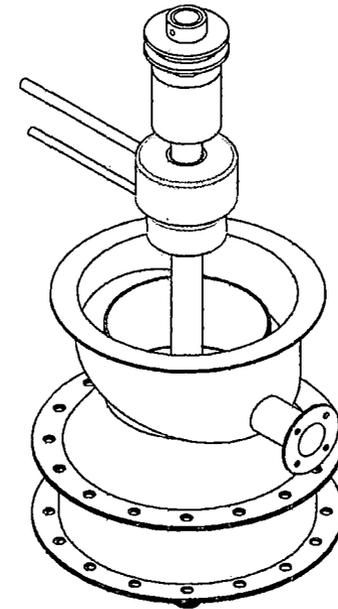


UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO  
 FIZIMTL - CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA METALURGICA

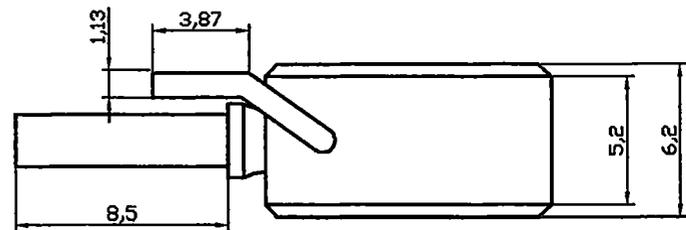
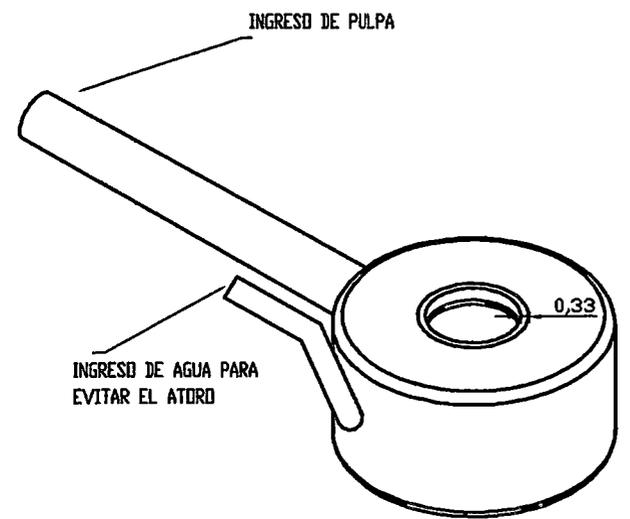
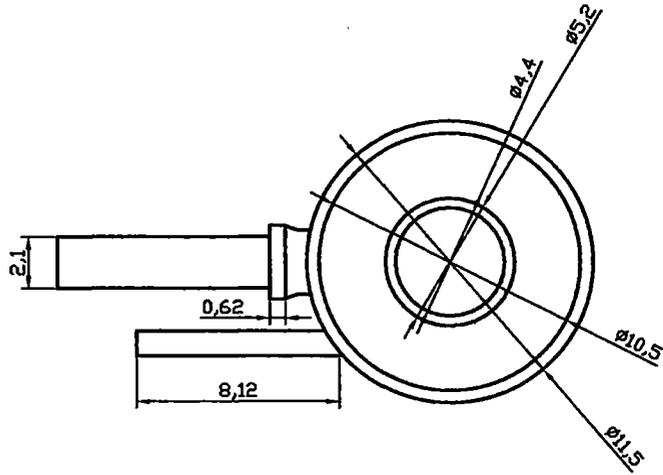
TEMA:	DISEÑO Y CONSTRUCCION A NIVEL DE LABORATORIO DE UNA CELDA DE FLOTACION POR AIRE FORZADO APLICADO A MINERALES SULFURADOS DE COBRE	ESCALA 1:3
DISEÑO:	EJE VERTICAL	
TESISTA:	RONI JOSE PEZO PEREZ	FECHA: 2012.05.30
ASESOR:	ING. ELIAS PERA PERA	LAMINA: AA.TES02



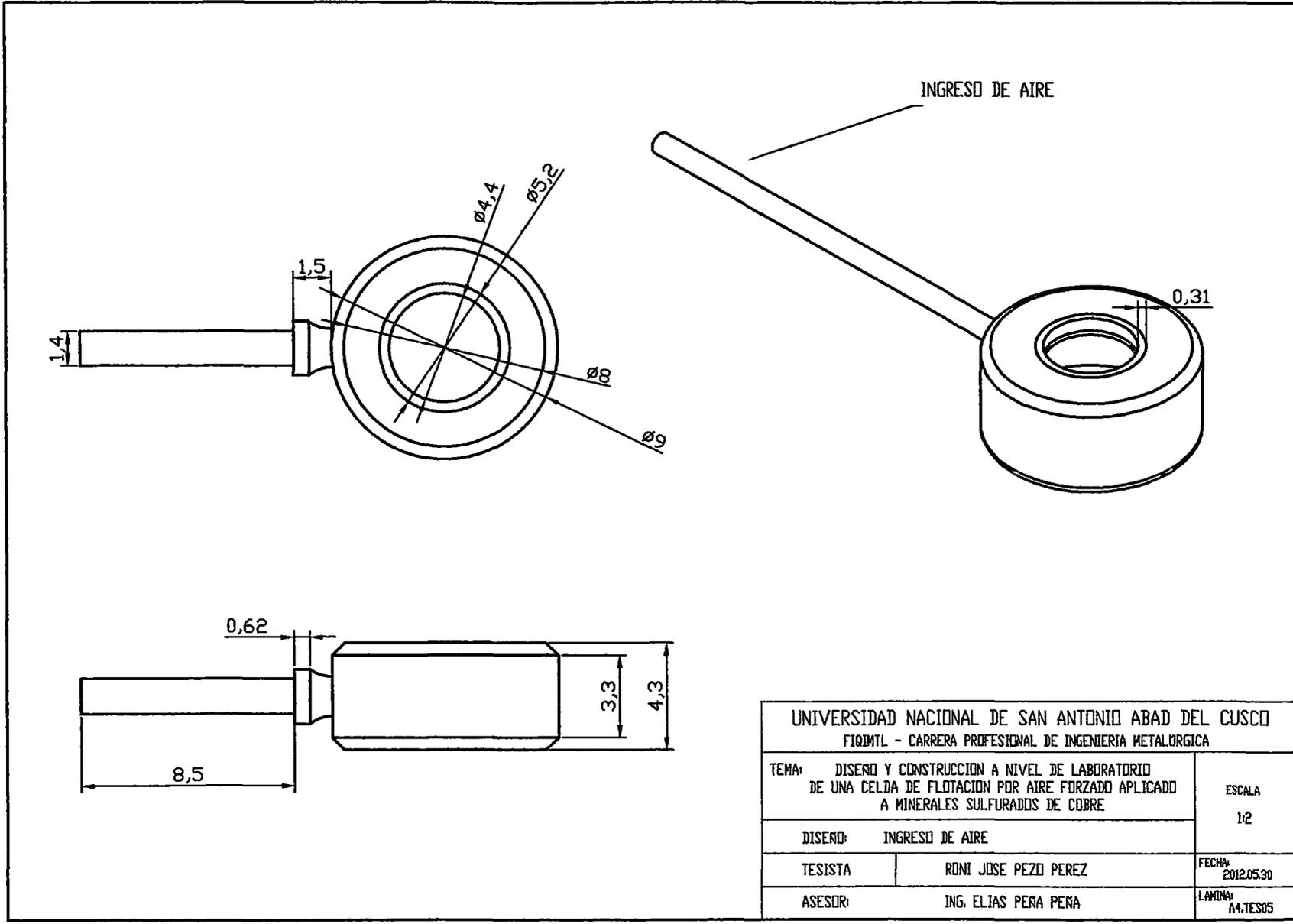
SECCIÓN F-F  
ESCALA 1 : 5



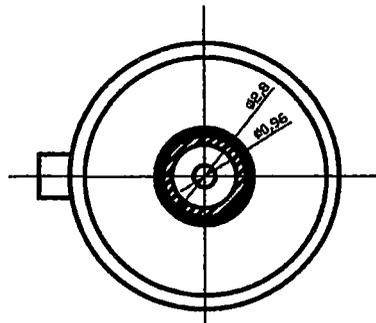
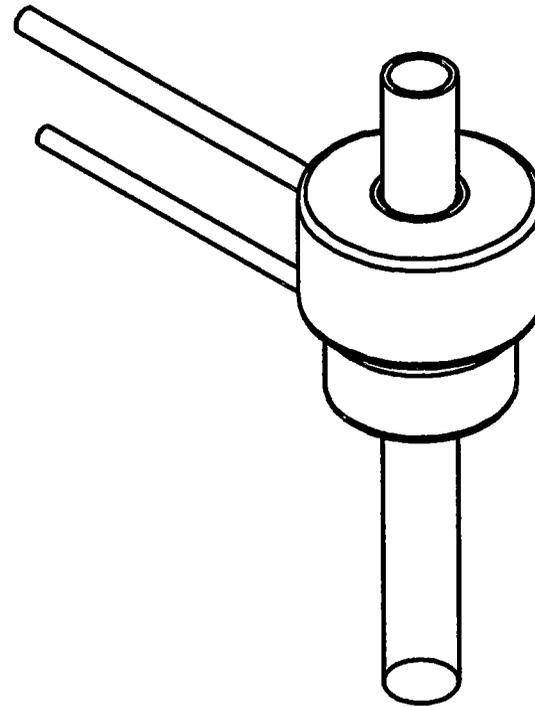
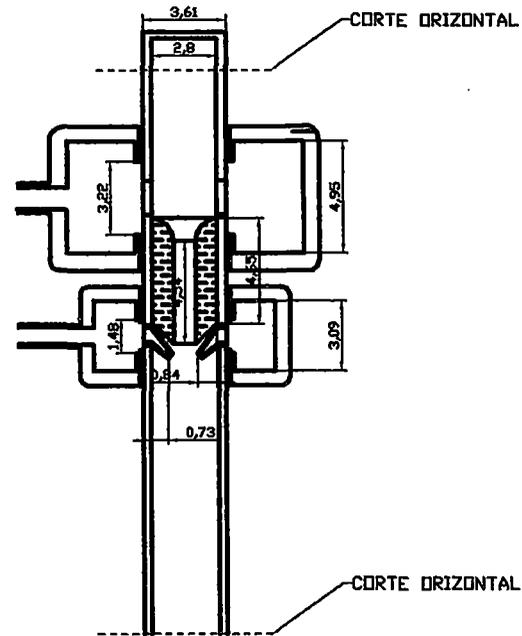
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO		
FIQIMTL - CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA METALURGICA		
TEMA:	DISEÑO Y CONSTRUCCION A NIVEL DE LABORATORIO DE UNA CELDA DE FLOTACION POR AIRE FORZADO APLICADO A MINERALES SULFURADOS DE COBRE	ESCALA 1/5
DISEÑO:	DISEÑO DE LA CELDA RONI	
TESISTA	RONI JOSE PEZO PEREZ	FECHA: 2012.05.30
ASESOR:	ING. ELIAS PEÑA PEÑA	LAMINA: A3.TES03



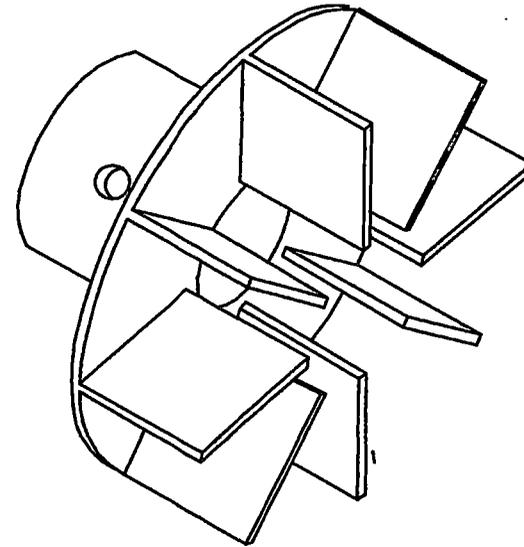
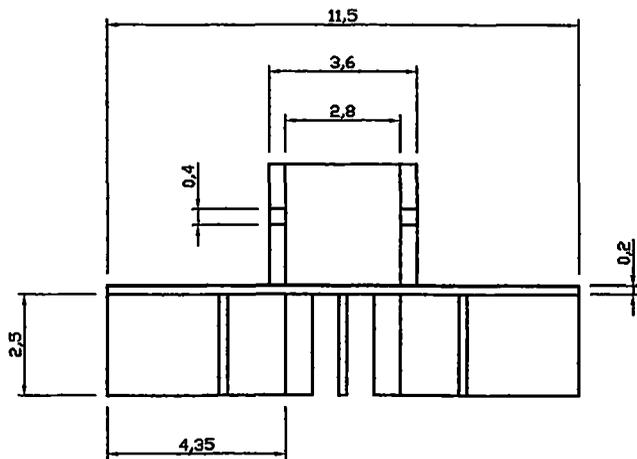
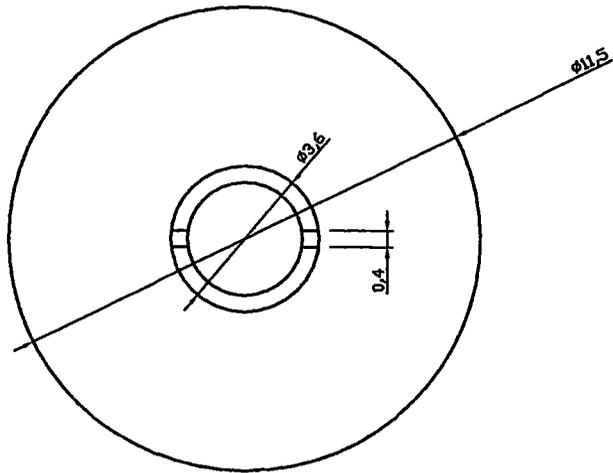
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO		
FIQIMTL - CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA METALURGICA		
TEMA:	DISEÑO Y CONSTRUCCION A NIVEL DE LABORATORIO DE UNA CELDA DE FLOTACION POR AIRE FORZADO APLICADO A MINERALES SULFURADOS DE COBRE	ESCALA 1:2
DISEÑO:	INGRESO DE PULPA	
TESISTA:	RONI JOSE PEZO PEREZ	FECHA: 2012.05.30
ASESOR:	ING. ELIAS PEÑA PEÑA	LAMDIA: A4.TES04



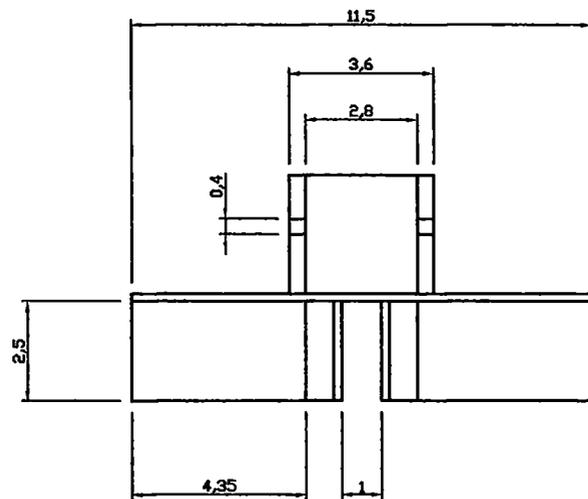
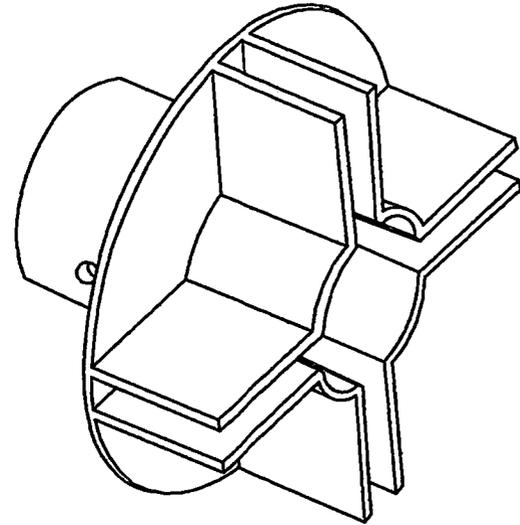
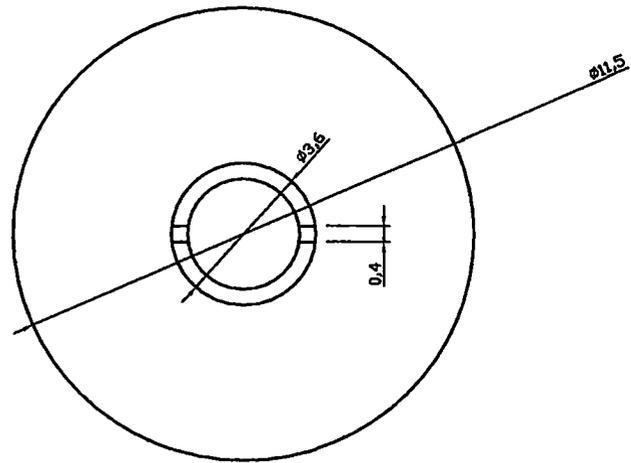
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO		
FIQIMTL - CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA METALURGICA		
TEMA: DISEÑO Y CONSTRUCCION A NIVEL DE LABORATORIO DE UNA CELDA DE FLOTACION POR AIRE FORZADO APLICADO A MINERALES SULFURADOS DE COBRE		ESCALA 1:2
DISEÑO: INGRESO DE AIRE		
TESISTA	RONI JOSE PEZO PEREZ	FECHA: 2012.05.30
ASESOR:	ING. ELIAS PEÑA PEÑA	LAMINA: A4.TES05



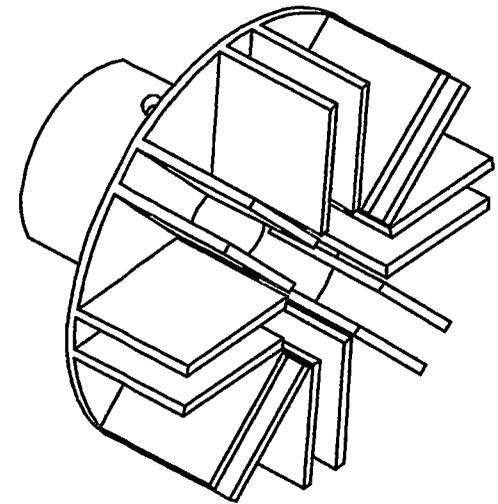
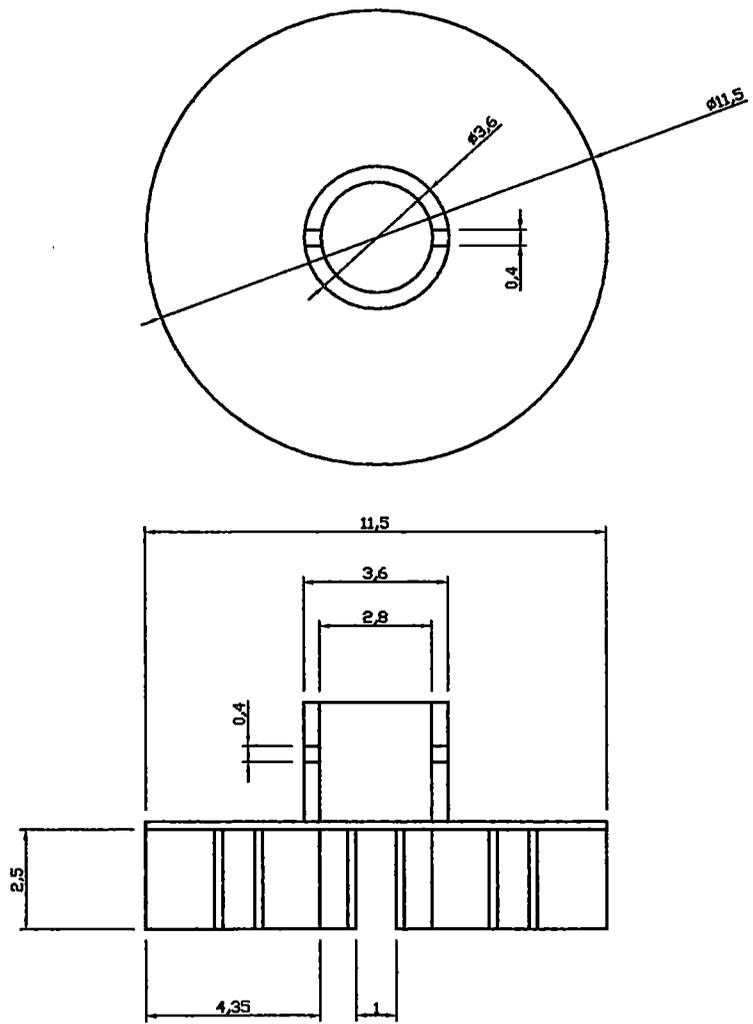
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO		
FIQIMTL - CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA METALURGICA		
TEMA:	DISEÑO Y CONSTRUCCION A NIVEL DE LABORATORIO DE UNA CELDA DE FLOTACION POR AIRE FORZADO APLICADO A MINERALES SULFURADOS DE COBRE	ESCALA 1:2
DISEÑO:	SISTEMA DE BURBUJAS	
TESISTA	RONI JOSE PEZO PEREZ	FECHA: 2012.05.30
ASESOR:	ING. ELIAS PEÑA PEÑA	LAMINA: A4.TES06



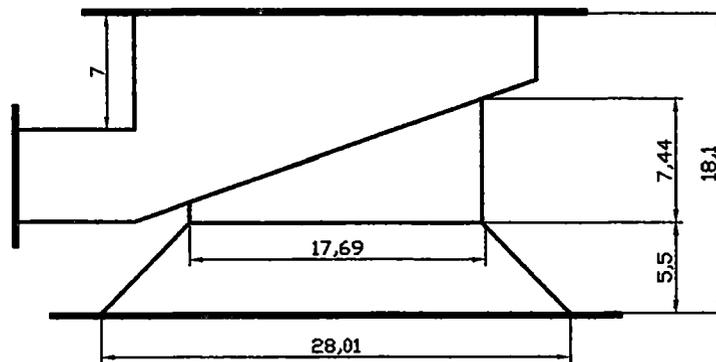
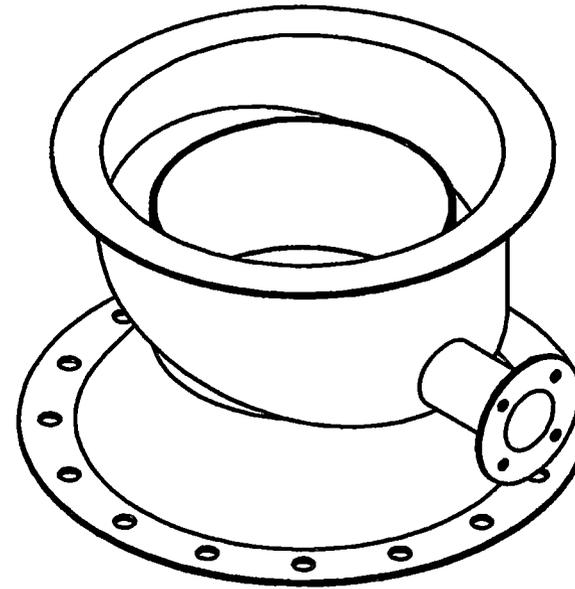
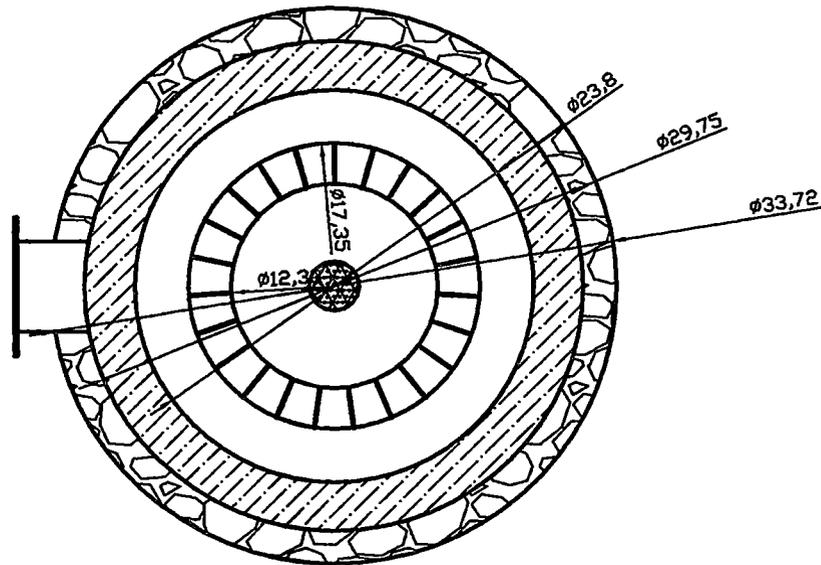
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FIQIMTL - CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA METALURGICA		
TEMA: DISEÑO Y CONSTRUCCION A NIVEL DE LABORATORIO DE UNA CELDA DE FLOTACION POR AIRE FORZADO APLICADO A MINERALES SULFURADOS DE COBRE		ESCALA 1:2
DISEÑO: AGITADOR - ROTOR A		
TESISTA	RONI JOSE PEZO PEREZ	FECHA: 2012.05.30
ASESOR:	ING. ELIAS PEÑA PEÑA	LAMINA: A4.TES07



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO		
FIQIMTL - CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA METALURGICA		
TEMA:	DISEÑO Y CONSTRUCCION A NIVEL DE LABORATORIO DE UNA CELDA DE FLOTACION POR AIRE FORZADO APLICADO A MINERALES SULFURADOS DE COBRE	ESCALA 1/2
DISEÑO:	AGITADOR - ROTOR B	
TESISTA	RONI JOSE PEZO PEREZ	FECHA: 2012.05.30
ASESOR:	ING. ELIAS PEÑA PEÑA	LAMINA: A4.TES08



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO		
FIQIMTL - CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA METALURGICA		
TEMA:	DISEÑO Y CONSTRUCCION A NIVEL DE LABORATORIO DE UNA CELDA DE FLOTACION POR AIRE FORZADO APLICADO A MINERALES SULFURADOS DE COBRE	ESCALA 1:2
DISEÑO:	AGITADOR - ROTOR C	
TESISTA	RONI JOSE PEZO PEREZ	FECHA: 2012.05.30
ASESOR:	ING. ELIAS PEÑA PEÑA	LAMINA: A4.TES09



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO  
 FIQIMTL - CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA METALURGICA

TEMA: DISEÑO Y CONSTRUCCION A NIVEL DE LABORATORIO  
 DE UNA CELDA DE FLOTACION POR AIRE FORZADO APLICADO  
 A MINERALES SULFURADOS DE COBRE

ESCALA  
 1:5

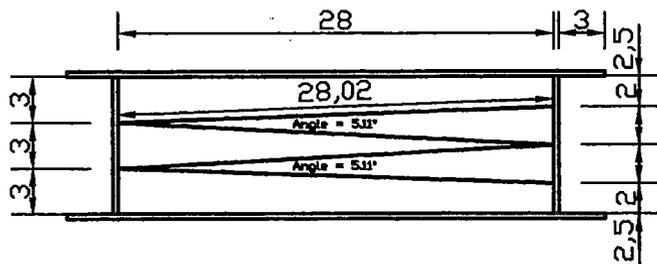
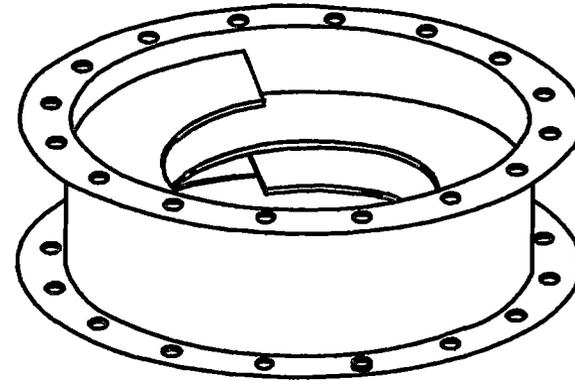
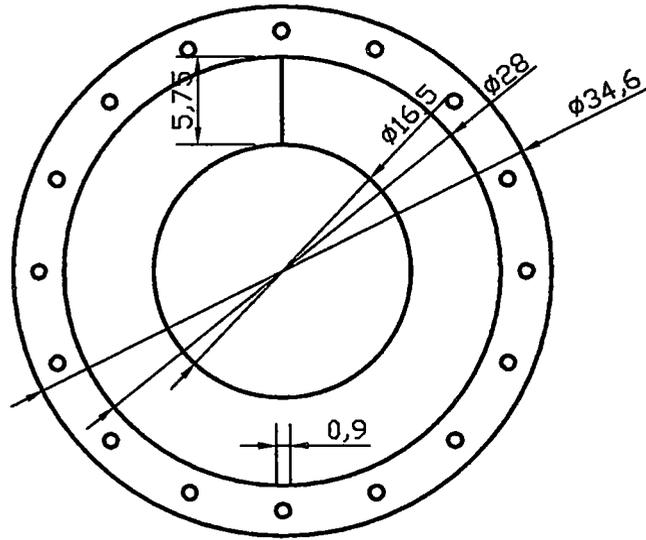
DISEÑO: PARTE SUPERIOR CÓNICA DE LA CELDA RONI

TESISTA: RONI JOSE PEZO PEREZ

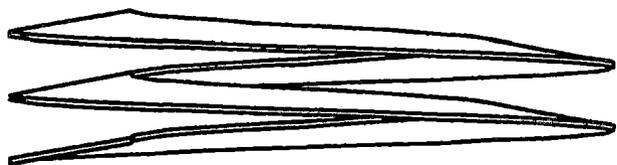
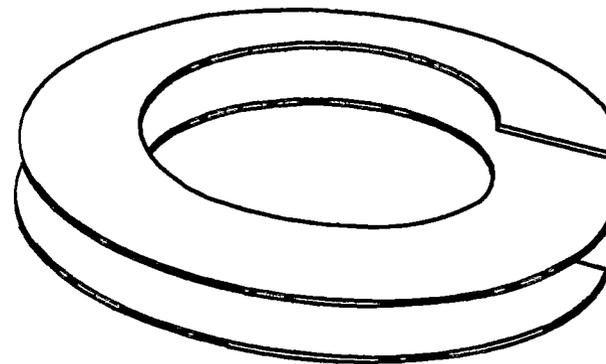
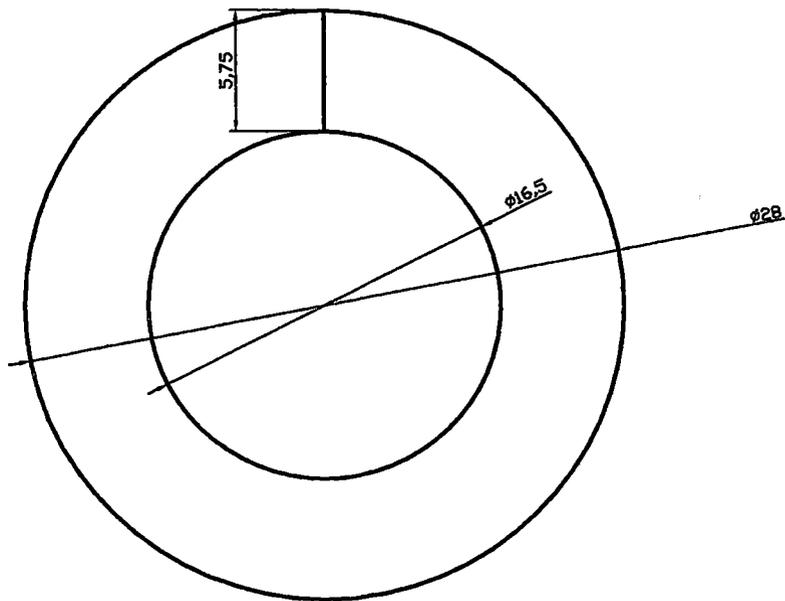
FECHA:  
 2012.05.30

ASESOR: ING. ELIAS PEÑA PEÑA

LAMINA:  
 A4.TES10



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO		
FIQIMTL - CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA METALURGICA		
TEMA:	DISEÑO Y CONSTRUCCION A NIVEL DE LABORATORIO DE UNA CELDA DE FLOTACION POR AIRE FORZADO APLICADO A MINERALES SULFURADOS DE COBRE	ESCALA 1/5
DISEÑO:	PARTE CENTRAL DE LA CELDA RONI	
TESISTA:	RONI JOSE PEZO PEREZ	FECHA: 2012.05.30
ASESOR:	ING. ELIAS PEÑA PEÑA	LANDA: A4.TES11



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO  
FIQIMTL - CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA METALURGICA

TEMA: DISEÑO Y CONSTRUCCION A NIVEL DE LABORATORIO  
DE UNA CELDA DE FLOTACION POR AIRE FORZADO APLICADO  
A MINERALES SULFURADOS DE COBRE

ESCALA  
1:5

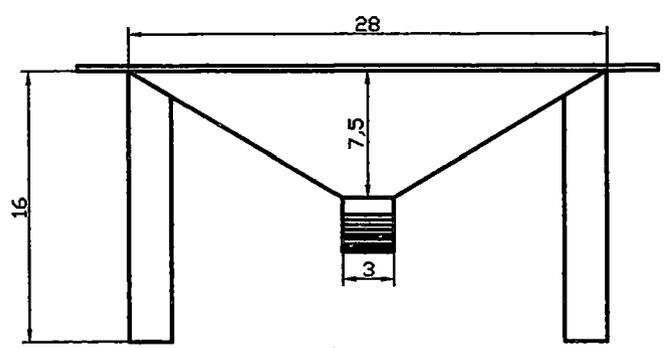
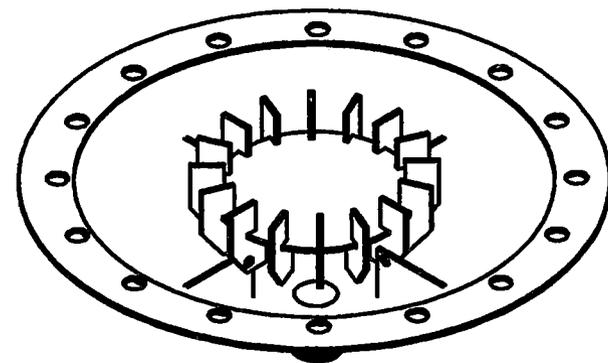
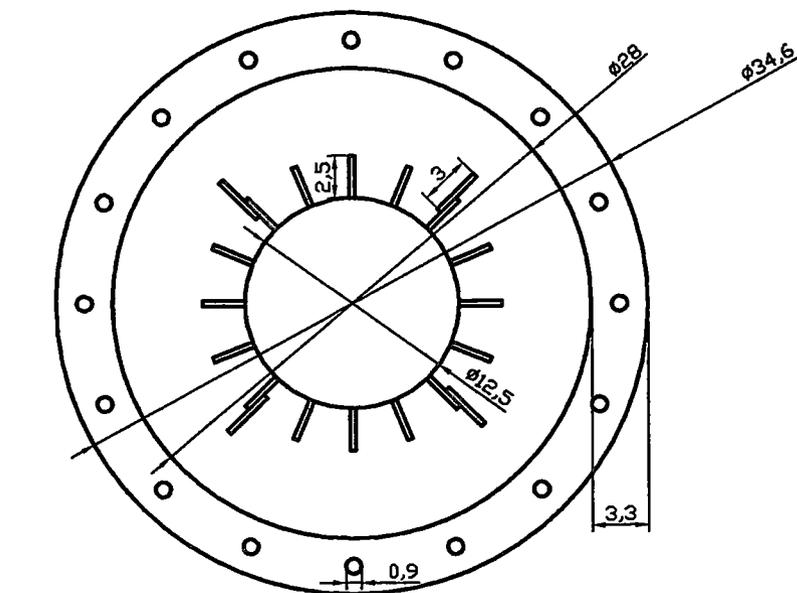
DISEÑO: ALA HELICOIDAL

TESISTA: RONI JOSE PEZO PEREZ

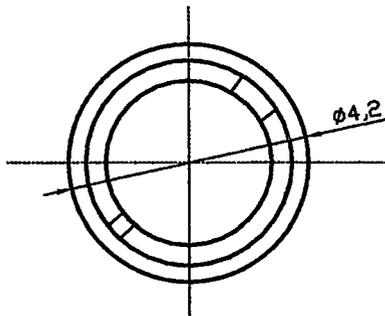
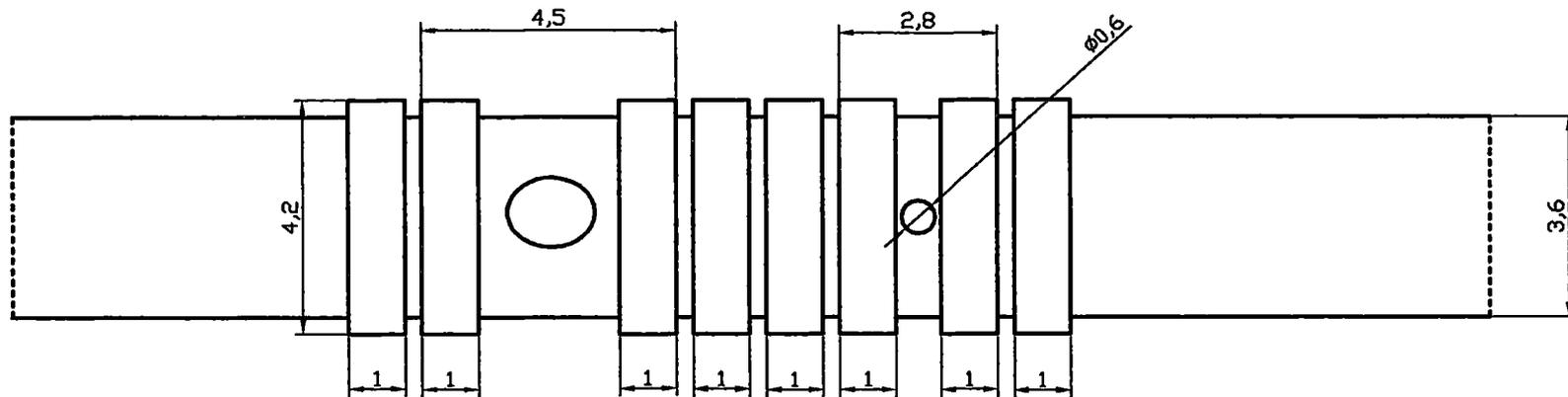
FECHA:  
2012.05.30

ASESOR: ING. ELIAS PEÑA PEÑA

LAMINA:  
A4.TES12



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO		
FIQIMTL - CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA METALURGICA		
TEMA:	DISEÑO Y CONSTRUCCION A NIVEL DE LABORATORIO DE UNA CELDA DE FLOTACION POR AIRE FORZADO APLICADO A MINERALES SULFURADOS DE COBRE	ESCALA 1:5
DISEÑO:	PARTE INFERIOR CÓNICA INVERTIDO DE LA CELDA	
TESISTA	RONI JOSE PEZO PEREZ	FECHA: 2012.05.30
ASESOR:	ING. ELIAS PEÑA PEÑA	LAMINA: A4.TES13



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO		
FIQIMTL - CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA METALURGICA		
TEMA:	DISEÑO Y CONSTRUCCION A NIVEL DE LABORATORIO DE UNA CELDA DE FLOTACION POR AIRE FORZADO APLICADO A MINERALES SULFURADOS DE COBRE	ESCALA 1:1
DISEÑO:	RINES DEL EJE VERTICAL	
TESISTA	RONI JOSE PEZO PEREZ	FECHA: 2012.05.30
ASESOR:	ING. ELIAS PEÑA PEÑA	LAMINA: A4.TES14

**ANEXO 2**  
**MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO**  
**DE LA CELDA RONI**

## **MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO**

### **2.1 INSTRUCCIONES DE OPERACIÓN**

Terminada la fabricación de la Celda RONI con todos sus elementos y la adquisición del equipamiento, ponemos a disposición los procedimientos necesarios para el mantenimiento y operación en la recuperación de los minerales oxidados y minerales sulfurados.

### **2.2 SEGURIDAD**

1. no emplee personal incapacitado para operar la máquina.
2. Apague la celda cuando no se encuentre en funcionamiento.
3. La celda debe ser colocada en un piso y si es posible fijarla con pernos contra el piso.
4. Para seguridad del operario usar los EPP en todo momento durante el proceso de recuperación (inicio-fin)
5. La mano del operario no debe ser introducida en la celda por ningún motivo, solo controlar las variables importantes.
6. Verificar que el rotor y la celda estén bien sujetas.
7. Verifique que el sistema de seguridad de ingreso, alimentación de pulpa y aire cierren y abran con facilidad.

### **2.3 OPERACIÓN DE LA CELDA**

1. Encender la Celda RONI
2. Cerrar la válvula de relave
3. Abrir la válvula de pulpa gradualmente
4. Abrir gradualmente la válvula de aire
5. Abrir la válvula de relave gradualmente

6. Cerrar la válvula de pulpa y abrir la válvula de agua
7. Cerrar la válvula de aire
8. Abrir la válvula de relave
9. Cerrar la válvula de agua
10. Cerrar la válvula de relave
11. Limpieza general la Celda RONI.

## **2.4 MANTENIMIENTO**

1. Lubricar los rodamientos, el soporte principal y los rines.
2. Verificar diariamente el estado del rotor, las cañerías tanto de alimentación de pulpa, de aire y agua, la Celda RONI y todas las válvulas.
3. El calibrado del rotor en la distancia de la base de las aletas de turbulencia, tener en cuenta que no debe chocar entre sí. Ya que el cruce incorrecto puede dañar el rotor y también la celda y el eje principal.
4. Luego de calibrar correctamente el rotor y la celda ajusta el eje principal para que no se produzca algún daño al rotor.
5. Utilizar la celda correctamente durante la recuperación de los minerales, al momento de terminar correr en la celda con agua limpia para él lavado interno de la Celda RONI. Así evitar partículas que deterioren el equipo.

**Tabla de Frecuencia H a RPM.**

<b>H</b>	<b>RPM</b>
10	300
12	360
14	420
16	480
18	540
20	600
22	660
24	720
26	780
28	840
30	900
32	960
34	1020
36	1080
38	1140
40	1200
42	1260
44	1320
46	1380
48	1440
50	1500

**Fuente: Elaboración propia**

**ANEXO 3**  
**CARACTERÍSTICAS DE LOS INSTRUMENTOS**  
**UTILIZADOS**



# Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado  
Arequipa Perú / Apartado 2102

Telf: (054) 443294 Fax: (054) 444582

www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

## INFORME DE ENSAYO LAS-13-03039

Fecha de emisión: 22/06/2013

Pág.: 1/1

Señores: Rony José Pezo Pérez  
Dirección: Pasale Príncipe 110 Santa Ana Cusco  
Atención: Rony Jose Pezo Perez  
Recepción: 21/06/2013  
Realización: 21/06/2013

### Método de ensayo aplicado

- \*541 Método de Ensayo para Plomo por Absorción Atómica
- \*530 Método de Ensayo para Plomo por Digestión Multi ácida - Volumetría

Muestra #	Nombre de muestra	Descrip. de muestra	Procedencia de la muestra	*541 Pb %	*530 Pb %	*551 Au g/TM	*551 Au oz/TC
MN13007093	RELAVE	Relave	No Proporcionado por el cliente	1,55	-----	-----	-----
MN13007094	Concentrado	Concentrado	No Proporcionado por el cliente	-----	32,10	-----	-----

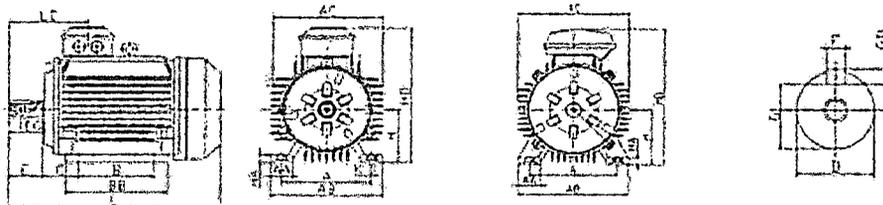
Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.  
Sixto Vicente Juárez Neira  
Gerente General  
ING. Químico CIP 19474

"<sup>a</sup> <Valor numérico" = Límite de detección del método, "<sup>b</sup> <Valor Numérico" = Límite de cuantificación del método.

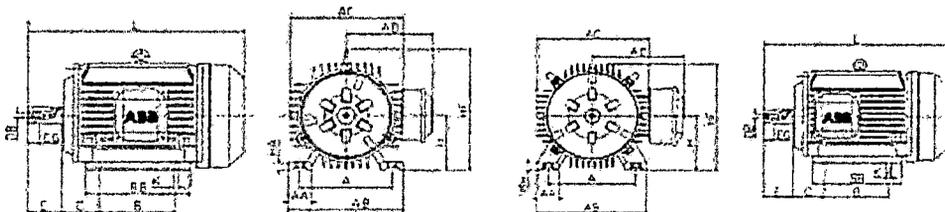
El resultado: "< Valor numérico", significa, que se encuentra debajo del límite de cuantificación indicado. Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

# MOTOR TRIFÁSICO 1 HP

Motor trifásico, con patas, caja de bornes arriba



Motor trifásico, con patas, caja de bornes a la derecha



Tamaño de carcasa	Polos	A	AA	AB	AC	AD	B	BB	C	D	DB	E	EG
160 M	2-8	254	60	325	330	255	210	265	108	42	M16	110	36
160 L	2-8	254	60	325	330	255	254	310	108	42	M16	110	36
180 M	2-4	279	70	350	355	270	241	315	121	48	M16	110	36
180 L	4-8	279	70	350	350	270	279	350	121	48	M16	110	36
200 L	2-8	318	70	390	395	305	305	380	133	55	M20	110	39
225 S	4-8	356	75	435	440	335	286	380	149	60	M20	140	39
225 M	2	356	75	435	450	335	311	405	149	55	M20	110	39
225 M	4-8	356	75	435	450	335	311	405	149	60	M20	140	39
250 M	2	406	80	490	515	395	349	455	168	60	M20	140	39
250 M	4-8	406	80	490	515	395	348	455	168	65	M20	140	39

## VARIADOR DE VELOCIDAD

No.	Indicador LED	Est. indic. LED	Descripción
①	Estado de marcha/dirección	Rojo fijo	Indica que el variador está funcionando y ha emitido la orden de dirección del motor.
		Rojo parpadeante	El variador ha recibido la orden de cambiar de dirección. Indica la dirección actual del motor mientras desacelera hasta cero.
②	Pantalla alfanumérica	Rojo fijo	Indica el número de parám., el valor del parám. o el código de fallo.
		Rojo parpadeante	El dígito único parpadeante indica que dicho dígito puede editarse. Todos los dígitos parpadeantes indican una condición de fallo.
③	Unid. mostradas	Rojo fijo	Indica las unidades del valor del parámetros mostrado.
④	Estado de programación	Rojo fijo	Indica que el valor del parámetro puede cambiarse.
⑤	Estado de fallo	Rojo parpad.	Indica que el variador tiene un fallo.
⑥	Estado potencióm.	Verde fijo	Indica que el potenciómetro en el teclado integral está activo. <sup>(1)</sup>
⑦	Estado de la tecla de inicio	Verde fijo	Indica que la tecla de Arranque en el teclado integral está activa. La tecla de Retroceso también está activa, a menos que haya sido inhabilitada por A095 [Reverse Disable].

No.	Tecla	Nombre	Descripción
⑧		Escape	Retroceder un paso en el menú de programación. Cancelar un cambio de un valor de parámetro y salir del modo de programación.
		Select	Avanzar un paso en el menú de programación. Seleccionar un dígito cuando se ve un valor de parámetro.
		Up Arrow Down Arrow	Desplazarse por los grupos y parámetros. Aumentar/disminuir el valor de un dígito parpadeante. Se usa para ajustar la frecuencia de los variadores con clasificación IP66, NEMA/JUL Tipo 4X <i>solamente</i> cuando se muestra un parámetro del grupo de visualización y P038 [Speed Reference] se establece en la frecuencia interna, A069 [Internal Freq].
		Enter	Avanzar un paso en el menú de programación. Guardar un cambio a un valor de parámetro.
⑨		Potentiometer <sup>(1)</sup>	Se usa para controlar la velocidad del variador. La opción predeterminada es activo. Controlado por el parámetro P033 [Speed Reference].
		Start	Se usa para iniciar el variador. La opción predeterminada es activo. Controlado por el parámetro P036 [Start Source].
		Reverse	Se usa para invertir la velocidad del variador. La opción predeterminada es activo. [Start Source]Controlado por los parámetros P036 y A095 [Reverse Disable].
		Stop	Se usa para detener el variador o borrar un fallo. Esta tecla siempre está activa. Controlado por el parámetro P037 [Stop Mode].

## CORREA Y POLEA

### Descripción del producto Optibelt SUPER TX M=S Correas trapeciales de flancos abiertos, dentadas DIN/ISO, RMA/MPTA

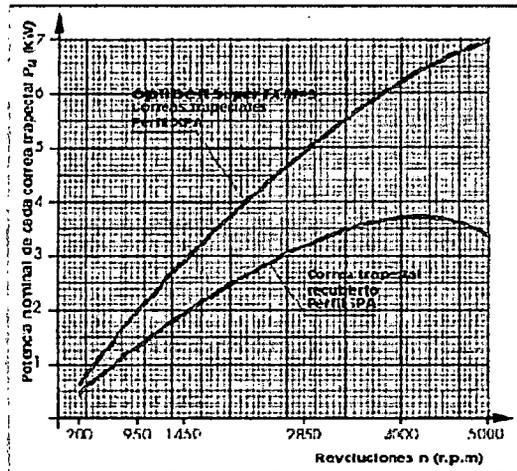
Las correas trapeciales Optibelt Super TX M=S son mucho más resistentes al aceite y al calor que las correas trapeciales recubiertas, debido a su fabricación con mezclas de caucho de alta calidad.

Aún con el peso y el espacio reducidos es posible la transmisión de grandes fuerzas, incluso con diámetros de poleas reducidos, lo que significa casi siempre una...

- Significativa reducción de costes.

#### Comparación de potencias

Diámetro estándar de polea  $d_d = 140$  mm  
Relación de transmisión  $i = 1:1$



#### Estandarización/dimensiones

Los perfiles en sección y dimensiones de las correas trapeciales Optibelt Super TX M=S corresponden a la norma DIN 7753 Parte 1, DIN 2215, ISO 4134 y RMA/MPTA.

La base para la medición de la longitud es el desarrollo de referencia ( $L_d$ ) según DIN ISO.

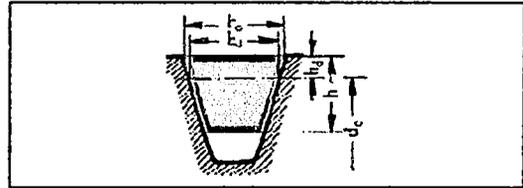


Tabla 4

Perfil	Ancho superior de la correa (mm) $b_o$	Ancho de referencia (mm) $b_d$	Altura de la correa (mm) $h_o$	Distancia (mm) $h_d$	Peso por metro (kg/m)
XPZ	9,7	8,5	8	2	0,065
XPA	12,7	11	10	2,8	0,105
XPB	16,3	14	13	3,5	0,183
XPC	22	19	18	4,8	0,340
3VX/9NX	9	—	8	—	0,065
5VX/15NX	15	—	13	—	0,183
ZX/X10	10	8,5	6	2,5	0,062
AX/X13	13	11	8	3,3	0,099
BX/X17	17	14	11	4,2	0,165
CX/X22	22	19	14	5,7	0,276

#### Poleas acanaladas trapeciales

Las correas trapeciales Optibelt Super TX M=S se utilizan con poleas acanaladas trapeciales según DIN 2211, DIN 2217, ISO 4183 y RMA/MPTA. Sin embargo, están permitidos diámetros de polea considerablemente más pequeños.

Tabla 5

#### Diametros mínimos recomendados de poleas (mm) Correas trapeciales

Perfil	de flancos abiertos, dentadas	Perfil	revestidas
XPZ	56	SPZ	63
XPA	71	SPA	90
XPB	112	SPB	140
XPC	180	SPC	224
3VX/9NX	56	3V/9N	63
5VX/15NX	112	5V/15N	140
ZX/X10	40	Z/10	50
AX/X13	63	A/13	71
BX/X17	90	B/17	112
CX/X22	140	C/22	180

#### Cálculo del accionamiento

El cálculo para accionamientos que usen correas Optibelt Super TX M=S se hará según los ejemplos indicados en las páginas 59 a 61. Son de aplicación los valores máximos de potencia referidos a horas de trabajo en laboratorio de 25.000 h.

#### Tensión de la correa/Fuerza estática sobre el eje

La tensión de la correa y fuerza estática sobre eje se calcularán del mismo modo que para las correas recubiertas. La fuerza sobre el eje no es superior que la de las correas recubiertas con la misma relación geométrica, aunque el número de las correas es frecuentemente inferior. Como consecuencia, solamente la correa trapecial individual está más tensa que la correa revestida.

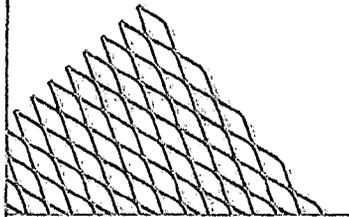
Los bordes precisos de las correas trapeciales Optibelt Super TX M=S aseguran un ajuste uniforme en los canales de la polea, consiguiendo con ello una mayor tranquilidad de marcha.

#### Ejemplos de aplicación

El uso de las correas trapeciales Optibelt Super TX M=S es recomendable siempre en la construcción de máquinas donde sean previsibles dificultades con las correas trapeciales revestidas.

# MALLA INDUSTRIAL Y TUBOS

## Desplegadas LAF y LAC



Permiten efectuar operaciones de corte y doblado sin ninguna dificultad. Además, son antideslizantes, poseen autodrenaje y pueden ser soldadas directamente a otros materiales. Se comercializan en acabado negro y galvanizado.

### FABRICACIÓN:

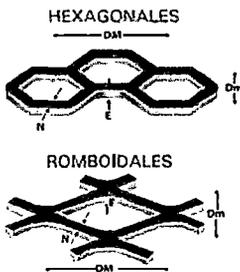
Las planchas especiales de metal desplegado (expanded metal), son mallas de acero elaboradas a partir de una sola pieza de plancha, con aberturas uniformes en forma romboidal o hexagonal, fabricadas en acero negro (SAE 1010 - bajo carbono) a través de un proceso de corte y extensión.

### DIMENSIÓN:

Las medidas de las planchas son: 1,220 x 2,440 mm.

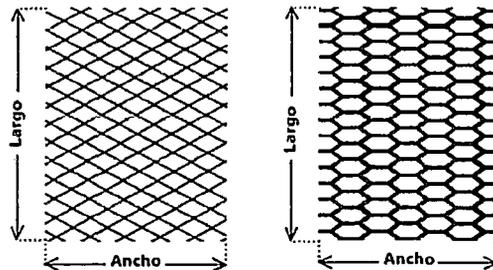
### USOS:

Son ideales para tabiques, revestimientos, filtros, mallas, cielos rasos, escalones, barandas, divisiones, protecciones. Se destacan por soportar grandes cargas, ya sean concentradas o uniformemente repartidas, con mínima deflexión.



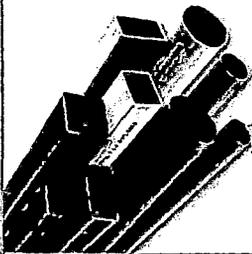
### Referencias

- DM Diagonal mayor
- E Espesor
- N Nervio
- Dm Diagonal menor



Al solicitar las planchas, debe tenerse en cuenta que el ancho siempre es paralelo a la diagonal mayor (DM) y el largo es paralelo a la diagonal menor (Dm), sin importar sus dimensiones.

## Tubo LAC ASTM A500



### DESIGNACIONES Y PESOS NOMINALES en Kg/m

Designación Nominal	Espesor Exterior (mm)	Espesores (mm)									
		1,5	1,8	2	2,5	3	4	4,5	6		
REDONDO DINAM. REDONDA	1/2"	21,3	0,666	0,952	1,159						
	3/4"	26,7	1,105	1,218	1,492						
	1"	33,4	1,403	1,549	1,905	2,249					
	1 1/4"	42,7	1,793	1,981	2,446	2,902					
	1 1/2"	48,3	2,064	2,284	2,824	3,351					
	2"	60,3	2,597	2,876	3,584	4,239					
	2 1/2"	73,0		3,502	4,347	5,179					
	3"	88,9		4,285	5,227	6,355					
	4"	114,3		5,559	6,892	8,284					
	4"	114,3	1,061	1,460							
CUADRADO L.E.	30x30	1,305	1,750			3,320					
	40x40	1,770	2,244			3,320					
	50x50	2,250	3,122	3,872	4,316						
	2"	50,8	3,122	3,872	4,316						
	2 1/2"	75,75	4,520	5,560	6,810						
	4"	101,6				9,174	12,133	13,585			
	102x102			6,165	7,676	9,174	12,133	13,585	16,590		
	125x125						11,210	14,870	16,620	21,690	
	150x150							13,870	20,800	27,388	
	RECTANGULAR L.E.	25x40	1,354	1,750							
25x50		1,650	2,261								
40x60		2,250	3,033	3,600	5,250						
40x80		2,710	3,660	4,390	5,190						
50x75					5,273						
50x100				4,520	5,560	6,800	8,595				
50x150				6,165	7,676	9,174	11,730				
102x150								16,620	21,700		
100x200							13,670	18,010	20,150	26,400	
150x200								21,150	23,680	31,100	

### NORMAS TÉCNICAS DE FABRICACIÓN:

Las dimensiones, pesos y espesores se fabrican según la Norma ASTM A500.

### DESCRIPCIÓN:

Tubo fabricado con acero al carbono laminado en caliente (LAC), utilizando el sistema de soldadura por resistencia eléctrica por inducción de alta frecuencia longitudinal (ERW).

Las secciones de fabricación son redondas, cuadradas y rectangulares.

### PRESENTACIÓN:

Longitud

- Redondos : 6,40 y 6 m.
- Cuadrados : 6 m.
- Rectangulares : 6 m.

Otras longitudes a pedido.

- Acabado de extremos : Refrentado (plano), limpio de rebordes.
- Recubrimiento : Negro  
Galvanizado (145 micras de zinc por lado)

### USOS:

Estructuras livianas y pesadas diversas, tijerales, postes, cercos perimétricos, carrocerías, etc.

### PROPIEDADES MECÁNICAS:

#### Redondo:

Resistencia a la Tracción (Mpa) Grado A 310 Grado B 400

Límite de Fluencia (Mpa) 228 290

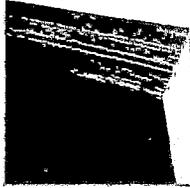
#### Cuadrado y Rectangular:

Resistencia a la Tracción mín. (Mpa) Grado A 310 Grado B 400

Límite de Fluencia mín. (Mpa) 269 317

# PLANCHAS Y ANGULARES

## Planchas Dobladas LAC



Planchas de acero laminadas en caliente con bordes de laminación, de espesores menores a 4,75 mm.

DIMENSIONES NOMINALES (in)	
Cantidad Comercial	Cantidad Estructural
POLAC 1011 TB (mm)	POLAC A36 (mm)
1,8 x 1,200 x 2,400	3,0 x 1,500 x 6,000
1,8 x 1,200 x 2,400	4,5 x 1,200 x 2,400
2,0 x 1,200 x 2,400	4,5 x 1,500 x 6,000
2,2 x 1,100 x 2,400	
2,2 x 1,200 x 2,400	
2,3 x 1,200 x 2,400	
2,4 x 1,200 x 2,400	
2,5 x 1,200 x 2,400	
2,8 x 1,200 x 2,400	
2,9 x 1,200 x 2,400	
3,0 x 1,200 x 2,400	
4,0 x 1,200 x 2,400	
4,4 x 1,200 x 2,400	

**NORMAS TÉCNICAS:**  
Comercial : ASTM A1011 TB  
Estructural : ASTM A36

**PROPIEDADES MECÁNICAS:**

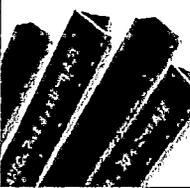
Comercial:  
Límite de Fluencia mínimo = 2,110 - 3,510 kg/cm<sup>2</sup> (\*)  
Alargamiento en 50 mm = 25,0 % mínimo (\*)  
Doblado = a 180°

Estructural:  
Límite de Fluencia mínimo = 2,550 kg/cm<sup>2</sup> (\*)  
Resistencia a la Tracción = 4,080 - 5,610 kg/cm<sup>2</sup>  
Alargamiento en 50 mm = 20,0 % mínimo  
Doblado = a 180° (opcional),  
Diámetro Pin = 3c, Sentido Laminación

(\*) Referencial  
(1) Previa consulta y a pedido, también se suministra en otras longitudes.

**USOS:**  
Construcción de silos, embarcaciones pesqueras, vagones, estructuras y usos en general.

## Angulos Estructurales



**NORMAS TÉCNICAS:**  
Sistema Inglés: Propiedades Mecánicas: ASTM A36 / A36 M  
Tolerancias Dimensionales: ASTM A6 / A6 M  
Sistema Métrico: Propiedades Mecánicas: ASTM A36 / A36 M  
Tolerancias Dimensionales: ISO 657 / V

**PRESENTACIÓN \*\*:**  
Se producen en longitudes de 6 metros.  
Se suministran en varillas y en paquetones de 2 TM, los cuales están formados por 2 paquetes de 1 TM c/u.

DIMENSIONES		DIMENSIONES	
Sistema Inglés		Sistema Métrico	
(pulgadas)	(pulgadas)	(mm)	(mm)
1 1/2 x 1 1/2 x 3/8	2 1/2 x 2 1/2 x 3/16	20 x 20 x 2,0	
1 1/2 x 1 1/2 x 1/2	2 1/2 x 2 1/2 x 1/4	20 x 20 x 2,5	
1 1/2 x 1 1/2 x 3/16	2 1/2 x 2 1/2 x 5/16	20 x 20 x 3,0	
1 1/2 x 1 1/2 x 1/4	2 1/2 x 2 1/2 x 3/8	25 x 25 x 2,0	
2 x 2 x 1/8	3 x 3 x 1/4	25 x 25 x 2,5	
2 x 2 x 3/16	3 x 3 x 5/16	25 x 25 x 3,0	
2 x 2 x 1/4	3 x 3 x 3/8	25 x 25 x 4,5	
2 x 2 x 5/16	3 x 3 x 1/2	25 x 25 x 6,0	
2 x 2 x 3/8	4 x 4 x 1/4	30 x 30 x 2,0	
	4 x 4 x 5/16	30 x 30 x 2,5	
	4 x 4 x 3/8	30 x 30 x 3,0	
	4 x 4 x 1/2	30 x 30 x 4,5	
		30 x 30 x 6,0	

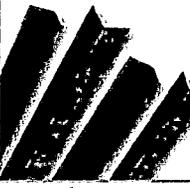
**USOS:**  
En la fabricación de estructuras de acero para plantas industriales, almacenes, techados de grandes luces, industria naval, carrocerías, torres de transmisión. También se utiliza para la fabricación de puertas, ventanas, rejas, etc.

**PROPIEDADES MECÁNICAS:**  
Límite de Fluencia mínimo = 2,530 kg/cm<sup>2</sup>  
Resistencia a la Tracción = 4,080 - 5,620 kg/cm<sup>2</sup> (\*)  
Alargamiento en 200 mm

Espesores:  
2,0mm, 2,5mm, 3,0mm,  
3/32" y 1/8" = 15,0 % mínimo  
4,5 mm = 15,0 % mínimo  
3/16" = 15,0 % mínimo  
6,0 mm = 17,0 % mínimo  
1/4" = 17,5 % mínimo  
5/16", 3/8" y 1/2" = 20,0 % mínimo  
Soldabilidad = Buena

(\*) Para espesores de 2,0 y 2,5 mm, la resistencia a la tracción mínima es de 3,500 kg/cm<sup>2</sup>.

## Angulos Estructurales de Carbono A36



**NORMA TÉCNICA:**  
ASTM A36 / ASTM 572 - G50,  
Tolerancias Dimensionales: ASTM A6 / A6M.

**PRESENTACIÓN \*\*:**  
Se producen en barras de 6 metros de longitud. Se suministran en varillas y en paquetones de 2 TM, los cuales están formados por 2 paquetes de 1 TM c/u.

DIMENSIONES	
Sistema Inglés	
(pulgadas)	(pulgadas)
1 1/2 x 1 1/2 x 3/8	3 x 3 x 1/4
2 x 2 x 1/8	3 x 3 x 5/16
2 x 2 x 3/16	3 x 3 x 3/8
2 x 2 x 1/4	3 x 3 x 1/2
2 x 2 x 5/16	3 x 3 x 1/2
2 x 2 x 3/8	4 x 4 x 1/4
2 1/2 x 2 1/2 x 3/16	4 x 4 x 5/16
2 1/2 x 2 1/2 x 1/4	4 x 4 x 3/8
2 1/2 x 2 1/2 x 5/16	4 x 4 x 1/2
2 1/2 x 2 1/2 x 3/8	

**USOS:**  
En la fabricación de estructuras de acero en plantas industriales, almacenes, techados de grandes luces, industria naval, carrocerías, torres de transmisión. También se pueden utilizar para la fabricación de puertas, ventanas, rejas, etc.

**PROPIEDADES MECÁNICAS:**  
Límite de Fluencia mínimo = 3,520 kg/cm<sup>2</sup>  
Resistencia a la Tracción = 4,590 - 5,620 kg/cm<sup>2</sup>  
Alargamiento en 200 mm:

3/32" = 15,0 % mínimo  
1/8" = 15,0 % mínimo  
3/16" = 15,0 % mínimo  
1/4" = 17,5 % mínimo  
5/16" = 20,0 % mínimo  
3/8" y 1/2" = 20,0 % mínimo  
Soldabilidad = Buena

## Placas



**NORMAS TÉCNICAS:**  
Composición Química y Propiedades Mecánicas: ASTM A36 / A36M  
Tolerancias Dimensionales: ISO 1035/4

**PRESENTACIÓN \*\*:**  
Se producen en barras de 6 metros de longitud. Se suministran en varillas y en paquetones de 2 TM, los cuales están formados por 2 paquetes de 1 TM c/u.

DIMENSIONES	
Sistema Inglés (pulgadas)	
1/8 x 1/2	3/16 x 1 1/2
1/8 x 5/8	3/8 x 1
1/8 x 3/4	3/8 x 1 1/4
1/8 x 1	1/4 x 1 1/2
1/8 x 1 1/4	1/4 x 5/8
1/8 x 1 1/2	1/4 x 3/4
1/8 x 2	1/4 x 1
3/16 x 1/2	1/4 x 1 1/4
3/16 x 5/8	1/4 x 1 1/2
3/16 x 3/4	3/8 x 2
3/16 x 1	1/4 x 2 1/2
3/16 x 1 1/4	1/4 x 3
	1/2 x 2 1/2

**USOS:**  
Estructuras metálicas de todo tipo: construcción de puertas, portones, cercos, marcos de ventanas, rejas de protección y decorativas, barandas, carpintería metálica artística, muebles, mesas, sillas, adornos.

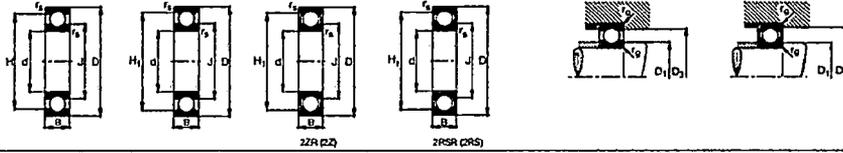
**PROPIEDADES MECÁNICAS:**  
Límite de Fluencia mínimo = 2,530 kg/cm<sup>2</sup>  
Resistencia a la Tracción = 4,080 - 5,620 kg/cm<sup>2</sup>  
Alargamiento en 200 mm:

1/8" = 15,0 % mínimo  
3/16" = 15,0 % mínimo  
1/4" = 17,5 % mínimo  
5/16", 3/8", 5/8", 3/4" y 1" = 20,0 % mínimo  
Doblado a 180° = Buena  
Soldabilidad = Buena.

# DIMENSIONES DE RODETES

Rodamientos FAG rígidos de bolas de una hilera

Los rodamientos pueden alcanzar una duración de vida limitada, ver Fig. 41.



Eje	Dimensiones						Peso kg	Capacidad de carga		Velocidad límite mm <sup>1</sup>	Velocidad de referencia	Denominación abreviada Rodamiento FAG	Medidas auxiliares			
	d mm	D	B	r <sub>1</sub> mm	H mm	H <sub>1</sub> mm		C mm	C <sub>10</sub> mm				D <sub>1</sub> mm	D <sub>2</sub> mm	r <sub>1</sub> mm	
3	8	10	4	0,15	7,7	8,2	5	0,001	0,04	0,22	33000	67000	628	4,4	8,6	0,15
	9	10	4	0,15	7,7	8,2	5	0,001	0,04	0,22	33000	67000	623-3Z	4,4	8,6	0,15
	9	10	4	0,15	7,7	8,2	5	0,001	0,04	0,22	33000	67000	624-2HR	4,4	8,6	0,15
4	8	13	5	0,2	10,4	11,2	7	0,004	0,20	0,49	21000	43000	624	5,6	11,2	0,2
	9	13	5	0,2	10,4	11,2	7	0,004	0,20	0,49	21000	43000	623-3Z	5,6	11,2	0,2
	9	13	5	0,2	10,4	11,2	7	0,004	0,20	0,49	21000	43000	624-2HR	5,6	11,2	0,2
	10	16	6	0,3	13,5	14,4	8,5	0,005	0,25	0,62	18000	34000	634	6,3	12,6	0,3
	10	16	6	0,3	13,5	14,4	8,5	0,005	0,25	0,62	18000	34000	634-3Z	6,3	12,6	0,3
	10	16	6	0,3	13,5	14,4	8,5	0,005	0,25	0,62	18000	34000	634-2HR	6,3	12,6	0,3
5	8	16	6	0,3	13,5	14,4	8,5	0,005	0,25	0,62	18000	34000	625	7,4	14,8	0,3
	9	16	6	0,3	13,5	14,4	8,5	0,005	0,25	0,62	18000	34000	623-3Z	7,4	14,8	0,3
	9	16	6	0,3	13,5	14,4	8,5	0,005	0,25	0,62	18000	34000	624-2HR	7,4	14,8	0,3
	10	19	7	0,3	16,6	17,7	10,0	0,008	0,35	0,86	16000	30000	635	7,4	14,8	0,3
	10	19	7	0,3	16,6	17,7	10,0	0,008	0,35	0,86	16000	30000	635-3Z	7,4	14,8	0,3
	10	19	7	0,3	16,6	17,7	10,0	0,008	0,35	0,86	16000	30000	635-2HR	7,4	14,8	0,3
6	8	19	6	0,3	16,6	17,7	10,0	0,008	0,35	0,86	16000	30000	634	8,3	16,6	0,3
	9	19	6	0,3	16,6	17,7	10,0	0,008	0,35	0,86	16000	30000	624-2HR	8,3	16,6	0,3
	9	19	6	0,3	16,6	17,7	10,0	0,008	0,35	0,86	16000	30000	624-2HR	8,3	16,6	0,3
7	7	10	5	0,3	13,5	14,4	10,0	0,007	0,25	0,62	21000	41000	607	8	17	0,3
	7	10	5	0,3	13,5	14,4	10,0	0,007	0,25	0,62	21000	41000	607-3Z	8	17	0,3
	7	10	5	0,3	13,5	14,4	10,0	0,007	0,25	0,62	21000	41000	607-2HR	8	17	0,3
	7	22	7	0,3	18	19,1	12,4	0,011	0,25	0,62	30000	51000	627	9,4	18,8	0,3
	7	22	7	0,3	18	19,1	12,4	0,011	0,25	0,62	30000	51000	627-3Z	9,4	18,8	0,3
	7	22	7	0,3	18	19,1	12,4	0,011	0,25	0,62	30000	51000	627-2HR	9,4	18,8	0,3
8	8	22	7	0,3	18	19,1	12,4	0,011	0,25	0,62	30000	51000	628	10	20	0,3
	8	22	7	0,3	18	19,1	12,4	0,011	0,25	0,62	30000	51000	628-3Z	10	20	0,3
	8	22	7	0,3	18	19,1	12,4	0,011	0,25	0,62	30000	51000	628-2HR	10	20	0,3



# BONN EPOXITAR 70 HS

**CHEMIFABRIK** Recubrimientos Industriales, Marinos y Arquitectónicos

## TIPO GENERICO.

- Recubrimiento Coaltar-Epoxi a base de alquitrán de hulla y resinas epoxi poliamida.

## PROPIEDADES GENERALES.

- Recubrimiento de altos sólidos.
- Aplicable a espesores altos (hasta 300 micrones por capa) en una sola mano.

## USOS RECOMENDADOS.

- Se recomienda para la protección de tanques, tuberías, estructuras de metal y concreto que trabajan sumergidas o enterradas.
- Para embarcaciones marinas de todo tipo, plataformas y estructuras submarinas, chatas y tanques de transporte.
- Para concreto y madera en servicio de inmersión.

## PROPIEDADES FISICAS.

- **Acabado** : Semibrillante.
- **Color** : Negro, marrón.
- **Componentes** : 2
- **Relación Mezcla** : 3 a 1 en volumen.
- **Sólidos / volumen** : 78 % +/- 3 %.
- **Espesor de película**  
**Seca por capa** : 6 a 10 mils.
- **Rendimiento teórico:** 116 m<sup>2</sup> a 1.0 mil.

**Obs.** El rendimiento práctico está en función de las condiciones de aplicación, tipo de estructuras y estado de la superficie.

- **Diluyente** : Bonn Dilu D 820.
- **Diluyente limpieza** : Bonn Dilu D 815.
- **% de dilución** : Hasta 20 % según requiera.
- **Tiempo de vida útil de la mezcla** : 5 horas a 25°C.

## TEMPERATURA DE SERVICIO

Condición	Seco
Continuo	90°C
Intermitente	110°C

## TIEMPOS DE SECADO A 25°C.

Al tacto	12 horas.
Duro	18 horas.
Repintado mínimo	24 horas.
Repintado máximo	3 días.

## PREPARACION DE SUPERFICIE.

La duración de un sistema de pintado está en función directa al grado de preparación de la superficie.

### ➤ General.

La superficie a pintar debe estar completamente libre de grasa, polvo, óxido suelto, humedad o cualquier contaminante que pudiera interferir con la adherencia de la pintura.

En superficies de concreto nuevo, no pintar antes de los 28 días de curado (a 21°C y 50 % HR)

### ➤ Acero nuevo.

Preparación con chorro abrasivo según norma SSPC -SP10 para servicio de no inmersión.

Preparación con chorro abrasivo según norma SSPC - SP5 para servicio de inmersión.

### ➤ Acero con pintura antigua.

Preparación con chorro abrasivo según norma SSPC-SP 6 para servicio de no inmersión.

### ➤ Concreto.

Preparación con chorro abrasivo según norma ASTM D-4259 o preparación por ataque químico según norma ASTM D-4260. No pintar sobre concreto tratado con soluciones endurecedoras o acelerantes, a menos que pruebas en pequeñas áreas indiquen que hay adhesión satisfactoria.

### ➤ Perfil de rugosidad requerido.

Entre 1.8 a 3 mils, dependiendo del sistema de pintura.

## CHEMIFABRIK PERU S.A.C.

Jirón Sucre 129 Vulcano Ate, Lima Peru  
Teléfono: 349 4141 - Fax: 349 5419

www.chemifabrik.com.pe  
chemi@chemifabrik.com.pe



# BONN EPOXITAR 70 HS

**CHEMIFABRIK** Recubrimientos Industriales, Marinos y Arquitectónicos

## METODOS DE APLICACIÓN.

Página 2

Los equipos de aplicación aquí mencionados son referenciales y pueden utilizarse otros equivalentes.

### ➤ Equipo airless.

Equipo Graco 208-663, con bomba Bulldog o King y relación de presión 60 : 1 mínimo. Tamaño de boquilla entre **0.019" a 0.023"**. Presión de salida de 2 000 a 2 500 psi

### ➤ Equipo convencional de alta presión.

Similar a DeVillbis **P-MBC o JGA, casquillo D boquilla 64** con regulador de presión y abanico, filtros de aceite-humedad.

### ➤ Brocha y Rodillo.

Recomendado para áreas pequeñas y retoques.

Usar un rodillo de pelo corto y alma resistente a los solventes epóxicos.

### ➤ Condiciones de Aplicación.

Temperatura	Mínima	Máxima
Superficie	5 °C	40°C
Ambiente	5 °C	40°C
Humedad Relativa	----	85 %

**La temperatura de la superficie debe estar como mínimo 3 °C por encima de la temperatura de rocío durante la aplicación y secado de la pintura.**

## PROCEDIMIENTO DE APLICACION.

Verificar que se disponga de todos los componentes de la pintura y equipos de aplicación en buen estado.

Agitar por separado los componentes de la pintura: resina (parte A) y endurecedor (parte B) antes de mezclarlos.

En un envase limpio vierta la resina y luego el endurecedor en proporción 3 a 1 en volumen, luego agitar hasta obtener una mezcla homogénea.

Diluir la mezcla con diluyente epóxico Bonn Dilu D 820 hasta un 20 % máximo.

Filtrar la pintura mezclada con malla N° 30.

Aplicar la pintura midiendo el espesor de película húmedo de acuerdo al espesor seco requerido.

### ➤ Primers recomendados.

Bonn Zinc Inorgánico, Bonn Zimet 45, Bonn Zipox, Bonn Zipox 55, Bonn Mastic Primer NA HS.

## CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO.

Guardar el recipiente original herméticamente sellado y almacenarlo en lugar fresco, seco y bien ventilado.

Temperatura	10 °C a 40 °C
Humedad	0 % a 90 %
Tiempo	12 meses.

## CHEMIFABRIK PERU S.A.C.

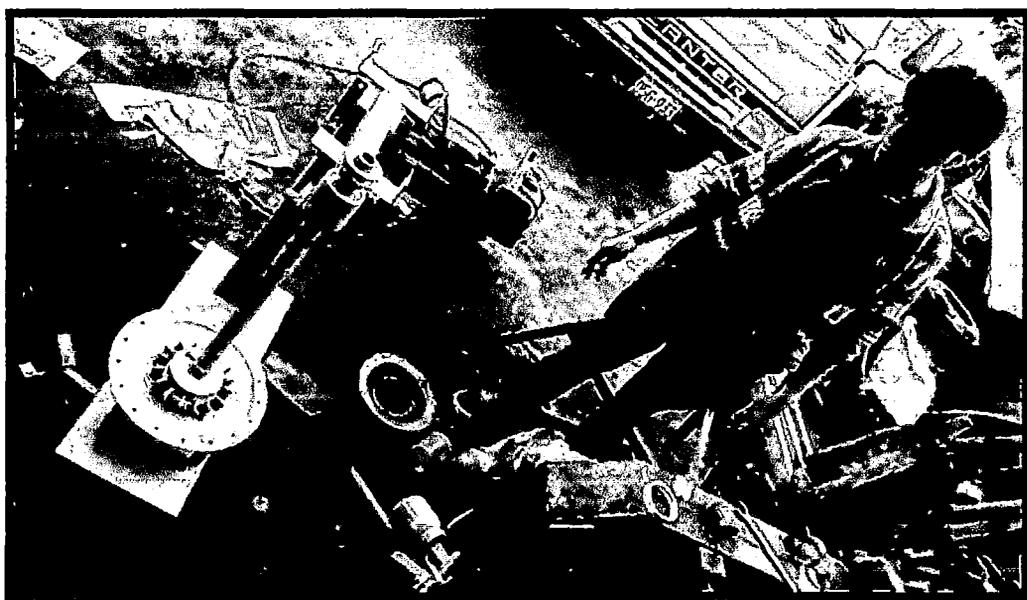
Jirón Sucre 129 Vulcano Ate, Lima Peru  
Teléfono: 349 4141 - Fax: 349 5419

www.chemifabrik.com.pe  
chemi@chemifabrik.com.pe

**ANEXO 4**  
**FOTOGRAFÍAS DE CONSTRUCCIÓN DE LA**  
**CELDA RONI**



**PINTANDO LA CELDA CON PINTURA EPOXICA EN EL TALLER**



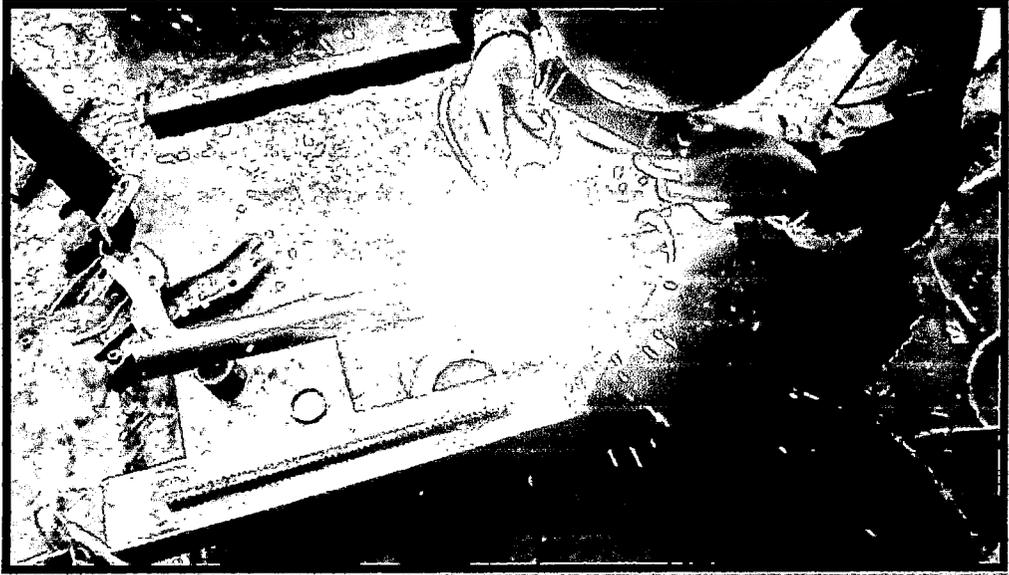
**ACABADO FINAL**



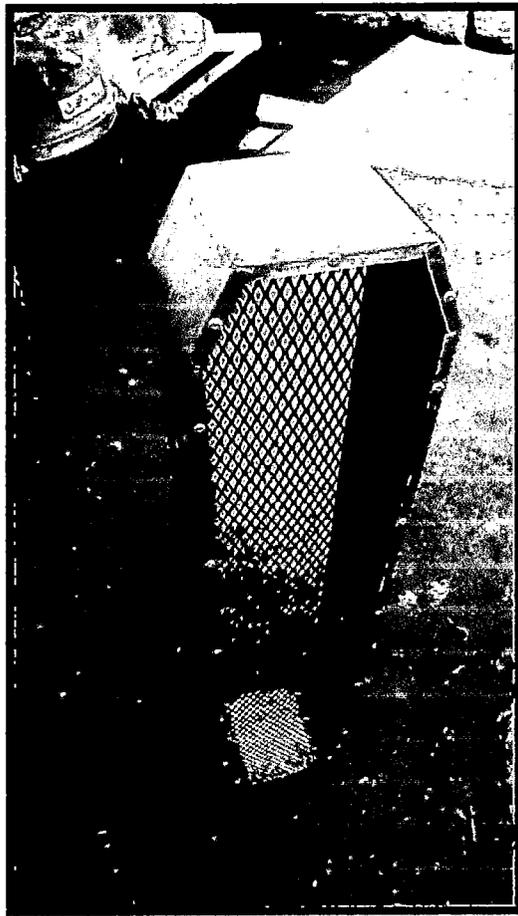
**SOLDANDO LA MANIJA DEL EJE PRINCIPAL**



**CORTE DE LAS PLANCHAS DE LA CELDA**



**SOLDADURA DE LAS TOBERAS DE AIRE**



**CONSTRUCCIÓN DEL PROTECTOR DE LA CORREA**



**SECADO DESPUÉS DEL PINTADO**



**CORTADO DE GOMAS**