

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍAS FÍSICAS Y FORMALES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECÁNICA-ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA



“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DE BOMBEO DE SLURRY PARA LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECÁNICA –ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA- UCSM 2016”

Tesis presentada por los Bachilleres:

CCAMAQUE CUTI FLAVIO CESAR

Bachiller en Ingeniería Mecánica- Eléctrica

ORTEGA RIMACHI LUIS FELIPE

Bachiller en Ingeniería Mecatrónica

AREQUIPA –PERÚ

2016

Esta tesis se la dedico a mi Abuelita NAZARIA SARAVIA, quien supo guiarme por el buen camino, darme fuerzas para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentaban, enseñándome a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento.

A mi familia quienes por ellos soy lo que soy. Para mi Abuelo, Mis Padres, Hermana por su apoyo, consejos, comprensión, amor, ayuda en los momentos difíciles, y por ayudarme con los recursos necesarios para estudiar. Me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi carácter, mi empeño, mi perseverancia, mi coraje para seguir mis objetivos.

Luis Felipe Ortega Rimachi

Dedico esta tesis a mi padre Flavio Ccamaque y hermana Rosio Ccamaque, porque ellos siempre estarán a mi lado para cuidarme.

A mi madre Eusebia Cuti, porque soy el resultado de su fortaleza y de lo que ella quiso para mí.

A Elizabeth por tocar mi corazón y quedarse ahí. Por motivarme y querer siempre lo mejor para mí.

Flavio Cesar Ccamaque Cuti

ÍNDICE

RESUMEN	xvi
ABSTRACT	xvii
INTRODUCCIÓN	xviii
CAPITULO I: GENERALIDADES	1
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	1
1.2. OBJETIVOS.....	2
1.2.1. Objetivo General	2
1.2.2. Objetivo Específicos	2
1.3. JUSTIFICACIÓN	3
1.3.1. Originalidad	3
1.3.2. Importancia.....	3
1.3.3. Actualidad.....	3
1.3.4. Utilidad.....	4
1.3.5. Viabilidad.....	4
1.4. LIMITACIONES	4
1.5. ANTECEDENTES	4
1.6. HIPÓTESIS.....	5
1.7. VARIABLES.....	5
1.7.1. Variable Independiente	5
1.7.2. Variable dependiente	5
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	6
2.1. INTRODUCCIÓN A SLURRY	6
2.1.1. Definición de Slurry	6
2.1.2. Características del slurry	6
2.1.3. Propiedades de un Slurry	7
2.1.4. Concentración de Sólidos.....	10
2.1.5. Slurries Homogéneos	10

2.2.	FORMULACIÓN MATEMÁTICA DE SLURRIES Y SUS PROPIEDADES. ...	11
2.2.1.	Introducción.....	11
2.3.	PROPIEDADES DE LOS SÓLIDOS PARA MEZCLAS DE PULPAS	11
2.3.1.	Clasificación de solidos.....	12
2.3.2.	Ensayos de solidos	15
2.3.3.	Ensayos de composición	16
2.3.4.	Ensayos de fortaleza, dureza y estratificación.....	16
2.3.5.	Textura de solidos.....	18
2.4.	FLUJO DE PULPAS.....	18
2.4.1.	Flujo homogéneo	19
2.4.2.	Flujo heterogéneo	20
2.5.	VELOCIDAD Y PERDIDAS DE PRESIÓN DEL FLUJO.....	21
2.5.1.	Velocidad críticas o de caída de partículas.....	21
2.5.2.	Densidad relativa de una pulpa	23
2.5.3.	Densidad de la mezcla.....	24
2.5.4.	Concentración en volumen	25
2.5.5.	Concentración en peso	26
2.6.	ESFUERZO CORTANTE DE LOS FLUIDOS NEWTONIANOS Y NO NEWTONIANOS	27
2.6.1.	Viscosidad absoluta de las pulpas $C_v < 1\%$	29
2.6.2.	Viscosidad absoluta de pulpas con $C_v < 20\%$	29
2.6.3.	Viscosidad absoluta de pulpas con altas $C_v \geq 20\%$	30
2.6.4.	Pulpas no-newtonianas.....	30
2.6.5.	Pulpas no-Newtonianas independientes del tiempo	32
2.7.	FORMULACIÓN MATEMÁTICA DE SISTEMA DE BOMBEO DE SLURRIES	37
2.7.1.	Caudal del Slurry o Pulpa	37
2.7.2.	Flujo másico del Slurry.....	38
2.7.3.	Slurry no depositantes y depositantes	38
2.7.4.	Numero de Reynolds para fluidos newtonianos y no newtonianos....	39
2.7.5.	Numero de Reynolds para Fluidos Newtonianos.....	40
2.7.6.	Numero de Reynolds para fluidos no newtonianos no sedimentarios.	40
2.7.7.	Obtención del factor de fricción para fluidos no newtonianos sedimentarios	41
2.7.8.	Factor de fricción para fluidos sedimentarios.....	42

2.7.9. Ecuación de Bernoulli Generalizada	43
2.7.10. Potencia del eje para un fluido newtoniano	44
2.7.5. Potencia del eje para un fluido no newtoniano	45
2.7.11. Caudal del Slurry o Pulpa	45
2.8. DESARROLLO TEÓRICO DE LOS COMPONENTES PARA UN SISTEMA DE BOMBEO DE SLURRIES	46
2.8.1. Bombas	46
2.8.2. Clasificación de las Bombas.....	46
2.8.3. Bombas Dinámicas	47
2.9. AGITADORES PARA TANQUES CERRADOS Y TANQUES ABIERTOS ...	52
2.9.1. Tipos de Agitadores	53
2.9.2. Consumo de la Potencia del Agitador	56
2.10. MEDIDORES DE PRESIÓN PARA SLURRY	59
2.11. TIPOS DE MANÓMETROS	59
2.11.1. Manómetros con tubo Bourdon	59
2.11.2. Manómetro con elemento de diafragma.....	60
2.11.3. Válvulas	71
2.12. FUNCIONES BÁSICA DE LAS VÁLVULAS:.....	72
2.12.1. Permitir el paso de un flujo o detenerlo:.....	72
2.12.2. Regular o limitar el flujo	73
2.12.3. Evitar el retorno del flujo	75
2.12.4. Regulación de presión y/o gasto	75
2.12.5. Válvula diafragma	76
2.12.6. Válvula mariposa.....	78
2.13. TUBERÍAS	79
2.13.1. Tuberías PVC.....	79
2.13.2. Tuberías de acero inoxidable	87
2.13.3. Tuberías HDPE	90

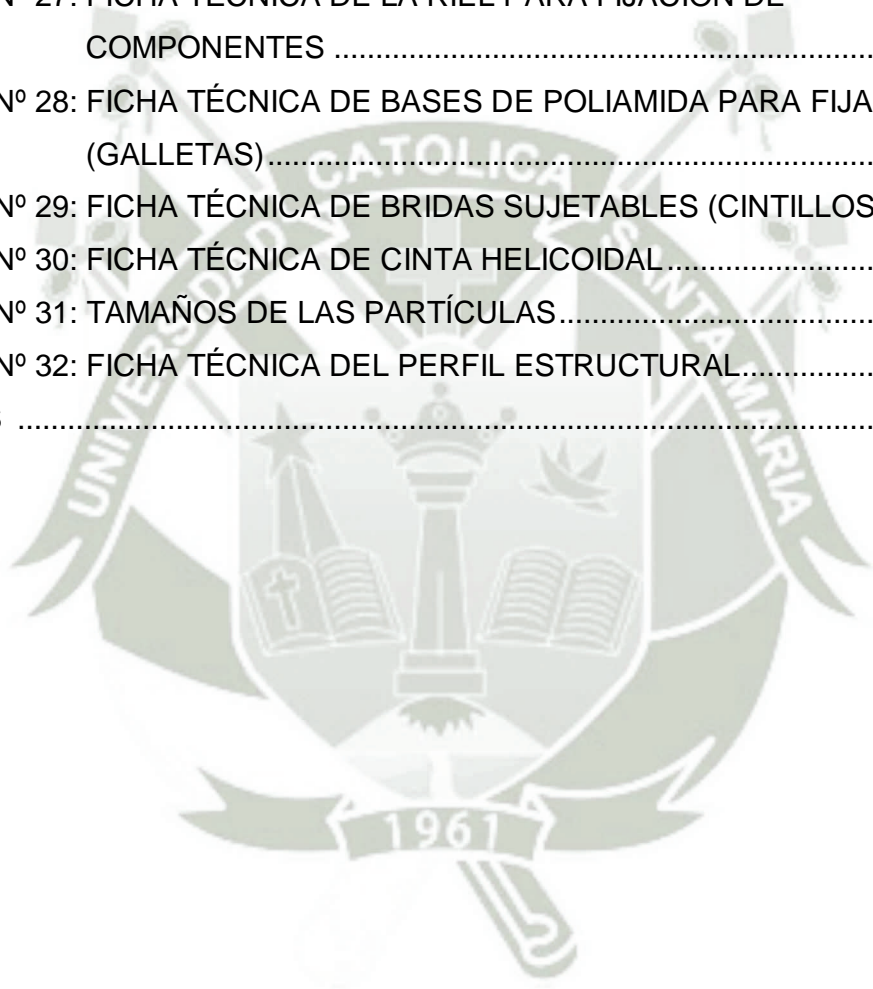
CAPITULO III METODOLOGÍA, DISEÑO, SELECCIONAMIENTO Y

CONSTRUCCIÓN DEL MODULO DE BOMBEO DE SLURRY	98
3.1. COMPRESIÓN DE LA SOLICITUD	99
3.1.1. Estado de la tecnología.	100
3.1.2. Estructura de funciones	104

3.2. CONCEPTO DE SOLUCIÓN	106
3.2.1. Matriz morfológica: Planteamiento de alternativas de diseño	107
3.2.2. Disposición básica	109
3.2.3. Evaluación del concepto de solución.	113
3.2.4. Proyecto preliminar optimo	115
3.3. ELABORACIÓN DEL PROYECTO	118
3.4. PROYECTO DEFINITIVO	118
3.5. DISEÑO DEL SISTEMA MECÁNICO CALCULO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES	119
3.5.1. Selección de la electrobomba	119
3.5.2. Diseño y seleccionamiento de la tubería:	127
3.5.3. Diseño del tanque de succión y descarga	129
3.5.4. Diseño del agitador	136
3.5.5. Diseño estructural del modulo	143
3.5.6. Selección de las válvulas.....	149
3.5.7. Selección de caudalimetro.....	150
3.5.8. Selección de manómetro	153
3.5.9. Diseño del sistema eléctrico.	155
3.6. CONSTRUCCIÓN DEL MODULO DE BOMBEO PARA SLURRIES.....	160
CAPÍTULO IV DISEÑO Y APLICACIÓN DE LAS GUÍAS PRÁCTICAS PARA EL MÓDULO DE BOMBEO DE SLURRY	168
4.1. INTRODUCCIÓN.....	168
4.2. PRUEBAS REALIZADAS EN EL MODULO DE BOMBEO DE SLURRY	168
4.3. GUÍA DE PRACTICA N°1 ANÁLISIS DE GRANULOMETRIA, OBTENCIÓN DEL DIÁMETRO EFECTIVO Y DENSIDAD RELATIVA DEL SLURRY.....	178
4.4. GUÍA DE PRACTICA N°2: CURVA CARACTERÍSTICA DE LA ELECTROMBA PARA AGUA Y SLURRY	182
4.5. GUÍA DE PRACTICA N°3: CERTIFICACIÓN DE PERDIDAS PRIMARIAS Y SECUNDARIAS EN EL MODULO DE BOMBEO DE SLURRY	198

CAPITULO V COSTO DEL MODULO DE BOMBEO DE SLURRY	210
5.1. INTRODUCCIÓN.....	210
5.2. COSTOS UNITARIOS.....	213
5.3. COSTOS TOTAL DEL MODULO	215
CONCLUSIONES.....	216
RECOMENDACIONES	217
BIBLIOGRAFÍA.....	218
ANEXOS.....	219
ANEXO N° 1: DIAGRAMA DE PROCESO	220
ANEXO N° 2: CARACTERISTICAS DE LA BOMBA.....	225
ANEXO N° 3: PESO ESPECIFICO DE MATERIALES	226
ANEXO N° 4: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA TUBERÍA	227
ANEXO N° 5: ESPESORES DE ACERO INOXIDABLE	228
ANEXO N° 6 CARACTERÍSTICAS DEL MOTO-REDUCTOR	228
ANEXO N° 7 PLANCHAS DE ACERO INOXIDABLE	229
ANEXO N° 8 FICHA TÉCNICA DE BARRAS DE ACERO INOXIDABLE	230
ANEXO N° 9: CODOS 90° CON ROSCA.....	231
ANEXO N° 10: UNIONES CON ROSCA INTERNA.....	231
ANEXO N° 11: ESPECIFICACIONES TECNICAS DE LA UNION UNIVERSAL DE 2"	232
ANEXO N° 12: ESPECIFICACIONES TECNICAS DE ABRAZADERA 2 CUERPOS TERMOPLÁSTICAS DE 2"	233
ANEXO N° 13: FICHA TÉCNICA DE ABRAZADERAS LIGERAS DE DOBLE PIE.....	234
ANEXO N° 14: FICHA TÉCNICA DE ABRAZADERAS LIGERAS SIN-FIN	235
ANEXO N° 15: FICHA TÉCNICA DE BRIDAS DE PVC	236
ANEXO N° 16: FICHA TÉCNICA DE ABRAZADERAS DE MANGUITOS PORTA BRIDAS HEMBRA.....	237
ANEXO N° 17: FICHA TÉCNICA DE CLAVIJAS PARA TOMA DE ENERGIA	238
ANEXO N° 18: FICHA TÉCNICA DE PULSADORES.....	239
ANEXO N° 19: FICHA TÉCNICA DE PULSADORES DE PARADA DE EMERGENCIA.....	240

ANEXO N° 20: FICHA TÉCNICA DE TERMOMAGNETICAS TRIFASICAS Y MONOFASICAS	241
ANEXO N° 21: FICHA TÉCNICA DE CONTACTORES.....	242
ANEXO N° 22: FICHA TÉCNICA DEL RELE DE PROTECCION TERMICA.....	243
ANEXO N° 23: FICHA TÉCNICA DEL CONDUCTOR ELECTRICO.....	244
ANEXO N° 24: FICHA TÉCNICA DE LAS BORNERAS DE CONEXION	245
ANEXO N° 25: FICHA TÉCNICA DE CONECTORES RECTOS	246
ANEXO N° 26: FICHA TÉCNICA DEL TUBO FLEXIBLE	247
ANEXO N° 27: FICHA TÉCNICA DE LA RIEL PARA FIJACION DE COMPONENTES	248
ANEXO N° 28: FICHA TÉCNICA DE BASES DE POLIAMIDA PARA FIJACION (GALLETAS).....	249
ANEXO N° 29: FICHA TÉCNICA DE BRIDAS SUJETABLES (CINTILLOS)	250
ANEXO N° 30: FICHA TÉCNICA DE CINTA HELICOIDAL.....	251
ANEXO N° 31: TAMAÑOS DE LAS PARTÍCULAS.....	252
ANEXO N° 32: FICHA TÉCNICA DEL PERFIL ESTRUCTURAL.....	253
PLANOS	254



ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO Nº 1: RANGO DE TAMAÑOS DE PARTÍCULAS DE SÓLIDOS DE ACUERDO CON LA NORMA ASTM D2488.	13
CUADRO Nº 2: CONVERSIÓN ENTRE ESCALAS MÁS COMUNES DE TAMAÑO DE PARTÍCULAS.	14
CUADRO Nº 3: PARÁMETROS DE ENSAYOS EN SÓLIDOS PARA MEZCLADO DE PULPAS 15	15
CUADRO Nº 4: VELOCIDAD TERMINAL O DE CAÍDA DE PARTÍCULAS SÓLIDAS 22	22
CUADRO Nº 5: REGÍMENES DE FLUJOS PARA PULPAS NEWTONIANAS Y NO NEWTONIANAS..... 31	31
CUADRO Nº 6: EJEMPLOS DE FLUIDOS SEGÚN SUS PROPIEDADES REOLÓGICAS 36	36
CUADRO Nº 7: CONSTANTES KL Y KT PARA EL CÁLCULO DE POTENCIA 58	58
CUADRO Nº 8: CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DE LA TUBERÍAS PVC-0 500 FRENTE A OTRAS TUBERÍAS PLÁSTICAS. 81	81
CUADRO Nº 9: CARACTERÍSTICAS NO MECÁNICAS DE LAS TUBERÍAS PVC-0 500 81	81
CUADRO Nº 10: CLASIFICACIÓN DEL MATERIAL 86	86
CUADRO Nº 11: PROPIEDADES MECÁNICAS ASTM 89	89
CUADRO Nº 12: APLICACIONES DEL AISI 304L..... 89	89
CUADRO Nº 13: PROPIEDADES FÍSICAS DEL MATERIAL 90	90
CUADRO Nº 14: LISTAS DE EXIGENCIAS 102	102
CUADRO Nº 15: MATRIZ MORFOLÓGICA 107	107
CUADRO Nº 16: SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVAS PROPUESTAS..... 114	114
CUADRO Nº 17: VALORES RELATIVOS DE SOLUCION..... 115	115
CUADRO Nº 18: EVALUACION ECONOMICA DE PROYECTO 116	116
CUADRO Nº 19: EVALUACION TECNICA DE PROYECTO 116	116
CUADRO Nº 20: COORDENADAS CARTESIANAS DE LOS PROYECTOS PRELIMINARES Y SOLUCION IDEAL 117	117
CUADRO Nº 21: ESPECIFICACIONES TECNO-ECONOMICAS DE LAS BOMBAS 3X3, 2X2, 1X1. 120	120
CUADRO Nº 22: CALIFACIONES CONSIDERANDO LOS ASPECTOS TECNICOS DE LAS BOMBAS 3X3, 2X2, 1X1..... 121	121
CUADRO Nº 23: CALIFACIONES CONSIDERANDO LOS ASPECTOS ECONOMICOS DE LAS BOMBAS 3X3, 2X2, 1X1..... 121	121
CUADRO Nº 24: PLACA DE LA ELECTROBOMBA SELECCIONADA 122	122
CUADRO Nº 25: ANÁLISIS DE LA MUESTRA DE LA ARENA..... 123	123
CUADRO Nº 26: CLASIFICACION DE LOS MATERIALES SEGÚN LA A.S.T.M..... 124	124
CUADRO Nº 27: ESPECIFICACIONES TECNO-ECONOMICAS DE LAS TUBERÍAS HDPE, PVC Y ACERO..... 128	128
CUADRO Nº 28: ESPECIFICACIONES TECNO-ECONOMICAS DEL ACERO COMERCIAL, PVC Y ACERO INOXIDABLE 130	130
CUADRO Nº 29: PROPORCIONES BASICAS PARA UN AGITADOR..... 136	136
CUADRO Nº 30: VALOR DE LAS DIMENSIONES DEL AGITADOR DEL MODULO DE BOMBEO DE SLURRY..... 137	137

CUADRO Nº 31: PESOS UNITARIOS Y PESO TOTAL DE LOS COMPONENTES DEL MODULO DE BOMBEO DE SLURRY	143
CUADRO Nº 32: SELECCIÓN DEL PERFIL ESTRUCTURAL	147
CUADRO Nº 33: CARACTERISTICAS DEL LA VALVULA PARA EL MODULO DE BOMBEO DE SLURRY	149
CUADRO Nº 34: CARACTERÍSTICAS DEL CAUDALIMETRO PARA EL MODULO DE BOMBEO DE SLURRY (PARTE 1)	151
CUADRO Nº 35: CARACTERÍSTICAS DEL CAUDALIMETRO PARA EL MODULO DE BOMBEO DE SLURRY (PARTE 2)	152
CUADRO Nº 36: CARACTERISTICAS INDIVIDUALES DE LOS COMPONENTES DEL MODULO DE BOMBEO DE SLURRY	160
CUADRO Nº 37: DATOS DE LA PRIMERA PRUEBA Y OBTENCIÓN DE FACTOR DE FRICCIÓN.....	169
CUADRO Nº 38: DATOS DE LA SEGUNDA PRUEBA Y OBTENCIÓN DE FACTOR DE FRICCIÓN.....	169
CUADRO Nº 39: DATOS DE LA TERCERA PRUEBA Y OBTENCIÓN DE FACTOR DE FRICCIÓN.....	170
CUADRO Nº 40: DATOS DEL CAUDAL MÁXIMO DE LAS PRUEBAS REALIZADAS DE LOS CUADROS 41, 42 Y 43	170
CUADRO Nº 41: PROMEDIOS DEL CAUDAL Y DEL FACTOR DE FRICCIÓN DEL CUADRO 44	170
CUADRO Nº 42: CAUDAL INTERMEDIO PROMEDIO DE NUESTRAS PRUEBAS REALIZADAS DE LOS CUADROS 41,42 Y 43.....	171
CUADRO Nº 43: PROMEDIOS DEL CAUDAL Y DEL FACTOR DE FRICCIÓN DEL CUADRO 46	171
CUADRO Nº 44: CAUDAL INTERMEDIO PROMEDIO DE NUESTRAS PRUEBAS REALIZADAS DE LOS CUADROS 41,42 Y 43.....	171
CUADRO Nº 45: PROMEDIOS DEL CAUDAL Y DEL FACTOR DE FRICCIÓN DEL CUADRO 58	172
CUADRO Nº 46: CAUDAL MINIMO PROMEDIO DE NUESTRAS PRUEBAS REALIZADAS DE LOS CUADROS 41,42 Y 43.....	172
CUADRO Nº 47: PROMEDIOS DEL CAUDAL Y DEL FACTOR DE FRICCIÓN DEL CUADRO 50	172
CUADRO Nº 48: PROMEDIOS DEL CAUDAL Y DEL FACTOR DE FRICCIÓN DE LOS CUADROS	172
CUADRO Nº 49: COMPONENTES DEL MODULO DE BOMBEO DE SLURRY	186
CUADRO Nº 50: DATOS PARA GRAFICAR LA CURVA DEL SISTEMA	193
CUADRO Nº 51: DATOS PARA GRAFICAR LA CURVA DE LA BOMBA PARA SLURRY.....	194
CUADRO Nº 52: DATOS PARA GRAFICAR LA CURVA DE LA BOMBA PARA AGUA	195
CUADRO Nº 53: COMPONENTES DEL MODULO DE BOMBEO DE SLURRY	202
CUADRO Nº 54: DATOS PARA GRAFICAR LA CURVA DE LA BOMBA PARA AGUA	205
CUADRO Nº 55: ESPECIFICACION DE COSTOS UNITARIOS DE LOS COMPONENTES DEL MODULO DE BOMBEO DE SLURRY	213
CUADRO Nº 56: ESPECIFICACIÓN DE COSTOS UNITARIOS DE LOS EQUIPOS DEL MODULO DE BOMBEO DE SLURRY	214
CUADRO Nº 57: ESPECIFICACIÓN DE COSTOS UNITARIOS DE LOS MATERIALES USADOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL MODULO.....	214
CUADRO Nº 58: COSTOS TOTAL DEL MODULO DE BOMBEO DE SLURRY.....	215

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA N° 1: LOS TRES MODELOS DE ABRASIÓN.....	7
FIGURA N° 2: LOS TRES MODELOS PRINCIPALES DE EROSIÓN.....	9
FIGURA N° 3: DIAGRAMA DE UNA PULPA MINERAL A TRAVÉS DE UNA TUBERÍA.....	11
FIGURA N° 4: CONCEPTO DE VELOCIDAD CRÍTICA EN SISTEMAS DE PULPAS	23
FIGURA N° 5: ESFUERZO DE CORTE VERSUS TASA DE CORTE	28
FIGURA N° 6: COMPORTAMIENTO DE LOS FLUIDOS NEWTONIANOS Y NO NEWTONIANOS.....	28
FIGURA N° 7: ESFUERZO DE CORTE VERSUS TASA DE CORTE DE FLUIDOS NO, NEWTONIANOS INDEPENDIENTES DEL TIEMPO	33
FIGURA N° 8: VISCOSIDAD APARENTE VERSUS TASA DE CORTE DE FLUIDOS NO, NEWTONIANOS INDEPENDIENTES DEL TIEMPO	34
FIGURA N° 9: ESFUERZO DE CORTE VERSUS TASA DE CORTE DE FLUIDOS NO, NEWTONIANOS DEPENDIENTES DEL TIEMPO.....	37
FIGURA N° 10: RELACIÓN DE LA PÉRDIDA FRICCIONAL CON LA VELOCIDAD DE FLUJO EN TUBOS PARA FLUIDOS DE LA LEY DE POTENCIA	42
FIGURA N° 11: SISTEMA DE BOMBEO.....	44
FIGURA N° 12: CLASIFICACIÓN DE BOMBAS.....	47
FIGURA N° 13: COMPONENTES DE LA BOMBA CENTRIFUGA PARA SLURRY	48
FIGURA N° 14: ELEMENTOS DE UNA BOMBA	49
FIGURA N° 15: BOMBAS SUMERGIBLES.....	50
FIGURA N° 16: BOMBA CINEMATICA DE FLUJO MIXTO CON SU IMPULSOR.....	50
FIGURA N° 17: AGITADORES PARA TANQUES CERRADOS Y ABIERTOS.....	52
FIGURA N° 18: AGITADORES DE FLUJO AXIAL Y FLUJO RADIAL	53
FIGURA N° 19: AGITADOR DE HELICE.....	54
FIGURA N° 20: AGITADOR DE PALETAS.....	55

FIGURA N° 21: AGITADOR DE TURBINA.....	56
FIGURA N° 22: MANÓMETRO CON TUBO DE BOURDON	60
FIGURA N° 23: MANÓMETRO CON DIAFRAGMA.....	61
FIGURA N° 24: CAUDALIMETRO MASICO DE CORIOLIS	65
FIGURA N° 25: CAUDALIMETRO ELECTROMAGNETICO	66
FIGURA N° 26: CAUDALIMETRO ELECTROMAGNETICO PUESTA EN MARCHA... 67	
FIGURA N° 27: CAUDALIMETRO VORTEX.....	68
FIGURA N° 28: CAUDALIMETROS POR PRESIÓN DIFERENCIAL.....	70
FIGURA N° 29: POR PRESIÓN DIFERENCIAL.....	71
FIGURA N° 30: VÁLVULA DE COMPUERTA Y DISECCIÓN.....	73
FIGURA N° 31: VÁLVULA DE GLOBO CORTE TRANSVERSAL.....	73
FIGURA N° 32: VÁLVULA DE ANGULO	74
FIGURA N° 33: VÁLVULA DE AGUJA	74
FIGURA N° 34: VÁLVULA DE RETENCIÓN A BISAGRA.....	75
FIGURA N° 35: VÁLVULA DE PRESIÓN Y/O GASTO	76
FIGURA N° 36: FUNCIONAMIENTO DE LA VÁLVULA DIAFRAGMA.....	78
FIGURA N° 37: FUNCIONAMIENTO DE LA VÁLVULA MARIPOSA	79
FIGURA N° 38: CURVA DE ESFUERZO-DEFORMACIÓN.....	83
FIGURA N° 39: CURVA DE REGRESIÓN DE RESISTENCIA HIDROSTÁTICA	84
FIGURA N° 40: TIPOS DE TUBERÍAS Y LAS PRESIONES QUE PUEDEN SOPORTAR.....	85
FIGURA N° 41: DIMENSIONES DE LA TUBERÍA PVC.....	86
FIGURA N° 42: SOLDADURA POR TERMOFUSIÓN	94
FIGURA N° 43: SOLDADURA POR ELECTRO-FUSIÓN	95
FIGURA N° 44: DIAGRAMA DE TRABAJO PARA EL MODULO DE BOMBEO DE SLURRY	99

FIGURA N° 45: PROCEDO DE BOMBEO DE SLURRY.....	103
FIGURA N° 46: DIAGRAMA DEL PROCESO DE BOMBEO DE SLURRY.....	105
FIGURA N° 47: DIAGRAMA DE LA ALTERNATIVA S1.....	110
FIGURA N° 48: DIAGRAMA DE LA ALTERNATIVA S2.....	111
FIGURA N° 49: DIAGRAMA DE LA ALTERNATIVA S3.....	112
FIGURA N° 50: COORDENADAS CARTESIANAS DE LOS PROYECTOS PRELIMINARES Y SOLUCION IDEAL.....	117
FIGURA N° 51: PROYECTO DEFINITIVO.....	118
FIGURA N° 52: COORDENADAS CARTESIANAS DE LAS BOMAS 3X3, 2X2, 1X1 PRELIMINARES A LA SOLUCION IDEAL.....	122
FIGURA N° 53: OBTENCIÓN GRAFICA DEL DIÁMETRO EFECTIVO DEL SLURRY.....	124
FIGURA N° 54: TUBERÍA DEL MODULO DE BOMBEO DE SLURRY.....	129
FIGURA N° 55: TANQUE DEL MODULO DE BOMBEO DE SLURRY.....	132
FIGURA N° 56: TANQUE CON SLURRY DEL MÓDULO DE BOMBEO DE SLURRY.....	134
FIGURA N° 57: DISEÑO DEL AGITADOR PARA EL MODULO DE BOMBEO DE SLURRY.....	137
FIGURA N° 58: DIMENSIONES DEL AGITADOR PARA MODULO DE BOMBEO DE SLURRY.....	138
FIGURA N° 59: MONTAJE DEL AGITADOR PARA EL MODULO DE BOMBEO DE SLURRY.....	138
FIGURA N° 60: MOTO-REDUCTOR DEL MODULO DE BOMBEO DE SLURRY.....	140
FIGURA N° 61: MOTO-REDUCTOR MAS LA BASE DEL MOTO-REDUCTOR DEL MODULO DE BOMBEO DE SLURRY.....	142
FIGURA N° 62: BASE DE LA ESTRUCTURA Y CARGA TOTAL.....	143
FIGURA N° 63: ESTRUCTURA DEL MÓDULO CON LOS PERFILES SELECCIONADOS.....	148
FIGURA N° 64: ESTRUCTURA DEL MÓDULO CON LOS PERFILES SELECCIONADOS.....	150

FIGURA Nº 65: TRANSMISOR DEL CAUDALIMETRO ELECTROMAGNETICO DEL MODULO DE BOMBEO DE SLURRY	153
FIGURA Nº 66 SENSOR DEL CAUDALIMETRO ELECTROMAGNETICO DEL MODULO DE BOMBEO DE SLURRY	153
FIGURA Nº 67: MANOMETRO DEL CAUDALIMETRO ELECTROMAGNETICO DEL MODULO DE BOMBEO DE SLURRY	154
FIGURA Nº 68: SISTEMA ELECTRICO DE POTENCIA	157
FIGURA Nº 69: SISTEMA ELECTRICO DE CONTROL	159
FIGURA Nº 70: CURVA DE FACTOR DE FRICCIÓN PARA SLURRY	173
FIGURA Nº 71: MODULO DE BOMBEO DE SLURRY	183
FIGURA Nº 72: MODULO DE BOMBEO DE SLURRY LADO DERECHO	184
FIGURA Nº 73: MODULO DE BOMBEO DE SLURRY LADO IZQUIERDO	185
FIGURA Nº 74: GRAFICA DE LA CURVA DEL SISTEMA.....	193
FIGURA Nº 75: CURVA DE LA BOMBA PARA SLURRY CON LOS DATOS TOMADOS DEL ENSAYO.....	194
FIGURA Nº 76: CURVA DE LA BOMBA PARA AGUA CON LOS DATOS QUE NOS DA EL FABRICANTE.....	195
FIGURA Nº 77: DEMOSTRACIÓN DE LA INEFICIENCIA POR SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN	196
FIGURA Nº 78: CURVAS PARA LAS DOS BOMBAS Y CURVA DEL SISTEMA	197
FIGURA Nº 79: PUNTO DE OPERACIÓN DE LA BOMBA PARA SLURRY	197
FIGURA Nº 80: MODULO DE BOMBEO DE SLURRY	199
FIGURA Nº 81: MODULO DE BOMBEO DE SLURRY LADO DERECHO	200
FIGURA Nº 82: MODULO DE BOMBEO DE SLURRY LADO IZQUIERDO	201
FIGURA Nº 83: RUGOSIDAD RELATIVA DE LA TUBERÍA	206
FIGURA Nº 84: CURVA DEL SISTEMA.....	209
FIGURA Nº 85: PUNTO DE OPERACIÓN DE LA BOMBA.....	209

RESUMEN

El presente proyecto de diseño e implementación del Módulo de Bombeo de Slurry para la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica-Eléctrica y Mecatrónica, se crea de la necesidad de conocer el comportamiento visual real de fluidos no newtonianos y plasmarlos en la verificación experimental con los modelos matemáticos.

Se procede a desarrollar documentalmente todo lo concerniente a cada uno de los componentes con sus respectivas características, ventajas y desventajas del módulo de bombeo para una selección adecuada; seguidamente se procede al planteamiento metodológico del diseño del módulo con sus respectivas alternativas para seleccionar por medio de los factores, el resultado óptimo, cumpliendo estrictamente la metodología implementada para el diseño de este.

Finalmente se procede con la construcción del módulo, al mismo tiempo se desarrolla los protocolos de funcionamiento y verificación de las pruebas experimentales con los modelos matemáticos, por último se realiza la formulación de las guías de prácticas para el uso de los alumnos de nuestra Escuela Profesional.

PALABRAS CLAVES: Slurry, Modulo de bombeo, factor de fricción, caudal, presión.

ABSTRACT

The present project is based of slurry pumping module for the Professional School of Mechanical, Electrical-Mechanical and Mechatronics Engineering. In this project is created to know the experimental and visual behavior of non-Newtonian fluids and translate the experimental verification of the models mathematicians.

We proceed to develop documented everything about each of the components with their respective characteristics, advantages and disadvantages of the pumping system for proper selection; then proceed to the methodological approach to module design with their alternatives to select by means of the optimal factors, in strict compliance methodology.

Finally the construction of the module is done and proceeds to the operating protocols and verification of experimental tests mathematical models, concluding with the formulation of guidelines for the Implementation of years students in our Vocational School.

KEY WORDS: Slurry, pumping system, friction factor, flow, pressure.

INTRODUCCIÓN

El presente proyecto tiene como finalidad proporcionar al Área de Energía de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica-Eléctrica y Mecatrónica un Módulo de Bombeo de Slurry que sea funcional, didáctico y útil para el aprendizaje de los alumnos de nuestra facultad.

El Diseño del Módulo está desarrollado tomando en cuenta la gran importancia que tiene el traslado de sólidos en una industria minera, donde se utiliza el agua como medio de transporte de los sólidos. Por lo antes mencionado la importancia de construir un módulo de bombeo de slurry para la escuela profesional, donde el estudiante de la facultad podrá reforzar sus conocimientos teóricos con los prácticos. Así mismo se desarrollara el procedimiento que será empleado para la interacción Máquina – Operador. El modulo brindara seguridad y ergonomía al operador.

Teniendo en cuenta estas premisas el presente trabajo de investigación se divide de la siguiente manera:

CAPÍTULO I GENERALIDADES: El Capítulo identifica el problema, cuyas interrogantes deberán ser respondidas en el proceso de la investigación, precisando con claridad las variables del estudio para facilitar el desarrollo de las mismas, siendo en este caso el diseño de un Módulo Bombeo de slurry como variable dependiente y los factores estimados de medición de presión, caudal, concentración de peso y volumen de slurry como variable independiente, para luego precisar los objetivos del estudio y la hipótesis correspondiente que será contrastada con los resultados del trabajo de investigación.

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO: Se ha considerado un Marco Teórico, el cual está relacionado fundamentalmente a seis factores; bombeo de slurry, mezcla de agua más arena, medición de presión, caudal, concentración de peso y volumen.

CAPÍTULO III METODOLOGÍA, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL MODULO DE BOMBEO DE SLURRY. Haciendo referencia al Diseño del Módulo de bombeo de slurry, se considerará la metodología de diseño, diseño, cálculo y seleccionamiento de los principales componentes del módulo de bombeo.

CAPÍTULO IV DISEÑO DE LAS GUÍAS PRACTICAS PARA EL MODULO DE BOMBEO DE SLURRY.

En este capítulo se propondrá 3 guías prácticas de laboratorio para la escuela profesional, siendo estas:

- Guía de practica n°1 análisis de granulometría, obtención del diámetro efectivo y densidad relativa del slurry.
- Guía de práctica n°2: curva característica de la electrobomba para agua y slurry
- Guía de practica n°3: certificación de perdidas primarias y secundarias en el módulo de bombeado de slurry

CAPITULO V COSTO DEL MODULO DE BOMBEO DE SLURRY.

En este capítulo detallamos los costos unitarios de cada uno de los componentes y partes para luego obtener el costo total del módulo de bombeo de Slurry.

Finalizando con conclusiones y recomendaciones.

CAPITULO I: GENERALIDADES

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El estudio acerca de hidráulica de pulpas comenzó a desarrollarse con más énfasis en la década de los 50, con pruebas sencillas de bombeos de arena y carbón, trabajando con bajas concentraciones. Este estudio ha evolucionado de manera gradual para poder incidir en el bombeo de pulpas en la industria alimentaria y en las industrias de procesos.

La amplia gama de minerales bombeados así como el tamaño de las partículas sólidas y las diversas propiedades físico-químicas de los fluidos transportantes, hacen que el estudio de pulpas requiera de diversos modelos matemáticos y empíricos para predecir su comportamiento.

Una pulpa es básicamente una mezcla de sólidos y líquidos a diferentes concentraciones. Sus propiedades físicas son dependientes de varios factores tales como: el tamaño y distribución de las partículas sólidas, la concentración de los sólidos en la fase líquida, el nivel de turbulencia, la temperatura y principalmente la viscosidad absoluta o dinámica del medio transportante.

En la actualidad, el transporte hidráulico de una pulpa se efectúa a través de tuberías, donde la pulpa es impulsada por una bomba centrífuga especial, la cual tiene un recubrimiento internamente. Para poder estimar la potencia de una bomba, es necesario conocer la caída de presión que habrá a lo largo de una tubería. Dicha caída de presión la podremos estimar con el conocimiento del factor de fricción, para realizar un apropiado seleccionamiento de la bomba centrífuga y no sobredimensionarla, ya que una bomba sobredimensionada implica un aumento en los costos de inversión.

La formación del Ingeniero Mecánico, Mecánico Electricista y Mecatrónico debe adecuarse a las expectativas y necesidades que actualmente reclama los sectores de desempeño de este profesional, especialmente el sector minero. En el caso de la Universidad Católica de Santa María podemos considerar que existe limitación en un conjunto de materias formativas que son exclusivamente teóricas, como es caso de cursos relacionados de Mecánica de Fluidos, Maquina Industrial, donde la limitación del estudiante a poder responder a las expectativas del mercado se ven limitadas por la falta de práctica de esta materia que es necesaria en la actividad del ingeniero en el desempeño de aplicar sus conocimientos.

Por lo tanto esta tesis consiste en diseñar un módulo de bombeo de slurry para la escuela profesional de ingeniería mecánica, mecánica eléctrica y mecatrónica, ya que esta aportara en gran medida conocimientos prácticos al estudiante de la facultad y así mismo reforzar los conocimientos teóricos, que se imparten en los cursos ya anteriormente mencionados.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo General

Diseño e Implementación de un Módulo de Bombeo de Slurry para la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica – Eléctrica y Mecatrónica- UCSM 2015.

1.2.2. Objetivo Específicos

1. Diseño de un Módulo de Bombeo de Slurry para la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica –Eléctrica y Mecatrónica- UCSM.

2. Construcción de un Módulo de Bombeo de Slurry para la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica – Eléctrica y Mecatrónica- UCSM.
3. Realizar la verificación del factor de fricción de las formulas propuestas por en bibliografías, respecto con las pruebas del módulo propuesto con diferentes concentraciones en volumen.
4. Obtener la curva característica de la bomba para slurry ineficiencia y comprobar la ineficiencia por solidos de la curva característica de la bomba para slurry.
5. Elaborar guías prácticas para la verificación del factor de fricción y curvas características de una bomba de lodos en el módulo de bombeo de slurry.

1.3. JUSTIFICACIÓN

1.3.1. Originalidad

Dicho proyecto posee una originalidad específica porque permite realizar un estudio de la cuantificación del factor de fricción para distintos porcentajes de mezcla (arena + agua), tiene un enfoque singular.

1.3.2. Importancia

El proyecto es importante porque pretende aportar conocimientos sobre el bombeo de slurries para diferentes porcentajes de mezcla para los alumnos de la Escuela Profesional de Mecánica Eléctrica y Mecatrónica.

1.3.3. Actualidad

Porque no existen estudios relacionados con el bombeo de slurry.

1.3.4. Utilidad

El aporte será beneficioso por que los resultados de la investigación permitirá conocer el factor de fricción real para diferentes porcentajes de mezcla y también visualizar el comportamiento del slurry en la tubería.

1.3.5. Viabilidad

El proyecto es viable porque cuento con recursos los recursos tecnológicos para la fabricación de este módulo, financiamiento, tiempo para realizar la investigación y conocimientos metodológicos para orientar con propiedad el proyecto.

1.4. LIMITACIONES

➤ Limitaciones Académicas

Limitación de encontrar profesionales especializados en materia de bombeo de slurry con tiempo disponible para realizar el asesoramiento técnico.

Limitación de no encontrar módulos especializados en la materia en las instituciones que se imparte educación superior en tema de Bombeo de Slurry.

➤ Limitaciones de materiales

Limitación de material bibliográfico y hemerográfico en las diferentes fuentes de información tanto de la UCSM como las demás instituciones que brindan este servicio.

Limitación de acceso logístico en la facilidad para adquirir material tecnológico para la construcción el módulo.

1.5. ANTECEDENTES

El desarrollo del proyecto ha tomado como referencia las aplicaciones de bombeo de slurry, los cuales han sido materia de investigación en diferentes Universidades tanto en el ámbito nacional e internacional como se detalla a continuación:

1.6. HIPÓTESIS

Dado: Que la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica – Eléctrica y Mecatrónica- UCSM, requiere un Módulo de Bombeo de Slurry que permitirá realizar el comportamiento de un fluido no newtoniano, basado en lodos; se propone el diseño e implementación de dicho modulo.

Es probable: Que el modulo en la práctica, permita conocer los parámetros de transporte de fluidos no newtonianos.

1.7. VARIABLES

1.7.1. Variable Independiente

Diseño de un Módulo Didáctico de bombeo de slurry

1.7.2. Variable dependiente

Presión, caudal, concentración de peso, volumen de slurry, perdidas y eficiencia.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. INTRODUCCIÓN A SLURRY

2.1.1. Definición de Slurry¹

Un Slurry es una combinación de partículas de agua con algunas partículas sólidas. La combinación del tipo, tamaño, forma y cantidad de las partículas junto con la naturaleza del líquido de transporte determina las características exactas y las propiedades de fluencia de la suspensión.

2.1.2. Características del slurry²

Los slurries se pueden ampliamente dividir en los dos grupos generales de no sedimentario y sedimentario.

Slurry no sedimentario implican partículas muy finas que se pueden formar los slurries homogéneos estables que exponen aumentar la viscosidad aparente. Estos slurries suelen tener propiedades de desgaste bajos, pero requieren una cuidadosa consideración al seleccionar la bomba correcta y manejo ya que a menudo no se comportan como un líquido normal. Cuando los sólidos finos están presentes en el slurry en cantidades suficiente para causar este cambio lejos del comportamiento de un líquido normal, se le conoce como no newtoniano.

Slurry sedimentario son formadas por partículas más gruesas y tienden a formar una slurry inestable. Por lo tanto, se debe prestar especial atención al flujo y los cálculos de potencia. Estas partículas más gruesas tienden a tener propiedades de desgaste superiores y forman la mayor aplicación de slurry. Este tipo slurry también se le denomina como heterogéneo.

¹ Febrero, 2009. Principio de las bombas de lodos. "*Slurry pump hand book-2009*", 5ta edición, p.1

² Febrero, 2009. Ob. Cit., p.1

2.1.3. Propiedades de un Slurry

Abrasión³

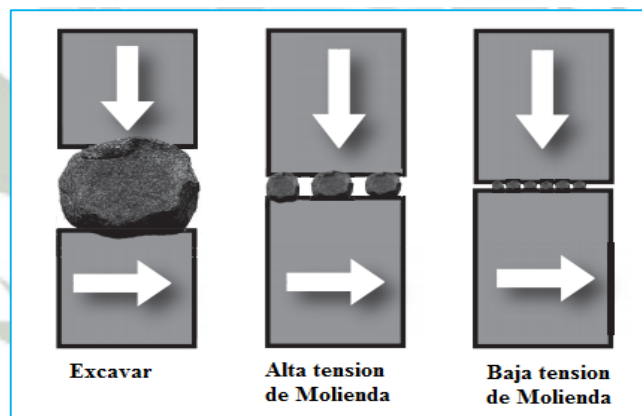
El desgaste abrasivo se produce cuando partículas duras son forzadas contra y se mueven con relación a una superficie sólida. Figura N°1 ilustra los 3 tipos principales de la abrasión: excavar, de alta tensión de molienda y baja tensión de molienda.

En una bomba centrífuga de slurry, la abrasión sólo ocurre en dos áreas:

- Entre el aspa rotativa y el buje de garganta estacionaria.
- Entre la manga del eje rotativo y el embalaje estacionaria.

La abrasión, aunque utilizado para cubrir todos los tipos de desgaste, es muy distinta a la erosión.

FIGURA N° 1: LOS TRES MODELOS DE ABRASIÓN



Fuente: Slurry pump hand book, 2009
Autor: Warman

³ Febrero, 2009. Principio de las bombas de lodos. “*Slurry pump hand book-2009*”, 5ta edición, p.1-1

Erosión⁴

En las aplicaciones de bombas de slurries, el modo dominante de desgaste es la erosión. La erosión es una forma de desgaste que implica la pérdida de material de la superficie por la acción de las partículas arrastradas en el fluido.

La erosión implica una transferencia de energía cinética de la partícula a la superficie, lo que no ocurre en la abrasión.

La transferencia de la energía cinética de la partícula a la superficie causa una tensión de contacto alta. Mientras la presión de contacto total en cada sitio de impacto es pequeña, la presión de contacto específica es alta debido a la forma irregular de las partículas.

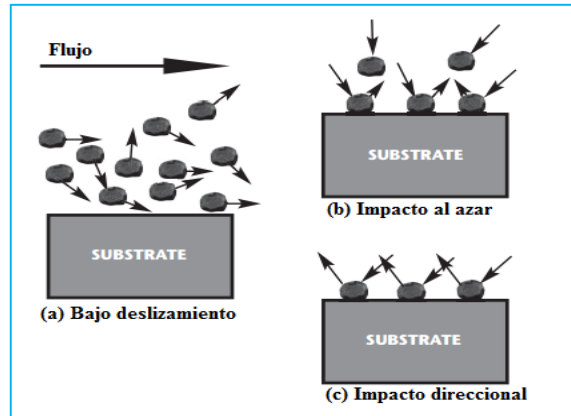
Existen tres tipos básicos de la erosión: deslizamiento de cama, impacto arbitrario e impacto direccional. Éstos se ilustran en la Figura N°2.

Impulsores de la bomba, revestimientos laterales y desgaste de volutas, debido a mecanismos muy diferentes como sigue:

- Impulsores de la bomba son sometidos a una combinación de impacto directo (en el borde delantero de la paleta y en la base de la aleta donde se une la cubierta trasera), bajo desgaste de deslizamiento y bajo ángulo de incidencia (a lo largo de las paletas y más en el interior del paso entre las cubiertas).
- Revestimientos laterales son sometidos principalmente para bajo desgaste de deslizamiento y bajo ángulo de incidencia.
- Volutas son sometidas a impacto directo sobre el tajamar y arrastrando baja erosión alrededor de la periferie.

⁴ Febrero, 2009. Principio de las bombas de lodos. “*Slurry pump hand book-2009*”, 5ta edición, p.2-1

FIGURA Nº 2: LOS TRES MODELOS PRINCIPALES DE EROSIÓN



Fuente: *Slurry pump hand book*, 2009

Autor: warman

Corrosión⁵

Hay muchos tipos diferentes de corrosión, algunos de los cuales son: uniformes; galvánica; grieta; picaduras; intergranular; lixiviación selectiva; el estrés y la erosión / corrosión. Este último es el más importante en aplicaciones de slurries ya que los dos efectos (erosión y corrosión) trabajan juntos y son a menudo difíciles de identificar por separado.

La erosión / corrosión es el resultado de la abrasión constante de una capa de óxido que se forma en la superficie interior del extremo líquido de la bomba. Esta capa protectora de óxido es la reacción química beneficiosa entre las partes metálicas y el slurry que se transporta. Protege las partes metálicas de la corrosión sin embargo, cuando está en constante de haber sido pulida, esta ruptura expone el metal subyacente a las partículas y la erosión / corrosión tiene lugar y elimina el metal.

Muchos entornos gaseosos y líquidos comúnmente degradan elastómeros. Elastómeros varían en su capacidad para absorber un gas o líquido y en su tendencia a ser disuelto en un disolvente. Cuando se produce la absorción parcial o disolución, los elastómeros se dilatan causando una drástica afecta en

⁵ Febrero, 2009. Principio de las bombas de lodos. "*Slurry pump hand book-2009*", 5ta edición, p.2-2

resistencia y módulo de elasticidad del material. Esto resulta en un deterioro de la resistencia al desgaste del elastómero.

Resistencia química es un término amplio utilizado para describir el deterioro de los materiales cuando se sumergen en un fluido, ya sea estática o dinámica.

En el caso de un elastómero, resistencia química puede referirse a resistencia a la corrosión o la resistencia a la dilatación, y la posterior pérdida de fuerza.

2.1.4. Concentración de Sólidos⁶

Los efectos adversos sobre el rendimiento de las bombas causadas por sólidos en un slurry, en lugar de agua pura, se debe principalmente:

- Deslizarse entre el fluido y las partículas sólidas durante la aceleración y desaceleración de la suspensión, mientras entran y salen del impulsor. Este deslizamiento de los sólidos, y la pérdida de energía asociada, la velocidad de sedimentación aumenta a medida que las partículas en el slurry aumenta.
- El aumento de las pérdidas por fricción en la bomba. Estas pérdidas aumentan con la densidad (y viscosidad aparente) del slurry.

2.1.5. Slurries Homogéneos⁷

En slurries homogéneas, todas las partículas son esencialmente más finas que 50 micrones (μm). En concentraciones suficientemente bajas, estará cerca de esto para el agua pura y puede ser estimado por el mismo método empírico aplicado a las mezclas heterogéneas.

En suficientemente altas concentraciones, la característica de la Tensión de la Producción en gran parte influye en el valor de pérdidas por fricción.

⁶ Febrero, 2009. Principio de las bombas de lodos. “*Slurry pump hand book-2009*”, 5ta edición, p.2-3

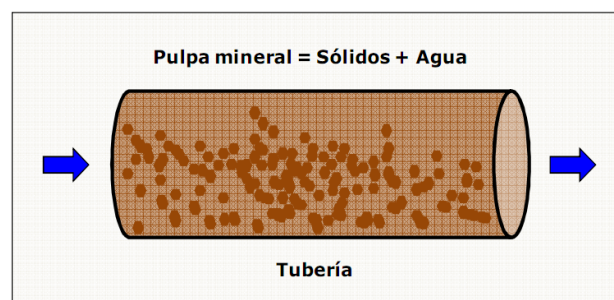
⁷ Febrero, 2009. Ob. Cit. p.6-1

2.2. FORMULACIÓN MATEMÁTICA DE SLURRIES Y SUS PROPIEDADES.

2.2.1. Introducción⁸

Una pulpa es esencialmente una mezcla de sólidos y líquidos (generalmente agua). Sus características físicas son dependientes de muchos factores tales como el tamaño y distribución de partículas, concentración de sólidos en la fase líquida, tamaño de la tubería (diámetro interno de la tubería), nivel de turbulencia, temperatura y viscosidad absoluta (o dinámica) del fluido transportante. La naturaleza ofrece muchos ejemplos de pulpas como inundaciones que llevan partículas finas y gruesas. Figura N°3.

FIGURA N° 3: DIAGRAMA DE UNA PULPA MINERAL A TRAVÉS DE UNA TUBERÍA



Fuente: Estimación de parámetros geológicos de pulpas minerales a diferentes concentraciones de sólidos
Autor: Gaitán, Iván.

2.3. PROPIEDADES DE LOS SÓLIDOS PARA MEZCLAS DE PULPAS⁹

Los flujos de pulpas ocurren en la naturaleza en diferentes formas. Hay muchos asociados con el transporte de limos de una zona a otra. Las fuertes lluvias causan la erosión de sólidos, deslizamientos de lodos (“huaycos”) y el eventual drenaje de pulpas a través de los ríos. Todas estas son pulpas diluidas, en el sentido que la mezcla natural con sólidos será a una concentración en volumen de sólidos a líquidos menor que 15%.

⁸ Baha E. Abulnaga, Mazdak International Inc., 2002. “*Slurry systems hand book*”, McGraw – Hill, New York.

⁹ Gaitán, I.P. (2010). “*Estimación de parámetros reológicos de pulpas minerales a diferentes concentraciones de sólidos*” (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de Ingeniería. Lima.

El dragado es una actividad importante de ingeniería; en el cual, la grava es transportada en forma de pulpa hacia una tolva o hacia un bote especial. Una bomba especial es usada frecuentemente en la manga de dragado y una boquilla especial de succión es usada en el extremo de la manga de dragado. Para completar el dragado y formar la pulpa, es esencial cortar a través de las capas de arenas, rocas y restos, usando cortadores especiales de arena y rocas con hojas muy duras y reemplazables.

La composición de una pulpa depende de muchos factores como son el tamaño de las partículas y su distribución. Las partículas pueden ser encontradas en la naturaleza como sólidos o pueden ser creados por los procesos de chancado, molienda y tamizado o zarandeo. Para aplicaciones como el dragado, los sólidos naturales son bombeados sin chancado o tamizado. Para los procesos mineros, es básico conocer las propiedades físicas de los sólidos para el dimensionamiento de equipos, especialmente de chancado y molienda, así como para la preparación de las pulpas para poder mezclarlas, transportar o bombearlas.

2.3.1. Clasificación de sólidos¹⁰

Hay una gran variedad de métodos usados para clasificar sólidos como son:

- Sólidos cohesivos tales como ciertos limos y arcillas con un diámetro de partículas medio más pequeño que 0.025" (0.0625 mm) o malla Tyler #250.
- Sólidos no cohesivos como ciertos limos y arcillas con un diámetro de partículas medio mayor que 0.0625 mm (más que 0.025" o malla Tyler #250).

Además, también existe el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos de la American Society for Testing of Materials (ASTM D2487). Este sistema fue propuesto por Arturo

¹⁰ Baha E. Abulnaga, Mazdak International Inc., 2002. "*Slurry systems hand book*", McGraw – Hill, New York.

Casagrande como una modificación más general a su sistema de clasificación propuesto en el año 1942 para aeropuertos. Esta clasificación divide los suelos en:

- Suelos gruesos (como gravas o arenas) con partículas sólidas donde más del 50% son retenidas en la malla Tyler #200 o 0.074 mm.
- Suelos finos (como arcillas, limos o suelos orgánicos) con partículas sólidas donde más del 50% pasan la malla Tyler #200.

Para dragados bajo el agua, la fortaleza de una roca es determinada por su núcleo y esta propiedad tiene un efecto importante en la eficiencia del dragado.

Existen muchas clasificaciones de sólidos como la de Herbrich (1991) que propuso una clasificación de sólidos en términos de su fuerza de compresión no confinada. También la Permanent International Association of Navigation Congress (PIANC 1972) adoptó un sistema de clasificación de sólidos que es recomendada para el uso en dragados.

El estándar ASTM D2488 también ofrece una clasificación de sólidos con un amplio rango de tamaño de partículas como es presentado en el Cuadro N°1. Este estándar es ampliamente usado en Norte América.

CUADRO N° 1: RANGO DE TAMAÑOS DE PARTÍCULAS DE SÓLIDOS DE ACUERDO CON LA NORMA ASTM D2488.

Material	Rango de tamaños en mm	Rango de Tamaños en pulgadas
Rocas	> 300	> 12
Empedrados	75 - 300	3 - 12
Grava gruesa	19 - 75	0.75 - 3
grava fina	4.75 - 19	0.190 - 0.75
Arena gruesa	2.00 - 4.75	0.080 - 0.190
Arena media	0.43 - 2.00	0.017 - 0.080
Arena fina	0.08 - 0.43	0.003 - 0.017
Limos y arcillas	< 0.075	< 0.003

Fuente: Slurry systems hand book

Autor: B. E. Abunalga

**CUADRO Nº 2: CONVERSIÓN ENTRE ESCALAS MÁS
COMUNES DE TAMAÑO DE PARTÍCULAS.**

U.S. N°	Tamiz Tyler	Abertura (μm)	Abertura (pulgada)	Tipo de solidos
-	-	26,670	1,050	Grava
:	:	:	:	
:	:	:	:	
-	-	9,423	0.371	
2.5	2.5	7,925	0.312	
3	3	6,680	0.263	
3.5	3.5	5,613	0.221	
4	4	4,699	0.185	
5	5	3,962	0.156	Arena muy gruesa
6	6	3,327	0.131	
7	7	2,794	0.11	
8	8	2,362	0.093	
9	9	1,981	0.078	Arena gruesa
10	10	1,651	0.065	
12	12	1,397	0.055	
14	14	1,168	0.046	
16	16	991	0.039	Arena media
20	20	833	0.0328	
24	24	701	0.0276	
28	28	589	0.0232	
32	32	495	0.0195	Arena fina
35	35	417	0.0164	
42	42	351	0.0138	
50	50	297	0.0117	
60	60	250	0.0098	Limo
70	70	210	0.0083	
80	80	177	0.0070	
100	100	149	0.0059	
120	120	125	0.0049	Limo pulverizado
140	140	105	0.0041	
170	170	88	0.0035	
200	200	74	0.0029	
250	250	63	0.0025	Lodo
-	270	53	0.0021	
-	325	43	0.0017	
-	400	38	0.0015	
-	500	25	0.0010	Lodo
-	625	20	0.0008	
-	1,250	10	0.0004	
-	2,500	5	0.0002	
-	12,500	1	0.00004	Lodo
FALSO	< 12,500	< 1	< 0.00004	Lodo

Fuente: Slurry systems hand book

Autor: B. E. Abunalga

2.3.2. Ensayos de sólidos¹¹

Varios ensayos de sólidos son recomendados antes de mezclar sólidos con agua en las etapas primarias de diseño de sistemas de dragado o transporte de pulpas, en donde la distribución del tamaño de partículas debería ser definida.

Un número de ensayos en sólidos son recomendados para determinar su comportamiento en los procesos mineros o en el mezclado de pulpas.

Los siguientes grupos de ensayos son aceptados actualmente para el análisis de sólidos ver Cuadro N°3:

CUADRO N° 3: PARÁMETROS DE ENSAYOS EN SÓLIDOS PARA MEZCLADO DE PULPAS

Tipo de solido	Parametro de ensayo
Gravas y arenas	Densidad Contenido de agua Gravedad especifica de solidos Tamano de particulas Permeabilidad del agua Propiedades friccionales Contenido de limos Contenido organico
Limos	Densidad Contenido de agua Permeabilidad del agua Esfuerzo de corte o resistencia al deslizamiento Plasticidad Contenido de limos Contenido organico
Arcillas y turbas	Densidad Contenido de agua Permeabilidad del agua Esfuerzo de corte o resistencia al deslizamiento Rango de consistencia (plasticidad) Contenido organico

Fuente: Slurry systems hand book
Autor: E.J. Wasp 2007

¹¹ Gaitán, I.P. (2010). "**Estimación de parámetros reológicos de pulpas minerales a diferentes concentraciones de sólidos**" (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de Ingeniería. Lima.

2.3.3. Ensayos de composición¹²

- Inspección visual: Con el propósito de evaluación de la masa de roca, tal ensayo indica in situ, el estado de la masa de roca.
- Ensayo de espesor de sección: Ensayo de laboratorio conducido con el propósito de la identificación geotécnica de una sección y como una herramienta para determinar la composición mineral en la masa de una roca.
- Densidad de masa: Grupo de ensayos húmedos y secos que se conducen bajo condiciones de laboratorio para evaluar las relaciones entre peso y volumen.
- Porosidad: Este es el cálculo de los espacios vacíos como porcentaje del volumen total y es basado en los ensayos de laboratorio para la densidad de masa.
- Contenido de limos: Este ensayo de laboratorio debe medir el contenido de limos, particularmente en rocas calizas

2.3.4. Ensayos de fortaleza, dureza y estratificación¹³

- Dureza de superficie: Este ensayo de laboratorio es realizado para determinar la dureza en términos de la escala de Mohr (de 0 para talco a 10 para diamantes). La dureza de los minerales es importante para la tasa de desgaste de los equipos asociados con flujos de pulpas.
- Compresión uniaxial: Este ensayo de laboratorio mide el esfuerzo último bajo el esfuerzo uniaxial. Este ensayo debe ser realizado en muestras completamente saturadas y se debe de considerar las dimensiones de la muestra a ensayar y las direcciones de influencia en la dirección del

¹² Gaitán, I.P. (2010). "*Estimación de parámetros reológicos de pulpas minerales a diferentes concentraciones de sólidos*" (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de Ingeniería. Lima.

¹³ Gaitán, I.P. (2010). Ob. cit

esfuerzo. Las muestras cilíndricas deben tener una relación de largo a diámetro de 2 a 1.

- Ruptura brasileña: Este es un ensayo de laboratorio para medir el esfuerzo derivado del ensayo de compresión uniaxial, pero con una diferente relación de largo a diámetro.
- Ensayo de punto de carga: Este es un ensayo rápido de laboratorio para medir el esfuerzo ante una carga. Debe ser conducido junto con el ensayo de compresión uniaxial.
- Ensayo de velocidad sísmica: Este es un ensayo in situ y es conducido para revisar las masas de rocas según su estratigrafía y sus fracturas. Es usado para hacer una extrapolación de campo, según las medidas de laboratorio del comportamiento rocoso.
- Ensayo de velocidad ultrasónica: Este ensayo de laboratorio es conducido para el núcleo de una masa y en direcciones longitudinales.
- Módulo de elasticidad estático: Este ensayo de laboratorio mide la tasa de esfuerzo y tensión en una masa rocosa y da un indicador de la fragilidad de la roca.
- Penetrabilidad: Este ensayo in situ mide la tasa de penetración, torque, fuerza de alimentación, presión del fluido, profundidad de capas, etc. y es usado para establecer la técnica de perforación y especificaciones para las actividades mineras y de dragado.
- Angularidad: Este es un ensayo de laboratorio realizado para evaluar la forma de las partículas sólidas por inspección visual.

2.3.5. Textura de sólidos¹⁴

Las partículas sólidas son encontradas en la naturaleza como una mezcla de partículas de diferentes tamaños y a diferentes texturas. Dos coeficientes son usados para expresar la textura de las partículas sólidas:

1. Coeficiente de curvatura (Cc).

$$C_c = \frac{d_{30}^2}{d_{60} * d_{10}} \quad (2.1)$$

2. Coeficiente de uniformidad (Cu).

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad (2.2)$$

Donde d_{10} , d_{30} y d_{60} son definidos como los diámetros característicos de las partículas sólidas que al 10%, 30% y 60%, son más pequeñas que los valores obtenidos de la distribución granulométrica de partículas (curva granulométrica).

De acuerdo con Herbrich (1991):

- Si $1 < C_c < 3$, la distribución del tamaño de partículas será suave.
- Si $C_u > 4$, las gravas tendrán un amplio rango de tamaños.
- Si $C_u > 6$, las arenas tendrán un amplio rango de tamaños.

2.4. FLUJO DE PULPAS¹⁵

Una pulpa es esencialmente una mezcla de un fluido transportante y de partículas sólidas en suspensión. El fluido más usado comúnmente es el agua, pero con el transcurso de los años, varios intentos exitosos han sido

¹⁴ Gaitán, I.P. (2010). "*Estimación de parámetros reológicos de pulpas minerales a diferentes concentraciones de sólidos*" (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de Ingeniería. Lima.

¹⁵ Gaitán, I.P. (2010). Ob. Cit.

desarrollados usando aceites con carbón molido y aun aire como en el transporte neumático.

El flujo de pulpa en una tubería es muy diferente que un flujo líquido de una sola simple fase. Teóricamente, un líquido de una sola fase con baja viscosidad absoluta (o dinámica) puede fluir a bajas velocidades desde un flujo laminar a un flujo turbulento. Sin embargo, una mezcla de dos fases tal como una pulpa, debe superar una velocidad crítica de deposición o una velocidad crítica de transición viscosa.

La analogía puede ser hecha en términos de una avioneta: Si la velocidad disminuye excesivamente, la avioneta se detendrá y dejará de volar. Si la velocidad del flujo de una pulpa no es suficientemente alta (velocidad crítica), las partículas no se mantendrán en suspensión y se depositarán.

Por otro lado; en el caso de mezclas altamente viscosas, si la tasa de corte en una tubería es excesivamente baja, la mezcla será tan viscosa que se resistirá a fluir.

A continuación, se definirán los tipos básicos de flujos de pulpa que más se presentan en la naturaleza o en los procesos industriales o mineros:

2.4.1. Flujo homogéneo¹⁶

En este tipo de flujo, los sólidos están uniformemente distribuidos a través del fluido transportante. Un ejemplo de flujo homogéneo es el concentrado después de los procesos de molienda y espesado, donde las partículas son tan finas y la mezcla está a una alta concentración de sólidos (usualmente $C_w > 40\%$), esta mezcla se vuelve más viscosa y desarrolla propiedades no Newtonianas.

Además de las pulpas bien concentradas; los lodos de perforaciones y las piedras limosas (horno de cemento para formar pulpas cementadas) se comportan como flujos homogéneos. Los tamaños típicos de partículas para

¹⁶ Gaitán, I.P. (2010). "*Estimación de parámetros reológicos de pulpas minerales a diferentes concentraciones de sólidos*" (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de Ingeniería. Lima.

mezclas homogéneas son más pequeños que 40 a 70 Sm (325 a 200 malla Tyler), dependiendo de la densidad de los sólidos.

Según D.J. Hallbom, la presencia de arcillas en ciertos circuitos no se debe ignorar. Si la arcilla está aglomerada, la pulpa será un poco viscosa. Las bombas y tuberías de un sistema de transporte hidráulico de pulpas deben de ser dimensionadas adecuadamente para manejar la viscosidad absoluta (o dinámica) resultante.

Ciertas minas en el Perú contienen el material llamado arcilla suave, la cual incrementa la viscosidad absoluta (o dinámica) de una pulpa hasta los 400 mPa a concentraciones en peso que solo exceden el 45%. El proceso de usar agua para diluir y así bajar la concentración en peso y los cambios en la presión de bombeo, son soluciones a tal problema.

2.4.2. Flujo heterogéneo¹⁷

En un flujo heterogéneo, las partículas sólidas no están uniformemente mezcladas en un plano horizontal. En el plano vertical, existe un gradiente de concentración, pudiendo formar en una tubería dunas o una cama suave de sólidos, con las partículas más pesadas en el fondo y las más livianas en suspensión, particularmente en la velocidad crítica de deposición.

Las dos fases mantienen sus propiedades y las partículas más grandes no necesariamente causarán los problemas de atoros, realmente esto depende de la relación de mezcla con las partículas finas.

Las pulpas heterogéneas son encontradas en muchas instalaciones mineras, rocas de fosfatos y aplicaciones de dragado. La concentración en peso de partículas permanece baja, típicamente menos que 25% en muchas aplicaciones de dragado y debajo de 35% en muchas aplicaciones de disposición de relaves.

¹⁷ Gaitán, I.P. (2010). "**Estimación de parámetros reológicos de pulpas minerales a diferentes concentraciones de sólidos**" (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de Ingeniería. Lima.

Los flujos heterogéneos requieren de una velocidad mínima de transporte. En algunas aplicaciones con relaves, la velocidad típica crítica de deposición debe exceder los 2 a 4 m/s.

En la naturaleza hay mucha complejidad, los flujos tienen características de flujos homogéneos y heterogéneos. El concepto de flujos pseudo, homogéneos es también usado, cuando una gran parte de las partículas son finas, pero mantienen una suficiente parte de partículas gruesas que se puedan transportar a velocidades de flujo reducidas a un mínimo valor (Velocidad crítica de deposición).

2.5. VELOCIDAD Y PERDIDAS DE PRESIÓN DEL FLUJO¹⁸

Varios parámetros acerca de la velocidad de un flujo, determinan si una mezcla puede separarse o continuar junta para fluir. De hecho, el diseñador de un espesador o de un sistema de transporte de pulpas está frecuentemente más interesado en la velocidad de caída de las partículas. Por otro lado, el diseñador de una tubería tiene que prestar atención a la velocidad crítica del flujo, a la velocidad de deposición y si el flujo es vertical u horizontal, particularmente en el caso de flujos heterogéneos.

2.5.1. Velocidad críticas o de caída de partículas¹⁹

La velocidad de caída o terminal de partículas, es la mínima velocidad necesaria para mantener a las partículas sólidas en suspensión, particularmente en un proceso de mezclado y espesado.

La velocidad terminal de las partículas sólidas en una pulpa, puede ser estimada según la Fórmula.

$$V_C = F_L * \sqrt{2g * D(S_s - 1)} \left(\frac{d_{50}}{D} \right)^{\frac{1}{6}} \quad (2.3)$$

$$F_L = 3.332 * C_V^{0.21} \quad (2.4)$$

¹⁸ Gaitán, I.P. (2010). "*Estimación de parámetros reológicos de pulpas minerales a diferentes concentraciones de sólidos*" (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de Ingeniería. Lima.

¹⁹ Gaitán, I.P. (2010). Ob. Cit.

Dónde:

V_C : Velocidad crítica o terminal de las partículas.

F_L : Factor de arrastre.

S_S : Densidad relativa de los sólidos.

D: Diámetro interno de la tubería.

g: Aceleración de la gravedad.

d_{50} : Diámetro efectivo de las partículas sólidas al 50%.

C_V : Concentración en volumen en porcentaje.

Según Jacobs, 2001, la Cuadro N°4 presenta ejemplos de velocidad de caída de partículas de varios sólidos. El diseñador de un sistema de transporte de pulpas o de un espesador, está obligado a llevar a cabo ensayos de laboratorio, debido a que las arcillas pueden estar mezcladas con las arenas en algunas zonas o el sólido puede estar estratificado con capas de diferentes materiales, lo cual afecta la viscosidad final de una pulpa.

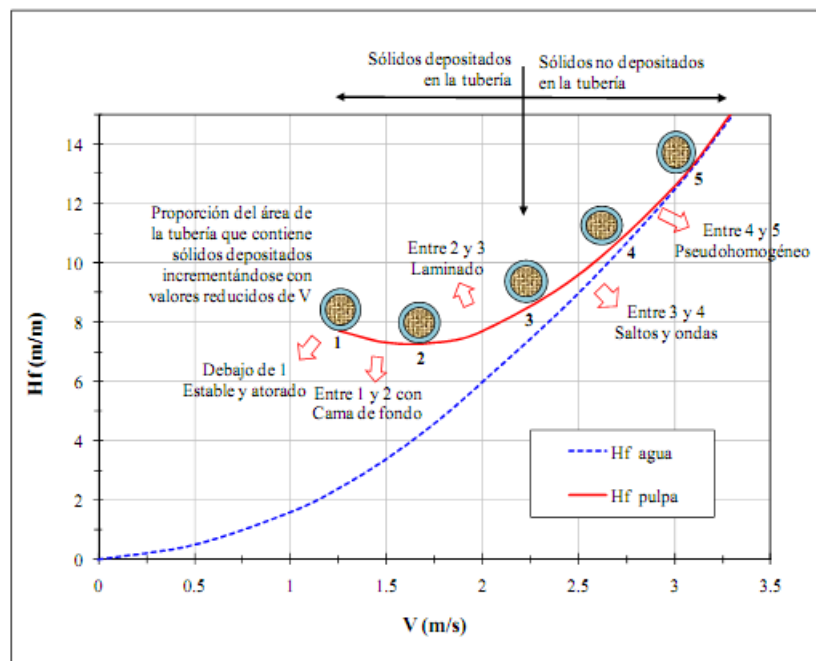
CUADRO N° 4: VELOCIDAD TERMINAL O DE CAÍDA DE PARTÍCULAS SÓLIDAS

Malla Tyler o US	Diametro de partículas (μm)	Velocidad terminal (m/s)	Identificación del tamaño de partículas	
			Tamaño de la partícula (ASTM)	Tamaño de la partícula general
-	0.2	3.00E-08	Arcilla	Arcilla fina
-	0.6	2.80E-07		Arcilla gruesa
12,500	1	7.00E-06		
-	2	9.20E-06		
2,500	5	1.7E-6	Limo	Limo fino
-	6	2.50E-05		Limo grueso
625	20	2.80E-04		
270	53	1.70E-03	Arena fina	Intermedio entre limo y arena fina
250	63	2.50E-03		Arena fina
140	105	0.070		Arena media gruesa
70	210	0.002	Arena gruesa	Arena gruesa
60	250	0.026		
50	297	0.032		
35	417	0.053		Arena muy gruesa
28	589	0.063		
16	991	0.100		
10	1,651	0.170		

Fuente: Design of slurry transport systems

Autor: B. E. A. Jacobs

FIGURA Nº 4: CONCEPTO DE VELOCIDAD CRÍTICA EN SISTEMAS DE PULPAS



Fuente: Slurry piping systems: Trends
Autor: T.C. Aude

2.5.2. Densidad relativa de una pulpa²⁰

Según la densidad de una pulpa está en función de:

1. La densidad del fluido transportante.
2. La densidad de las partículas sólidas.
3. La concentración en volumen o en peso de la fase sólida.

La densidad de las partículas sólidas es determinada cuidadosamente por varios métodos experimentales. Las partículas finas tienden a atrapar aire, el cual se debe remover en el laboratorio con una apropiada agitación o por la adición de pequeñas cantidades de agentes húmedos o químicos.

Algunos materiales exhiben un cambio de la facilidad de agrupamiento y por lo tanto, su densidad estará en función del tamaño de las partículas. Esto puede ocurrir si las partículas sólidas son pasadas a través de un proceso de

²⁰ Gaitán, I.P. (2010). "Estimación de parámetros reológicos de pulpas minerales a diferentes concentraciones de sólidos" (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de Ingeniería. Lima.

trituration, for example a SAG mill (semi autogenous) or a ball mill; in which an increase in density, due to the higher concentration of fine particles.

$$S_m = 1 + \frac{C_v}{100} * (S_s - 1) \quad (2.5)$$

Dónde:

S_m : Densidad relativa de la mezcla.

S_s : Densidad relativa de los sólidos.

C_v : Concentración en volumen en porcentaje.

2.5.3. Densidad de la mezcla²¹

Por lo tanto, se debe tener cuidado al medir la densidad de las partículas sólidas según un tamaño de partículas propuesto para ser transportados en forma de pulpa.

Ciertos errores pueden ocurrir al evaluar la densidad de los sólidos para mezclas heterogéneas, como en el caso si las partículas pesadas de una pulpa se depositan y una muestra es tomada, se puede reflejar una mayor densidad que una muestra con partículas finas. Ante estas posibles fuentes de error, la medida de la densidad de una pulpa se debe hacer después de un adecuado mezclado y de usar los datos de concentración en peso o en volumen. La densidad de una pulpa es estimada según la fórmula siguiente.

²¹ Gaitán, I.P. (2010). "*Estimación de parámetros reológicos de pulpas minerales a diferentes concentraciones de sólidos*" (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de Ingeniería. Lima.

$$\begin{aligned}\rho_m &= \frac{1}{\left[\frac{C_w}{\rho_s} + \frac{1-C_w}{\rho_L}\right]} = \frac{\rho_L}{\left[1 - C_w \left(1 - \frac{\rho_L}{\rho_s}\right)\right]} = \rho_L + C_v(\rho_s - \rho_L) \\ &= \frac{\rho_L(C_v - 1)}{C_w - 1}\end{aligned}\tag{2.6}$$

Dónde:

ρ_m : Densidad de la mezcla.

ρ_L : Densidad del líquido.

ρ_s : Densidad de los sólidos.

C_w : Concentración en peso.

C_v : Concentración en volumen.

2.5.4. Concentración en volumen²²

El término de concentración en volumen (C_v) es muy usado, como la manera más práctica para convertir el volumen total de sólidos en un flujo de pulpa a ser transportado por medio de una tubería o a través de una planta metalúrgica extractiva. Sin embargo, las características de la mezcla, la mecánica del fluido y las propiedades físicas resultantes están más relacionadas a la concentración por volumen. La concentración por volumen de sólidos (C_v) en una mezcla es expresada según la fórmula.

$$C_v = \frac{V_{Sol}}{V_{Sol} + V_{Agua}}\tag{2.7}$$

$$C_v = \frac{C_w \rho_m}{\rho_s} = \frac{\rho_m - \rho_L}{\rho_s - \rho_m} = \frac{\rho_L}{\rho_L - \rho_s + \frac{\rho_s}{C_w}} = 1 + \frac{\rho_L(C_w - 1)}{\rho_m}\tag{2.8}$$

Dónde:

V_{Sol} : Volumen de sólidos.

V_{Agua} : Volumen de agua.

²² Gaitán, I.P. (2010). "Estimación de parámetros reológicos de pulpas minerales a diferentes concentraciones de sólidos" (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de Ingeniería. Lima.

C_w : Concentración en peso.

ρ_m : Densidad de la mezcla.

ρ_s : Densidad de los sólidos.

ρ_L : Densidad del líquido.

C_v : Concentración en volumen en %.

2.5.5. Concentración en peso²³

El término de concentración en peso (C_w) es muy usado, como la manera más práctica para convertir el tonelaje total de sólidos en un flujo de pulpa a ser transportado por medio de una tubería o a través de una planta metalúrgica extractiva. Sin embargo, las características de la mezcla, la mecánica del fluido y las propiedades físicas resultantes están más relacionadas a la concentración por volumen. La concentración por volumen de sólidos (C_v) en una mezcla es expresada según la fórmula.

Por lo tanto, la concentración de sólidos en peso de una pulpa es expresada según la fórmula.

$$C_w = \frac{W_{Sol}}{W_{Sol} + W_{agua}} \quad (2.9)$$

$$C_w = \frac{C_v \rho_s}{\rho_m} = \left[\frac{\rho_s (\rho_m - \rho_L)}{\rho_m (\rho_s - \rho_L)} \right] = \rho_s C_v \sqrt{\rho_L + C_v (\rho_s - \rho_L)} = 1 + \frac{\rho_L (C_v - 1)}{\rho_m} \quad (2.10)$$

$$C_w = \frac{100 * S_s}{\frac{100}{C_v} + (S_s - 1)} \quad (2.11)$$

Dónde:

W_{Sol} : Peso del sólido.

W_{agua} : Peso del líquido.

ρ_s : Densidad de los sólidos.

ρ_m : Densidad de la mezcla.

²³ Gaitán, I.P. (2010). "**Estimación de parámetros reológicos de pulpas minerales a diferentes concentraciones de sólidos**" (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de Ingeniería. Lima.

ρ_L : Densidad del líquido.

C_w : Concentración en peso.

C_v : Concentración en volumen en porcentaje.

S_s : Densidad relativa de los sólidos.

2.6. ESFUERZO CORTANTE DE LOS FLUIDOS NEWTONIANOS Y NO NEWTONIANOS²⁴

Aunque la densidad es esencialmente una propiedad estática, la viscosidad absoluta (o dinámica) es una propiedad dinámica y tiende a reducirse en magnitud, cuando la tasa de corte en una tubería aumenta. Existen diferentes formas de viscosidad como: la viscosidad dinámica, la viscosidad cinemática y la viscosidad efectiva en la tubería.

La viscosidad de una pulpa en estado estacionario, es efectivamente lo que una bomba o un mezclador necesitarán para la puesta en marcha de una planta. Como es frecuente, cuando el equipo no puede dar suficiente torque para superar a la viscosidad absoluta, el operador es forzado a diluir la pulpa.

Por definición, la viscosidad absoluta (o dinámica) de un fluido, es la relación entre el esfuerzo requerido para mover un fluido y su tasa de corte o gradiente de velocidad, según se muestra en la Figura 5 y definido en la Fórmula 2.21 para fluidos Newtonianos.

$$\tau = K * \frac{dV}{dy} \quad (2.12)$$

$$\tau = \mu * \frac{dV}{dy} \quad (2.13)$$

Dónde:

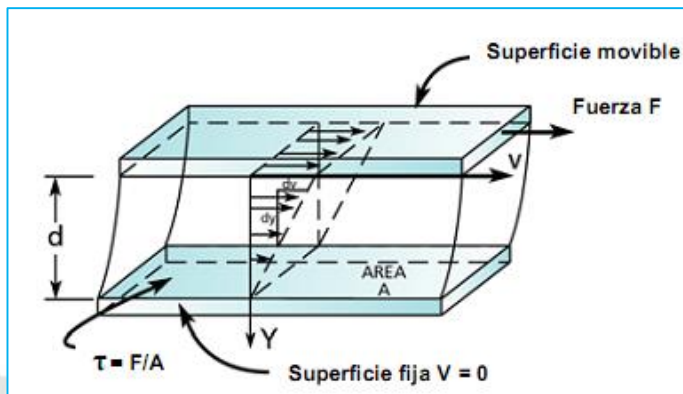
τ : Esfuerzo cortante (Pa).

μ : Viscosidad absoluta o dinámica del fluido (Pa*seg).

$\frac{dV}{dy}$: Gradiente de velocidad (1/seg).

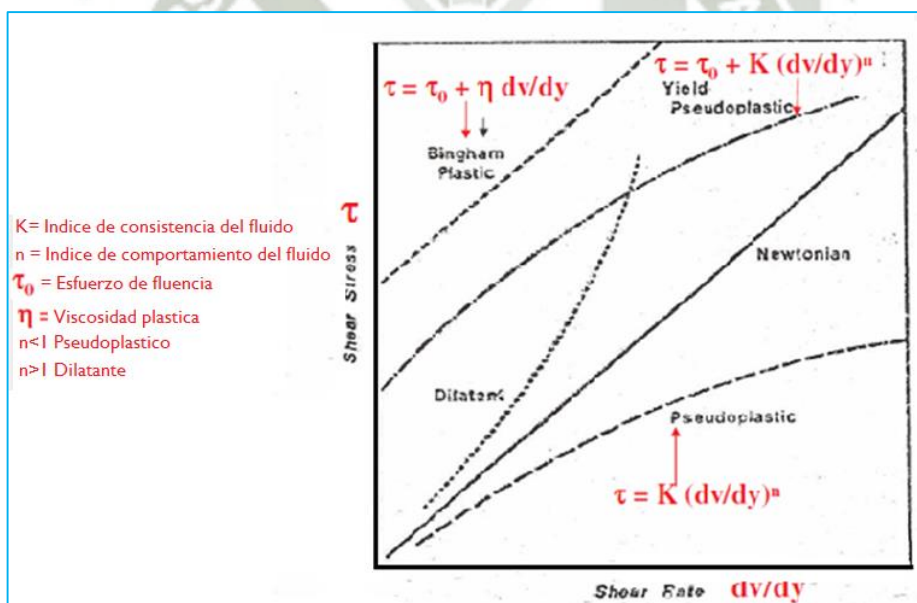
²⁴ Gaitán, I.P. (2010). "*Estimación de parámetros reológicos de pulpas minerales a diferentes concentraciones de sólidos*" (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de Ingeniería. Lima.

**FIGURA Nº 5: ESFUERZO DE CORTE
VERSUS TASA DE CORTE**



Fuente: Estimación de parámetros geológicos de pulpas minerales a diferentes concentraciones de sólidos
Autor: GAITAN, Iván.

**FIGURA Nº 6: COMPORTAMIENTO DE LOS FLUIDOS
NEWTONIANOS Y NO NEWTONIANOS**



Fuente: Estimación de parámetros geológicos de pulpas minerales a diferentes concentraciones de sólidos
Autor: GAITAN, Iván.

Hay numerosas pulpas en la naturaleza, tales como arena y agua o grava y agua, en el cual los sólidos contribuyen poco al total de la viscosidad absoluta, excepto en términos de su concentración en volumen.

2.6.1. Viscosidad absoluta de las pulpas $C_v < 1\%$ ²⁵

Para tales mezclas sólido – líquido en forma diluida, se desarrolló la siguiente fórmula para una relación lineal entre la viscosidad absoluta (o dinámica) y la concentración en volumen.

$$\frac{\mu_m}{\mu} = 1 + 2.5C_v \quad (2.14)$$

Dónde:

μ_m : Viscosidad absoluta o dinámica de la mezcla.

μ : Viscosidad absoluta o dinámica del fluido.

C_v : Concentración en volumen en porcentaje.

Esta simple ecuación está basada en las siguientes asunciones:

- Las partículas sólidas son bastante rígidas.
- La mezcla está bastante diluida y no hay interacción entre las partículas sólidas.

Tal tipo de flujo no es común, excepto en regímenes laminares con concentraciones muy diluidas (debajo de un C_v del 1%)

2.6.2. Viscosidad absoluta de pulpas con $C_v < 20\%$ ²⁶

Thomas, 1965 extendió la ecuación de Einstein para calcular concentraciones volumétricas más altas de mezclas Newtonianas según la fórmula.

$$\frac{\mu_m}{\mu} = 1 + K_1C_v + K_2C_v^2 + K_3C_v^3 + K_4C_v^4 + \dots \quad (2.15)$$

Dónde:

μ_m : Viscosidad absoluta o dinámica de la mezcla.

μ : Viscosidad absoluta o dinámica del fluido.

K : Constantes.

²⁵ Gaitán, I.P. (2010). "*Estimación de parámetros reológicos de pulpas minerales a diferentes concentraciones de sólidos*" (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de Ingeniería. Lima.

²⁶ Gaitán, I.P. (2010). Ob. Cit.

Donde K1 a K4 son constantes. K1 = 2.5 que es la constante de Einstein, K2 ha sido encontrada que está entre el rango de 10.05 a 14.10 de acuerdo a Guth y Simha., 1936, difícil extrapolar hacia altos términos de K3 y K4, que usualmente son ignorados con Cv menores que 20%.

2.6.3. Viscosidad absoluta de pulpas con altas Cv ≥ 20%²⁷

Para altas concentraciones, Thomas (1965) propuso la siguiente ecuación con una función exponencial según la fórmula.

$$\frac{\mu_m}{\mu} = 1 + 2.5C_v + 10.05C_v^2 + 0.00273e^{16.6 C_v} \quad (2.16)$$

Dónde:

μ_m : Viscosidad absoluta de la mezcla.

μ : Viscosidad absoluta del agua.

C_v : Concentración en volumen en decimal.

La Fórmula es ampliamente aceptada en la industria, para mezclas heterogéneas con una reología Newtoniana.

2.6.4. Pulpas no-newtonianas²⁸

- Varios modelos han sido desarrollados a lo largo de los años para clasificar las mezclas de dos fases. En el caso de minería, las siguientes mezclas son frecuentemente encontradas:
 - Mezclas de dispersión fina, que contienen pequeñas partículas sólidas, las cuales están uniformemente distribuidas en un fluido continuo y que se encuentran en tuberías de concentrado y en pulpas de molienda, después de su clasificación, etc.

²⁷ Gaitán, I.P. (2010). "Estimación de parámetros reológicos de pulpas minerales a diferentes concentraciones de sólidos" (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de Ingeniería. Lima.

²⁸ Gaitán, I.P. (2010). "Estimación de parámetros reológicos de pulpas minerales a diferentes concentraciones de sólidos" (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de Ingeniería. Lima.

**CUADRO Nº 5: REGÍMENES DE FLUJOS PARA
PULPAS NEWTONIANAS Y NO NEWTONIANAS**

Flujos de fase simple	Flujos de multi-fases (gas-liquido, liquido-liquido, gas- solido, liquido-solido)	
Comportamiento de fase simple		Comportamiento de multifase
Verdadero homogéneo	Pseudo-homogéneo	Heterogéneo
	Laminar, transición y régimen de flujo turbulento	Régimen solamente de flujo turbulento
Puramente viscoso	Flujo Newtonianos	
Puramente viscoso, no Newtoniano e independiente del tiempo	Plástico Bingham Dilatante Pseudo-plástico Pseudo-plástico fluido	
Puramente viscoso, no Newtoniano y dependiente del tiempo	Tixotrópico Reopéctico	
Viscoelástico	Muchas formas	

Fuente: Estimación de parámetros geológicos de pulpas minerales a diferentes concentraciones de sólidos

Autor: GAITAN, Iván.

- Mezclas de dispersión gruesa, que contienen partículas gruesas distribuidas en un fluido continuo y que se encuentran en los molinos SAG, descarga de ciclones y en ciertas líneas de relaves, etc.
- Mezclas tipo flujo macro, mezclado, que contienen espumas o alta turbulencia de mezcla de gas y líquidos o de dos líquidos inmiscibles, bajo condiciones en el cual ninguno es continuo. Tales patrones son encontrados en circuitos de flotación; en el cual, la espuma es usada para separar el concentrado del resto.
- Mezclas tipo flujo estratificado con contenido de un gas, un líquido, dos pulpas de diferentes tamaños de partículas o dos líquidos inmiscibles; bajo condiciones en el cual, ambas fases son continuas.

Diseñar una tubería para operar en un régimen de flujo no newtoniano, debe de estar basado en data confiable, especialmente en referencia a la reología y al tamaño de partículas. Se debe de tener cuidado de aventurarse en generalizaciones acerca de propiedades reológicas, porque cada pulpa tiene sus características propias, que requieren de un diseño especial.

La minería e industria ha aceptado el criterio de que las pérdidas friccionales son altamente dependientes de la viscosidad de una pulpa, teniendo que como promedio, el diámetro de las partículas sólidas es más pequeño que 40 a 60 Sm y con una concentración en volumen que excede el 30% (dependiendo de la gravedad específica de sólidos), según Tullis, 1966.

Existen también las pulpas floculadas que son encontradas en circuitos de celdas de flotación, espesadores y varias plantas de extracción de mineral. Con la formación de floculas, la pulpa puede desarrollar una estructura interna.

Esta estructura puede desarrollar propiedades de un flujo no, Newtoniano, con comportamiento de corte (pseudo-plástico) y algunas veces comportamiento tixotrópico dependiente del tiempo.

Cuando un esfuerzo de corte es aplicado a la pulpa, el tamaño de las floculas puede reducirse y se vuelven menos capaces de adherirse al líquido transportable de la pulpa. Con altos esfuerzos de corte, las floculas pueden reducirse al tamaño de las partículas sólidas y el flujo puede perder su comportamiento no-Newtoniano.

2.6.5. Pulpas no-Newtonianas independientes del tiempo²⁹

Ciertas pulpas requieren de un mínimo nivel de esfuerzo antes de que puedan fluir. Por ejemplo tenemos al concreto fresco, que no fluirá al menos que el ángulo del vertedor exceda cierto valor mínimo. Tal mezcla, es descrita que posee una magnitud de esfuerzo de fluencia que debe superar antes de que el flujo pueda iniciarse.

Un número de flujos tales como los plásticos Bingham, pseudoplásticos, pseudo, plásticos fluidos y dilatantes son clasificados como fluidos no, Newtonianos independientes del tiempo.

²⁹ Gaitán, I.P. (2010). "**Estimación de parámetros reológicos de pulpas minerales a diferentes concentraciones de sólidos**" (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de Ingeniería. Lima.

La relación del esfuerzo de corte en las paredes es mostrada en la Figura N°7 y la relación entre la viscosidad aparente y la tasa de corte es mostrada en la Figura N°8. La viscosidad aparente es definida según la fórmula.

$$\mu = \frac{(\tau - \tau_y)}{\left(\frac{dy}{dt}\right)} \quad (2.17)$$

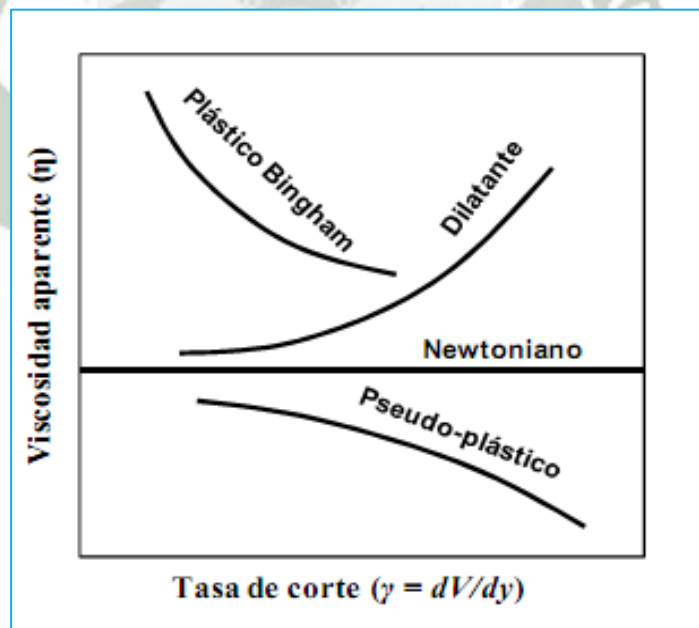
Dónde:

τ : Esfuerzo cortante (Pa).

μ : Viscosidad absoluta o dinámica del fluido (Pa*seg).

$\frac{dV}{dy}$: Gradiente de velocidad (1/seg).

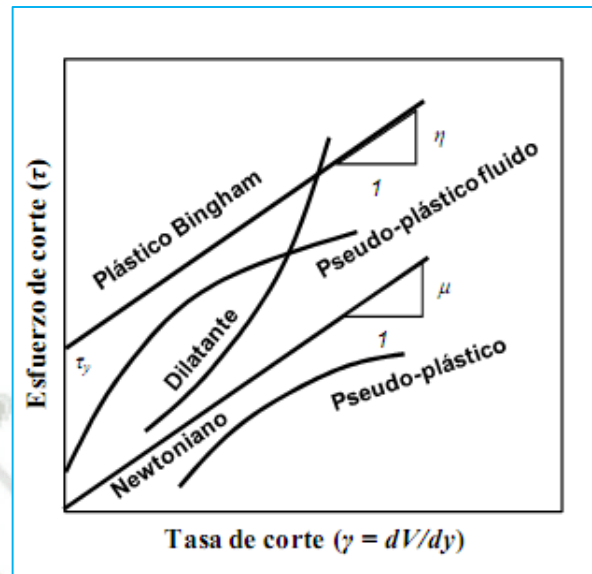
FIGURA N° 7: ESFUERZO DE CORTE VERSUS TASA DE CORTE DE FLUIDOS NO, NEWTONIANOS INDEPENDIENTES DEL TIEMPO



Fuente: solid-liquid flow slurry pipeline transportation

Autor: Wasp, Edward; Kenny, John y Gandhi, Ramesh.

FIGURA Nº 8: VISCOSIDAD APARENTE VERSUS TASA DE CORTE DE FLUIDOS NO, NEWTONIANOS INDEPENDIENTES DEL TIEMPO



Fuente: solid-liquid flow slurry pipeline transportation
Autor: Wasp, Edward; Kenny, John y Gandhi, Ramesh.

Prácticamente, todas las pulpas mineras y que son de interés para esta Tesis, están dentro de la clasificación de fluidos no, Newtonianos independientes del tiempo, tipo plásticos Bingham, el cual es descrito a continuación.

2.6.5.1. Pulpas no Newtonianas tipo plásticos Bingham³⁰

Para un plástico Bingham, es esencial superar un esfuerzo de fluencia (τ_y) antes de que el fluido se empiece a mover. El esfuerzo de corte versus la tasa de corte es expresada según la fórmula.

$$\tau = \eta \frac{dv}{dt} + \tau_y \quad (2.18)$$

Dónde:

τ : Esfuerzo cortante del fluido.

η : Índice de consistencia del fluido.

τ_y : Esfuerzo cortante inicial del fluido no newtoniano.

$\frac{dv}{dt}$: Gradiente de velocidad

³⁰ Gaitán, I.P. (2010). "*Estimación de parámetros reológicos de pulpas minerales a diferentes concentraciones de sólidos*" (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de Ingeniería. Lima.

La magnitud del esfuerzo de corte (τ_y) puede ser más bajo que 0.01 Pa para lodos de aguas servidas o tan alto como 1,000 MPa para asfaltos o bitúmenes. La viscosidad aparente (o viscosidad no, Newtoniana) puede ser tan baja como la viscosidad del agua (1 cP = 0.001 Pa.s) o tan alta como 1,000 poises (100 Pa s) para algunas pinturas y mucho más alto para asfaltos y bitúmenes. En el caso de ciertas emulsiones o arenas, es costumbre adicionar ciertos químicos para reducir la viscosidad aparente.

El esfuerzo de fluencia se incrementa cuando se aumenta la concentración de sólidos. Thomas.1961 propuso las siguientes relaciones entre el esfuerzo de fluencia (τ_y), viscosidad plástica o aparente (η), concentración en volumen (C_v) y viscosidad absoluta del medio transportante:

$$\tau_y = K_1 C_v^3 \quad (2.19)$$

$$\frac{\mu_m}{\mu} = e^{(K_2 C_v)} \quad (2.20)$$

Dónde:

τ_y : Viscosidad plástica o aparente.

K1 y K2: Son constantes.

C_v : Concentración en volumen.

μ_m : Viscosidad absoluta de la mezcla.

μ : Viscosidad absoluta del agua.

Donde K1 y K2 son constantes, que dependen del tamaño y forma de las partículas sólidas y su concentración en una pulpa. Hay una serie de descripciones y modelos para los demás tipos de pulpas no, Newtonianas independientes del tiempo, que no son parte de esta Tesis y que solo serán descritas en forma de ejemplos de fluidos típicos y mostrados en la Cuadro N°6

CUADRO Nº 6: EJEMPLOS DE FLUIDOS SEGÚN SUS PROPIEDADES REOLÓGICAS

Newtoniano		No-Newtoniano	
Newtoniano	Plástico Bingham	Pseudo-plástico	Dilatante
Agua Combustible de alta viscosidad Aceites de motor Aceites de muchos minerales Gasolina Kerosene Soluciones salinas en agua Suspensiones de tintas Caolín Partículas de hollín	Pulpas minerales Soluciones termoplásticas Lodos de aguas residuales Arcillas Barro o lodo Ketchup Chicles Alquitrán Altas concentraciones de asbesto en aceites	Soluciones de látex Lodos de aguas residuales Grasa Melaza Pinturas Almidón Jabones Muchas emulsiones Tinta de impresoras Pulpa de papel	Almidón en agua Arena de playa Arenas movedizas Feldespatos Micas Arcillas Componentes de caramelos Mantequilla de mani

Fuente: slurry rheology of industrial minerals and its effects on wet ultra-fine gridding
Autor: Wasp, Edward; Kenny, John y Gandhi, Ramesh.

2.6.5.2. Pulpas no-Newtonianas dependientes del tiempo³¹

Existen aceites crudos y pulpas de arenas de alquitrán de ciertas minas que desarrollan comportamientos de fluidos no newtonianos dependientes del tiempo en bajas temperaturas; por lo tanto, tienen propiedades tixotrópicas complejas para este tipo de flujos.

En flujos no, Newtonianos dependientes del tiempo, la estructura de la pulpa y la orientación de las partículas son sensibles a la tasa de corte.

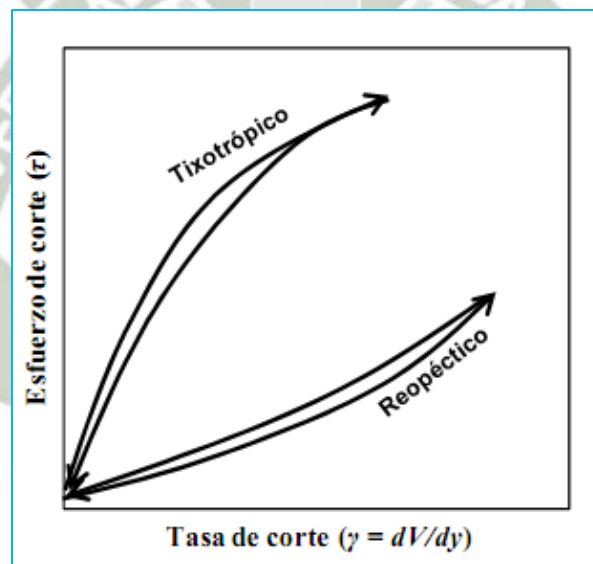
Si se producen cambios estructurales o la reorientación de las partículas a cierta tasa de corte, el esfuerzo de corte se vuelve dependiente del tiempo cuando las partículas se realinean ellas mismas en el flujo. En otras palabras, el esfuerzo de corte toma tiempo en reajustarse para la tasa de corte que prevalecerá.

³¹ Gaitán, I.P. (2010). "**Estimación de parámetros reológicos de pulpas minerales a diferentes concentraciones de sólidos**" (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de Ingeniería. Lima.

Algunos de esos cambios pueden ser reversibles, cuando la tasa de deformación es la misma a la tasa de deterioro. Sin embargo, en el caso de flujos en el cual la deformación es extremadamente lenta, los cambios estructurales o la reorientación de partículas puede ser irreversible.

La Figura N°9 presenta el esfuerzo de corte versus la tasa de corte para fluidos no, Newtonianos dependientes del tiempo con sus dos tipos de flujos, los cuales no serán descritos a más detalle, ya que no son desarrollados en esta Tesis.

FIGURA N° 9: ESFUERZO DE CORTE VERSUS TASA DE CORTE DE FLUIDOS NO, NEWTONIANOS DEPENDIENTES DEL TIEMPO



Fuente: solid-liquid flow slurry pipeline transportation
Autor: Wasp, Edward; Kenny, John y Gandhi, Ramesh.

2.7. FORMULACIÓN MATEMÁTICA DE SISTEMA DE BOMBEO DE SLURRIES

2.7.1. Caudal del Slurry o Pulpa

Este concepto se basa en la conservación de la masa del fluido a lo largo de la tubería en un mismo espacio de tiempo:

$$Q_m = V * A \quad (2.21)$$

Dónde:

Q_m : Caudal del slurry $\left(\frac{m^3}{seg}\right)$

A = Area (m^2)

V = Velocidad media del slurry $\left(\frac{m}{seg}\right)$

2.7.2. Flujo másico del Slurry

Considerando que el Slurry es un flujo incompresible, se concluye que el caudal debe ser constante a lo largo de la tubería:

$$\dot{m} = \rho_m * V * A \quad (2.22)$$

Dónde:

\dot{m}_m : Flujo másico de la mezcla (Kg/seg)

ρ_m : Densidad de la mezcla (Kg/m³)

V = Velocidad media de la mezcla (m/s)

A = Area transversal al flujo (m²)

2.7.3. Slurry no depositantes y depositantes

Para determinar o definir cuando un slurry es depositante o no depositante, lo cual permite indicar una zona de transición es través de la fórmula del número de Arquímedes.

Numero de Arquímedes

$A_r < 1$: Fluido no sedimentario

$A_r > 1$: Fluido sedimentario

$$A_r = \frac{\rho_s g L^3}{\mu_m^2} (\rho_s - \rho) \quad (2.23)$$

$$A_r = \frac{\text{Fuerza gravitacional}}{\text{Fuerza viscosas}} \quad (2.24)$$

Dónde:

Ar: Numero de Arquímedes

g : Aceleración de la gravedad

ρ_s : Densidad de los solidos

ρ : Densidad de fluido

μ_m : Viscosidad dinámica de la mezcla

L: longitud característica de los solidos

2.7.4. Numero de Reynolds para fluidos newtonianos y no newtonianos³²

El flujo laminar se define como el flujo en el cual el fluido se mueven capas, o láminas que se deslizan suavemente una sobre otra adyacente, únicamente con intercambio molecular de momentum. Cualquier tendencia a la inestabilidad y turbulencia son atenuadas por las fuerzas cortantes viscosas que resisten el movimiento relativo de capas fluidas adyacentes. Sin embargo, en el flujo turbulento las partículas fluidas tienen un movimiento muy errático, con un intercambio de momentum transversal violento. La naturaleza del flujo, es decir, si es laminar o turbulento, posición relativa en una escala que muestra la importancia relativa de las tendencias turbulentas a laminares están indicadas por el número de Reynolds. El concepto de número de Reynolds interpretación se analizan en esta sección. Se dice que dos casos de flujo son dinámicamente similares cuando:

1.- Éstos son simétricamente similares, es decir, que las dimensiones lineales correspondientes tienen una relación constante.

2.-Los correspondientes polígonos de fuerza son simétricamente similares, o que las presiones en puntos correspondientes tienen una relación constante.

Al considerar dos situaciones de flujo geoméricamente similares, Reynolds dedujo que éstos serían dinámicamente similares si las ecuaciones diferenciales generales que describían sus flujos fueran idénticas al cambiar las unidades de masa, longitud y tiempo en un conjunto de cuestiones y al

³² Zubicaray, M.(2000). Bombas Teoría, Diseño y Aplicaciones. México: Editorial Limusa S.A.

determinar la condición que debe ser satisfecha para hacer las idénticas a las ecuaciones originales, Reynoso encontró que el grupo adimensional $\rho vL/\mu$ debe ser igual para ambos casos. La cantidad u es la velocidad característica. L es una longitud característica ρ es la densidad de masa y μ es la viscosidad. Este grupo, o parámetro, hoy en día se conoce como en el número de Reynolds R el cual es igual a.

2.7.5. Numero de Reynolds para Fluidos Newtonianos

$$NR_e = \frac{\rho * V * D}{\mu} \quad (2.25)$$

Dónde:

NR_e : Numero de Reynolds

ρ : Densidad del fluido ($Kg\cdot m/m^3$)

V : Velocidad media del fluido (m/seg)

D : Longitud característica (m)

μ : Viscosidad absoluta o dinámica del fluido (Pa.seg)

2.7.6. Numero de Reynolds para fluidos no newtonianos no sedimentarios.

La siguiente formula deberá ser aplicada cuando se tenga un fluido no sedimentario.

$$N^{\circ}Re = \frac{V_d * D_m * S_m}{\mu_r * \nu_{H2O}} \quad (2.26)$$

Dónde:

$N^{\circ}Re$ =Numero de Reynolds

V_d =Velocidad media $\frac{m}{s}$

D = Diámetro de la tubería m

S_m = Densidad relativa de los solidos

μ_r = viscosidad relativa de los sólidos.

ν_{H2O} = viscosidad cinemática de los sólidos $\frac{m^2}{s}$

2.7.7. Obtención del factor de fricción para fluidos no newtonianos sedimentarios

Obtención del factor de fricción por el número de Reynolds generalizado

$$\begin{aligned} N^{\circ}Re_{mod} = N^{\circ}Re_{GEN} &= \frac{\rho_m D^{\eta} V^{2-\eta}}{8^{\eta-1} \cdot K} \left(\frac{4\eta}{3\eta + 1} \right)^{\eta} \\ &= \frac{\rho_m V \cdot D}{K} \cdot \left(\frac{4\eta}{3\eta + 1} \right)^{\eta} \left(\frac{D}{8V} \right)^{\eta-1} \end{aligned} \quad (2.27)$$

Formula del cálculo del factor para flujo laminar

$$f = 4 * f_F \quad (2.28)$$

$$f = \frac{64}{N^{\circ}Re_{mod}} \quad (2.29)$$

Formula del cálculo del factor de fricción para flujo turbulento

$$\frac{1}{\sqrt{f_F}} = \frac{4}{\eta^{0.75}} \log \left[N^{\circ}Re_{mod} \cdot f_F^{1-\frac{\eta}{2}} \right] - \frac{0.4}{\eta^{1.2}} \quad (2.30)$$

Dónde:

$N^{\circ}Re_{Mod} = N^{\circ}Re_{Gen}$: Numero de Reynolds Modificada o Generalizado.

K: Índice de consistencia de fluido $\frac{Kg-m}{m \cdot seg^{2-\eta}}$.

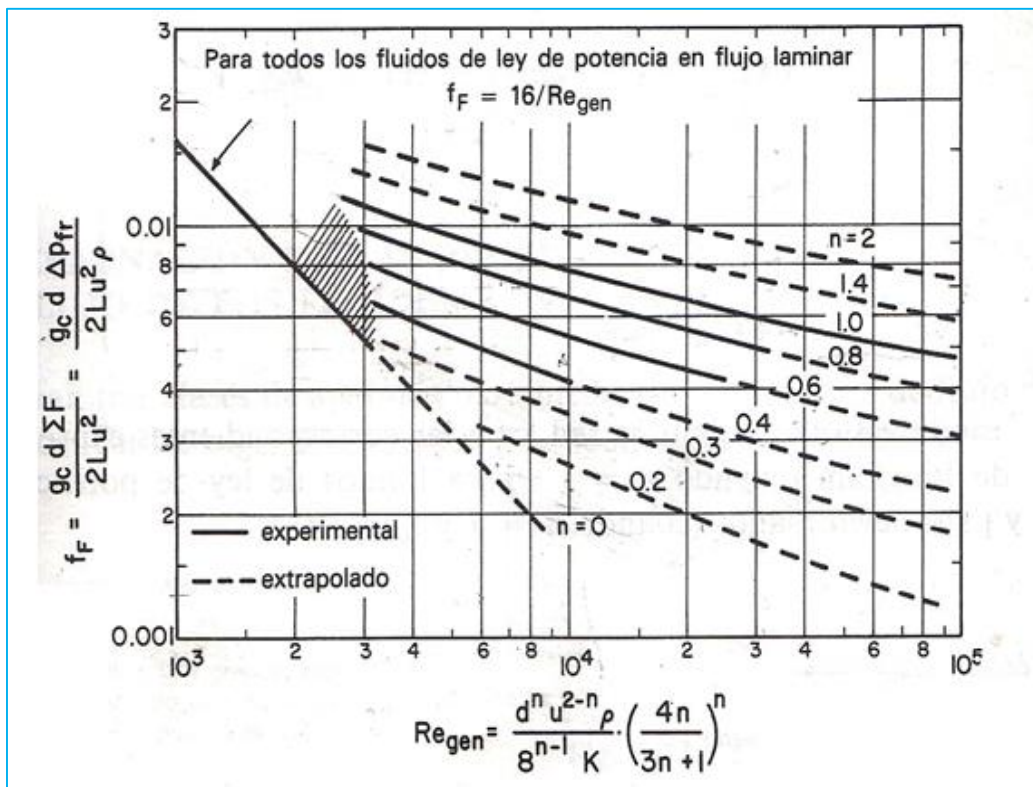
η : Índice de comportamiento del fluido.

ρ_m : Densidad de la mezcla $\frac{Kg-m}{m^3}$.

D: Diámetro del conducto (m).

V: Velocidad del fluido $\left(\frac{m}{seg} \right)$.

FIGURA Nº 10: RELACIÓN DE LA PÉRDIDA FRICCIONAL CON LA VELOCIDAD DE FLUJO EN TUBOS PARA FLUIDOS DE LA LEY DE POTENCIA



Fuente: Adaptado de D.S. Dodge y A.B. Metzner, AIChE. J. 1959.

Obtención del factor de fricción por cundo el número de Arquímedes es menor de uno ($Ar < 1$)

Obtención del factor de fricción por cundo el número de Arquímedes es mayor de uno ($Ar > 1$)

2.7.8. Factor de fricción para fluidos sedimentarios.

$$\frac{1}{f} = 4 \log\left(\frac{D}{2 * \varepsilon}\right) + 3.48 - 4 \log\left(1 + \frac{9.35 * D}{2 * \varepsilon * Re * \sqrt{f}}\right) \quad (2.31)$$

f = factor de fricción de la pulpa.

D = Diámetro de la tubería m

ε = rugosidad de la pared del material m

$N^\circ Re$ = Numero de Reynolds

2.7.9. Ecuación de Bernoulli Generalizada³³

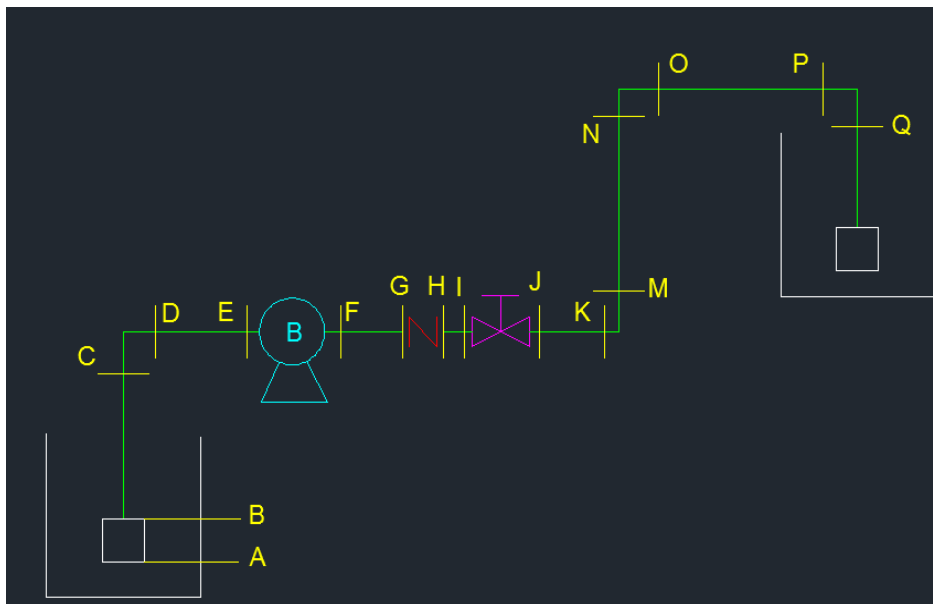
La ecuación de Bernoulli es una relación aproximada entre la presión, la velocidad y la elevación, y es válida en regiones de flujo estacionario e incompresible en donde las fuerzas netas de fricción son despreciables. Pese a su simplicidad, la ecuación de Bernoulli demostró que es un instrumento muy potente en la mecánica de fluidos.

La aproximación clave en la deducción de la ecuación de Bernoulli es que los efectos viscosos son despreciablemente pequeños en comparación con los efectos de inercia, gravitacionales y de la presión. Puesto que todos los fluidos tienen viscosidad (no existe un fluido “no viscosos”), esta aproximación no puede ser válida para todo un campo de flujo de interés práctico. En otras palabras, no se puede aplicar la ecuación de Bernoulli en todas partes en un flujo, sin importar que tan pequeña sea la viscosidad del fluido. Sin embargo resulta que la aproximación es razonable en ciertas regiones de muchos flujos prácticos. Se hará referencia a esas regiones como regiones no viscosas del flujo y se enfatiza que no son regiones en donde el propio fluido es no viscoso o sin fricción si no, más bien, que son regiones en donde las fuerzas viscosas o de fricción neta son especialmente pequeñas en comparación con las otras fuerzas que actúan sobre las partículas del fluido.

De cuidado cuando se utiliza la ecuación de Bernoulli, porque es una aplicación que sólo se aplica a las regiones no viscosas del flujo, en general, los efectos de la fricción siempre son importantes muy cerca de las paredes sólidas (capa límite) y directamente corriente abajo de los cuerpos (estelas). Por tanto, la aproximación de Bernoulli es útil por lo general en regiones del flujo por fuera de las capas límite y estelas, en donde el movimiento del fluido no rigen los efectos combinados la presión y la gravedad.

³³ Cengel, Y.A., Cimbala, J. M. (2010). Ecuaciones de conservaciones de masa, de Bernoulli y de energía. Mc Graw-Hill, *Mecánica de Fluidos: Fundamentos y Aplicaciones*. (pp. 197). México.

FIGURA Nº 11: SISTEMA DE BOMBEO



Fuente: subicaray.2010
Autor: subicaray.2010

$$H_B = \frac{P_2 - P_1}{\gamma} + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} + Z_2 - Z_1 + f \left(\frac{L + \sum L_{eq}}{D} \right) \times \frac{8Q_{mv}^2}{\pi^2 D^4 g} \quad (2.32)$$

Dónde:

H_B : Altura de Bombeo (m)

$P_2 - P_1 / \gamma$: Altura de presión estáticas en el punto 1 y 2 (m)

$Z_2 - Z_1$: Diferencia de alturas geodésicas en el punto 1 y 2 (m)

$\frac{V_2^2 - V_1^2}{2g}$: Altura de presión de velocidad en 1 y 2 (m)

f: Factor de fricción (Adimensional)

L: Longitud del conducto (m)

D: Diámetro interno del conducto (m)

$\sum K$: Sumatoria coeficientes adimensionales de carga secundaria

$\sum L_{eq}$: Sumatorias de longitudes equivalentes (m)

Q_{mv} = Caudal del fluido mixto (m³/seg.)

g: Aceleración de la gravedad .(m/seg²)

2.7.10. Potencia del eje para un fluido newtoniano

$$P_{EJE} = \frac{\gamma Q H_B}{76 \eta} \quad (2.33)$$

Dónde:

P_{EJE} : Potencia al eje (H.P.).

γ : Peso específico del fluido $\frac{\text{kg-f}}{\text{m}^3}$; .

Q : Caudal del fluido $\left(\frac{\text{m}^3}{\text{seg}}\right)$.

H_B : Altura de la bomba de entrega (m).

η : Eficiencia total de la bomba. (Adimensional)

2.7.5. Potencia del eje para un fluido no newtoniano

$$P_{EJE} = \frac{\gamma_m Q_{mv} H_B}{76 \eta} \quad (2.34)$$

Dónde:

P_{EJE} : Potencia al eje (H.P.).

γ_m : Peso específico de la mezcla en volumen $\left(\frac{\text{kg-f}}{\text{m}^3}\right)$.

Q_{mv} : Caudal de la mezcla en volumen $\left(\frac{\text{m}^3}{\text{seg}}\right)$.

H_B : Altura de la bomba de entrega (m).

η : Eficiencia total de la bomba.

2.7.11. Caudal del Slurry o Pulpa

$$Q_{mV} = \frac{Q_{sw}}{C_V \cdot \gamma_s} \quad (2.35)$$

Dónde:

Q_{mv} : Caudal de la mezcla en volumen (m^3/seg).

Q_{sw} : Flujo en peso de los sólidos (m^2/seg).

γ_s : Peso específico de los sólidos ($kg-f/m^3$).

C_V : Concentración en volumen.

2.8. DESARROLLO TEÓRICO DE LOS COMPONENTES PARA UN SISTEMA DE BOMBEO DE SLURRIES

2.8.1. Bombas

Las bombas son dispositivos que se encargan de transferir energía a la corriente del fluido impulsándolo, desde un estado de baja presión estática a otro de mayor presión.

Están compuestas por un elemento rotatorio denominado impulsor, el cual se encuentra dentro de una carcasa llamada voluta. Inicialmente la energía es transmitida como energía mecánica a través de un eje, para posteriormente convertirse en energía hidráulica.

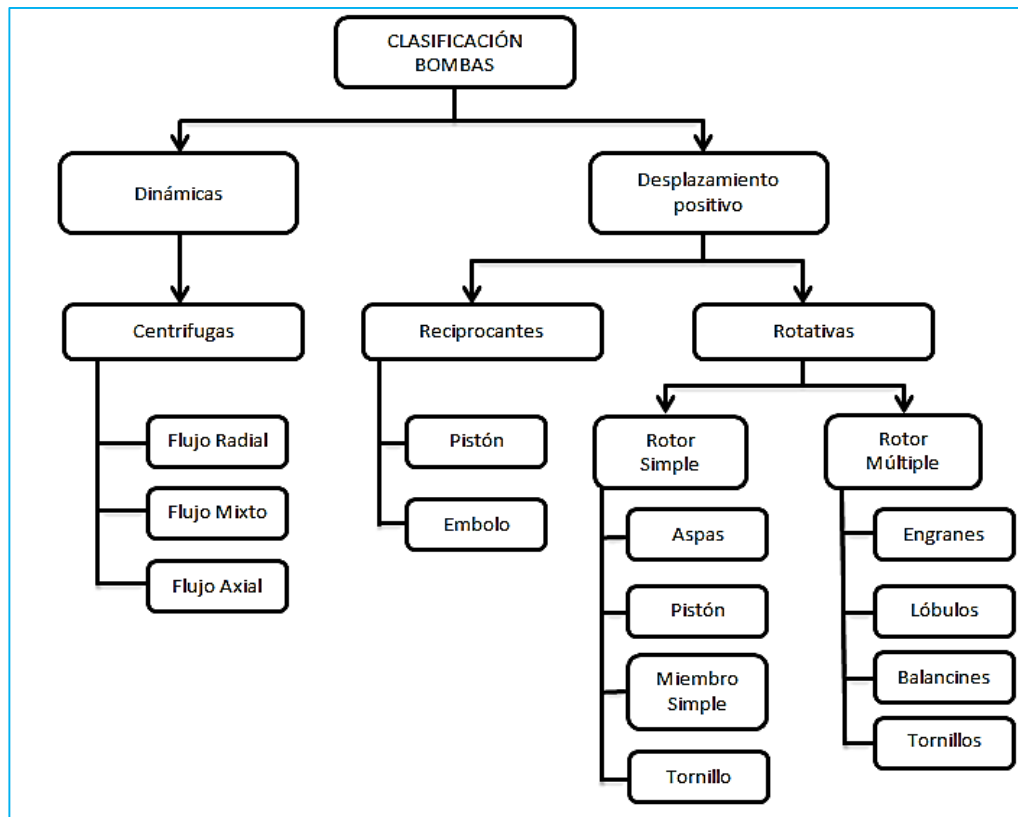
El fluido entra axialmente a través del ojo del impulsor, pasando por los canales de éste y suministrándosele energía cinética mediante los álabes que se encuentran en el impulsor para posteriormente descargar el fluido en la voluta, el cual se expande gradualmente, disminuyendo la energía cinética adquirida para convertirse en presión estática.

La clasificación de bombas dada en la Figura N°12, nos permite definir que puede bombear fluidos newtonianos y no newtonianos; la diferencia está en el tipo de sólidos transportados, hay que definir bien sus características físicas, químicas, cinemáticas, falta aumentar teoría.

2.8.2. Clasificación de las Bombas

Se pueden considerar dos grandes grupos: Bombas dinámicas, Bombas de desplazamiento positivo (Reciprocantes y Rotativas).

FIGURA Nº 12: CLASIFICACIÓN DE BOMBAS



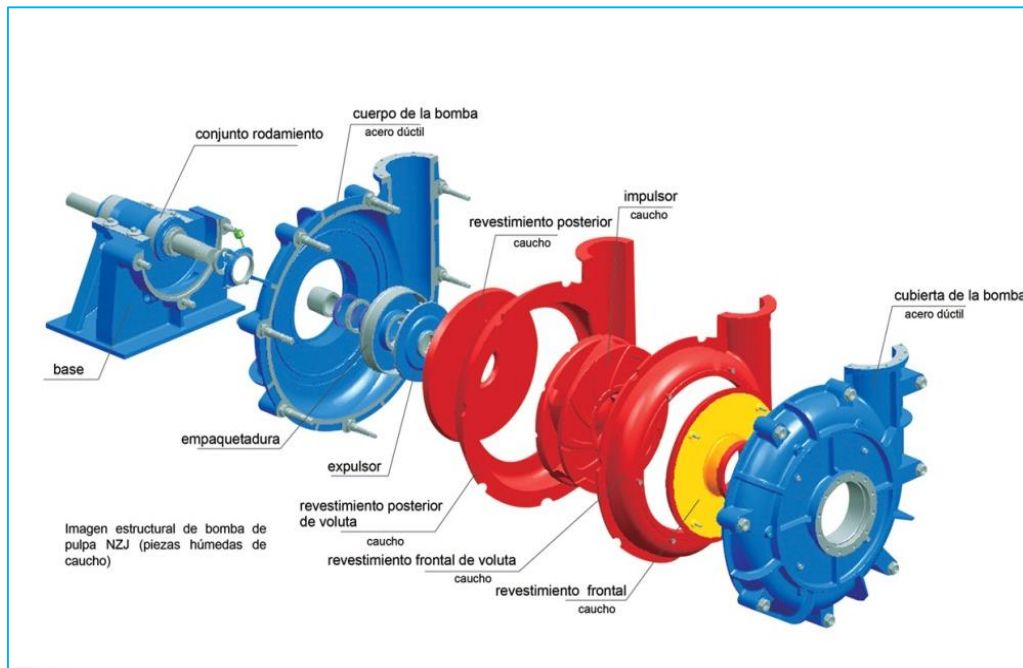
Fuente: subicaray.2010
Autor: subicaray.2010

2.8.3. Bombas Dinámicas

2.8.3.1. Bombas Centrifugas

Según Subicaray, 2010, una bomba centrífuga es una máquina que consiste de un conjunto de paletas rotatorias encerradas dentro de una caja o cárter, o una cubierta o coraza. Se denominan así porque la cota de presión que crean es ampliamente atribuible a la acción centrífuga. Las paletas imparten energía al fluido por la fuerza de esta misma acción. Así, despojada de todos los refinamientos, una bomba centrífuga tiene dos partes principales: Un elemento giratorio, incluyendo un impulsor y una flecha, y un elemento estacionario, compuesto por una cubierta, estoperas y chumaceras.

FIGURA Nº 13: COMPONENTES DE LA BOMBA CENTRIFUGA PARA SLURRY



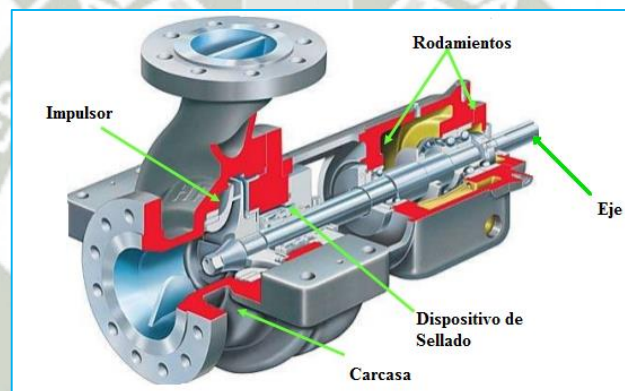
Fuente: Mataix, 2009

Autor: Mataix, 2009

Componentes:

- **Carcasa:** Es la parte exterior protectora de la bomba y cumple la función de convertir la energía de velocidad impartida al líquido por el impulsor en energía de presión. Esto se lleva a cabo mediante reducción de la velocidad por un aumento gradual del área.
- **Impulsores:** Es el corazón de la bomba centrífuga. Recibe el líquido y le imparte una velocidad de la cual depende la carga producida por la bomba.
- **Anillos de desgaste:** Cumplen la función de ser un elemento fácil y barato de remover en aquellas partes en donde debido a las cerradas holguras entre el impulsor y la carcasa, el desgaste es casi seguro, evitando así la necesidad de cambiar estos elementos y quitar solo los anillos.

- **Estoperas:** empaques y sellos: la función de estos elementos es evitar el flujo hacia fuera del líquido bombeado a través del orificio por donde pasa la flecha de la bomba y el flujo de aire hacia el interior de la bomba.
- **Eje:** Es el eje de todos los elementos que giran en la bomba centrífuga, transmitiendo además el movimiento que imparte la flecha del motor.
- **Cojinetes:** Sirven de soporte a la flecha de todo el rotor en un alineamiento correcto en relación con las partes estacionarias. Soportan las cargas radiales y axiales existentes en la bomba.
- **Bases:** Sirven de soporte a la bomba, sosteniendo el peso de toda ella

FIGURA Nº 14: ELEMENTOS DE UNA BOMBA

Fuente: Gutierrez.2012
Autor: Gutierrez.2012

2.8.3.2. Bombas sumergibles para lodos

Como su nombre indica, motor y bomba se encuentran bajo la superficie libre del líquido (Fig.15). Suponen una solución para el bombeo en el caso de instalaciones con poco NPSH disponible o alturas de aspiración excesivamente elevadas. Como inconveniente es necesario la extracción completa de la tubería para su mantenimiento.

FIGURA Nº 15: BOMBAS SUMERGIBLES

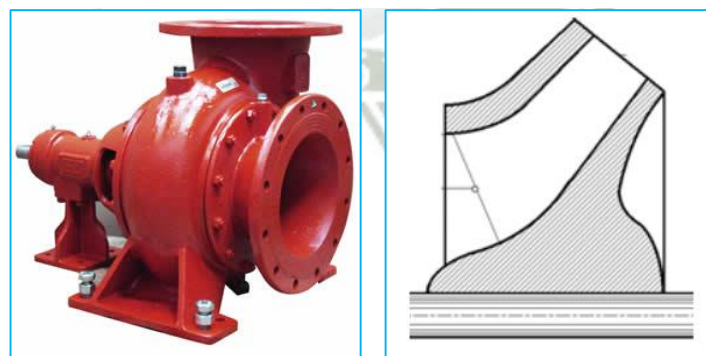


Fuente: Mataix, 2009
Autor: Mataix, 2009

2.8.3.3. Bomba de flujo mixto³⁴

Son aquéllas en las que la carga de presión es desarrollada parcialmente por la acción de la fuerza centrífuga y en parte por la propulsión axial. Como resultado de la combinación de estas dos fuerzas, el fluido entra al centro del impulsor axialmente y es descargado en una dirección axial y radial.

**FIGURA Nº 16: BOMBA CINEMATICA DE FLUJO MIXTO
CON SU IMPULSOR**



Fuente: http://www.grupoipcalderas.com/images/bombas_eta.png

Estas bombas se utilizan para cargas y caudales intermedios.

³⁴ Zubicaray, M.(2000). Bombas Teoría, Diseño y Aplicaciones. México: Editorial Limusa S.A.

El impulsor es más ancho que los de flujo radial y los alabes adquieren una doble curvatura, torciéndose en el extremo de la succión, tal como se muestra en la presente figura.

La velocidad específica en este tipo de impulsores va aumentando y manejan líquidos con sólidos en suspensión. Figura N°16. Impulsor de flujo mixto

Bombas de Desplazamiento Positivo

Estas bombas guían al fluido que se desplaza a lo largo de toda su trayectoria, el cual siempre está contenido entre el elemento impulsor, que puede ser un embolo, un diente de engranaje, un aspa, un tornillo, etc., y la carcasa o el cilindro. “El movimiento del desplazamiento positivo” consiste en el movimiento de un fluido causado por la disminución del volumen de una cámara. Por consiguiente, en una máquina de desplazamiento positivo, el elemento que origina el intercambio de energía no tiene necesariamente movimiento alternativo (émbolo), sino que puede tener movimiento rotatorio (rotor).

Sin embargo, en las máquinas de desplazamiento positivo, tanto reciprocantes como rotativas, siempre hay una cámara que aumenta de volumen (succión) y disminuye volumen (impulsión), por esto a éstas máquinas también se les denomina volumétricas.

Bombas Reciprocantes.

Llamadas también alternativas, en estas máquinas, el elemento que proporciona la energía al fluido lo hace en forma lineal y alternativa. La característica de funcionamiento es sencilla depende del llenado y vaciado sucesivo de receptáculos de volumen fijo, para lo cual cierta cantidad de agua es obligada a entrar al cuerpo de la bomba en donde queda encerrada momentáneamente, para después ser forzada a salir por la tubería de descarga. De lo anterior se deduce, en términos generales, que el gasto de una bomba reciprocante es directamente proporcional a su velocidad de rotación y casi independiente de la presión de bombeo.

Bombas Rotativas

Llamadas también rotoestáticas, debido a que son máquinas de desplazamiento positivo, provistas de movimiento rotatorio, y son diferentes a las rotodinámicas. Estas bombas tienen muchas aplicaciones según el elemento impulsor. El fluido sale de la bomba en forma constante, puede manejar líquidos que contengan aire o vapor. Su principal aplicación es la de manejar líquidos altamente viscosos, lo que ninguna otra bomba puede realizar y hasta puede carecer de válvula de admisión de carga.

2.9. AGITADORES PARA TANQUES CERRADOS Y TANQUES ABIERTOS

Los hay de acoplados directo, estos están diseñados para aplicaciones de baja viscosidad, o volúmenes pequeños, o aplicaciones en que se requiere trituramientos del producto. Los agitadores de acoplado de engranaje (caja reductora), son eficientemente usados en productos con más alta viscosidad o aplicaciones con un volumen más elevado.

FIGURA N° 17: AGITADORES PARA TANQUES CERRADOS Y ABIERTOS

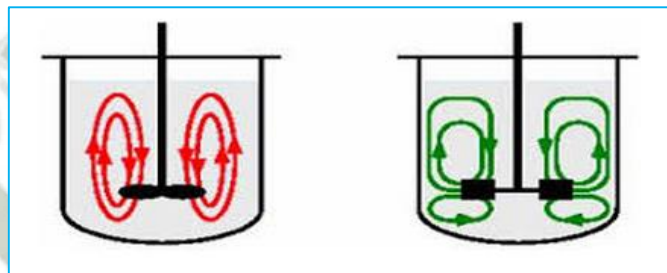


Fuente: <http://procesosbio.wikispaces.com/Agitador>

2.9.1. Tipos de Agitadores

Los agitadores se dividen en dos clases: los que generan corrientes paralelas al eje del agitador y los que dan origen a corrientes en dirección tangencial o radial. Los primeros se llaman agitadores de flujo axial y los segundos agitadores de flujo radial.

FIGURA Nº 18: AGITADORES DE FLUJO AXIAL Y FLUJO RADIAL



Fuente: <http://procesosbio.wikispaces.com/Agitador>

2.9.1.1. Agitadores de Hélice

Un agitador de hélice, es un agitador de flujo axial, que opera con velocidad elevada y se emplea para líquidos pocos viscosos. Los agitadores de hélice más pequeños, giran a toda la velocidad del motor, unas 1150 ó 1750 rpm; los mayores giran de 400 a 800 rpm. Las corrientes de flujo, que parten del agitador, se mueven a través del líquido en una dirección determinada hasta que son desviadas por el fondo o las paredes del tanque. La columna de remolinos de líquido de elevada turbulencia, que parte del agitador, arrastra en su movimiento al líquido estancado, generando un efecto considerablemente mayor que el que se obtendría mediante una columna equivalente creada por una boquilla estacionaria. Las palas de la hélice cortan o friccionan vigorosamente el líquido. Debido a la persistencia de las corrientes de flujo, los agitadores de hélice son eficaces para tanques de gran tamaño. Para tanques extraordinariamente grandes, del orden de 1500m³ se han utilizado agitadores múltiples, con entradas laterales al tanque.

El diámetro de los agitadores de hélice, raramente es mayor de 45 cm, independientemente del tamaño del tanque. En tanques de gran altura, pueden disponerse dos o más hélices sobre el mismo eje, moviendo el líquido generalmente en la misma dirección. A veces dos agitadores operan en sentido opuesto creando una zona de elevada turbulencia en el espacio comprendido entre ellos.

FIGURA Nº 19: AGITADOR DE HELICE



Fuente: <http://www.directindustry.es/prod/sunkaier-industrial-technology-co-ltd/product-132671-1567022.html>

2.9.1.2. Agitadores de Paletas

Para problemas sencillos, un agitador eficaz está formado por una paleta plana, que gira sobre un eje vertical. Son corrientes los agitadores formados por dos y 3 paletas. Las paletas giran a velocidades bajas o moderadas en el centro del tanque, impulsando al líquido radial y tangencialmente, sin que exista movimiento vertical respecto del agitador, a menos que las paletas estén inclinadas. Las corrientes de líquido que se originan se dirigen hacia la pared del tanque y después siguen hacia arriba o hacia abajo.

Las paletas también pueden adaptarse a la forma del fondo del tanque, de tal manera que en su movimiento rascan la superficie o pasan sobre ella con una holgura muy pequeña. Un agitador de este tipo se conoce como agitador de ancla. Estos agitadores son útiles cuando se desea evitar el depósito de sólidos sobre una superficie de transmisión de calor, como ocurre en un tanque enchaquetado, pero no son buenos mezcladores. Generalmente trabajan

conjuntamente con un agitador de paletas de otro tipo, que se mueve con velocidad elevada y que gira normalmente en sentido opuesto.

Los agitadores industriales de paletas giran a una velocidad comprendida entre 20 y 150 rpm. La longitud del rodete de un agitador de paletas es del orden de 50 al 80% del diámetro interior del tanque. La anchura de la paleta es de un sexto a un décimo de su longitud. A velocidades muy bajas, un agitador de paletas produce una agitación suave, en un tanque sin placas deflectoras o cortacorrientes, las cuales son necesarias para velocidades elevadas. De lo contrario el líquido se mueve como un remolino que gira alrededor del tanque, con velocidad elevada pero con poco efecto de mezcla.

FIGURA Nº 20: AGITADOR DE PALETAS



Fuente: <http://www.directindustry.es/prod/sunkaier-industrial-technology-co-ltd/product-132671-1567022.html>

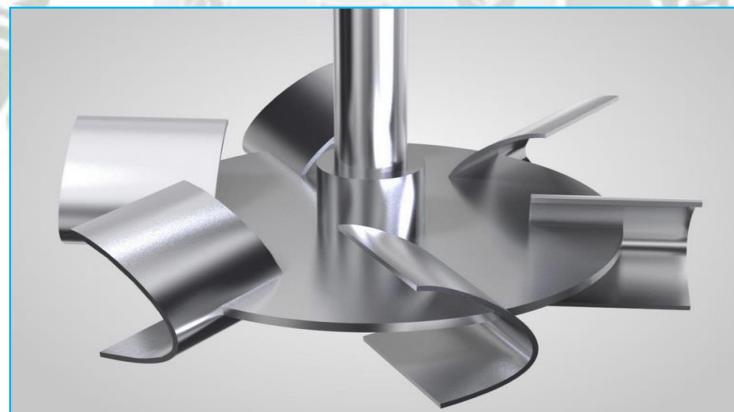
2.9.1.3. Agitadores de turbina

La mayor parte de ellos se asemejan a agitadores de múltiples y cortas paletas, que giran con velocidades elevadas sobre un eje que va montado centralmente dentro del tanque. Las paletas pueden ser rectas o curvas, inclinadas o verticales. El rodete puede ser abierto, semicerrado o cerrado. El diámetro del rodete es menor que en el caso de agitadores de paletas, siendo del orden del 30 al 50% del diámetro del tanque.

Los agitadores de turbina son eficaces para un amplio intervalo de viscosidades; en líquidos poco viscosos, producen corrientes intensas, que se extienden por todo el tanque y destruyen las masas de líquido estancado. En las proximidades del rodete existe una zona de corrientes rápidas, de alta turbulencia e intensos esfuerzos cortantes. Las corrientes principales son radiales y tangenciales. Las componentes tangenciales dan lugar a vórtices y torbellinos, que se deben evitar por medio de placas deflectoras o un anillo difusor, con el fin de que el rodete sea más eficaz.

El agitador de turbina semiabierto, conocido como agitador de disco con aletas, se emplea para dispersar o disolver un gas en un líquido. El gas entra por la parte inferior del eje del rodete; las aletas lanzan las burbujas grandes y las rompen en muchas pequeñas, con lo cual se aumenta grandemente el área interfacial entre el gas y el líquido.

FIGURA Nº 21: AGITADOR DE TURBINA



Fuente: <http://www.directindustry.es/prod/sunkaier-industrial-technology-co-ltd/product-132671-1567049.html>

2.9.2. Consumo de la Potencia del Agitador

La energía del motor se emplea en:

- Movimiento de toda la masa del fluido.
- Turbulencias locales.

- Los impulsores de elevado rendimiento están indicados cuando se requiere gran caudal y poca turbulencia local (p.e. Suspensión de sólidos).
- Para mezclas en general es útil cierta turbulencia y con un impulsor de peor rendimiento hidráulico pueden conseguirse mejores rendimientos de mezcla.

El cálculo de la potencia consumida se hace a través de números adimensionales, relacionando por medio de gráficos el número de Reynolds y el Número de Potencia.

El cálculo de la potencia consumida se hace a través de números adimensionales, relacionando por medio de gráficos el número de Reynolds y el Número de Potencia. Estas gráficas dependerán de las características geométricas del agitador.

$$N_p = \frac{P}{N^3 * d^5 * \rho} \quad (2.36)$$

Dónde:

N_p : Número de Potencia (adimensional).

P: Potencia del agitador (kw).

D: Diámetro del rodete (m).

ρ : Densidad del fluido (kg-m/m³).

N: Velocidad de giro del agitador (RPM).

Para bajos números de Reynolds ($Re < 10$) el flujo es laminar, la densidad deja de ser un factor importante y la potencia puede encontrarse como:

$$P = K_L * N^2 * D_{a*}^2 * \mu \quad (2.37)$$

Dónde:

P: Potencia (kw).

Da: Diámetro del rodete (m).

μ : Viscosidad (pa.seg).

N: Velocidad de giro del agitador (RPM).

En tanques con placas deflectoras y para números de Reynolds superiores a 10000, la función de potencia es independiente del número de Reynolds y la viscosidad deja de ser un factor. Las variaciones del Número de Froude tampoco influyen. En este intervalo el flujo es completamente turbulento y la Potencia puede ser calculada como:

$$P = K_T * N^3 * D_a^5 * \rho \quad (2.38)$$

Dónde:

P: Potencia (Kw).

Da: Diámetro del rodete (m).

ρ : Densidad del fluido (Kg-m/m³).

N: Velocidad de giro del agitador (RPM).

CUADRO Nº 7: CONSTANTES KL Y KT PARA EL CÁLCULO DE POTENCIA

Tipo de impulsor	KL	KT
Hélice paso cuadrado, tres palas	41,0	0,32
Hélice paso de 2, tres palas	43,5	1,00
Turbina, seis palas planas	71,0	6,30
Turbina, seis palas curvas	70,0	4,80
Turbina de ventilador, seis palas	70,0	1,65
Turbina dos palas planas	36,5	1,70
Turbina cerrada, seis palas curvas	97,2	1,08

Fuente: Alexander wiegand, 2005
WIKA Alexander Wiegand GmbH & Co. KG

2.10. MEDIDORES DE PRESIÓN PARA SLURRY

El manómetro es un instrumento que se emplea para la medición de la presión en los fluidos y que generalmente procede determinando la diferencia que hay entre la presión del fluido y la presión local.

En el mundo de la mecánica, por ejemplo, la presión es considerada como una fuerza por unidad de superficie que es ejercida por un determinado líquido o por un determinado gas, de manera perpendicular y sobre dicha superficie. La medición de la presión suele realizarse en atmósferas, en atm; también mediante el Sistema Internacional de Unidades, al tiempo que es expresada en newtons por metro cuadrado. En el caso de los manómetros, cuando éstos deben indicar fluctuaciones sumamente rápidas de presión, tienen que usar unos sensores, que bien pueden ser piezoeléctricos o electrostáticos. Dichos sensores proporcionan una solución más que eficaz al problema de las fluctuaciones inusitadas, que se suscitan con mucha velocidad. Cabe mencionarse que la mayoría de estos instrumentos miden la diferencia que se produce entre la presión con la que cuenta el fluido y la presión de la atmósfera local. Por esta razón, a esta última presión hay que sumarla al valor que indica el manómetro. Con esto se logra hallar la presión absoluta. En aquellos casos en los cuales se obtiene una medida negativa en el instrumento, hay que adjudicarla a una situación de vacío parcial.

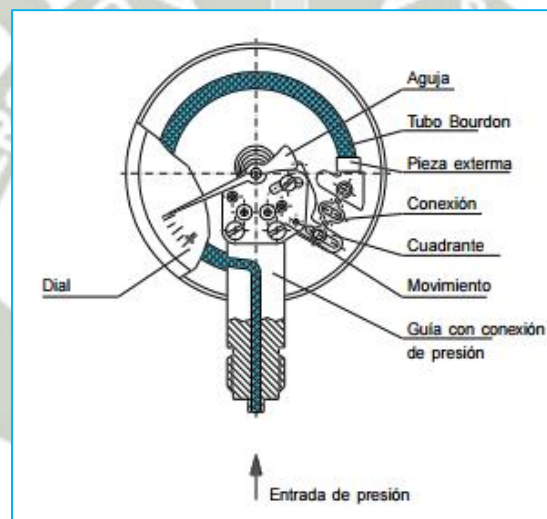
2.11. TIPOS DE MANÓMETROS

2.11.1. Manómetros con tubo Bourdon

Los tubos de Bourdon son tubos de forma circular con una sección cruzada oval. La presión del medio actúa en el interior del tubo y como resultado la sección cruzada oval se convierte en casi redonda. Debido a que se produce una curvatura de la tensión del anillo del tubo, éste dobla el tubo de Bourdon. El final del tubo, que no es fijo, se mueve. Por lo que este movimiento es una medición para la presión. Este movimiento lo indica la aguja. Los tubos de Bourdon doblan un ángulo de aproximadamente 250° , que se utiliza para

presiones de hasta 60 bar aproximadamente. Para presiones altas se utilizan tubos de Bourdon con un número de espirales superpuestas del mismo diámetro (ej. Espirales helicoidales) o espirales con forma helicoidal (ej. muelles helicoidales) en un nivel. Los tubos de Bourdon sólo pueden protegerse contra la sobrecarga hasta una extensión limitada. Para operaciones de medición con una dificultad particular los manómetros pueden mejorarse intercalando un sello químico, como separación o sistema de protección. Los márgenes de presión están entre 0 - 0,6 y 0 - 4000 bar con una lectura de precisión (o clase) desde 0,1 a 4,0 %

FIGURA Nº 22: MANÓMETRO CON TUBO DE BOURDON



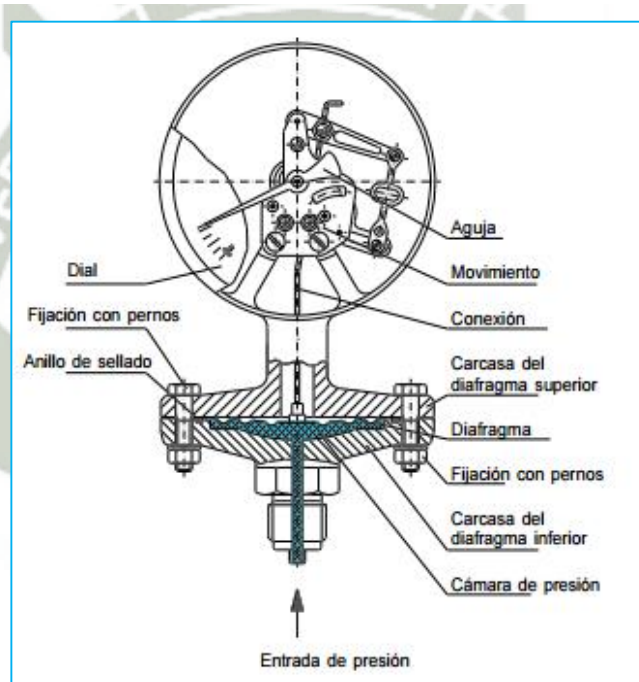
Fuente: Alexander wiegand, 2005

2.11.2. Manómetro con elemento de diafragma

Los elementos de diafragma tienen forma circular y membranas onduladas. Estas están sujetas alrededor del borde entre dos bridas o soldadas y sujetos a la presión del medio actuando en un lado. La desviación causada de esta forma se utiliza como medición para la presión y es mostrada por la aguja indicadora del instrumento. En comparación con los tubos Bourdon, estos elementos de diafragma tienen una fuerza activadora relativamente alta y debido a ello la

sujeción en su periferia del elemento es insensible a la vibración. El elemento de diafragma puede someterse a una fuerte sobrecarga a través de los puntos de aceptación (al traer elementos de diafragma contra la brida superior). Además, el instrumento de medición puede protegerse contra elementos extremadamente corrosivos cubriéndolo con un material especial. Las conexiones a proceso pueden ser bridas de conexión abiertas y los enchufes de purga pueden ser integrados para medir elementos muy viscosos, impuros o cristalizables. Los márgenes de presión están entre 0... 16 mbar y 0 ... 40 bar en clase precisión desde 0,6 a 2,5 %.

FIGURA Nº 23: MANÓMETRO CON DIAFRAGMA



Fuente: Alexander wiegand, 2005
WIKA Alexander Wiegand GmbH & Co. KG

2.11.2.1. Medidores de caudal³⁵

A menudo es deseable medir la masa o el volumen que pasa por un conducto. Una medida fiable del flujo es vital para facturarle a un cliente el suministro de un líquido o de un gas. Los diversos dispositivos que realizan tales medidas se

³⁵ White, Frank,. **“Controladores Lógicos Programables”**. 1ra .Ed. México. Trillas 2009 .pp. 18-19

analizan con gran detalle en el texto de la ASME sobre medidores. Estos dispositivos son de dos clases, instrumentos mecánicos e instrumentos de pérdida de carga.

Los instrumentos mecánicos miden realmente la masa o el volumen del fluido atrapándolo y midiéndolo. Los diversos tipos de medidas son:

1. Medida de masa
 - a. Depósitos con báscula
 - b. Trampas basculantes
2. Medida de volumen
 - a. Depósitos calibrados
 - b. Pistones como movimiento alternativo
 - c. Anillos reanudados giratorios
 - d. Disco giratorio
 - e. Máquinas de paletas deslizantes
 - f. Máquinas de engranajes o lóbulos
 - g. Membranas pulzantes
 - h. Compartimentos sellados

Los tres últimos son adecuados para medias con gases. Los instrumentos de medida con pérdida de carga obstruyen el flujo y provoca una caída de presión que nos da la medida del flujo:

1. dispositivo de contracción de vena fluida (tipo Bernoulli)
 - a. Orificio en placa delgada
 - b. Tobera
 - c. Tubo venturi
2. dispositivos de pérdidas por fricción
 - a. tubo capilar
 - b. tapón poroso

Generalmente los medidores por fricción producen una pérdida de carga muy grande y no recuperable y obstruyen demasiado el flujo para ser útiles.

Otros seis tipos de dispositivos utilizados y basados en principios físicos distintos son:

1. Medidor de turbina
2. Medidor por desprendimiento de torbellinos
3. medidor de flujo ultrasónico
4. rotámetro
5. medidor de gasto másico de coriolis
6. medidor de flujo laminar

2.11.2.2. Medidores de caudal para slurry³⁶

El caudal es una de las variables más medidas en los procesos industriales. Agua, gas natural, vapor, petróleo, productos químicos y aguas residuales son sólo algunos ejemplos de los distintos líquidos que se miden a diario. No existe una misma tecnología universal apropiada para todas estas aplicaciones. Pero Endress+hauser está a su disposición para aconsejarle sobre el caudalímetro más apropiado para sus necesidades.

Como se muestra claramente en la figura, los caudalímetros más apropiados para mezclas como el slurry serán:

1. Caudalímetro másico coriolis
2. Caudalímetro electromagnético
3. Caudalímetro vortex
4. Caudalímetro por presión diferencial

2.11.2.3. Caudalímetro másico coriolis³⁷

Principio de medición: un colorímetro por efecto coriolis comprende uno o dos tubos de medición sometidos artificialmente a oscilaciones por medio de un

³⁶Zubicaray, M.(2000). Bombas Teoría, Diseño y Aplicaciones. México: Editorial Limusa S.A.

³⁷ Zubicaray, M.(2000). Bombas Teoría, Diseño y Aplicaciones. México: Editorial Limusa S.A.

excitador. Cuando un fluido pasa por el tubo de medición se superpone una torsión a dichas oscilaciones a causa de la inercia del fluido. Hay dos sensores que detectan espaciales y temporalmente los cambios resultantes en la oscilación en forma de unas "diferencias de fase". Estas diferencias constituirían una medida directa del caudal másico. Además, también puede determinarse la densidad del fluido a partir de la frecuencia de oscilación de los tubos de medición.

Unos sensores registran además la temperatura del tubo de medición a fin de compensar las influencias térmicas. La temperatura del proceso determinada con ello es otro dato que se proporciona por medio de una señal de salida adicional.

Ventajas:

1. principio de medición universal para líquidos y gases
2. medición multivariable: medición simultánea del caudal másico, densidad, temperatura y viscosidad.
3. Precisión muy elevada en la medición
 - a. típicamente: más \pm 0. 1% lect.
 - b. Opcionalmente: \pm 0. 05% lect. (del valor de la lectura)
4. principio de medición independiente de propiedades físicas del fluido y del perfil del caudal.
5. No requiere tramos rectos de entrada/salida.

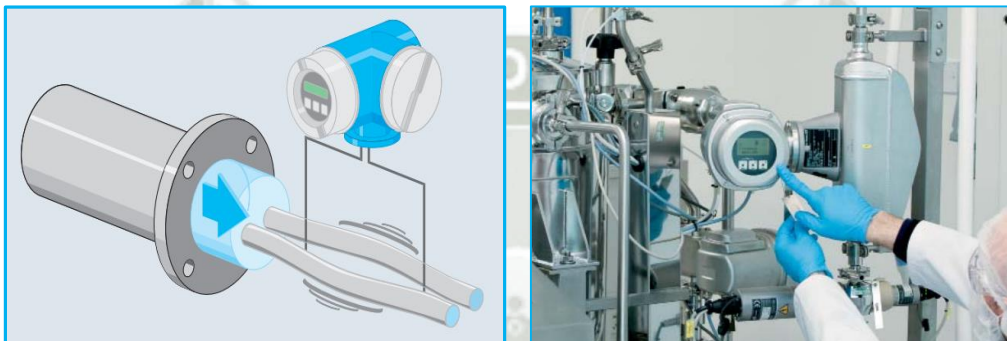
La medida simultánea de caudal másico, densidad y temperatura abre nuevas perspectivas en el control de procesos, seguridad de planta y garantía de calidad. También pueden determinarse valores característicos adicionales e importantes, a partir de las variables primarias medidas:

1. Caudal volumétrico
2. Contenido de materia sólida en un fluido
3. Concentraciones en fluidos de varias fases

4. Valores de densidad especiales, como densidad de referencia, Brix, Baumé, API, Balling o plato.

El principio de medición por efecto coriolis se utiliza en sectores industriales muy diversos, se pueden medir prácticamente todo tipo de fluidos: detergentes, disolventes, combustibles, petróleo, aceites vegetales, grasas animales, látex, aceites de silicio, alcoholes, Zumos, pastas dentrificas, vinagres, ketchup, mayonesas, gases o gases licuados.

FIGURA Nº 24: CAUDALIMETRO MASICO DE CORIOLIS



Fuente: válvulas Industriales
Autor: Gemü.2015

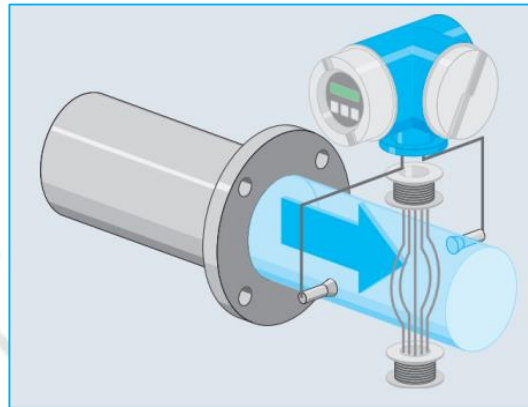
2.11.2.4. Caudalímetros electromagnéticos³⁸

Principio de medición la ley de inducción de Faraday afirma que el desplazamiento de una barra conductora a través de un campo magnético induce una tensión eléctrica. Este principio de dinamo rige también la forma en que funcionan los caudalímetros electromagnéticos. Cuando las partículas cargadas eléctricamente atraviesan el campo magnético generado por dos bobinas, se induce una tensión eléctrica. Esta tensión inducida, que se toma entre dos electrodos de medición, es directamente proporcional a la velocidad del flujo y, por consiguiente, al caudal volumétrico. El campo magnético se genera mediante una corriente continua pulsante de polaridad alterna. De esta forma se asegura la estabilidad del punto cero y se consigue que la medición

³⁸ Zubicaray, M.(2000). Bombas Teoría, Diseño y Aplicaciones. México: Editorial Limusa S.A.

sea insensible a líquidos no homogéneos o con varias fases y, asimismo, pueda efectuarse en líquidos de baja conductividad.

FIGURA Nº 25: CAUDALIMETRO ELECTROMAGNETICO



Fuente: válvulas Industriales
Autor: Gemü.2015

Ventajas:

- Principio de medición prácticamente independiente de la presión, densidad, temperatura y viscosidad
- Se pueden medir incluso líquidos con sólidos en suspensión, p. ej., lechadas de minerales o pulpa de celulosa
- Rango muy amplio de diámetros nominales (DN 2 a 2400)
- Tubería de sección transversal libre; limpieza CIP/SIP y “pig” para limpieza admisibles
- Sin piezas móviles • Gastos mínimos de mantenimiento
- Sin pérdidas de carga
- Rangeabilidad muy elevada de hasta 1000:1
- Medidas de alta fiabilidad, reproducibilidad y estabilidad a largo plazo

La popularidad de los medidores de caudal electromagnéticos sigue siendo enorme en innumerables sectores de la industria, una prueba más del éxito que este principio de medición tiene a nivel mundial desde hace más de 50 años. Los medidores de caudal electromagnéticos pueden utilizarse para medir todo tipo de líquidos conductores de electricidad ($> 1 \mu\text{S}/\text{cm}$), contengan o no

materia sólida, p. ej., agua, aguas residuales, lodo, suspensiones acuosas, pastas, ácidos, álcalis, zumos o pulpa de frutas.

Una regla empírica válida para medidores de caudal electromagnéticos es: todo lo que puede bombearse también puede medirse, un detalle técnico importante en este principio de medición. Idealmente indicado para medición y monitorización en continuo del caudal, llenado y dosificación, así como aplicaciones de Custody Transfer (facturación).

En el ámbito industrial, los medidores de caudal electromagnéticos se utilizan principalmente en el campo de la gestión del agua y en las industrias de primera transformación, alimentaria y de las ciencias de la vida. En la minería y construcción de túneles, los medidores electromagnéticos robustos constituyen frecuentemente la única opción disponible para medir con la precisión requerida lechadas altamente abrasivas de minerales, con sólidos en suspensión, mezclas agua-arena, materiales de relleno o mezclas pastosas de sólidos granulados.

FIGURA Nº 26: CAUDALIMETRO ELECTROMAGNETICO PUESTA EN MARCHA

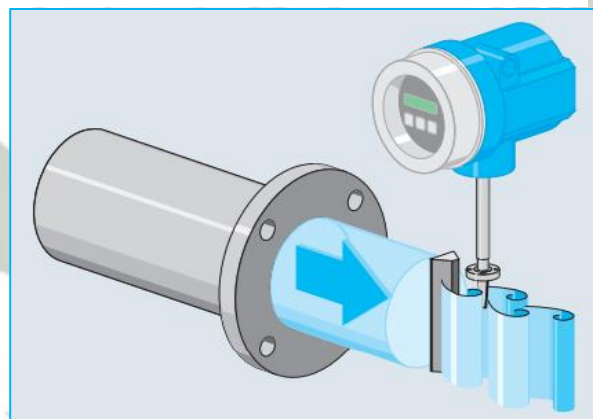


Fuente: válvulas Industriales
Autor: Gemü,2015

2.11.2.5. Caudalímetros Vortex³⁹

Este principio de medición se basa en el hecho de que las turbulencias se forman siempre aguas abajo de un obstáculo, por ejemplo en el pilar de un puente. Un caudalímetro Vortex comprende un cuerpo de interferencia situado en el centro de la tubería. Cuando el flujo alcanza una determinada velocidad, se forman vórtices por detrás del cuerpo de interferencia que se separan del flujo y se desplazan aguas abajo. La frecuencia del desprendimiento de vórtices es directamente proporcional a la velocidad media y, por consiguiente, al caudal volumétrico. Los vórtices que se desprenden por los dos lados del cuerpo de interferencia generan alternativamente presiones locales positivas o negativas, que son detectadas por un sensor capacitivo que las transmite en forma de señales primarias digitales y lineales a la electrónica.

FIGURA Nº 27: CAUDALIMETRO VORTEX



Fuente: válvulas Industriales
Autor: Gemü, 2015

Ventajas:

- Uso universal para medición de líquidos, gases y vapor
- Prácticamente insensible a variaciones de presión, temperatura y viscosidad
- Estabilidad a largo plazo: sin variación del punto cero y factor de vida K
- Sin piezas móviles

³⁹ Zubicaray, M.(2000). Bombas Teoría, Diseño y Aplicaciones. México: Editorial Limusa S.A.

- Pérdida de carga mínima
- Instalación y puesta en marcha fáciles
- Rangeabilidad típicamente de 10:1 a 30:1 en el caso de gases o vapor, y de hasta 40:1 en el caso de líquidos
- Amplio rango de temperatura: -200 a $+450^{\circ}\text{C}$

En las industrias química, petroquímica, de ingeniería y abastecimiento energético, se utilizan caudalímetros Vortex para medir una gran variedad de fluidos, por ejemplo, vapor saturado, vapor recalentado, aire comprimido, nitrógeno, gases licuados, gases de salida, dióxido de carbono, agua completamente desmineralizada, disolventes, aceites térmicos, agua de alimentación de calderas o condensaciones. Los caudalímetros Vortex se utilizan también generalmente para medir el caudal másico. Por eso, los caudalímetros Vortex modernos, como el Prowirl 73, no están pensados sólo para medir el caudal volumétrico, también incorporan un sensor de temperatura y un computador de caudal. Siempre que tenga que medirse el caudal másico de un gas, podrán también leerse digitalmente mediante HART, PROFIBUS o FOUNDATION Fieldbus, los valores precisos de la presión externa. Los caudalímetros Vortex más recientes ofrecen además la posibilidad de reducir la longitud de línea, lo que permite medir caudales aún más pequeños, con la misma longitud de instalación y precisión.

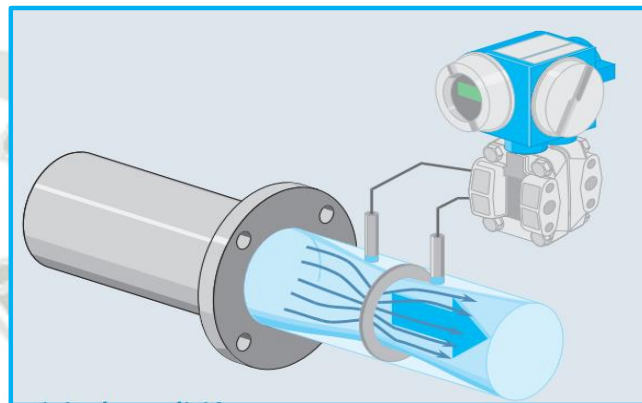
2.11.2.6. Caudalímetros por presión diferencial⁴⁰

Principio de medición Hay una relación directa entre la sección transversal del conducto, la presión y la velocidad de circulación del fluido. Placa orificio, tubuladura, tubo Venturi El tubo de medición de los medidores de caudal por presión diferencial presenta una constricción artificial. Cuando un fluido empieza a fluir, las leyes naturales que gobiernan la mecánica de fluidos dictan que la presión aumenta corriente aguas arriba de la constricción y vuelve a caer inmediatamente corriente abajo de la constricción. La diferencia resultante en la presión proporciona una medida directa del caudal. Tubo de Pitot Este

⁴⁰ Zubicaray, M.(2000). Bombas Teoría, Diseño y Aplicaciones. México: Editorial Limusa S.A.

procedimiento utiliza un sensor con forma de varilla. El sensor tiene una serie de tomas de presión situados al principio y final de su cuerpo. La serie del principio (aguas arriba) registra la presión dinámica y la estática, la serie del final registra únicamente la presión estática. La diferencia en la presión estática es una medida directa de la velocidad del fluido y del caudal.

FIGURA Nº 28: CAUDALIMETROS POR PRESIÓN DIFERENCIAL



Fuente: válvulas Industriales
Autor: Gemü.2015

Ventajas:

- Aplicación universal para líquidos, gases y vapor
- Normas reconocidas mundialmente (desde 1929)
- Medición de mucha tradición y muy aceptada
- Apto para condiciones de proceso extremas, hasta 420 bar y 1000 °C
- Elementos primarios robustos y totalmente mecánicos, sin piezas móviles
- Rango amplio de diámetros nominales:
 - Instrumentos tipo restricción: DN 10 a 4000
 - Tubo de Pitot: hasta DN 12 000 (opción)
- Montaje a posteriori fácil (tubos de Pitot)

La medición de caudal por presión diferencial es uno de los procedimientos más utilizados en la industria. Gracias a la amplia experiencia acumulada, que se manifiesta también en numerosas normas, el uso de esta tecnología se ha generalizado a nivel mundial. Actualmente, como en el pasado, sus

aplicaciones principales siguen siendo la medición en circuitos de agua caliente y de refrigeración, así como de vapor y condensados a muy altas temperaturas. La gran variedad de diseños y materiales de los que están hechos los caudalímetros de presión diferencial permite su adaptación óptima a las condiciones de proceso existentes. En lugar de las placas orificio más habituales, pueden utilizarse tubos de Pitot cuando las pérdidas de carga deben ser mínimas o cuando la medición ha de realizarse en tuberías muy grandes de varios metros de diámetro.

FIGURA Nº 29: POR PRESIÓN DIFERENCIAL



Fuente: válvulas Industriales
Autor: Gemü, 2015

2.11.3. Válvulas

La conducción o transporte de fluidos por medio de tuberías, sean éstos fluidos líquidos como el agua, petróleo, gasolina, etc., o gaseosos como el aire, vapor, metano, etc., requieren las más de las veces el control del flujo, su regulación, o impedir que éste pueda retornar en contra de un determinado sentido de circulación y, muchas veces también, se requiere poder mantener el flujo a una determinada presión de servicio o liberar el exceso de presión cuando ésta sobrepasa ciertos límites de seguridad.

Para estas variadas funciones utilizan las válvulas, las cuales intercaladas convenientemente en las tuberías, deben cumplir a cabalidad el fin para el cual se les ha elegido.

La correcta elección del tipo y características de la válvula adecuada para una aplicación determinada es pues muy importante, toda vez que de esta elección depende en gran parte la eficiencia que de ella espera.

En principio, la elección simple. Para ello se debe tener en cuenta su capacidad, la clase de fluido, su temperatura la clase y tipo de tubería en la cual se debe instalar, la forma de realizar las conexiones, la manera como se va a operar y, finalmente, las facilidades para su buena maniobra.

Para las redes de agua potable y alcantarillado que prácticamente operan a temperatura ambiente, salvo el caso de estar expuestas a la intemperie en climas muy fríos, como los de nuestra serranía, las consideraciones de temperatura no influyen mayormente en la elección de la válvula, como sería en el caso de plantas de vapor o centrales térmicas, donde sí es necesario tener en cuenta las altas temperaturas de operación.

Además, en las redes sanitarias antes mencionadas, el fluido a controlar generalmente agua presión es relativamente baja comparada con las altas presiones que se deben manipular en las plantas de vapor o en las centrales térmicas.

A continuación se presentan las principales funciones y características constructivas de las válvulas con miras a orientar su correcta elección.

2.12. FUNCIONES BÁSICA DE LAS VÁLVULAS:

2.12.1. Permitir el paso de un flujo o detenerlo:

El servicio para el cual son más utilizadas las válvulas de compuerta es cuando se debe abrir o cerrar por completo el paso de un fluido.

**FIGURA Nº 30: VÁLVULA DE
COMPUERTA Y DISECCIÓN**



Fuente: http://img.directindustry.es/images_di/photo-g/valvula-compuerta-agua-hierro-fundido-32905-2516987.jpg

Dichas válvulas, como se ve en la figura, son las más convenientes, ya que, por su construcción interior, cuando están cerradas produce un cierre hermético, y cuando se abren completamente permiten el máximo paso al fluido, con la misma pérdida de carga a través de la válvula, ya que en posición abierta, la válvula no sólo facilita el paso en línea recta sino que además mantiene la misma área de la tubería a la cual está unida. Se construye en todos los diámetros entre ¼" y 36", o más.

2.12.2. Regular o limitar el flujo

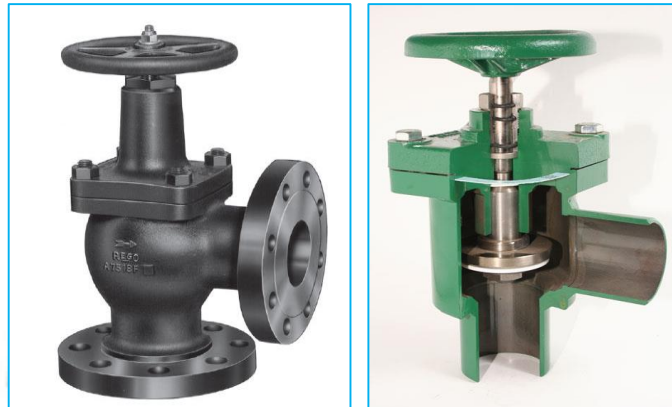
Para regular o limitar el paso de un fluido las válvulas más adecuadas zonas del globo y de ángulo.

**FIGURA Nº 31: VÁLVULA DE GLOBO CORTE
TRANSVERSAL**



Fuente: http://www.industrialvalvesball.com/es/productpic/pb_49cz1301365052.ico

FIGURA Nº 32: VÁLVULA DE ANGULO



Fuente: http://img.directindustry.es/images_di/photo-g/valvula-esquina-28032-2588319.jpg

Dichas válvulas tienen sus asientos construidos de tal modo que producen un cambio en la dirección del flujo que las atraviesa, incrementando su resistencia al paso en forma gradual, según la posición de cierre. Estas válvulas se usan poco para los diámetros mayores de 12" debido a los grandes esfuerzos que requieren para ser operadas bajo altas presiones.

Para regular el flujo con mayor precisión en diámetros menores de una pulgada, se usa otra versión de la válvula del globo, por tener su vástago cónico muy alargado, se conoce con el nombre de válvula de aguja.

FIGURA Nº 33: VÁLVULA DE AGUJA

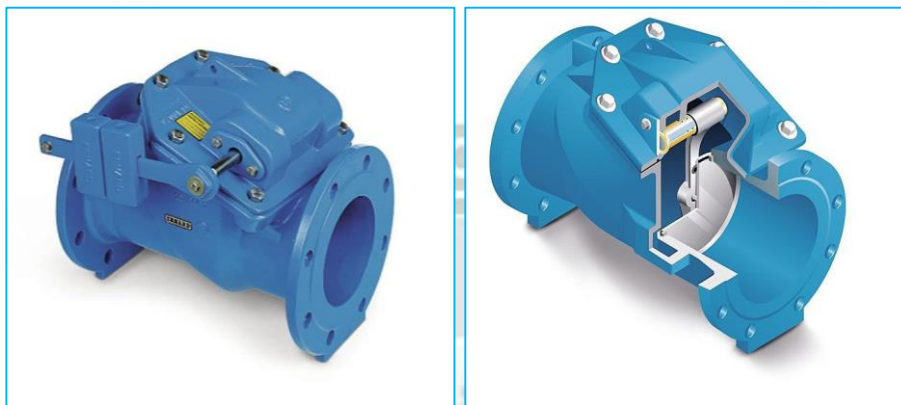


Fuente: <http://www.valvias.com/images/tipos-de-valvulas/needle-valve-swagelok.jpg>

2.12.3. Evitar el retorno del flujo

Para evitar el retorno del flujo se utilizan las válvulas de retención. Estas válvulas se construyen en dos tipos distintos, conocidos con los nombres de: retención a bisagra y retención horizontal

FIGURA N° 34: VÁLVULA DE RETENCIÓN A BISAGRA



Fuente: <http://www.valvias.com/images/tipos-de-valvulas/needle-valve-swagelok.jpg>

Ambos tipos están diseñados para producir la misma simple función de permitir el paso del flujo sólo en una dirección, de modo que el sentido del flujo las abre, mientras que la fuerza de la gravedad y el contrasentido del mismo flujo glaciara automáticamente.

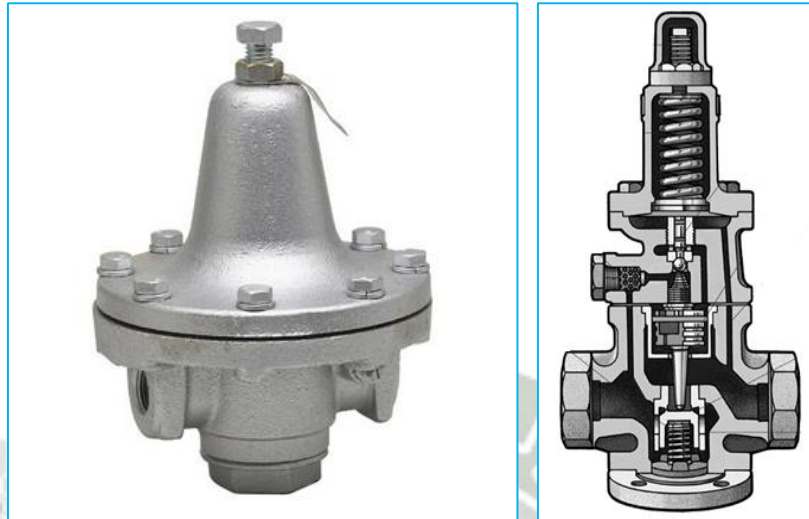
Como regla general, las válvulas de retención del tipo a bisagra se usan con las válvulas de compuerta y las de tipo horizontal con las válvulas del globo

2.12.4. Regulación de presión y/o gasto

Las válvulas reguladoras de presión se utilizan cuando es necesario reducir la alta presión variable existente en el suministro de entrada, a una presión más baja y constante requerida por el servicio. Estas válvulas no sólo reducen la presión, sino que la mantienen a los valores prefijados en forma independiente

de la cantidad de fluido que pasa a través de ellas todo dentro de límites razonables previamente establecidos.

FIGURA Nº 35: VÁLVULA DE PRESIÓN Y/O GASTO



Fuente: <http://www.grupojpcalderas.com/images/valvulas88.jpg>

Las válvulas reguladoras de gasto funcionan de manera muy similar a las válvulas reguladoras de presión sólo que en vez de reducir y mantener la presión de salida reduce y mantienen el gasto de salida

2.12.5. Válvula diafragma

Propiedades

- Empleos según el diseño hasta una presión de servicio de 10 bares y una temperatura de servicio de 150 °C.
- Características de fluido favorables.
- Todos los componentes mecánicos encuentran fuera del área bañada por el medio. El medio sólo toca la superficie interna del cuerpo de la válvula y la superficie del diafragma de cierre.
- La válvula también es apropiada para una frecuencia de maniobra más alta
- Con el correspondiente ángulo de montaje se puede vaciar por la válvula abierta la mayor parte de los tramos de tubos situados detrás.

Campos de aplicación

- Apropriada para medios desde limpias hasta muy contaminados, líquidos, graciosos, neutros y corrosivos.
- Lodos y polvos.
- Se puede utilizar para medios abrasivos.
- Para regular medios líquidos.

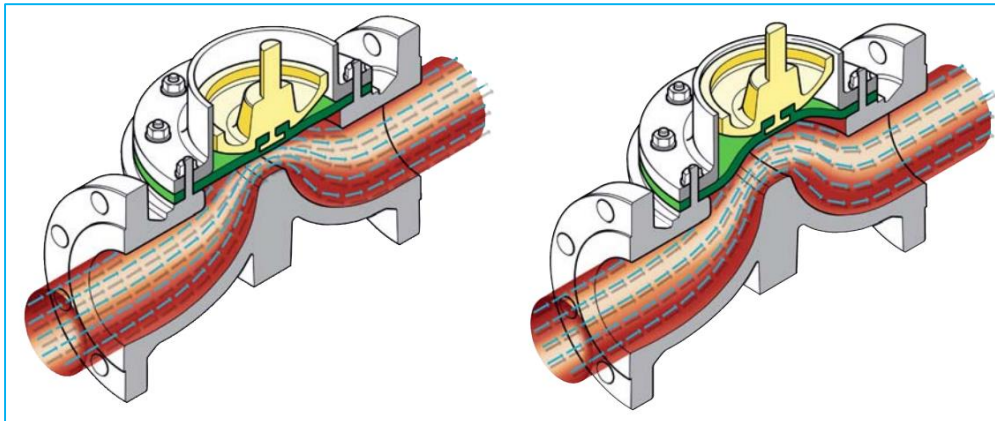
Campos de aplicación típicos

- Tratamiento de aguas residuales, aguas contaminadas, agua del mar, agua refrigerante y agua de uso así como de agua potable.
- Fabricación/tratamiento de celulosa y papel.
- Fabricante/tratamiento de tintes y pinturas.
- Obtención/tratamiento de piedras preciosas, metales y minerales.
- Fabricación de fertilizantes.
- Obtención/tratamiento de yeso, cemento, azufre y cal.
- Tecnología con aguas salen salubres.
- Tecnología de estaciones de depuración de aguas residuales.
- Tecnología de Tiñidura.
- Fabricación de granulados.
- Plantas químicas y anillos de servicio.

Ventajas

- Al cambiar el diafragma no es necesario desmontar el cuerpo de la válvula.
- No se requieren juntas adicionales.
- Cierre hermético.

FIGURA Nº 36: FUNCIONAMIENTO DE LA VÁLVULA DIAFRAGMA



Fuente: válvulas Industriales
Autor: Gemü,2015

2.12.6. Válvula mariposa

Propiedades:

- Empleos según el diseño hasta una presión de servicio de 20 bares y una temperatura de servicio de 180 °C. Diseños especiales (por ejemplo disco excéntrico doble/metálico) hasta una presión de servicio de 50 bares y hasta una temperatura de servicio de 600 °C
- Apropia para frecuencia de maniobra reducida
- Propiedades de regulación desfavorables
- Poco peso

Campos de aplicación

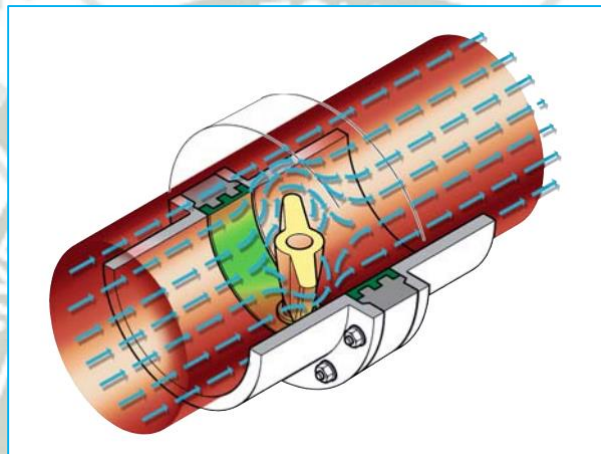
- Apropia para medios mecánicos limpios, neutros, corrosivos, líquidos, grasiosos y para vapores

Campos de aplicación típicos:

- Tratamiento de aguas general (agua filtrada)
- Tratamiento de agua del mar
- Filtros de flujo reversible (agente de lavado)

- Industria procesadora de bebidas
- Sistemas intercambiadores de calor
- Fabricación de vehículos especiales
- Tecnología de climatización y de construcción
- Química
- Exhumación de poliestireno y tecnología embalaje
- Purificación de gases
- Petroquímica

FIGURA Nº 37: FUNCIONAMIENTO DE LA VÁLVULA MARIPOSA



Fuente: válvulas Industriales
Autor: Gemü,2015

2.13. TUBERÍAS

2.13.1. Tuberías PVC

La orientación molecular, la revolución del PVC

El PVC es esencialmente un polímero amorfo, en el que las moléculas se encuentran dispuestas en direcciones aleatorias. Sin embargo, bajo unas determinadas condiciones de presión, temperatura y velocidad, y mediante un estiramiento del material, es posible orientar las moléculas del polímero en el mismo sentido del estiramiento.

En función de los parámetros del proceso y sobre todo del ratio de estiramiento, se obtiene un mayor o menor grado de orientación molecular. El resultado es un plástico con una estructura laminar, cuyas capas se aprecian a simple vista

Tubería PVC con Orientación Molecular 500

El proceso de orientación molecular mejora de forma significativa las propiedades físicas y mecánicas del PVC y le otorga unas características excepcionales, sin alterar las ventajas y propiedades químicas del polímero original. Se consigue así un plástico con unas insuperables cualidades de resistencia a la tracción y a la fatiga, flexibilidad y resistencia al impacto.

Aplicado a conducciones a presión se logra una tubería prácticamente indestructible y con una elevadísima vida útil. A ello se añade una considerable eficiencia energética y medioambiental tanto en la fabricación como en la utilización posterior del producto, así como una reducción en el coste y los tiempos de instalación.

Principales Características

La tecnología desarrollada para la fabricación Tuberías de PVC con Orientación Molecular 500 supera cualquier restricción técnica y confiere a estas tuberías significativas mejoras:

- La orientación molecular se consigue mediante la aplicación de una distribución precisa y homogénea de temperatura y altas presiones de hasta 35 bares, que imponen un control de calidad tubo a tubo sobre el 100% de la producción.
- El proceso de fabricación de la Tubería de PVC-O 500 se realiza de forma continua y absolutamente automática, en lugar del tradicional sistema discontinuo, lo que proporciona un mayor control y regularidad al producto.
-

CUADRO Nº 8: CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DE LA TUBERÍAS PVC-O 500 FRENTE A OTRAS TUBERÍAS PLÁSTICAS.

Material		PVC-O 500	PVC	PE-100	PE-80
Norma Producto	Unidades	UNE-ISO 16422	UNE-EN 1452	UNE-EN 12201	UNE-EN 12201
Resistencia Mínima Requerida (MRS)	MPa	50.0	25.0	10.0	8.0
Coeficiente Global de servicio (C)		1.6	2.0 ⁽¹⁾	1.25	1.25
Esfuerzo de diseño (σ)	MPa	36.0	12.5	8.0	6.3
Módulo de Elasticidad a Corto plazo (E)	MPa	> 4,000	> 3,000	1,100	900
Resistencia a tracción axial	MPa	> 48	> 48	19	19
Resistencia a tracción tangencial	MPa	> 85	> 48	19	19
Dureza Shore D		81-85	70-85	60	65

(1) Para tubos con DN \geq 110.

Fuente: Tubería PVC con orientación molecular 500
Autor: Cidelsa, 2013

CUADRO Nº 9: CARACTERÍSTICAS NO MECÁNICAS DE LAS TUBERÍAS PVC-O 500

CARACTERÍSTICAS	UNIDADES	VALOR
Densidad	gr/cm ³	1.35 – 1.46
Valor k resina de PVC	-	> 64
Dureza Shore D a 20°C	-	81 - 85
Coeficiente de Poisson.	-	0.35 – 0.41
Temperatura Vicat	°C	> 80
Coeficiente de dilatación lineal	°C ⁻¹	0.8 x 10 ⁻⁴
Conductividad térmica	Kcal/mh°C	0.14 – 0.18
Calor específico a 20°C	Cal/g°C	0.20 – 0.28
Rigidez dieléctrica	Kv/mm	20 – 40
Constante dieléctrica a 60 Hz	-	3.2 – 3.6
Resistividad transversal a 20°C	Ω /cm	> 10 ¹⁶
Rugosidad absoluta (ka)	mm	0.007
Rugosidad C (Hazen-Williams)	-	150
Coeficiente de rugosidad de Manning (n)	-	0.009

Fuente: Tubería PVC con orientación molecular 500
Autor: Cidelsa, 2013

Máxima Fiabilidad y Seguridad

La Tubería de PVC-O 500 presenta la máxima fiabilidad y seguridad y atractivas ventajas frente a otros productos:

- Máxima orientación molecular: clase 500 según UNE ISO 16422, la más alta y la que ofrece las mejores propiedades mecánicas.
- Mayor fiabilidad en el resultado del producto final.
- Estrictas tolerancias dimensionales.
- Comportamiento homogéneo del material.
- Embocaduras de unión reforzadas y conformadas en el mismo proceso de orientación.

Excelente resistencia al Impacto

La Tubería de PVC-O 500 es prácticamente indestructible por golpes. Se eliminan así las roturas durante la instalación o las pruebas en obras producidas por caídas e impactos de piedras.

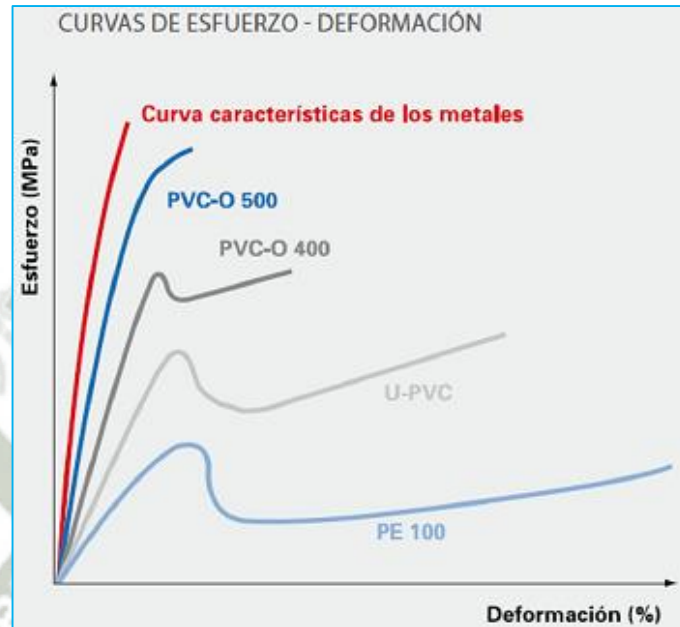
Además, la orientación molecular impide la propagación de grietas y arañazos y elimina el riesgo de fisuras rápidas, gracias a la estructura laminar del tubo. El resultado es un espectacular aumento de la vida útil del producto.

Resistencia a la tracción

La curva tensión-deformación del PVC-O 500 cambia drásticamente respecto al comportamiento de los plásticos convencionales, resultando una curva característica de los metales.

La transformación completa de las propiedades mecánicas del PVC-O respecto al PVC convencional solamente se logra en las clases más altas (PVC-O 500).

**FIGURA Nº 38: CURVA DE ESFUERZO-
DEFORMACIÓN**



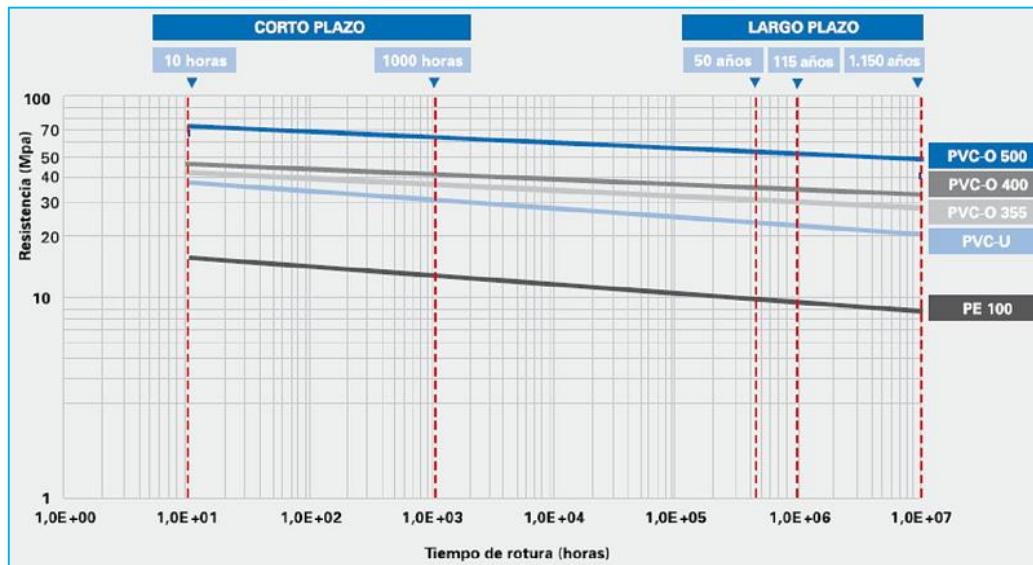
Fuente: Tubería PVC con orientación molecular 500
Autor: Cidelsa, 2013

Elevada resistencia Hidrostática a corto y largo plazo

La Tubería de PVC-O 500 soporta resistencias a presión interna de más de 2 veces la presión nominal, lo que permite soportar sobrepresiones puntuales como los golpes de ariete y otras mal funciones en la red.

Los materiales pierden propiedades mecánicas al estar sometidos durante largo tiempo a esfuerzos. Esta característica definida como “fluencia” se manifiesta en mucho menor grado en el PVC-O 500 que en los plásticos convencionales, lo que conlleva unas mejores propiedades a largo plazo. Teniendo en cuenta que el PVC-O tiene una resistencia a la fatiga excepcional y una resistencia química muy buena y común con el PVC convencional, podríamos hablar de una tubería capaz de soportar las presiones de trabajo durante más de 100 años.

**FIGURA Nº 39: CURVA DE REGRESIÓN DE RESISTENCIA
HIDROSTÁTICA**



Fuente: Tubería PVC con orientación molecular 500
Autor: Cidelsa, 2013

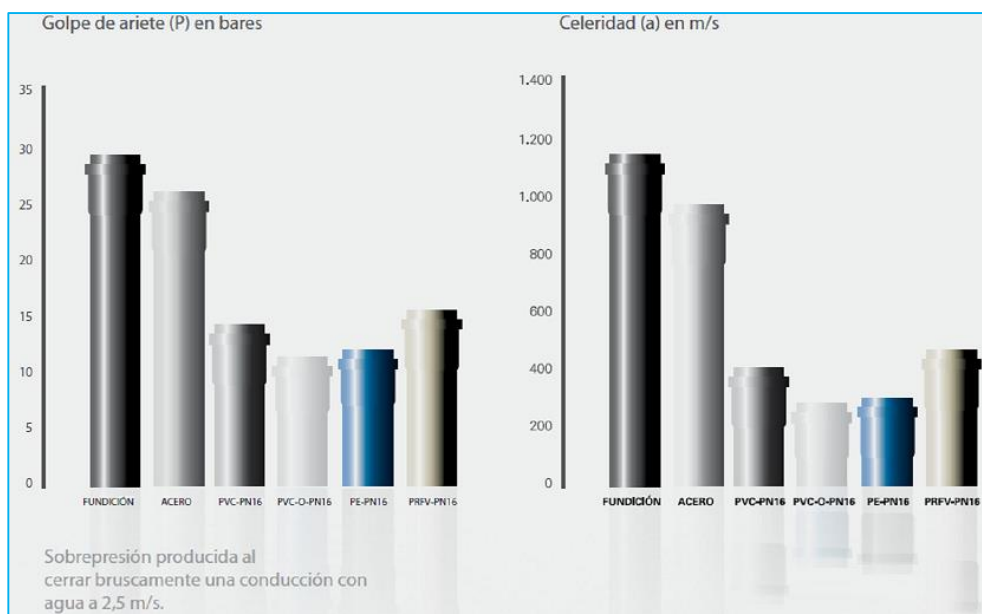
Excelente comportamiento frente al golpe de ariete

El golpe de ariete está motivado por la inercia del líquido que se desplaza por la tubería y se detiene de forma rápida por la apertura o el cierre rápido de una válvula, por el arranque o paro de una bomba o por la acumulación o los movimientos de bolsas de aire dentro de las tuberías. El golpe de ariete puede suponer una sobrepresión superior a la presión de trabajo de la tubería y reventarla, especialmente si se encuentra dañada por golpes o por corrosión.

El golpe de ariete resultante (P) depende la celeridad (a), que es la velocidad de la onda, y del cambio de velocidad del fluido (V). La celeridad depende fundamentalmente de las características dimensionales de la tubería (relación entre el diámetro exterior y el espesor mínimo) y las características del material del que está hecha (módulo de Young – E).

La tubería de PVC-O 500 tiene una celeridad muy inferior a la de las tuberías de otros materiales. Es especialmente significativa la diferencia con las tuberías de materiales metálicos, donde los efectos del golpe de ariete pueden llegar a ser muy elevados.

FIGURA Nº 40: TIPOS DE TUBERÍAS Y LAS PRESIONES QUE PUEDEN SOPORTAR



Fuente: Tubería PVC con orientación molecular 500

Autor: Cidelsa, 2013

Clasificación del material

La norma UNE-ISO 16422 contempla diferentes clases de material de PVC-O clasificados según su MRS (Resistencia Mínima Requerida), debido a que la orientación molecular se puede lograr en mayor o menor medida dependiendo del proceso de fabricación. La tubería de PVC-O 500 se fabrica solamente según la clase más alta, ya que al ser las que tienen un grado de orientación más elevado son las que garantizan un mejor comportamiento mecánico. De esa forma, la tubería PVC-O 500 dispone en su mayor grado de las ventajas que el PVC-O presenta sobre otros materiales.

CUADRO Nº 10: CLASIFICACIÓN DEL MATERIAL

CARACTERÍSTICAS	PVC-O 500 PN-12.5	PVC-O 500 PN-16	PVC-O 500 PN-20	PVC-O 500 PN-25
Clase de material	500	500	500	500
MRS (MPa)	50.0	50.0	50.0	50.0
Presión Nominal (bares)	12.5	16.0	20.0	25.0
Presión de rotura a 50 años (bares) ⁽¹⁾	17.5	22.4	28.0	35.0
Presión de rotura a 10 años (bares) ⁽¹⁾	25.0	30.0	37.0	48.0
Presión de prueba máxima en obra (bares) ⁽²⁾	17.5	21.0	25.0	30.0
Rigidez circunferencial (kN/m ²)	> 5	> 7	> 11	> 20

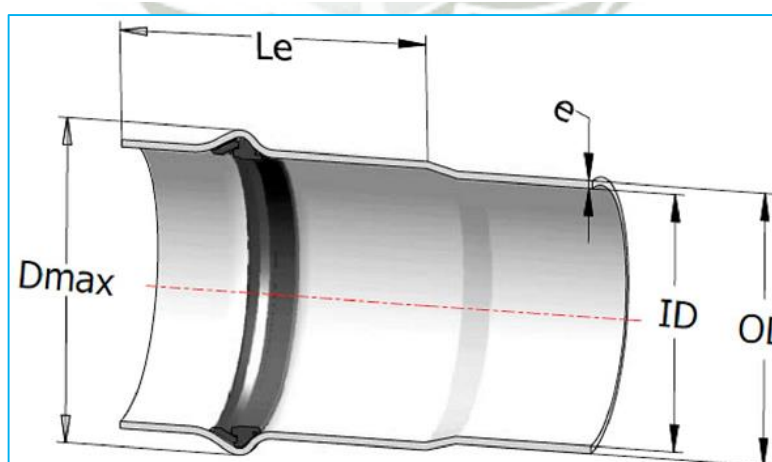
(1) A la temperatura de 20°C.
(2) Según norma UNE-EN 805:2000 con golpe de ariete estimado.

Fuente: Tubería PVC con orientación molecular 500
Autor: Cidelsa, 2013

Dimensiones

Las Tuberías PVC-O 500 se suministran en longitudes útiles (libre de longitud de embocadura) de 6 metros.

FIGURA Nº 41: DIMENSIONES DE LA TUBERÍA PVC



Fuente: Tubería PVC con orientación molecular 500
Autor: Cidelsa, 2013

Embocadura y junta de estanqueidad

La tubería de PVC-O 500 emplea la junta más reputada para tuberías para agua potable a presión, la junta Forsheda 573 de Trelleborg Forsheda Pipe Seals.

La junta está compuesta por un anillo de PP y un labio de caucho sintético que hacen que forme parte integral del tubo, impidiendo que se desplace de su alojamiento o que sea arrollada en el montaje.

2.13.2. Tuberías de acero inoxidable

ACERO INOXIDABLE ASTM 312

La ASTM A312, Especificación para tuberías de acero inoxidable austenítico sin costuras, soldadas y acabadas en frío, es una de las normas que se utiliza para la construcción de plantas.

La especificación A312 abarca las tuberías destinadas a servicios de alta temperatura y corrosivos e indica los requerimientos químicos, de templado, tensión y otros requerimientos para diferentes grados de tuberías, incluidas aquellas que cumplen con el American Society of Mechanical Engineers (Código de recipientes a presión de la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos) y el Código de tuberías para plantas químicas y refinerías del American National Standards Institute (Instituto Nacional Americano de Normalización). El Subcomité A01.10 sobre Productos tubulares de acero de aleación mantiene esta norma en particular

CARACTERÍSTICAS DEL ACERO INOXIDABLE

- **RESISTENCIA A LA CORROSIÓN:** La formación de una fina capa de óxido en su superficie, le concede una elevada resistencia a la corrosión, defendiéndola de la acción de los medios más agresivos, y tornándolo inerte y de durabilidad comprobada.

- **CONFORMABILIDAD:** Se presenta en composiciones químicas con propiedades mecánicas específicas, que posibilitan diversas opciones de conformación. Puede ser plegado, cortado, estampado y soldado, adecuándose a diversas aplicaciones.
- **BELLEZA:** Desde el opaco al espejado, el acero inoxidable ofrece una gran gama de acabados superficiales, brindando recursos visuales y funcionalidad a los productos.
- **VERSATILIDAD:** El Acero Inoxidable es aplicado en diversos sectores de la Industria, atendiendo a las diversas exigencias de variados proyectos. Es suministrado en rollos, hojas, flejes preformas y perfiles.
- **100% RECICLABLE:** Como material noble, el Acero Inoxidable es totalmente reciclable y su reaprovechamiento no interfiere en su calidad.
- **FACILIDAD DE LIMPIEZA:** El material asegura calidad en la asepsia permitiendo total higiene, requisito indispensable en determinadas aplicaciones.

El acero inoxidable ASTM A312-TP340L es de tipo austenítico por lo que presenta las siguientes características:

Los aceros inoxidables austeníticos al Cromo-Níquel tienen un contenido de:

- **CARBONO:** entre 0,02% a 0,25%
- **CROMO:** entre 17,0% a 26,0%
- **NÍQUEL:** entre 7,0% a 22,0%

Poseen características mecánicas muy buenas de gran ductilidad, no son magnéticas y presentan excelente soldabilidad.

De gran aplicación en las industrias químicas, farmacéuticas, de alcohol, aeronáutica, naval, arquitectura, alimenticia, transporte, cubiertos, vajillas, piletas, revestimientos y un sin número de aplicaciones.

A continuación el siguiente cuadro muestra la norma y aplicaciones de fabricación del tubo de INOX A312 TP304L.

La sobra gris en el cuadro señala la norma a la que pertenece el Tubo de INOX seleccionado.

CUADRO Nº 11: PROPIEDADES MECÁNICAS ASTM

Grado	Ensayo de tracción	Rendimiento punto	EL.	Rockwell
	Min (Mpa)	Min (Mpa)	Min %	
TP 304	515	205	35	90
TP 304H	550	240	35	90
TP 304L	485	170	35	90
TP 309S	515	205	35	90
TP 310S	515	205	35	90
TP 316	515	205	35	90
TP 316L	485	170	35	90
TP 316Ti	515	205	35	90
TP 317	515	205	35	90
TP 321	515	205	35	90
TP 321H	515	205	35	90
TP 347	515	205	35	90
TP 347H	515	205	35	90

Fuente: Aceros Inoxidables -Guía de Productos
Autor: TK Fortinox S.A.

CUADRO Nº 12: APLICACIONES DEL AISI 304L

Aceros Inoxidables Austeníticos	APLICACIONES
301	Utilizado para finalidades estructurales, en equipos de la industria aeronáutica, ferroviaria, petrolera, en la confección de cuchillos, piletas y frisos.
304	Equipos de la industria aeronáutica, ferroviaria, naval, petroquímica, de papel, textil, frigorífica, de hospitales, lácteos, farmacéutica, cosmética, tubos, tanques, utensillos domésticos, estampados general y profundo.
304 L	Equipos de la industria aeronáutica, ferroviaria, naval, petroquímica, de papel, textil, frigorífica, de hospitales, lácteos, farmacéutica, cosmética, tubos, tanques, utensillos domésticos, estampados general y profundo.
310	Para altas temperaturas, hornos, incineradores, calderas, etc.
316	Construcción civil y uso para arquitectura, equipos para industrias aeronáutica, ferroviaria, naval, química, petroquímica, farmacéutica, cosmética, textil, de gomas, de tintas, láctea, de hospitales, minería, refinerías, tubos, tanques, destilerías y calderas.
316 L	Construcción civil y uso para arquitectura, equipos para industrias aeronáutica, ferroviaria, naval, química, petroquímica, farmacéutica, cosmética, textil, de gomas, de tintas, láctea, de hospitales, minería, refinerías, tubos, tanques, destilerías y calderas.
321	Componentes resistentes a temperaturas en industria de energía eléctrica, componentes soldados, industria alimenticia, tubos y tanques en general.

Fuente: Aceros Inoxidables -Guía de Productos
Autor: TK Fortinox S.A.

2.13.3. Tuberías HDPE

El avance constante de los procesos industriales y el mejoramiento de los equipos para la producción han permitido obtener resinas plásticas de alto rendimiento cada vez mejores, con las cuales se fabrican tuberías especiales para la **minería** y la **industria**. Las tuberías de HDPE (fabricadas en base a Polietileno de Alta Densidad), ofrecen los mayores beneficios al usuario final, como ser alta resistencia al impacto, larga vida útil y economía en instalación con mínimos costos de mantenimiento.

CUADRO Nº 13: PROPIEDADES FÍSICAS DEL MATERIAL

Propiedades	Normas	Unidades	Valores
Densidad	ASTM D 792-00	g/cm ³	0,955
Negro de humo	ASTM D 1603-06	%	2.0-2.5
Temperatura de flexión en carga a 455 kPa	ASTM D 648-06	oC	70
Tensión a ruptura	ASTM D 638-03	MPa	34
Resistencia al impacto IZOD a 23°C	ASTM D 256-06	J/m	220
Elongación en el punto de ruptura	ASTM D 638-03	%	800

Fuente: Manual técnico tubería HDPE minería e industria.
Autor: Plastiforte, 2011.

1. Ventajas de la tubería HDPE

Los sistemas de tubería HDPE ofrecen significativos ahorros en costos de instalación y equipamiento, mayor libertad de diseño, bajo costo de mantención y larga vida útil en comparación a los materiales tradicionales. Estos beneficios, ventajas y oportunidades de disminución de costos se derivan de las propiedades y características únicas de la tubería

2. Resistencia extrema al impacto, golpes y terreno pedregoso

La tenacidad de la tubería derivada de las propiedades físicas tanto del material como del método de extrusión, le permite absorber sobrepresiones, vibraciones y tensiones causadas por los movimientos de terreno e imprevistos, la tubería puede deformarse sin daño permanente y sin causar efectos adversos sobre la vida útil.

La resistencia a la ruptura por tensiones ambientales es muy alta, asegurando que no hay ningún efecto en el servicio a largo plazo si se producen rayas superficiales de una profundidad no mayor a 1/10 del espesor durante la instalación. Esta resistencia extrema de las tuberías de HDPE es una de sus características excepcionales que permite innovar en el diseño de sistemas de tuberías.

3. Flexibilidad

La tubería HDPE es flexible por lo que puede curvarse y absorber cargas de impacto en un amplio rango de temperaturas. Se puede enrollar, aplastar, doblar y ser curvado así como también hacer elevaciones y cambios direccionales. Esto permite que sean instaladas sin problemas en terrenos con obstáculos facilitando el trabajo de instalación y evitando la necesidad de accesorios, ya que pueden colocarse en forma serpenteada, respetando ciertas tolerancias de curvatura (radios mínimos). La resistencia y flexibilidad de la tubería le permite absorber sobrepresiones, vibraciones y tensiones causadas por movimientos del terreno. También se pueden colocar en zanjas estrechas, pues las uniones pueden efectuarse fuera de ellas.

4. Resistencia a sustancias químicas

Los químicos naturales del suelo no producen degradación al material de ninguna forma. No es conductor eléctrico por lo que no es afectado por oxidación, corrosión o acción electrolítica. No permite el crecimiento ni es afectado por algas, bacterias u hongos.

No pierde sus propiedades físicas a bajas temperaturas, puede ser sometido a temperaturas de hasta -20°C y aun así conservar las propiedades físicas y mecánicas que lo caracterizan.

5. Servicio a largo plazo

La vida útil estimada tubería para las tuberías de HDPE es superior a 50 años para el transporte de agua a temperatura ambiente (20°C). Para cada aplicación en particular, las condiciones de operación interna y externa pueden alterar la vida útil o cambiar la base de diseño recomendada para alcanzar la misma vida útil.

6. Estabilidad a la intemperie

La tubería cuenta con protección contra los rayos ultravioleta (UV) para minimizar la degradación producida por estos en el tiempo. La tubería contiene 2.5% de negro de humo, por lo que puede ser instalada y almacenada a la intemperie en la mayoría de los climas por tiempos prolongados sin que sufra ningún daño o pérdida de propiedades físicas por exposición a los rayos ultravioleta

El negro de humo es el aditivo más efectivo para aumentar las características de estabilidad a la intemperie de los materiales plásticos, la gran protección que le proporciona a los productos hace innecesario el uso de otros estabilizadores de luz o absorbedores UV.

7. Bajo peso

La tubería HDPE es más liviana que la mayoría de las tuberías fabricadas con otros materiales. Flota en el agua y pesa entre 70-90% menos que el concreto, fierro o acero, haciendo más fácil su manejo e instalación, esto permite que sea fácil de transportar y manipular obteniendo importantes ahorros en mano de obra y requerimiento de equipos.

8. Rápida instalación

La tubería HDPE en diámetros menores puede ser fabricada en rollos de hasta 100 metros de longitud dependiendo del diámetro, en consecuencia requiere menor cantidad de uniones y reduce los costos de mano de obra para su instalación.

Las tuberías de diámetros mayores a 160mm se fabrican en tramos o barras de 12 metros para facilitar el transporte y reducir el número de uniones requeridas.

Dependiendo la aplicación y el método de unión utilizado, la tubería HDPE puede instalarse para sistemas fijos o desmontables. El uso de accesorios desmontables permite obtener grandes ahorros en materiales y tiempos de armado y desarmado de sistemas móviles. En estas aplicaciones se evita la necesidad de contar con equipo de termofusión. Teniendo estos accesorios además una muy buena relación costo beneficio.

9. Resistencia a la abrasión

La tubería HDPE tiene un buen comportamiento en la conducción de materiales altamente abrasivos, como las colas o relaves mineros. Numerosos ensayos han demostrado que la tubería HDPE tiene un mejor desempeño en este tipo de servicio con una relación de 4:1, con respecto a la tubería de acero.

Debido a su gran resistencia a la abrasión, las tuberías de HDPE mantienen excelentes propiedades de escurrimiento durante su vida útil.

10. Métodos de unión

La tubería HDPE puede unirse mediante varios métodos de acuerdo a los requerimientos del sistema de tubería (fijo/desmontable), a continuación se presenta una descripción de las características y ventajas de cada uno de ellos.

11. Métodos de unión para sistemas fijos no desmontables

11.1. Método de termo fusión

El método de termofusión es ideal para aplicaciones en minería, industria e instalaciones de gas. Con un equipo especial, la tubería se calienta hasta alcanzar su temperatura de fusión y ejerciendo una

presión controlada se logra la unión. La tubería y las conexiones a unir deben tener el mismo diámetro interior y exterior. Este sistema es reconocido en la industria como una unión de gran confiabilidad, de costo efectivo, no requiere coplas, no se producen filtraciones y las uniones son más resistentes que la tubería misma. La soldadura por termofusión permite construir líneas de conducción muy seguras por tratarse de estructuras “monolíticas” (un solo cuerpo). El punto de soldado es aún más resistente que el resto del tubo logrando sistemas libres de fugas. Para complementar la instalación se utiliza una serie de accesorios moldeados, estructurados o segmentados de polietileno de alta densidad, de manera que el sistema puede ser íntegramente instalado utilizando este método.

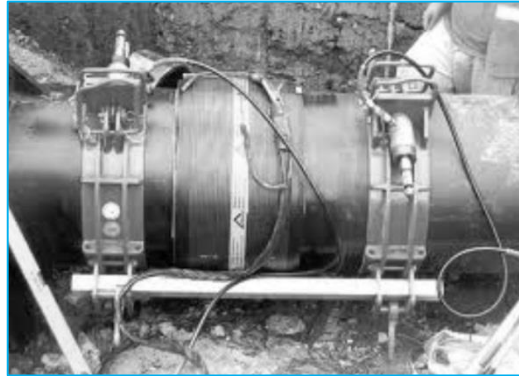
**FIGURA Nº 42: SOLDADURA POR
TERMOFUSIÓN**



Fuente: Manual técnico tubería HDPE minería e industria.
Autor: Plastiforte, 2011.

11.2. Método de electro fusión

Estándar para instalaciones de gas natural y GLP. Requiere el uso de equipo de electrofusión. La unión se realiza mediante el uso de accesorios que cuentan con resistencias eléctricas incorporadas, que con el uso del equipo de electrofusión son calentadas logrando una fusión entre la tubería y el accesorio.

**FIGURA Nº 43: SOLDADURA POR
ELECTRO-FUSIÓN**

Fuente: Manual técnico tubería HDPE minería e industria.
Autor: Plastiforte, 2011.

11.3. Método de unión para sistemas fijos desmontables

La tubería HDPE puede unirse por medios mecánicos como accesorios de compresión, uniones tipo Victaulic y utilizando uniones bridadas. A continuación se presenta una descripción de las características y ventajas de cada uno de ellos.

12. Transportes de sólidos en suspensión

La tubería HDPE es utilizada para el transporte de sólidos en suspensión, obteniéndose un excelente desempeño para el transporte de desechos de minas, cenizas volátiles, fango y rocas de aplicación de dragado y otros materiales abrasivos.

13. Transporte de productos químicos

La tubería HDPE es adecuado para el transporte de un gran número de soluciones químicas. Los químicos que se encuentran naturalmente en la tierra no degradan la tubería. No es un conductor eléctrico y no se pudre, enmohece o corroe por acción electrolítica. No favorece el crecimiento de algas, bacterias u hongos y es resistente al ataque biológico marino. Los hidrocarburos gaseosos no tienen efecto en la vida funcional esperada.

Los hidrocarburos gaseosos no tienen efecto en la vida funcional, en cambio los hidrocarburos líquidos permearán a través de la pared y reducirán la resistencia hidrostática. Cuando el hidrocarburo se evapora, la tubería recupera sus propiedades físicas originales. Algunos fluidos químicos afectaran a la tubería, estos pueden ocasionar dilatación, decoloración, fragilidad o pérdida de resistencia.

14. Conducción de agua y aire en interior de mina

La tubería HDPE es ideal para el transporte de agua y aire por su gran resistencia a la presión, su flexibilidad y bajo peso permiten que sea trasladado e instalado fácilmente en interior mina. Es muy importante conocer la presión de trabajo de las instalaciones de agua para determinar el producto que permita optimizar el costo de las instalaciones.

Para el uso de la tubería con aire comprimido, será muy importante conocer la presión real de trabajo de los equipos que serán utilizados, para asegurar que las dimensiones del producto seleccionado sean adecuadas para el trabajo al que será sometido.

15. Sistemas de rociado para proceso de lixiviación.

La tubería HDPE es utilizada para el transporte de soluciones de cianuro de sodio para la extracción de oro y de ácido sulfúrico en el caso del Cobre, tanto la tubería como todos los componentes de los accesorios de compresión están diseñados para transportar soluciones de cianuro de sodio hasta en un 100% de concentración y soluciones de ácido sulfúrico hasta un 50% de concentración a una temperatura máxima de 60°C de manera satisfactoria. Además de las soluciones mencionadas la tubería HDPE puede transportar una gran variedad de soluciones y productos químicos.

Es utilizada para la instalación de las matrices principales y secundarias del sistema de rociado unidas tramo a tramo con accesorios de compresión o tipo Victaulic. Los sistemas de rociado requieren de un fácil montado y

desmontado, lo que hace que la tubería combinada con este tipo de accesorios sea la mejor alternativa tecnológica y económica. La tubería utilizada para las matrices es liviana y fácil de transportar manualmente, además todos los accesorios son fácilmente armados y desarmados lo que permite un ahorro significativo en costos de operación y mantenimiento del sistema.



CAPITULO III

METODOLOGÍA, DISEÑO, SELECCIONAMIENTO Y CONSTRUCCIÓN DEL MODULO DE BOMBEO DE SLURRY

El empleo de los métodos de diseño tiene como objeto principal ordenar el proceso creativo del diseñador, así como optimizar tiempo y recursos hasta límites deseados.

Para el desarrollo de este proyecto se ha empleado, “El método generalizado de procedimiento en el proceso de diseño”; el cual tiene la cualidad de poder ser manejado fácilmente por el diseñador con o sin experiencia, siendo las metas que él se trace las que regularán el grado de abstracción y concretización a aplicarse sobre la actividad en la cual el método deba incurrir.

Éste método optimiza en cada una de sus fases obligando al diseñador buscar criterios de evaluación que le conduzcan a dicha optimización; el diseñador recibe y entrega las mejores soluciones, incrementando así su rendimiento.

Se presentan cuatro actividades básicas durante el proceso de diseño planteado por ésta metodología:

1. Comprensión de la solicitud
2. Concepción de la solución
3. Elaboración del proyecto

En general, se puede apreciar cuatro marcadas fases durante el diseño:

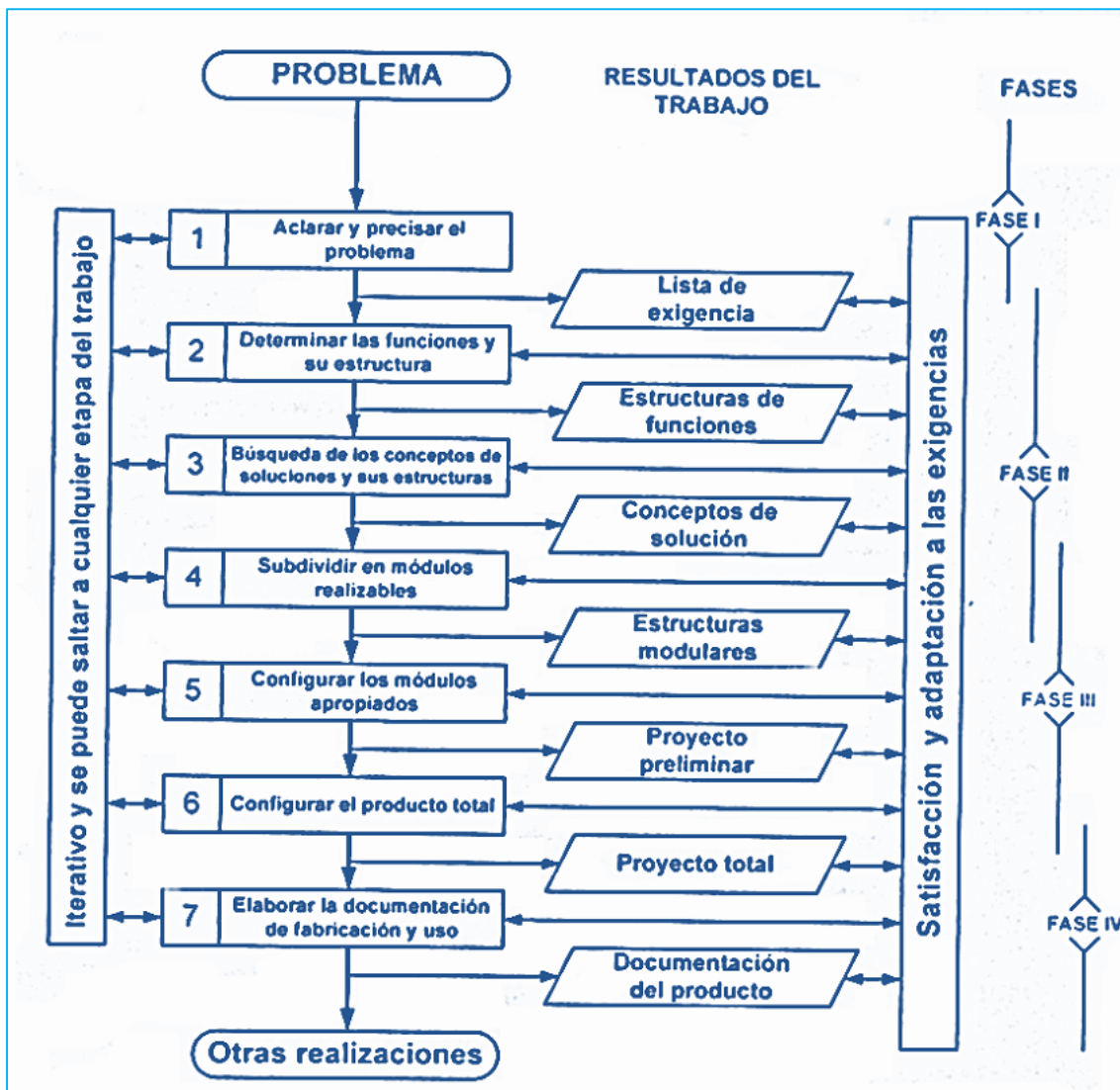
Fase I: Información

Fase II: Creación

Fase III: Desarrollo

Fase IV: Elaboración de la Ingeniería de Detalle

FIGURA Nº 44: DIAGRAMA DE TRABAJO PARA EL MODULO DE BOMBEO DE SLURRY



3.1. COMPRENSIÓN DE LA SOLICITUD

Con el propósito de comprender y lograr un estudio más profundo de slurries, es necesario recopilar los datos reales para realizar los cálculos correspondientes. Dado que muchas veces la información teórica proporcionada es deficiente frente a un cálculo real de laboratorio. Se sabe además que la solución de un problema y la calidad de éste, depende del grado de información técnica que posee y procesa el diseñador. Para tal efecto, se investigó el tema, obteniendo la información que se muestra a continuación.

3.1.1. Estado de la tecnología.

a) Lista de exigencias

La formulación de las exigencias debe ser neutral frente a la solución del problema. También deben de tener en consideración la información adicional del funcionamiento del Módulo de bombeo de Slurry. Se debe distinguir e indicar las características de las exigencias, lo indicado es colocar esto en un cuadro, denotando E para exigencia y D para deseo.

Exigencia: Lo que se requiere como imprescindible, deben de cumplirse bajo cualquier circunstancia, si alguna exigencia no es cumplida, el Modulo diseñado es inaceptable. Deseo: Se trata sólo de aspiraciones sin condiciones contradictorias con el objetivo del diseño.

Entre los puntos más importantes tenemos:

- La función principal: El Modulo Bombeo de Slurry experimental será capaz de proporcionar los datos reales de laboratorio para una mezcla de 60% de agua más 40% de arena, después estos datos nos ayudarán a realizar la graficas de curva de la bomba para slurry y curva del sistema, estas curvas posteriormente se corroborarán con la Curva de la bomba.
- Energía: La energía debe ser constante para evitar la sedimentación de la mezcla en el tanque, así mismo para poder tomar los datos en los equipos instalados en el Modulo de Bombeo de Slurry.
- Seguridad: Identificar los peligros de operación, prevenir posibles accidentes y elaborar las medidas de control necesarias para la operación del Módulo de Bombeo de Slurry. Demostrar un claro compromiso con la seguridad con las personas, además de supervisar continuamente y mejorar el funcionamiento de la misma. El uso de la norma de seguridad OHSAS 18001, y su integración con las normas ISO 9001 e ISO 14001.
- Ergonomía: Facilitar el manejo, la posición, la forma y el accionamiento sencillo. Hay que tener en cuenta la posible negligencia de los usuarios.

Tener presente las dimensiones promedio del cuerpo humano en la construcción del Módulo de Bombeo de Slurry. Seguridad en el funcionamiento, reflexionar sobre lo que puede ocurrir si falla una u otra pieza. Se ha de facilitar el control y la vigilancia, especialmente son delicados los puntos de carga de material (arena) en el tanque, donde el agitador estará siempre operativo.

- Fabricación: El diseño ha de estar en la suficiente capacidad de llevar a cabo la prueba y brindar datos como el caudal la presión para una mezcla de 60% de agua más 40% de arena. es importante considerar la recirculación de la mezcla 60% de agua más 40% de arena ya que esta representa un ahorro en material y en tiempo.
- Control de calidad: Establecer los mecanismos, acciones y herramientas para detectar la presencia de errores. Conocer el procedimiento de trabajo para poder realizar correctamente las pruebas en el módulo de bombeo para slurry y así poder tener una correcta medición de los datos. Para controlar la calidad de la Mezcla esta se tamizará, así se tendrá un tamaño de partículas más uniformes. se respetará el porcentaje de mezcla, para cada prueba que se realice.
- Carga de material: la carga de material la deberá hacer el estudiante, bajo una dirección técnica y siguiendo una secuencia de operaciones previamente establecidas. Es importante determinar la tolerancia de carga de material (arena) se tratara de ser lo más exactos posibles para cada prueba, ya que es imposible alcanzar la precisión absoluta desde el punto de vista técnico.
- Control del proceso: el control de proceso estará sujeto a una supervisión constante, bajo un tiempo de prueba establecido, obedeciendo el procedimiento de trabajo.

CUADRO Nº 14: LISTAS DE EXIGENCIAS

LISTA DE EXIGENCIAS			Pág. 1 de 1
			Edición: Rev. 1
Proyecto		DISEÑO DE MODULO PARA BOMBEO DE SLURRY	Fecha: 05/05/2016
Cliente		UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA	Revisado:
PRIORIDAD	DESEO O EXIGENCIA	DESCRIPCIÓN	RESPONSABLE
1	E	Hallar el factor de fricción para el slurry a partir de pruebas experimentales.	Ccamaque-Ortega
2	E	La electrobomba debe garantizar el bombeo del slurry, no menor a 300 Lt/min.	Ccamaque-Ortega
3	E	Se utilizará energía eléctrica 380 V, y el consumo de ésta deberá ser eficiente, no menor al 80%.	Ccamaque-Ortega
4	E	Se suministrará el material en baldes con una capacidad de 19 litros.	Ccamaque-Ortega
5	E	Deberá poseer un sistema de control centralizado, capaz de ser operado por un solo individuo.	Ccamaque-Ortega
6	D	La altura de los dispositivos de operación (botoneras, mallas, alimentadores, etc.) estarán al alcance del operario.	Ccamaque-Ortega
7	E	La máquina tendrá un diseño que no ponga el peligro la integridad física del operario, la máquina y el medio ambiente.	Ccamaque-Ortega
8	E	La máquina podrá ser fabricada en talleres locales y se usarán materiales de fácil adquisición.	Ccamaque-Ortega
9	D	La máquina deberá ser de fácil montaje e instalación.	Ccamaque-Ortega
10	D	De ser posible la maquina será modular, de fácil reubicación.	Ccamaque-Ortega
11	D	La operación de la máquina será sencilla de tal forma que no requiera capacitación especial para el operario.	Ccamaque-Ortega
12	D	Fácil acceso para el mantenimiento de las partes de mayor desgaste.	Ccamaque-Ortega

Fuente: Proyecto de Investigación
Autores: Ccamaque y Ortega

Legenda:
E=Exigencias.
D=Deseo.

b) Elaboración del concepto

El siguiente paso en la metodología del diseño es la elaboración del concepto de solución, la formulación de una estructura de funciones y la búsqueda de principios de solución para cada una de las funciones, así como el proceso de combinación de los factibles medios de solución para obtener un concepto óptimo.

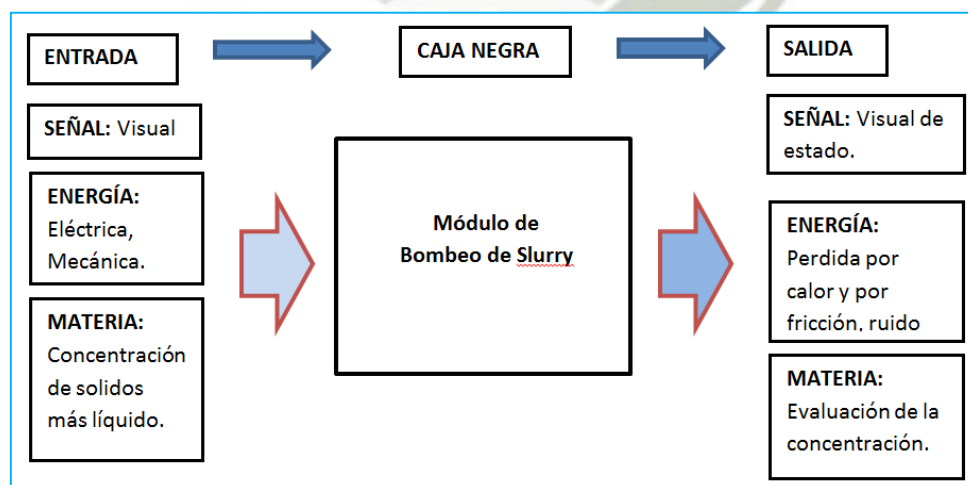
La elaboración del concepto se divide en dos puntos:

- La estructura de funciones: Se buscan todas las funciones del Módulo de bombeo de slurry a diseñar deben cumplir para llevar a cabo su función principal.
- El concepto de solución: Es la evaluación de la variedad de las soluciones para obtener una solución definitiva.

c) Abstracción

Cualquier función, o una función total se pueden representar en forma de una caja negra, (Black - box), donde sólo se tiene en cuenta 3 magnitudes básicas de entrada y salida: Materia, Energía y Señales.

FIGURA Nº 45: PROCESO DE BOMBEO DE SLURRY



Fuente: Proyecto de Investigación
Autores: Ccamaque y Ortega

3.1.2. Estructura de funciones

En esta etapa se buscan todas las funciones del Módulo de bombeo de slurry a diseñar debe cumplir para llevar a cabo su función principal.

Función Principal

Toda modulo o equipo se puede describir como una función total representada por caja negra donde ocurre la adquisición de datos. Para el presente proyecto, la función principal consiste en: La función principal del Módulo de Bombeo de Slurry es la de brindar los datos reales de la mezcla, para poder obtener el factor de fricción y su vez para poder realizar la curva de bombeo de Slurry.

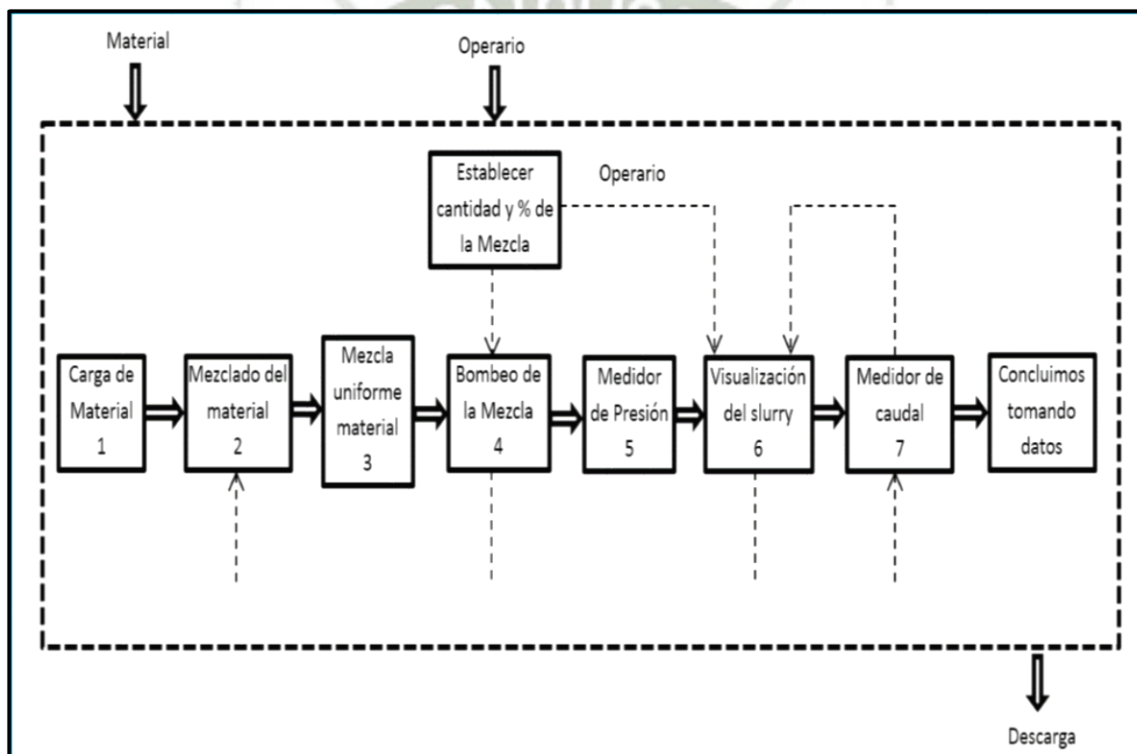
Funciones Parciales

La función total del Módulo de Bombeo de Slurry se puede subdividirse en funciones parciales que cumplen con una tarea específica dentro de ésta, logrando cumplir con el proceso técnico requerido.

1. Carga del material: Recepción y carga de arena y agua.
2. Mezcla del material: Encendido del agitador Suministro continuo de material.
3. Bombeo de la Mezcla: Bombear la mezcla 60% de agua y 40% de arena de forma continua sin ninguna interrupción.
4. Medidor de Presión: Brindar los datos de presión real del Módulo de Bombeo de Slurry.
5. Visualización del Slurry: Visualizamos la posible sedimentación en la tubería transparente de la mezcla 60% de agua y 40% de arena.
6. Medidor de Caudal: Brindar los datos de caudal real del Módulo de Bombeo de Slurry a través del display del transmisor.
7. Concluimos tomando datos: Del Módulo de Bombeo de Slurry.

La unión de las funciones parciales da origen a la estructura de funciones, la cual representa en detalle la función total. Estas funciones se pueden agrupar de diferentes formas, uniéndose o dividiéndose con el objetivo de obtener una combinación adecuada, las combinaciones obtenidas en este proceso deben ser evaluadas para las condiciones dadas, fijando las alternativas óptimas. Luego de analizar diversas configuraciones, se obtuvo la estructura de funciones óptima, la misma que se muestra en la siguiente figura:

FIGURA Nº 46: DIAGRAMA DEL PROCESO DE BOMBEO DE SLURRY



Fuente: Proyecto de Investigación
Autores: Ccamaque y Ortega

3.2. CONCEPTO DE SOLUCIÓN

Cada sub-función o función parcial encontrada, se requiere un principio de trabajo o portador de función que concrete una materialización de la estructura de trabajo.

Estos principios de trabajo deben reflejar el efecto físico necesario para el cumplimiento de cada una de las funciones con características geométricas y de materiales adecuadas para el cumplimiento de su función.

Entre las rutas para la selección de los principios tecnológicos encargados de satisfacer las sub-funciones, resalta la aplicación de un esquema ordenado en que se muestra cada una de las funciones parciales acompañada de todos los principios de solución, alternativas que satisfagan dicha función.

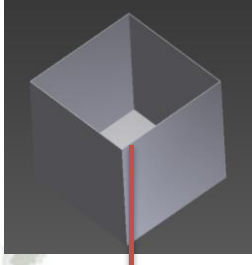
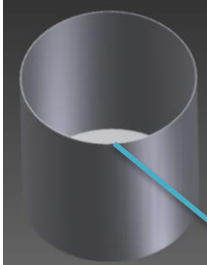
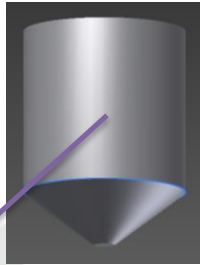
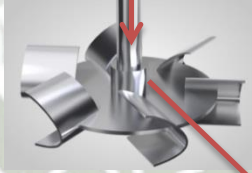








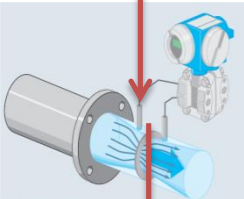
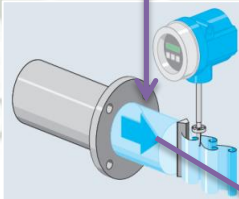
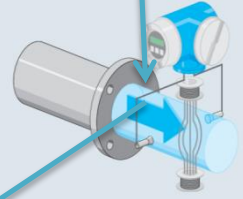



Estos portadores de función deben ser combinados de una manera lógica y físicamente compatible, en una estructura de trabajo para generar una solución global al problema.

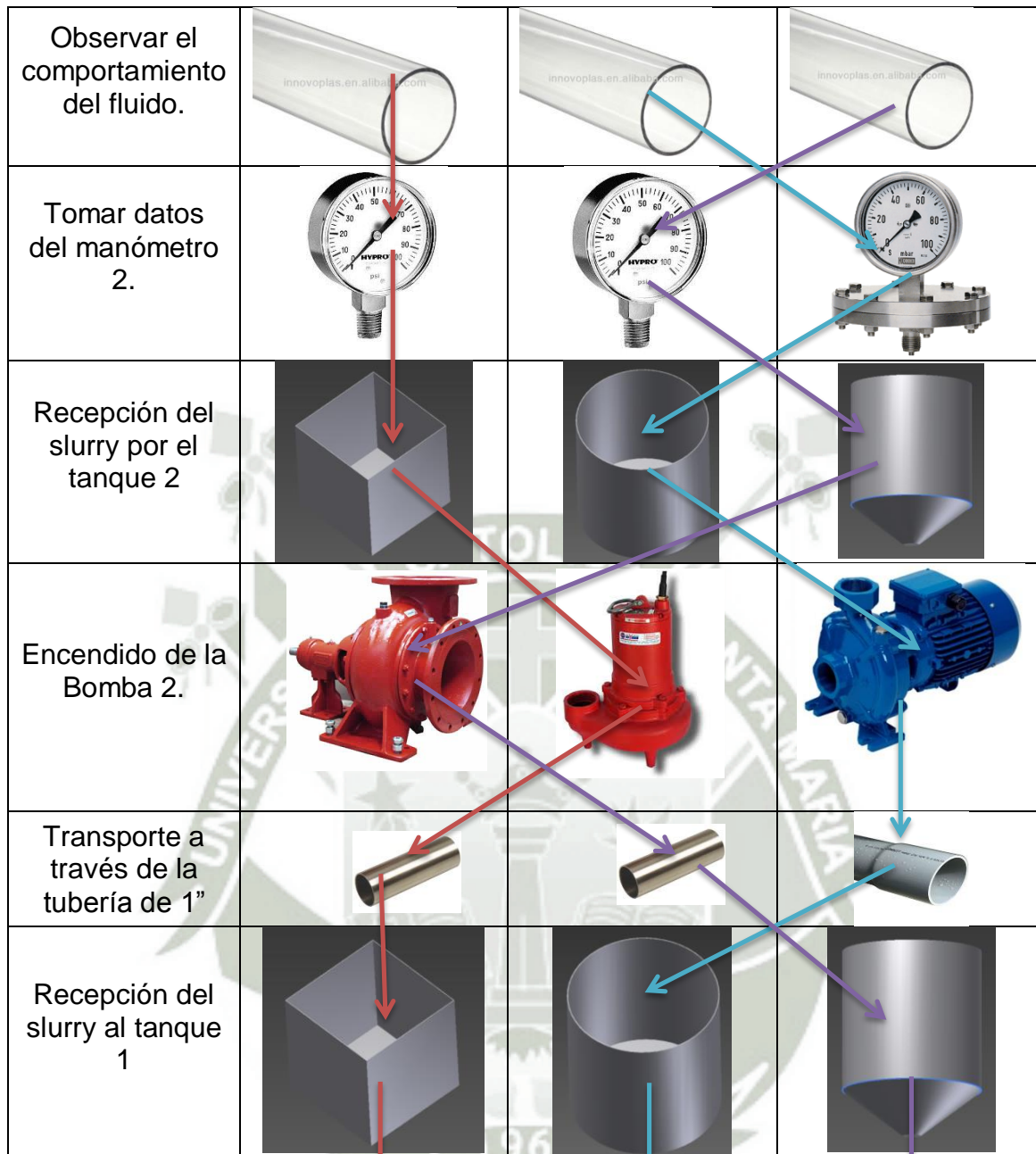
A partir de esta combinación de los portadores de función se obtiene un grupo de soluciones que en teoría suele ser amplio, sin embargo, la oportuna intervención del diseñador dejando de lado los principios o bloques funcionales que no cumplan con los requerimientos presentados en la lista de exigencias.

Una pre-selección de éste tipo se realizó para la sub-función “Plegado”, para la cual se contaba con un significativo grupo de principios tecnológicos, sin embargo no todos cumplían con la exigencia de elaborar plegados de dimensiones variables y otros lo realizaban en forma de “V”, siendo necesario, por facilidad de desplazamiento, que esto sea posición de “V invertida”.

3.2.1. Matriz morfológica: Planteamiento de alternativas de diseño

CUADRO Nº 15: MATRIZ MORFOLÓGICA

	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3
Recepcionar material: arena y agua (slurry).			
Ser mezclado.			
Encender la bomba 1			
Ser bombeado a través de la tubería de diámetro 2"			
Tomar datos del caudalímetro.			
Tomar datos del manómetro 1.			



Fuente: Proyecto de Investigación

Autores: Ccamaque y Ortega

S1

S2

S3

3.2.2. Disposición básica

Se presenta, a manera de esquema la solución cualitativa, obtenido a partir de la matriz morfológica y la combinación de las posibles soluciones. Es tas soluciones denominadas “Concepto de Solución”, son una idea aproximada de la disposición-relación de los portadores de función.

Alternativa - S1

La primera alternativa de solución consta principalmente de:

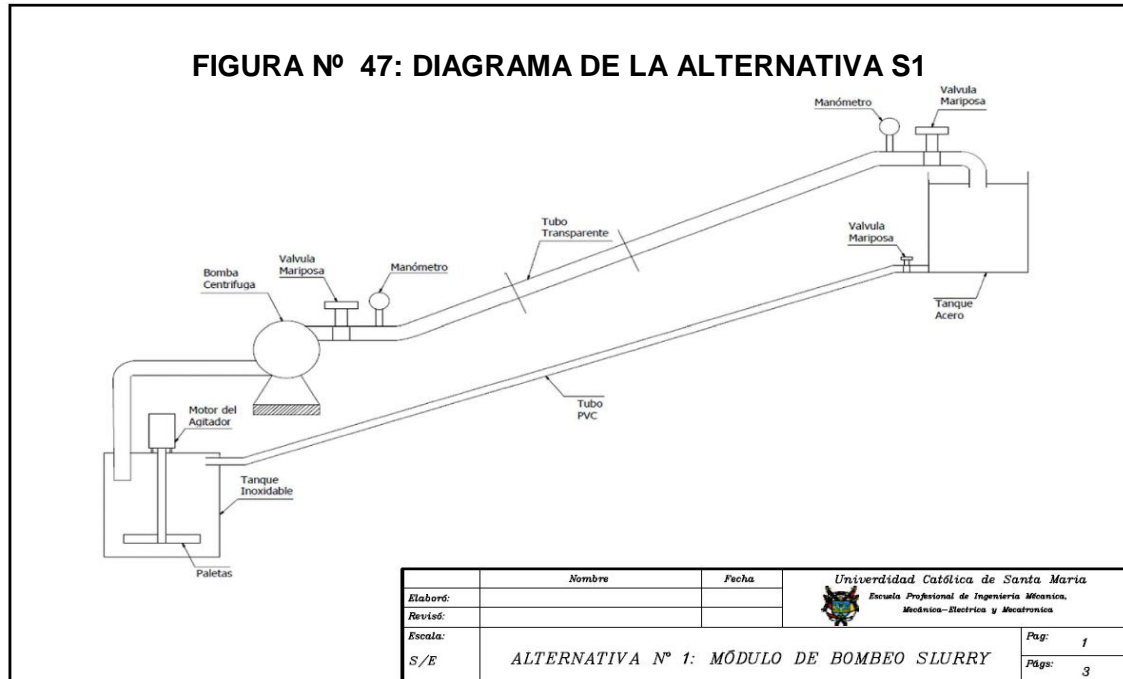
Sistema de carga: un tanque que tiene una forma de cubo, donde se va a verter el agua y la arena para el ensayo correspondiente, esta será mezclada a través de un agitador el cual tendrá un disco que unirá las paletas que se encargaran de batir la mezcla.

Sistema de bombeo: una bomba centrífuga de 3HP con una salida de 3x3 será la encargada impulsar al slurry a través de la tubería de acero inoxidable. Cabe resaltar que la tubería estará fijada a un soporte.

Sistema de medición: el caudal será medido por un caudalímetro por presión diferencial, el cual mostrara el valor del caudal en tiempo real y lo hará a través de un transmisor. La presión será medido por manómetros de bourdon, los cuales estarán instalados de manera distribuida en el circuito. El comportamiento del slurry será apreciado a través de una tubería transparente, el cual tendrá un metro de distancia.

Sistema de recepción del material: el slurry después de haber pasado a través de toda la tubería retornara a un tanque de almacenamiento, este tanque de almacenamiento será el tanque de alimentación, así reducir el tamaño del módulo.

FIGURA Nº 47: DIAGRAMA DE LA ALTERNATIVA S1



Fuente: Proyecto de Investigación
Autores: Ccamaque y Ortega

Alternativa - S2

La segunda alternativa de solución consta principalmente de:

Sistema de carga: un tanque que tiene una forma de cilindro, donde se va a verter el agua y la arena para el ensayo correspondiente, esta será mezclada a través de un agitador el cual tendrá paletas. Paletas que estarán unidas al eje del agitador, las cuales naturalmente se encargaran de batir la mezcla.

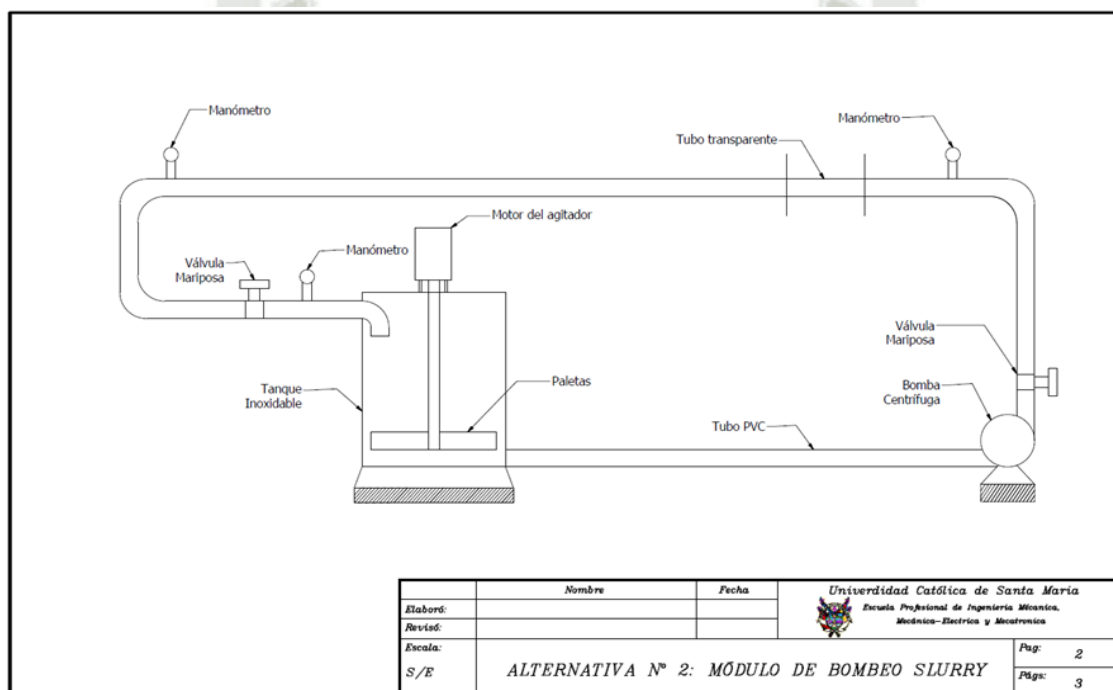
Sistema de bombeo: una bomba centrífuga de 2HP con una salida de 2x2 será la encargada impulsar al slurry a través de la tubería de PVC. Cabe resaltar que la tubería estará fijada a un soporte.

Sistema de medición: el caudal será medido por un caudalímetro electromagnético, el cual mostrara el valor del caudal en tiempo real y lo hará a través de un transmisor. La presión será medida por manómetros de bourdon acopladas a un diafragma para así evitar que el slurry obstruya el conducto del manómetro, los cuales estarán instalados de manera distribuida en el circuito.

El comportamiento del slurry será apreciado a través de una tubería transparente, el cual tendrá un metro de distancia.

Sistema de recepción del material: el slurry después de haber pasado a través de toda la tubería retornara a un tanque de almacenamiento, este tanque de almacenamiento será el tanque de alimentación, así reducir el tamaño del módulo.

FIGURA Nº 48: DIAGRAMA DE LA ALTERNATIVA S2



Fuente: Proyecto de Investigación
Autores: Ccamaque y Ortega

Alternativa - S3

La tercera alternativa de solución consta principalmente de:

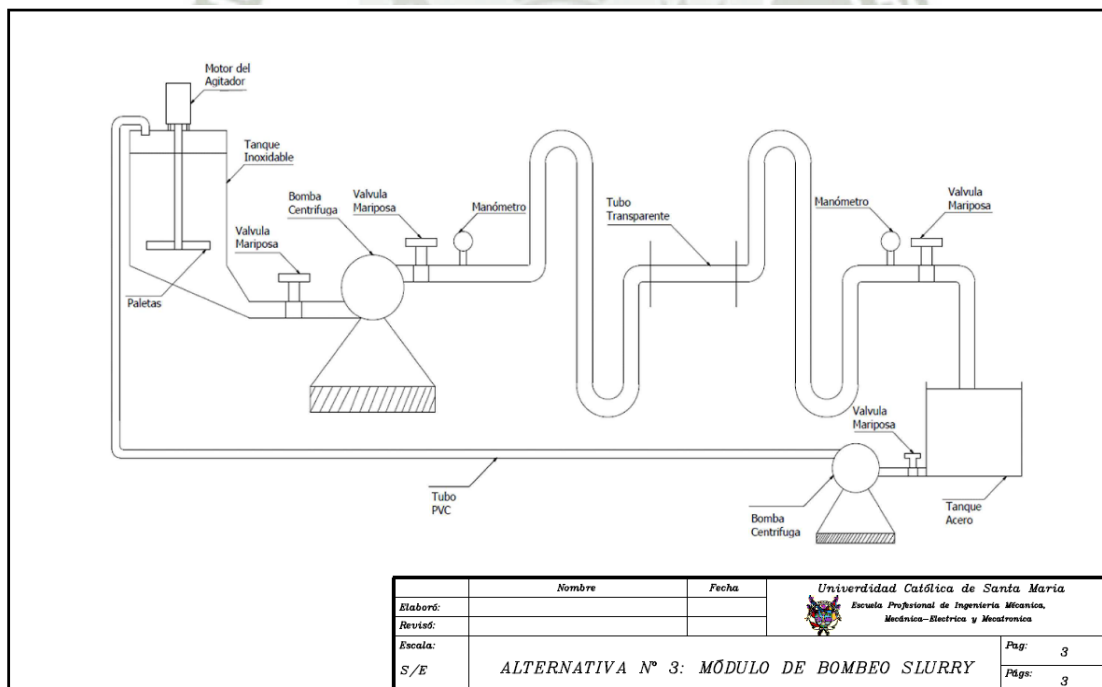
Sistema de carga: un tanque que tiene una forma de cilindro con base cónica, donde se va a verter el agua y la arena para el ensayo correspondiente, esta será mezclada a través de un agitador el cual tendrá paletas en forma de hélice. Paletas que estarán unidas al eje del agitador, las cuales naturalmente se encargaran de batir la mezcla.

Sistema de bombeo: una bomba centrífuga de 1HP con una salida de 1x1 será la encargada impulsar al slurry a través de la tubería de PVC. Cabe resaltar que la tubería estará fijada a un soporte.

Sistema de medición: el caudal será medido por un caudalímetro de tipo vortex, el cual mostrara el valor del caudal en tiempo real y lo hará a través de un transmisor. La presión será medida por manómetros de bourdon, los cuales estarán instalados de manera distribuida en el circuito. El comportamiento del slurry será apreciado a través de una tubería transparente, el cual tendrá un metro de distancia.

Sistema de recepción del material: el slurry después de haber pasado a través de toda la tubería retornara a un tanque de almacenamiento, este tanque de almacenamiento será el tanque de alimentación, así reducir el tamaño del módulo.

FIGURA Nº 49: DIAGRAMA DE LA ALTERNATIVA S3



Fuente: Proyecto de Investigación
Autores: Ccamaque y Ortega

3.2.3. Evaluación del concepto de solución.

El primer paso en cualquier método de evaluación es definir un conjunto de objetivos a partir de los cuales deriva los criterios para la evaluación.

Los objetivos derivan de la lista de exigencias, consideran factores técnicos y económicos, requerimientos de los usuarios, requerimientos de seguridad, y normativas que parametrizan el desarrollo del diseño.

En el Cuadro N°32 se muestra comparación inicial de ambas alternativas, considerando criterios de evaluación técnica (1-12) y económica (13-21), respecto a una solución ideal, con calificativo 1,

Se aprecia en la evaluación inicial, que la validez de ambos conceptos es similar, por ende se requiere buscar otro criterio de evaluación u optimizar el existente; una forma de lograrlo es adicionando un criterio de ponderación, priorizando, de acuerdo a la lista de exigencias, los requerimientos de mayor relevancia técnica y económica.

Definir el valor de la importancia de los criterios permite al diseñador priorizar determinados objetivos en relación a otros. Los criterios pueden ser obtenidos a través de:

CUADRO N° 16: SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVAS PROPUESTAS

N°	Criterios Técnicos y Económicos	Soluciones			
		S1	S2	S3	S ideal
1	Eficiencia	3	3	4	4
2	Seguridad	3	3	3	4
3	Rapidez	3	3	2	4
4	Estabilidad	3	3	2	4
5	Manipulación	3	3	3	4
6	Confiabilidad	3	3	3	4
7	Facilidad de manejo	2	2	2	4
8	Transportabilidad	3	3	2	4
9	Calidad de trabajo	2	3	4	4
10	Complejidad	3	3	1	4
11	Lista de exigencias	4	4	4	4
12	Control del proceso	2	2	2	4
13	Desarrollo de las pruebas	3	3	3	4
14	Fácil adquisición de los materiales	3	3	1	4
15	Costos diversos	3	3	1	4
16	Pocos desperdicios	3	3	3	4
17	Numero de operarios	4	4	4	4
18	Costo de tecnología	3	3	2	4
19	Facilidad de montaje	3	3	2	4
20	Facilidad de mantenimiento	2	3	3	4
21	Costo de operación	3	3	3	4
Total		61	63	53	84
Evaluación (%)		0.73	0.75	0.63	1

Fuente: Proyecto de Investigación

Autores: Ccamaque y Ortega

Cinemática: relacionan las entradas y salidas de movimiento expresadas por los componentes de la alternativa.

3.2.4. Proyecto preliminar optimo

En esta etapa del diseño se evalúan cuantitativamente las alternativas de las estructuras de construcción y de los bosquejos del proyecto preliminar. Se obtiene una primera posibilidad del costo aproximado de los criterios escogidos, dado que se tienen los datos de factores que influyen en los costos de fabricación. Estos costos permitirán obtener la mejor elección.

Siguiendo con la metodología se practica un primer análisis técnico-económico de las alternativas (VDI 2225 parte 1, Verein Deutscher Ingenieure - Asociación Alemana de ingenieros). Mediante el empleo de formatos se evalúan criterios tanto técnicos como económicos. La calificación de estos criterios se establece en un rango de 0 a 4 en cada alternativa. Debido a la diferente importancia en el proyecto se realizan dos evaluaciones, una sin peso ponderado y la otra considerando este. La calificación de estas alternativas se presenta en una tabla, mostrándose los valores relativos alcanzados por cada uno con respecto a la solución ideal. Se considerarán las alternativas que hayan alcanzado valores mayores o iguales a 0,6. Las alternativas más próximas al valor ideal son las mejores considerándose la siguiente tabla:

CUADRO Nº 17: VALORES RELATIVOS DE SOLUCION

Si los valores de Xi e Yi	Soluciones
>0.8	Son muy buenas
=0.7	Son buenas soluciones
<0.6	Son soluciones deficientes

CUADRO Nº 18: EVALUACION ECONOMICA DE PROYECTO

DISEÑO MECÁNICO - EVALUACIÓN DE PROYECTO							Área de Diseño y Manufactura	
Valor Económico (yi)								
PROYECTO: MODULO DE BOMBEO PARA SLURRY								
p: Puntaje de 0 a 4			0= No Satisface			2= Suficiente		
g: Peso ponderado en función de los criterios de evaluación			1= Aceptable a las justas			3= Bien		
			4=Muy bien (ideal)					
Criterios de evaluación para diseños en fase de conceptos o proyectos								
Variantes de Concepto			Solución S2		Solución S1		Solución ideal	
Nº	Criterios de Evaluación	g	p	G*p	p	G*p	p	G*p
1	Costos de Material	4	4	16	3	12	4	16
2	Costo de Mantenimiento	3	3	9	3	9	4	12
3	Costo de Mano de Obra	4	3	12	2	8	4	16
Puntaje Maximo Σp o $\Sigma g.p$		11	10	37	8	29	12	44
Valor Económico yi				0.84		0.67		

Fuente: Proyecto de Investigación

Autores: Ccamaque y Ortega

CUADRO Nº 19: EVALUACION TECNICA DE PROYECTO

DISEÑO MECÁNICO - EVALUACIÓN DE PROYECTO							Área de Diseño y Manufactura	
Valor Técnico (xi)								
PROYECTO: MODULO DE BOMBEO PARA SLURRY								
p: Puntaje de 0 a 4			0= No Satisface			2= Suficiente		
g: Peso ponderado en función de los criterios de evaluación			1= Aceptable a las justas			3= Bien		
			4=Muy bien (ideal)					
Criterios de evaluación para diseños en fase de conceptos o proyectos								
Variantes de Concepto			Solución S2		Solución S1		Solución ideal	
Nº	Criterios de Evaluación	g	p	G*p	p	G*p	p	G*p
1	Diseño	4	4	16	3	12	4	16
2	Seguridad	4	4	16	3	12	4	16
3	Ergonomía	3	3	9	2	6	4	12
4	Fabricación	4	3	12	2	8	4	16
5	Montaje	3	3	9	3	9	4	12
6	Transporte	4	3	12	3	12	4	16
7	Uso	4	4	16	3	12	4	16
8	Mantenimiento	3	3	9	2	6	4	12
Puntaje Maximo Σp o $\Sigma g.p$		29	27	99	21	77	32	116
Valor Técnico xi				0.85		0.66		

Luego se grafican en coordenadas cartesianas los valores técnicos y económicos X_i e Y_i , así como también los valores de la solución ideal.

Dónde:

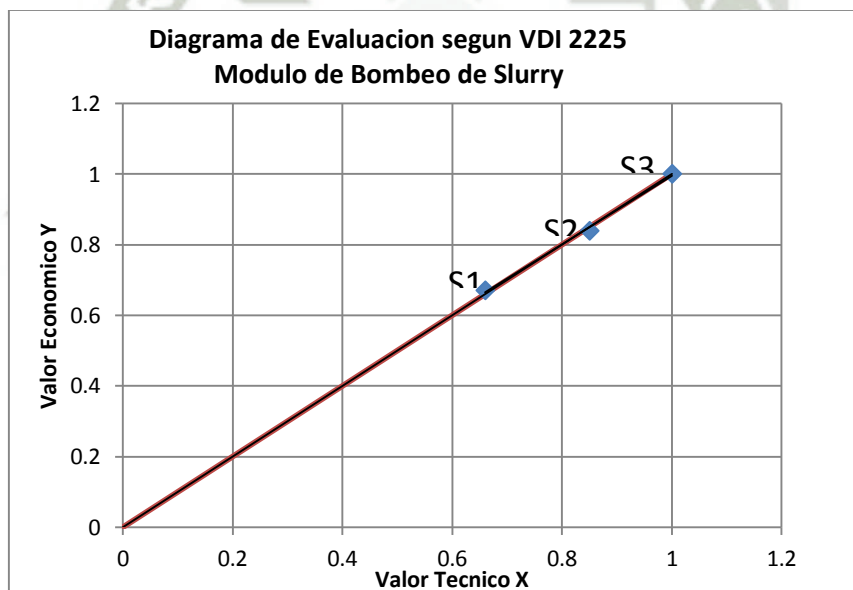
$$X_i, Y_i = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + P_n}{n * P_{max}}$$

CUADRO Nº 20: COORDENADAS CARTESIANAS DE LOS PROYECTOS PRELIMINARES Y SOLUCION IDEAL

Solución	Valor técnico x	Valor económico y
S1	0.66	0.67
S2	0.85	0.84
S3	1.00	1.00

Fuente: Proyecto de Investigación
Autores: Ccamaque y Ortega

FIGURA Nº 50: COORDENADAS CARTESIANAS DE LOS PROYECTOS PRELIMINARES Y SOLUCION IDEAL



Fuente: Proyecto de Investigación
Autores: Ccamaque y Ortega

En el cuadro mostrado se presenta una recta de pendiente 45°, esta representa el lugar geométrico de las soluciones ideales, es decir, de aquellas soluciones que satisfacen completamente los requerimientos del cliente. La mejor solución será la que más se aproxime a la recta de pendiente 45°. Se utilizará también las restricciones presentadas en la tabla para los rangos establecidos.

Observando el gráfico de la evaluación técnico – económica se concluye que el Proyecto Preliminar 2 (S2), es el Proyecto Preliminar Óptimo.

3.3. ELABORACIÓN DEL PROYECTO

Para la elaboración del proyecto se hace necesario cumplir con una serie de requerimientos que en conjunto logran transformar la información proveniente de la lista de exigencias, de la estructura de funciones y del bosquejo de concepto de solución, llegando a desarrollar el proyecto definitivo. Al proyectar se debe seguir tres reglas básicas para obtener resultados adecuados:

Claridad: Uso adecuado de los conocimientos de la física y la tecnología, tales como Dinámica, Cinemática Mecánica de Fluidos, etc.

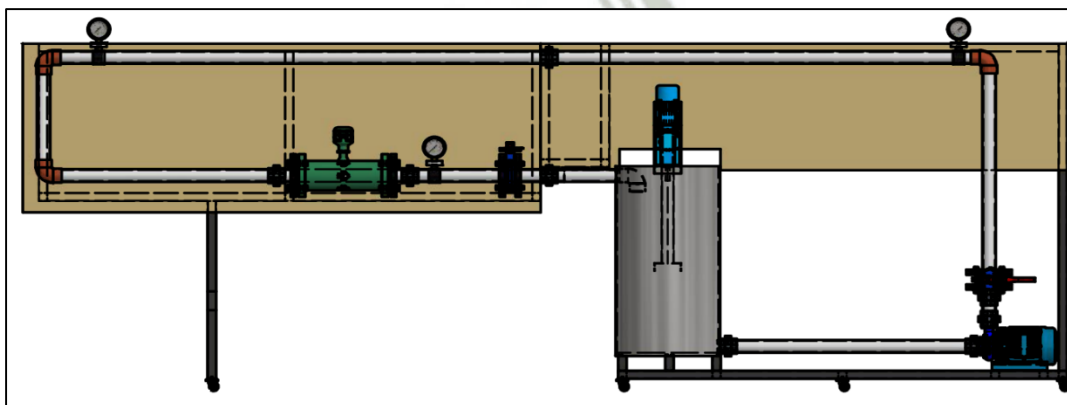
Simpleza: Economía en la fabricación y el uso, por ejemplo: Fabricación simple, montaje simple, poco peso, bajos costos de mantenimiento y funcionamiento.

Seguridad: Seguridad para las personas, máquinas y el medio ambiente.

3.4. PROYECTO DEFINITIVO

El objetivo es desarrollar una descripción completa de la estructura del proyecto. A pesar de que el proceso de diseño es evolutivo, y en algunas oportunidades, iterativo, se espera que la disposición encontrada en esta etapa sea definitiva.

FIGURA Nº 51: PROYECTO DEFINITIVO



Fuente: Proyecto de Investigación
Autores: Ccamaque y Ortega

3.5. DISEÑO DEL SISTEMA MECÁNICO CALCULO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES

3.5.1. Selección de la electrobomba

En esta etapa para poder seleccionar la electrobomba partiremos de la definición de las bombas de pulpa, por definición las bombas de pulpa son una versión más pesada y resistente de las bombas centrifugas, capaces de admitir materiales duros y abrasivos. Enmarcaremos “bombas centrifugas” como importante, ya que por tal motivo nos enfocaremos en las bombas centrifugas para seleccionar nuestra bomba.

En la actualidad las industrias mineras utilizan bombas centrifugas, que con un revestimiento especial bombean slurry. Entonces toda bomba centrifuga será capaz de bombear slurry. Las bombas de slurry están en función del tipo de sólidos y el tamaño de partículas. Los tamaños que admiten son:

- Barro/arcilla inferior a 2 micras
- Cieno, 2-50 micras
- Arena, fina de 50-100 micras (malla 270-150)
- Arena, media de 100-500 micras (malla 150-32)
- Arena, gruesa de 500-2.000 micras (malla 32-9)

Las bombas de arena y grava: se emplean para el bombeo de guijarros y grava de un tamaño de 2-8 mm (malla 9-2,5).

Las bombas de grava: se utilizan para el bombeo de sólidos de hasta 50 mm de tamaño.

Las bombas de dragados: se emplean para bombear sólidos de hasta 50 mm y mayores.

Mediante el empleo de formatos evaluaremos criterios tanto técnicos como económicos para poder seleccionar nuestra bomba. La calificación de estos criterios se establece en un rango de 0 a 4 en cada alternativa. La calificación

de estas alternativas se presenta en una tabla, mostrándose los valores relativos alcanzados por cada uno con respecto a la solución ideal. Los valores de cada alternativa serán comparadas en un mismo grafico donde Se considerarán la alternativa que hayan alcanzado ventajas técnicas como económicas.

Consideraremos bombas según su diámetro de entrada y salida, tomaremos las bombas de 1x1, 2x2 y 3x3.

En el siguiente cuadro mostraremos los aspectos técnicos y económicos para las bombas más óptimas 3x3, 2x2 y 1x1.

CUADRO Nº 21: ESPECIFICACIONES TECNO-ECONOMICAS DE LAS BOMBAS 3X3, 2X2, 1X1.

	Bomba 1X1 Enzo Ezc1581	Bomba 2x2 Baldor HFM/5AM	Bomba 3X3 Ideal STQ-1 403T
Caudal	118 l/min	600 l/min	1200 l/min
Potencia	1 HP	2 HP	4 HP
Altura de bombeo	32 m	23 m	21.4 m
N	3450 rpm	3450 rpm	2900 rpm
Material del rodete	Bronce	Bronce	Hierro fundido
Tipo de rodete	cerrado	cerrado	cerrado
Ancho del rodete	6 mm	10 mm	20mm
Tamaño	280mm(l)x 195mm(a)x 235mm(h)	285mm(l)x 190mm(a)x 240mm(h)	431mm(l)x 224mm(a)x 300mm(h)
Peso	11 Kg.	21.2 Kg.	32 Kg.
Tensión	220 V.	220 V.	380 V.
costo	250.00	450.00	2100.00

Fuente: Proyecto de Investigación

Autores: Ccamaque y Ortega

En el siguiente cuadro calificaremos los aspectos técnicos para las bombas optimas 3x3, 2x2 y 1x1, donde 4 es ideal, 3 es bueno, 2 es suficiente, 1 aceptable a las justas y 0 no satisface.

CUADRO Nº 22: CALIFICACIONES CONSIDERANDO LOS ASPECTOS TECNICOS DE LAS BOMBAS 3X3, 2X2, 1X1.

Aspectos técnicos Xi				
	Bomba 1X1 Enzo Ezc1581	Bomba 2x2 Baldor HFM/5AM	Bomba 3X3 Ideal STQ-1 403T	Calificación ideal
Caudal	2	3	4	4
Visualización de las partículas según diámetro de salida	1	2	4	4
Tamaño del modulo	3	3	1	4
Obstrucción de la bomba	1	3	4	4
N	3	3	2	4
Material del rodete	3	3	4	4
Ancho del rodete	1	3	4	4
Peso	4	3	1	4
total	18	23	24	32
Xi	0.56	0.72	0.75	1

Fuente: Proyecto de Investigación
Autores: Ccamaque y Ortega

En el siguiente cuadro calificaremos los aspectos económicos para las bombas optimas 3x3, 2x2 y 1x1, donde 4 es ideal, 3 es bueno, 2 es suficiente, 1 aceptable a las justas y 0 no satisface.

CUADRO Nº 23: CALIFACIONES CONSIDERANDO LOS ASPECTOS ECONOMICOS DE LAS BOMBAS 3X3, 2X2, 1X1.

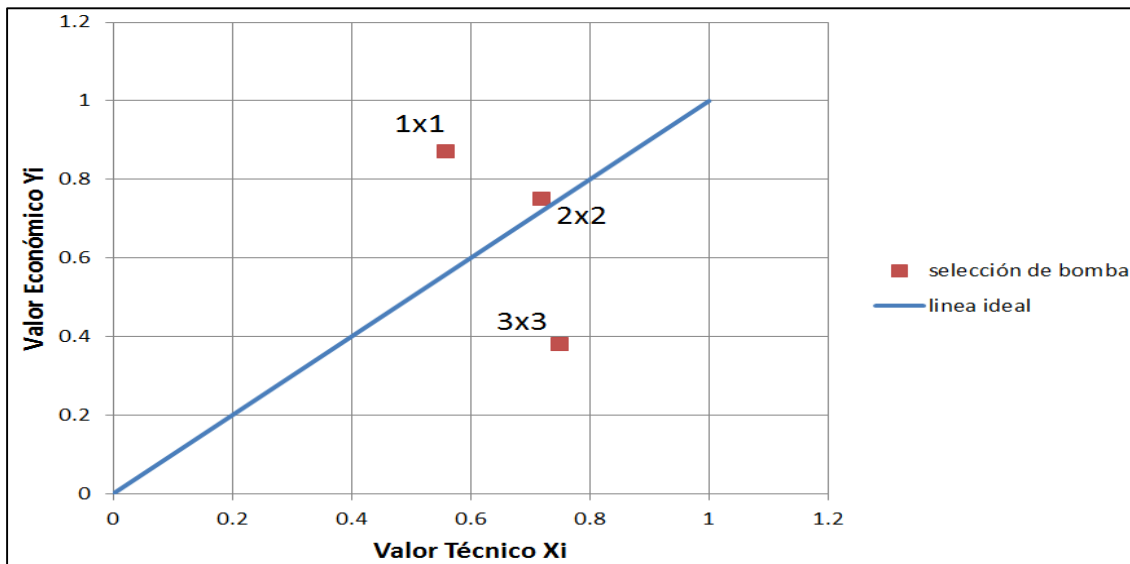
Aspectos económicos Yi				
	Bomba 1X1 Enzo Ezc1581	Bomba 2x2 Baldor HFM/5AM	Bomba 3X3 Ideal STQ-1 403T	Calificación ideal
Costo de la electrobomba	4	3	1	4
Costo de mantenimiento	3	3	2	4
total	7	6	3	8
Yi	0.87	0.75	0.38	1

Fuente: Proyecto de Investigación
Autores: Ccamaque y Ortega

En la siguiente figura se muestra una recta con una pendiente de 45°. Esta representa el lugar geométrico de las soluciones ideales, es decir las soluciones que satisfacen nuestros requerimientos. Donde claramente la

bomba 2x2 de la marca Baldor es la que cumple con nuestras exigencias tanto técnicas como económicas.

FIGURA Nº 52: COORDENADAS CARTESIANAS DE LAS BOMBAS 3X3, 2X2, 1X1 PRELIMINARES A LA SOLUCION IDEAL



Fuente: Proyecto de Investigación
Autores: Ccamaque y Ortega

Entonces extraemos los datos de la placa de la bomba, la curva característica se muestra en el anexo 1.

CUADRO Nº 24: PLACA DE LA ELECTROBOMBA SELECCIONADA

BALDOR ITALY PROFESSIONAL			
HFM/5AM		n. 14552073	
Hmax. 23 m.		Q. max. 600 l/min	
KW 1.5	HP 2	Size: 2" x 2"	
1 Mot.	220 V.	60 Hz	3450 rpm
c. 40 uF	VL 450 V.	I.Cl: B	I.P. X4
CE	Continuos duty	Thermally protected	Made in Italy

Fuente: Pumps Baldor
Autores: BALDOR

Cálculo de la velocidad crítica.

Para calcular la velocidad crítica haremos uso de la formula (2.3), la cual nos permitirá determinar la velocidad mínima o crítica que debe tener como mínimo

el slurry para que no se deposite dentro de la tubería y no se cree estanqueidad.

$$V_C = F_L * \sqrt{2g * D(S_S - 1)} \left(\frac{d_{50}}{D} \right)^{\frac{1}{6}}$$

$$F_L = 3.332 * C_V^{0.21}$$

Es necesario conocer el diámetro de partícula d_{50} para poder obtener la velocidad crítica, es así que nos valdremos del método de tamización por etapas. Este método será explicado con más detalle más adelante en la guía práctica N°1. Los datos que mostraremos a continuación en el cuadro N° 35 son datos tomados de la guía práctica ya mencionada. El cuadro N°35 nos detalla el tipo de malla Tyler utilizada en el extremo izquierdo, seguidamente del tamaño de partícula que pueden pasar a través de esa malla, en la siguiente columna se muestra el peso de las partículas que quedaron atrapadas en la malla anterior. Finalmente en las siguientes columnas se muestran pesos en porcentajes acumulados. El peso inicial de la arena fue de 500 g.

CUADRO N° 25: ANÁLISIS DE LA MUESTRA DE LA ARENA

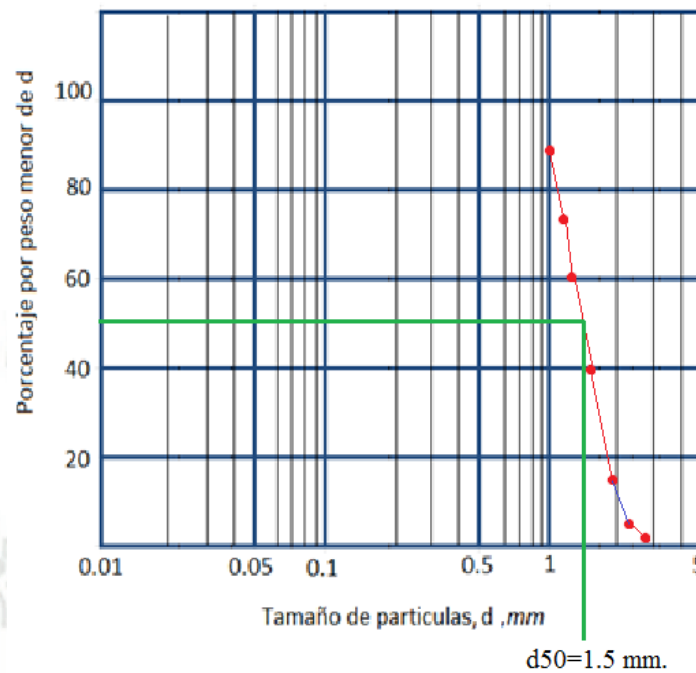
Malla N°	Abertura (mm)	Peso retenido (g)	% retenido		% acumulado que pasa
			Parcial	Acumulada	
16	0.991	59.1	11.82	11.8	88.18
14	1.168	63.2	12.64	24.5	75.4
12	1.397	77	15.4	39	60.14
10	1.651	101.4	20.28	60.1	39.86
9	1.981	112.3	22.68	82.2	17.18
8	2.362	68.2	13.64	96.5	3.54
7	2.794	12.7	2.54	99	1
Pasa la N° 7		5	1	100	0
suma	W final = 498.9		100		

Fuente: Proyecto de Investigación

Autores: Ccamaque y Ortega

Seguidamente aremos uso de la figura N° 65 de acuerdo a la estadística efectuada en el papel semi logarítmico al 50 por ciento, el diámetro efectivo es $d_{50} = 1.5$ mm.

FIGURA Nº 53: OBTENCIÓN GRAFICA DEL DIÁMETRO EFECTIVO DEL SLURRY



Fuente: WORTEC
Autores: Ing. Jose Haaker R.

Posicionamos nuestro resultado del diámetro de partícula dentro de la siguiente tabla para poder saber el tipo de arena que tenemos, según la clasificación de los materiales de la norma A.S.T.M.

CUADRO Nº 26: CLASIFICACION DE LOS MATERIALES SEGÚN LA A.S.T.M.

Arena gruesa	Entre 0.25 y 2.0 mm
Arena fina	Entre 0.05 y 0.25 mm
limo	Entre 0.005 y 0.05 mm
arcilla	Entre 0.001 y 0.005 mm
Arcilla coloidal	Menores a 0.001 mm

Fuente: Mecánica de Suelos y Cimentaciones
Autores: Ing. Carlos Crespo V.

Del anterior cuadro podemos concluir de que el tipo de arena que tenemos es una arena gruesa, con el tipo de arena podremos obtener el valor de la

densidad para arena gruesa. Valor que lo obtendremos del cuadro del anexo N°2, entonces:

$$\rho_{arena} = 1450 \frac{Kg-m}{m^3}$$

Entonces la densidad relativa de la arena será:

$$S_s = \frac{\rho_{arena}}{\rho_{H_2O}} = \frac{1450 \frac{Kg-m}{m^3}}{1000 \frac{Kg-m}{m^3}} = 1.45$$

La densidad relativa de la arena $S_s = 1.45$, la concentración en volumen considerado es de $C_v = 50\%$. Reemplazamos los datos en la formula (2.3) y de la formula (2.4).

$$V_c = F_L * \sqrt{2g * D * (S_s - 1)} \left(\frac{d_{50}}{D} \right)^{\frac{1}{6}}$$

$$F_L = 3.332 * C_v^{0.21}$$

$$F_L = 3.332 * 0.5^{0.21}$$

$$F_L = 2.88$$

$$V_c = 2.88 * \sqrt{2 * 9.81 \frac{m}{s^2} * 0.0508 * (1.45 - 1)} \left(\frac{0.0015 m}{0.0508 m} \right)^{\frac{1}{6}}$$

$$V_c = 1.07 \frac{m}{seg}$$

La velocidad critica o la velocidad mínima de bombeo es de $V_c = 1.07 \frac{m}{s}$, por lo tanto consideramos una velocidad, por lo tanto necesitamos saber la velocidad media que nos brinda nuestra bomba, con los datos que nos muestra en su placa. Para nuestro diseño consideraremos un 50% del caudal máximo que nos indica en la placa, por la ineficiencia por presencia de solidos que existe en el bombeo de slurries.

$$Q_{placa} = 600 \frac{lt}{min}$$

$$Q_{placa \text{ al } 50\%} = 300 \frac{lt}{min}$$

$$Q_{placa \text{ al } 50\%} = V_m * A$$

$$A = \frac{\pi * D^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi * 0.0508^2}{4}$$

$$A = 0.00202 \text{ m}^2$$

$$Q_{placa \text{ al } 50\%} = V_m * A$$

$$300 \frac{lt}{min} * \frac{0.001 \text{ m}^3}{1lt} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ seg}} = V_m * 0.00202 \text{ m}^2$$

$$V_m = 2.47 \frac{m}{seg}$$

Es así que tenemos una velocidad media de 2.47 m/seg con para un diámetro de tubería de 2 pulgadas, la velocidad media deberá ser comparado con el valor de la velocidad crítica, teniendo en consideración que el valor de la velocidad tiene que ser mayor a la velocidad crítica, para evitar la sedimentación del material.

$$V_m > V_c$$

$$2.47 \frac{m}{seg} > 1.07 \frac{m}{seg}$$

Es notable que la velocidad media cumple satisfactoriamente con la condición.

3.5.2. Diseño y seleccionamiento de la tubería:

Hasta ahora se tiene definido el diámetro de la tubería, diámetro definido por las características de la bomba seleccionada anteriormente. El diámetro de la tubería es de 2". Es así que también tomaremos el valor de la altura máxima para poder hallar la presión de trabajo máxima a la que estará sometida la tubería, ya que más adelante será necesario corroborar la presión del material de la tubería que vayamos a escoger frente a la presión máxima de trabajo que tendremos en las tuberías de nuestro modulo. Es así que el valor de la presión de trabajo la obtendremos de la placa de la electrobomba de 2HP, tomaremos el valor de la altura máxima debido a que este valor es para un caudal igual a 0 es decir la válvula se encuentra totalmente cerrada y es ahí donde la tubería será sometida a la presión máxima, es necesario aclarar que esto ocurrirá solo si la bomba está trabajando con el RPM máximo. De esta manera el valor de presión será de:

$$H \text{ maxima de bombeo} = 23 \text{ m}$$

$$H \text{ maxima de bombeo} = 23 \text{ m} * \frac{1 \text{ Bar}}{10 \text{ mca}}$$

$$H \text{ maxima de bombeo} = 2.3 \text{ Bar}$$

$$\text{Presion de trabajo} = 2.3 \text{ Bar}$$

$$\text{Presion de trabajo} = 2.3 \text{ Bar} * \frac{14.5 \text{ Psi}}{1 \text{ bar}}$$

$$\text{Presion de trabajo} = 33.35 \text{ Psi} = 33.35 \frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2}$$

Considerando un factor de seguridad de 2 tendremos que

$$\text{Presion de trabajo} = 2 * 33.35 \text{ Psi} = 66.7 \frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2}$$

Tenemos varias opciones en el material que tendrá nuestra tubería, por consiguiente tendremos que evaluarlas según sus ventajas técnicas como económicas en el siguiente cuadro comparativo:

CUADRO N° 27: ESPECIFICACIONES TECNO-ECONOMICAS DE LAS TUBERÍAS HDPE, PVC Y ACERO

	Tubo HDPE	Tubo de PVC	Tubo de acero
Presentación	Tramos de 12 m. o bobinas de cualquier longitud	Tramos de 6 m. y de 3m.	Tramos de 6m.
Vida útil	50 años	10 años	20 años
Manejo del ducto	Muy ligero y maniobrable	Muy ligero y maniobrable	Por su peso es muy difícil su manejo.
Resistencia a la corrosión externa	Contiene protectores UV puede estar almacenado hasta un año antes de su instalación.	La humedad, las aguas salinas, la intemperie, o las condiciones subterráneas no afectan para nada el PVC	Puede estar almacenado por periodos prolongados pero requiere una limpieza por la oxidación antes de su instalación
Presión que llegan a soportar		15 bar	25 bar
Instalación de la tubería	Son ligeras y maniobrables	Al ser sumamente ligeras en peso, las hace más fácil de instalar	Pr su peso , las hace más difícil de instalar
Costos de instalación	Presentan un alto costo de instalación.	Presentan un bajo costo de instalación	Presentan un alto costo de instalación
Costo de la tubería	Presentan un alto costo.	Presentan un bajo costo	Presentan un alto costo

Fuente: Proyecto de Investigación
Autores: Ccamaque y Ortega

De la anterior tabla escogemos la tubería de PVC por que presenta ventajas en cuanto a presentación, tiene una excelente resistencia a la corrosión, la presión que soporta será suficiente, ya que esta por muy encima de nuestra presión de trabajo, escoger otra sería sobre dimensionarla, el costo de la tubería y el costo de instalación lleva por mucho a las otras dos. Por estas obvias razones es que se elige trabajar con una tubería de PVC.

Teniendo la presión de y el diámetro de tubería definida, nos ubicaremos en la tabla del Anexo N°3 donde nos muestran la presión que soporta la tubería de PVC del fabricante para cada diámetro de tubería. De donde extraeremos la

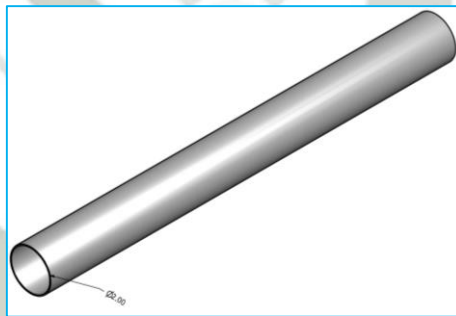
presión que soporta una tubería de PVC de 2" y la compararemos con nuestra presión de trabajo, buscando que la presión de trabajo sea menor a la presión de trabajo que soporta la tubería del fabricante.

$$P_{fabricante} > P_{de\ trabajo}$$

$$200\ Psi > 67\ Psi$$

Después de comparar las presiones podemos observar que se cumple con la condición que se requiere, finalmente podemos asegurar que la presión de trabajo calculada que tendremos no será ningún riesgo para la tubería de PVC de 2 pulgadas de diámetro. Ya que esta presión que soporta la tubería de PVC es 3 veces mayor que la presión de trabajo.

FIGURA Nº 54: TUBERÍA DEL MODULO DE BOMBEO DE SLURRY



Fuente: Proyecto de Investigación
Autores: Ccamaque y Ortega

3.5.3. Diseño del tanque de succión y descarga

Selección del material de tanque: La selección del material para diseñar y construir el tanque de succión y descarga del módulo del presente proyecto debe cumplir con una serie de requisitos.

CUADRO N° 28: ESPECIFICACIONES TECNO-ECONOMICAS DEL ACERO COMERCIAL, PVC Y ACERO INOXIDABLE

	Acero comercial	PVC	Acero inoxidable
Resistencia a la corrosión externa	Se produce corrosión en corto tiempo.	No se produce corrosión en la superficie del PVC.	Con un contenido de cromo de 10.5%, el acero inoxidable está protegido constantemente por una capa pasiva de óxido de cromo que se genera naturalmente en su superficie cuando entra en contacto con la humedad del aire. si se daña la superficie, la capa pasiva se regenera.
Resistencia al impacto	El acero comercial presenta buena resistencia al impacto.	El PVC presenta una baja resistencia al impacto.	El acero inoxidable presenta excelente resistencia al impacto.
Facilidad de fabricación	Son ligeras y maniobrables	Al ser sumamente ligeras en peso, las hace más fácil de instalar	Por su peso , las hace más difícil de instalar
Estética	Tiene un acabado superficial, regular	Tiene un acabado superficial bueno, pero es muy opaco.	Tiene un muy buen acabado superficial, lo cual lo convierte en un material único y estético.
Costo de la tubería	Presentan un alto costo.	Presentan un bajo costo	Presentan un alto costo

Fuente: Proyecto de Investigación
Autores: Ccamaque y Ortega

Del cuadro comparativo anterior se define como mejor material al acero inoxidable, por ser resistente ante la corrosión y presentar buenas propiedades mecánicas.

Diseño del Tanque

Para el diseño de tanque empezaremos con la determinación de la capacidad que tendrá nuestro tanque, se tiene conocimiento de que el caudal está en función del volumen y el tiempo, de esta manera recordaremos el valor del caudal teórico que es de $300 \frac{lt}{min}$ o $5 * 10^{-3} \frac{m^3}{s}$, colocaremos valores tentativos del tiempo, para poder obtener valores de volumen, desarrollaremos este cálculo de manera iterativa hasta llegar con un valor de volumen que creamos adecuado.

Visto de esta forma reemplazamos el dato de caudal para hallar el volumen del tanque en la siguiente formula, vamos a considerar un tiempo de prueba inicial de 10 min.

$$V = Q \cdot t$$

$$V_{10} = 0.005 \frac{m^3}{s} \times 10 \text{ min.}$$

$$V_{10} = 0.005 \frac{m^3}{s} \times 600 \text{ s}$$

$$V_{10} = 3 \text{ m}^3$$

$$V_5 = 0.005 \frac{m^3}{s} \times 5 \text{ min.}$$

$$V_5 = 0.005 \frac{m^3}{s} \times 300 \text{ s}$$

$$V_5 = 1.5 \text{ m}^3$$

$$V_{2.5} = 0.005 \frac{m^3}{s} \times 2.5 \text{ min.}$$

$$V_{2.5} = 0.005 \frac{m^3}{s} \times 150 \text{ s}$$

$$V_{2.5} = 0.75 \text{ m}^3$$

$$V_2 = 0.005 \frac{m^3}{s} \times 2 \text{ min.}$$

$$V_2 = 0.005 \frac{m^3}{s} \times 120 \text{ s}$$

$$V_2 = 0.6 \text{ m}^3$$

$$V_1 = 0.005 \frac{m^3}{s} \times 1 \text{ min.}$$

$$V_1 = 0.005 \frac{m^3}{s} \times 60 \text{ s}$$

$$V_1 = 0.3 \text{ m}^3$$

$$V_{0.5} = 0.005 \frac{m^3}{s} \times 0.5 \text{ min.}$$

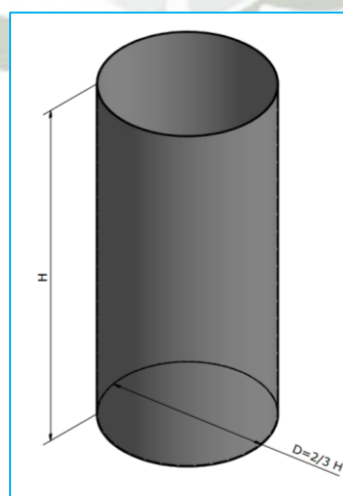
$$V_{0.5} = 0.005 \frac{m^3}{s} \times 30 \text{ s}$$

$$V_{0.5} = 0.15 \text{ m}^3$$

Dimensionamiento del tanque.

Los tanques de almacenamiento de materias primas y productos de la planta se diseñan según el código **API-ASME**, para el diseño de tanques que trabajan a presión atmosférica y contienen productos (líquidos o sólidos) en su interior. Las dimensiones para cada una de las partes vendrán determinadas en función de la altura de la carcasa cilíndrica H , es la siguiente proporción:

FIGURA Nº 55: TANQUE DEL MODULO DE BOMBEO DE SLURRY



Fuente: Proyecto de Investigación
Autores: Ccamaque y Ortega

$$V = H * A$$

$$V = H * \pi * \frac{\left(\frac{2}{3} * H\right)^2}{4}$$

$$0.15 = H * \pi * \frac{\left(\frac{2}{3} * H\right)^2}{4}$$

$$0.15 = H * \pi * \frac{\left(\frac{2}{3} * H\right)^2}{4}$$

$$H = 0.75$$

Con el resultado anterior se considera que el tanque tendrá un aspecto muy cuadrado, por lo que modificaremos la relación entre la altura y el diámetro, donde $D = \frac{1}{2}H$, entonces realizaremos una vez más el cálculo correspondiente:

$$0.15 = H * \pi * \frac{\left(\frac{1}{2} * H\right)^2}{4}$$

$$H = 0.91 \text{ m.}$$

$$D = \frac{1}{2} * H$$

$$D = \frac{1}{2} * 0.91$$

$$D = 0.455 \text{ m.}$$

Tomaremos valores enteros, de esta manera quedamos con las siguientes dimensiones:

$$H = 0.9 \text{ m}$$

Diámetro del tanque

$$D = \frac{1}{2} * H \text{ m}$$

$$D = \frac{1}{2} * 0.9 \text{ m}$$

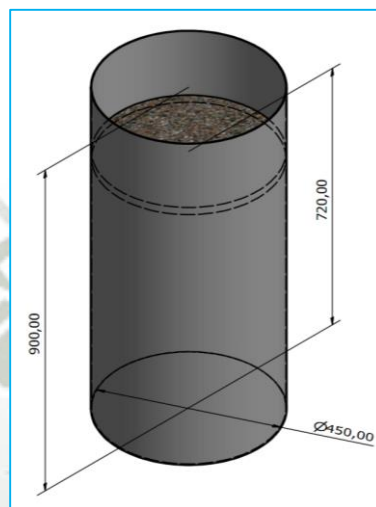
$$D = 0.45 \text{ m}$$

e ha de tener en cuenta que los recipientes por seguridad estarán llenos como máximo al 80% por lo que habrá que tenerlo en cuenta a la hora de establecer sus dimensiones.

$$H = 0.8 \times 0.9 \text{ m}$$

$$H = 0.72 \text{ m}$$

FIGURA Nº 56: TANQUE CON SLURRY DEL MÓDULO DE BOMBEO DE SLURRY



Fuente: Proyecto de Investigación
Autores: Ccamaque y Ortega

Espesor del tanque

El espesor del cilindro se obtendrá utilizando las consideraciones que tiene la NORMA ASME SECCION VIII.

El espesor (t) del cilindro viene dado por las siguientes expresiones:

$$t_{\text{cilindro}} = \frac{\gamma * d * r}{\sigma_t * E_s}$$

γ = peso específico del producto almacenado $\frac{\text{Kg}}{\text{cm}^3}$

d = nivel máximo de producto almacenado cm.

r = radio del cilindro cm.

σ_t = tensión máxima admisible del material $\frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$

f_s = factor de seguridad

E_s = eficiencia de soldadura según tipo de soldadura. Para junta a tope en doble V y no examinada, tomar el valor de 0.6.

$$t_{\text{cilindro}} = \frac{\gamma_{\text{mezcla}} * d * r}{\sigma_t * E_s}$$

$$t_{\text{cilindro}} = \frac{12840 \frac{\text{N}}{\text{m}^3} * 0.72 \text{ m} * 0.225 \text{ m}}{\frac{249.9}{f_s} * 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} * 0.6}$$

$$t_{\text{cilindro}} = \frac{12840 \frac{\text{N}}{\text{m}^3} * 0.8 * 0.9 \text{ m} * 0.225 \text{ m}}{\frac{249.9}{4} * 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} * 0.6}$$

$$t_{\text{cilindro}} = \frac{12840 \frac{\text{N}}{\text{m}^3} * 0.8 * 0.9 \text{ m} * 0.225 \text{ m}}{\frac{249.9}{4} * 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} * 0.6}$$

$$t_{\text{cilindro}} = 5.549 \cdot 10^{-5} \text{ m}$$

$$t_{\text{cilindro}} = 0.05549 \text{ mm}$$

Para el valor del espesor que nos brinda el cálculo matemático podría cumplir una plancha de acero inoxidable con un espesor de 0.3 mm.

Pero considerando que trabajara con un fluido altamente abrasivo, por la presencia de arena es que se seleccionara una plancha de acero inoxidable con espesor de:

Espesor del cilindro	1.5 mm
----------------------	--------

3.5.4. Diseño del agitador

El correcto dimensionamiento del agitador debe garantizar una agitación suficiente para el proceso, con un coste total-amortización más gastos de operación-mínimo.

En los agitadores prácticamente el único gasto de operación es el consumo de energía dado que el avanzado diseño hace despreciables los costes de mantenimiento.

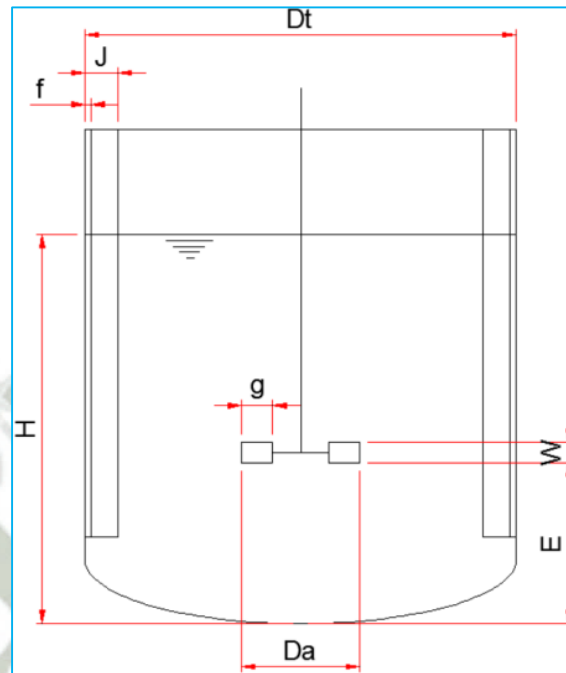
Dimensionamiento Del Agitador

Se empleara un agitador de dos palas, para agitar la mezcla y la construcción de esta es bastante sencilla. En base al diámetro calculado se dimensiona el agitador, esto se desarrollara según las recomendaciones de la siguiente tabla, la cual nos brinda proporciones básicas según Rushton. Tenemos:

CUADRO Nº 29: PROPORCIONES BASICAS PARA UN AGITADOR

Proporciones básicas		
$\frac{D_a}{D_t} = 0.3 \text{ a } 0.6$	$\frac{H}{D_t} = 1$	$\frac{J}{D_t} = \frac{1}{12}$
$\frac{E}{D_a} = 1$	$\frac{W}{D_a} = \frac{1}{5}$	$\frac{G}{D_a} = \frac{1}{4}$

FIGURA N° 57: DISEÑO DEL AGITADOR PARA EL MODULO DE BOMBEO DE SLURRY



Fuente: Proyecto de Investigación
Autores: Ccamaque y Ortega

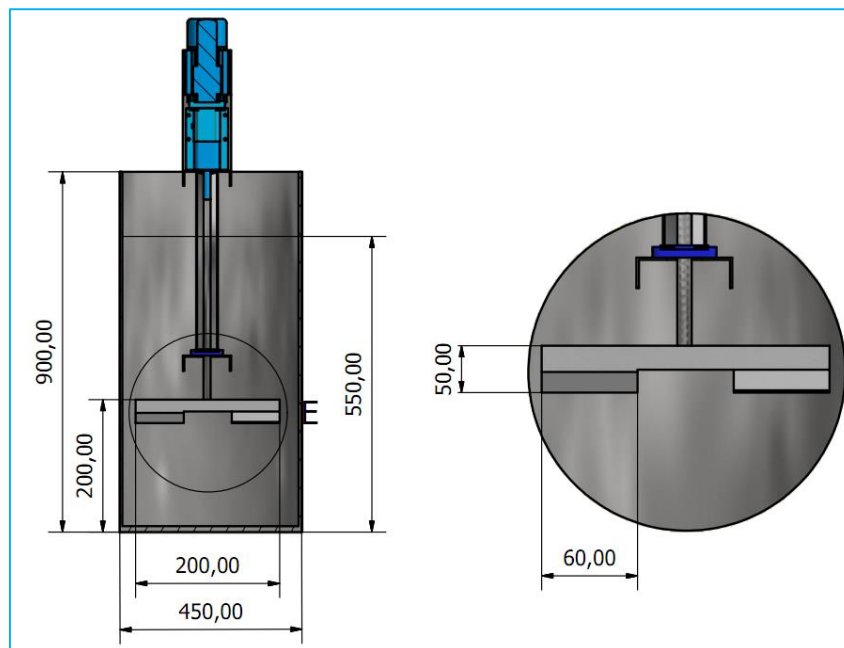
CUADRO N° 30: VALOR DE LAS DIMENSIONES DEL AGITADOR DEL MODULO DE BOMBEO DE SLURRY

Dimensiones generales	
Proporciones básicas	Dimensiones reales
$\frac{D_a}{D_t} = 0.3 \text{ a } 0.6$	$\frac{D_a}{D_t} = \frac{200 \text{ mm}}{450 \text{ mm}} = 0.44$
$\frac{H}{D_t} = 1$	$\frac{H}{D_t} = \frac{550 \text{ mm}}{450 \text{ mm}} = 1.2$
$\frac{E}{D_a} = 1$	$\frac{E}{D_a} = \frac{200 \text{ mm}}{200 \text{ mm}} = 1$
$\frac{W}{D_a} = \frac{1}{5} = 0.2$	$\frac{W}{D_a} = \frac{50 \text{ mm}}{200 \text{ mm}} = 0.25$
$\frac{G}{D_a} = \frac{1}{4} = 0.25$	$\frac{G}{D_a} = \frac{60 \text{ mm}}{200 \text{ mm}} = 0.3$

Fuente: Proyecto de Investigación
Autores: Ccamaque y Ortega

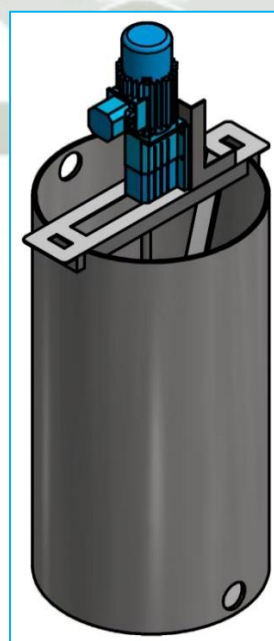
Es así que tenemos las distancias para nuestro agitador, la cual se mostrara en la siguiente figura:

FIGURA Nº 58: DIMENSIONES DEL AGITADOR PARA MODULO DE BOMBEO DE SLURRY



Fuente: Proyecto de Investigación
Autores: Ccamaque y Ortega

FIGURA Nº 59: MONTAJE DEL AGITADOR PARA EL MODULO DE BOMBEO DE SLURRY



Fuente: Proyecto de Investigación
Autores: Ccamaque y Ortega

Consumo de la Potencia del Agitador

Para poder realizar el cálculo de potencia consumida lo haremos a través de la fórmula (2.38), fórmula que se aplica para número de Reynolds superiores a 10000, como ya se ha visto la función de potencia es independiente del número de Reynolds y la viscosidad deja de ser un factor, las variaciones de Froude tampoco influyen. Es así que:

$$P = K_T * N^3 * D_a^5 * \rho$$

La densidad del fluido, la obtendremos a partir de la fórmula de peso específico, donde obtendremos la densidad de la mezcla, pero antes necesitamos conocer el peso específico de la arena y este valor reemplazar en la fórmula de peso específico:

$$\gamma_{arena} = \rho_{arena} * g$$

$$\gamma_{arena} = 1450 \frac{\text{Kg} - \text{m}}{\text{m}^3} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$\gamma_{arena} = 14224.5 \frac{\text{N}}{\text{m}^3}$$

$$\gamma_{mezcla} = \%mezcla * \gamma_{H_2O} + \%mezcla * \gamma_{arena}$$

$$\gamma_{mezcla} = 0.6 * 9810 \frac{\text{N}}{\text{m}^3} + 0.4 * 14224.5 \frac{\text{N}}{\text{m}^3}$$

$$\gamma_{mezcla} = 11575.8 \frac{\text{N}}{\text{m}^3}$$

$$\gamma_{mezcla} = \rho_{mezcla} * g$$

$$11575.8 \frac{\text{N}}{\text{m}^3} = \rho_{mezcla} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{seg}^2}$$

$$11575.8 \frac{\text{Kg} - \text{m} * \frac{\text{m}}{\text{seg}^2}}{\text{m}^3} = \rho_{mezcla} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{seg}^2}$$

$$\rho_{mezcla} = 1180 \frac{\text{Kg} - \text{m}}{\text{m}^3}$$

El valor de K_t la obtendremos de la tabla N°34, nos posicionaremos en una turbina con dos palas planas que es nuestro caso y obtendremos que el valor de K_t que nos corresponde es 1.7 La velocidad de giro del agitador estará

dentro de 100 y 400 RPM, consideraremos el valor máximo de velocidad de giro y recordaremos el diámetro de diseño de nuestro agitador que es 0.2 m. Reemplazaremos el valor de la densidad de la mezcla, velocidad de giro, diámetro del agitador y el valor K_t en la formula (2.38), para poder estimar el consumo de potencia.

$$P = K_T * N^3 * D_a^5 * \rho$$

$$P = 1.7 * (6.7 \text{ rps})^3 * (0.2 \text{ m})^5 * 1180 \frac{\text{Kg} - \text{m}}{\text{m}^3}$$

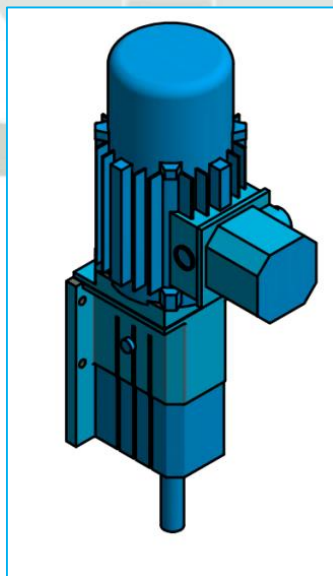
$$P = 193 \text{ w} = 0.193 \text{ KW}$$

$$P = 0.193 \text{ KW} * \frac{1 \text{ HP}}{0.7355 \text{ KW}}$$

$$P = 0.262 \text{ HP}$$

Finalmente con el valor de consumo de potencia hallado seleccionaremos nuestro motor, es así que un motor de 1 HP cumplirá la demanda de nuestras necesidades, sin olvidar el rango de velocidad de trabajo al que estaremos sujetos, será necesario colocar un reductor de velocidad para cumplir con las condiciones ya establecidas. Las especificaciones del moto-reductor están en el anexo 6.

FIGURA Nº 60: MOTO-REDUCTOR DEL MODULO DE BOMBEO DE SLURRY



Fuente: Proyecto de Investigación
Autores: Ccamaque y Ortega

Calculo del diámetro del eje

Se determinara el diámetro del eje, el que nos brindara la rigidez y resistencia necesaria para cuando este transmita potencias que generen cargas combinadas, para ello utilizaremos la norma ASME.

El cual nos indica que para un eje macizo con carga axial ligera o nula, la ecuación queda de la siguiente manera:

$$D^3 = \frac{16}{\pi * \tau_d} \sqrt{(K_s * T)^2 + \left(\frac{1FD}{8}\right)^2}$$

Se utilizara un acero inoxidable 304 por sus propiedades anticorrosivas, cuyas características mecánicas se extrajeron del anexo N° 8 y son las siguientes:

Esfuerzos de fluencias (S_y)=310 Mpa

Esfuerzos de ruptura (S_r)=620 Mpa

Td

$$0.3 * S_y = 0.3 * 310 = 93 \text{ Mpa}$$

$$0.18 * S_r = 0.3 * 620 = 111.6 \text{ Mpa}$$

Se utiliza el valor menor

Valores de coeficiente del momento flector (K_s) y momento torsor (K_m) para la carga ligera de un agitador de fluidos:

$$K_s=1.5 - 2$$

$$K_m=1 - 1.5$$

$$\text{Torque} = \frac{7162000 * H_p}{\text{rpm}}$$

$$\text{Torque} = \frac{7162000 * 0.263}{400}$$

$$\text{Torque} = \frac{7162000 * 0.263}{400}$$

$$\text{Torque} = 4709.015 \text{ N} - \text{mm}$$

$$D^3 = \frac{16}{\pi * \tau_d} \sqrt{(K_s * T)^2 + \left(\frac{1FD}{8}\right)^2}$$

$$D^3 = \frac{16}{\pi * 93} \sqrt{(2 * 4709.015)^2 + \left(\frac{1 * 60.7D}{8}\right)^2}$$

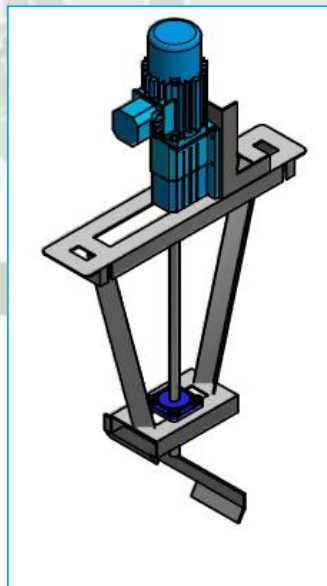
$$D = 8.01 \text{ mm}$$

El valor del eje se debe ajustar a un valor estandarizado definido según tabla.

De esta manera tendremos que el diámetro del eje será:

$$\text{Diámetro del eje del agitador} = 19.05 \text{ mm} = \frac{3}{4} \text{ pulg}$$

FIGURA N° 61: MOTO-REDUCTOR MAS LA BASE DEL MOTO-REDUCTOR DEL MODULO DE BOMBEO DE SLURRY



Fuente: Proyecto de Investigación
Autores: Ccamaque y Ortega

3.5.5. Diseño estructural del modulo

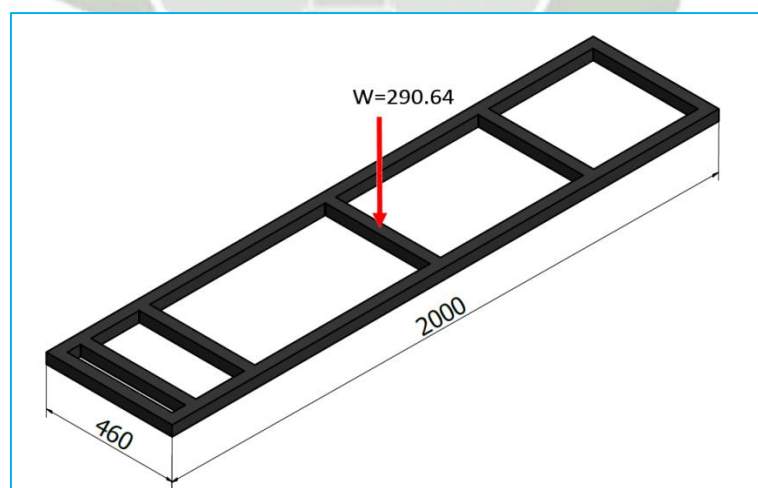
CUADRO Nº 31: PESOS UNITARIOS Y PESO TOTAL DE LOS COMPONENTES DEL MODULO DE BOMBEO DE SLURRY

Componentes	Número de componentes	Peso total (Kg-f)
Cilindro	1	177.22
Agitador	1	40
bomba	1	22
caudalimetro	1	10
manómetro	3	6
melanina	1	35.42
total		290.64

Fuente: Proyecto de Investigación
Autores: Ccamaque y Ortega

En la figura se muestra la base de la estructura que soportará el peso total, W : peso que soporta la base del módulo, considerando:

FIGURA Nº 62: BASE DE LA ESTRUCTURA Y CARGA TOTAL



Fuente: Proyecto de Investigación
Autores: Ccamaque y Ortega

Los siguientes valores fueron extraídos del catálogo del fabricante para perfiles estructurales – tubos cuadrados. Material que cumple las características y propiedades de la NORMA A.S.T.M. A-500 grado C

$$S_x = S_y = 2.75 \text{ cm}^3$$

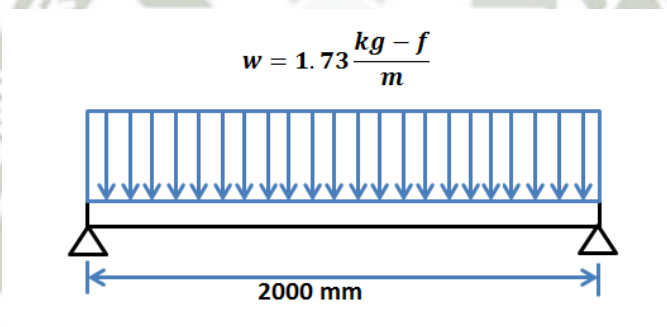
$$A = 2.20 \text{ cm}^2$$

$$E = 2.1 \times 10^6 \frac{\text{kg} - \text{f}}{\text{cm}^2}$$

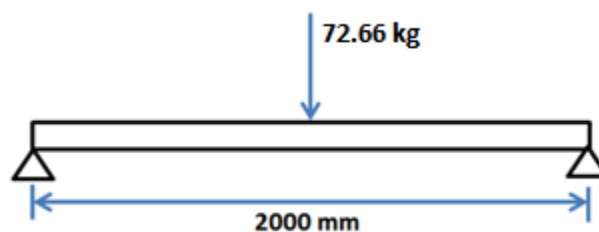
$$I_x = I_y = 5.49 \text{ cm}^4$$

$$w = 1.73 \frac{\text{kg} - \text{f}}{\text{m}}$$

La carga distribuida por el peso del perfil estructural.



Peso total del módulo 291 Kg, Carga puntual correspondiente por viga será.



Diseño y selección del perfil estructural por el método de diseño de esfuerzos permisibles. (ASD)

$$S_x \geq \frac{M_{\max}}{F_D}$$

Dónde:

S_x : Modulo de Sección cm^3 .

M_{\max} : Máximo momento flector kg-f.cm

F_D : Esfuerzo permisible del material $\frac{\text{kg-f}}{\text{cm}^2}$

$$F_D = 0.60F_y$$

Acero A36 $F_y = 36000 \text{ psi} = 2536 \frac{\text{kg-f}}{\text{cm}^2}$

$$F_D = 0.60(2536) \frac{\text{kg-f}}{\text{cm}^2}$$

$$F_D = 1521.82 \frac{\text{kg-f}}{\text{cm}^2}$$

a) Momento máximo para carga distribuida

$$M_{\max(w)} = \frac{w \cdot L}{8}$$

$$M_{\max(w)} = 1.73 \frac{\text{kg-f}}{\text{m}} \cdot 2\text{m} \cdot \frac{1}{8}$$

$$M_{\max(w)} = 0.433 \text{ kg-f} \cdot \text{m}$$

b) Momento máximo por carga puntual.

$$M_{\max(P)} = \frac{P \cdot L}{4}$$

$$M_{\max(P)} = \frac{72.75 \text{ kg} - f * 2 \text{ m}}{4}$$

$$M_{\max(P)} = 36.37 \text{ kg} - f * m$$

c) Momento total máximo

$$M_{\max} = M_{\max(w)} + M_{\max(P)}$$

$$M_{\max} = 0.433 \text{ kg} - f * m + 36.37 \text{ kg} - f * m$$

$$M_{\max} = 36.805 \text{ kg} - f * m$$

d) Reemplazando en la ecuación

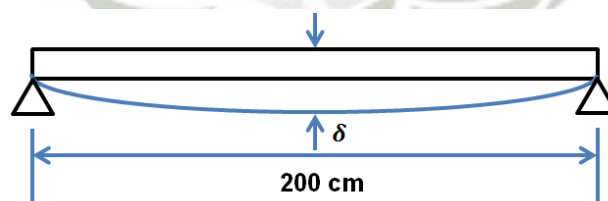
$$S_x \geq \frac{M_{\max}}{F_D}$$

$$S_x \geq \frac{3680.5 \text{ kg} - f * \text{cm}}{1521.82 \frac{\text{kg} - f}{\text{cm}^2}}$$

$$S_x \geq 2.42 \text{ cm}^3$$

$$2.75 \text{ cm}^3 \geq 2.42 \text{ cm}^3$$

e) Chequeo por deformación del perfil estructural



Formulas y condiciones:

- Deformación Permisible

$$\delta \leq \frac{L}{120}$$

$$\delta \leq \frac{200 \text{ cm}}{120}$$

$$\delta \leq 1.67 \text{ cm}$$

- De

$$\delta = \frac{5wL^4}{384 \cdot E \cdot I} + \frac{PL^3}{48 \cdot E \cdot I}$$

$$\delta = \frac{5(0.0173 \frac{\text{Kg} - f}{\text{cm}})(200\text{cm})^4}{384 \times 2.1 \times 10^6 \frac{\text{kg} - f}{\text{cm}^2} \times 5.49 \text{cm}^4} + \frac{72.75 \text{ kg} - f(200\text{cm})^3}{48 \times 2.1 \times 10^6 \frac{\text{kg} - f}{\text{cm}^2} \times 5.49 \text{cm}^4}$$

$$\delta = 0.0312 \text{ cm} + 1.051 \text{ cm}$$

$$\delta = 1.083 \text{ cm}$$

$$\delta = 1.08 \text{ cm} \leq 1.67 \text{ cm}$$

Selección del perfil estructural:

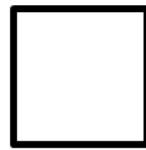
Para la selección del perfil estructural necesitamos realizar los cálculos para cada tamaño nominal y así poder encontrar el perfil más adecuado. Para poder realizar el cálculo correspondiente tomamos los valores de la tabla de propiedades para el perfil cuadrado, que lo encontramos en el anexo 1.

CUADRO Nº 32: SELECCIÓN DEL PERFIL ESTRUCTURAL

Tamaño Nominal		d	b	Ix=Iy	A	w	Sx=Sy	Mmax/FD	δ (cm)	δ ≤ $\frac{L}{120}$ cm
Pulgadas	Milímetros	mm	mm	cm4	cm2	Kg/m	cm3			
1x1	25x25	25	25	1.22	1.42	1.2	0.97	2.42	4.87	1.67
		25	25	1.48	1.9	1.49	1.19	2.415	4	1.67
		25	25	1.69	2.29	1.8	1.35	2.42	3.52	1.67
1 1/2x1 1/2	40x40	40	40	5.49	2.2	1.73	2.75	2.419	1.08	1.67
		40	40	6.94	2.95	2.32	3.47	2.429	0.87	1.67
		40	40	8.22	3.58	2.81	4.11	2.437	0.73	1.67

Fuente: Proyecto de Investigación

Autores: Ccamaque y Ortega

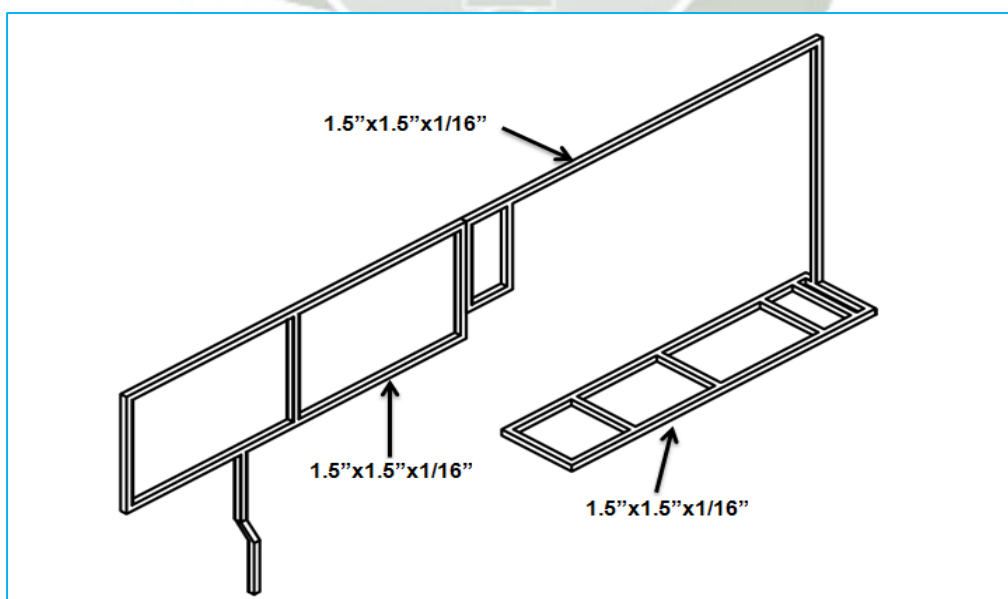


1.5 "x 1.5" x 3/16"
40mm x 40mm x 1.5 mm

Cumple el perfil tubular 1.5"x1.5"x1/16"

El cuadro anterior se obtiene hallando los valores para el método de diseño de esfuerzo permisibles, para cada tamaño nominal; de esta manera podemos seleccionar el perfil adecuado, el método de diseño de esfuerzos permisibles nos indica que el modulo elástico tiene que ser mayor a la resultado de la división entre el momento total máximo y el esfuerzo a la fluencia del material, en nuestro caso el A36. A la misma vez el método nos indica que la deformación del perfil estructural debe ser menor a la división entre la longitud de la viga entre 120. Así finalmente nosotros observamos en el cuadro anterior que el perfil más adecuado es: 40X40x1.5 que a su vez puede representarse en el sistema inglés: 1.5"x1.5"x1/16", ya que esta cumple con los parámetros que nos indica el método de esfuerzos permisibles

FIGURA Nº 63: ESTRUCTURA DEL MÓDULO CON LOS PERFILES SELECCIONADOS



Fuente: Proyecto de Investigación
Autores: Ccamaque y Ortega

3.5.6. Selección de las válvulas

La selección correspondiente de las válvulas para el módulo de bombeo de slurry debe cumplir con una serie de requisitos para su funcionalidad correcta y durabilidad de acuerdo a los siguientes parámetros a describir:

1. Rango de capacidad de caudal a bombear.
2. Los valores normales y límites de presión.
3. Característica de flujo y rango.
4. Límites de temperatura.
5. Propiedades del fluido.
6. Rango de pérdidas de presiones.
7. Tipo de conexiones de las válvulas.
8. Compatibilidad del material con la aplicación y durabilidad.

La selección la hemos realizado de acuerdo a las investigaciones y asesoramiento técnico y de acuerdo con el Anexo N°6, La válvula seleccionada es la de mariposa por tener las siguientes características técnicas como son: resistencia a la corrosión, gama de presiones, gama de temperaturas las cuales se muestran en la tabla N°50

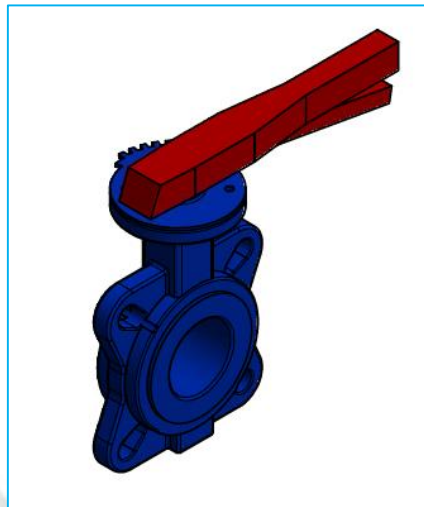
CUADRO N° 33: CARACTERÍSTICAS DEL LA VALVULA PARA EL MODULO DE BOMBEO DE SLURRY

Criterio de evaluación	Válvula de asiento	Válvula de mariposa	Válvula esférica	Válvula de compuerta
Resistencia a la corrosión	•	•••••	•••••	••
Resistencia al desgaste por abrasión	•	•••	••	••
Frecuencia de maniobra	•••••	••	••	••
Capacidad de regulación de los líquidos	•••••	••	•••	••
Capacidad de regulación de los gases y vapores	•••••	•	••••	•••••
Gama de presión	•••••	••••	•••••	•••••
Gama de temperatura	•••••	•••••	•••••	•••••
Empleo en vacío	•••••	••••	•••••	•••••
Cierre hermético contra gases, líquidos y sólidos	•••	••••	••••	•••
Pérdida de carga válvula 100% abierta	•••	•••••	•••••	•••••
Turbulencia del flujo mínima, válvula 100% abierta	•/••**	••••	••••	•••••
Turbulencia del flujo mínima, válvula semiabierta	•/••**	•••	•••	•••
Variedad de materiales en función de su aplicación	••••	•••••	••••	••
Altura compacta	•••	•••••	•••••	•
Proporción peso/tamaño	••	•••••	••	•

* válido para válvula de diafragma de asiento hondo ** válido para válvula de asiento inclinado
 •••••: significa que es completamente adecuada
 •: significa que no es adecuada

Fuente: Fabricante Baldor Italy Profesional

FIGURA N° 64: ESTRUCTURA DEL MÓDULO CON LOS PERFILES SELECCIONADOS



Fuente: Proyecto de Investigación
Autores: Ccamaque y Ortega

3.5.7. Selección de caudalimetro.

La selección correspondiente al medidor de caudal para el módulo de bombeo de slurry tiene una serie de parámetros a considerar como se describe:

1. Tipo de fluido si es newtoniano o no newtoniano
2. Tamaño de las partículas en suspensión
3. Rango de medición de caudal
4. Presión de proceso mínima y máxima
5. Temperatura de proceso mínima y máxima
6. Tamaño de la Tubería

La selección la hemos realizado de acuerdo a las investigaciones y asesoramiento técnicos y al Cuadro N°38 denominado tipo y características de diferentes medidores de caudal.

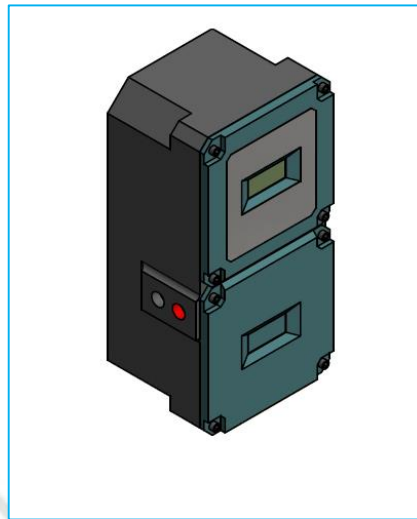
El caudalimetro seleccionado es de Electromagnético por tener las siguientes características técnicas como son: aplicaciones especiales en lodos, sólidos en suspensión, aplicación en minería, líquidos corrosivos.

CUADRO Nº 34: CARACTERÍSTICAS DEL CAUDALIMETRO PARA EL MODULO DE BOMBEO DE SLURRY (parte 1)

	Por efecto Coriolis Página 10	Electromagnético Página 14
Aplicaciones en líquidos:		
▪ líquidos en general (p. ej., agua)	✓✓	✓✓
▪ velocidades caudal muy pequeñas (< 2 l/h)	✓✓	✓✓
▪ velocidades de caudal muy elevadas (> 100 000 m³/h)	✗	✓✓
▪ líquidos no conductivos	✓✓	✗
▪ líquidos viscosos (> 50 cP)	✓✓	✓✓
▪ fluidos criogénicos (p.ej., oxígeno líquido)	✓✓	✗
▪ aplicaciones sanitarias	✓✓	✓✓
Aplicaciones en gases/vapor:		
▪ flujo de gases en general (p. ej., aire)	✓✓	✗
▪ gases húmedos/sucios (p. ej., e.g. biogás)	✗	✗
▪ velocidades de caudal pequeñas (< 20 l/min)	✓✓	✗
▪ velocidades de caudal elevadas	✓✓	✗
▪ vapor	✓	✗
Aplicaciones especiales:		
▪ lodos, sólidos en suspensión	✓	✓✓
▪ mezclas líquido/líquido (aceite/agua)	✓✓	✓
▪ mezclas líquido/gas (agua/aire)	✓	✓
▪ líquidos corrosivos (ácidos, álcalis)	✓✓	✓✓
▪ flujos de gas corrosivo (p. ej., vapor de HCl)	✓✓	✗
▪ aplicaciones en la minería (lechada de minerales)	✗	✓✓
▪ medición bidireccional (hacia delante y atrás)	✓✓	✓✓
▪ mediciones desde fuera sin interrumpir el proceso	✗	✗
Gama de aplicaciones		
▪ diámetros nominales	DN 1 a 400	DN 2 a 2.400
▪ presión de proceso	máx. 400 bar	máx. 40 bar
▪ temperatura de proceso	-50 a +350°C	-40 a +180°C

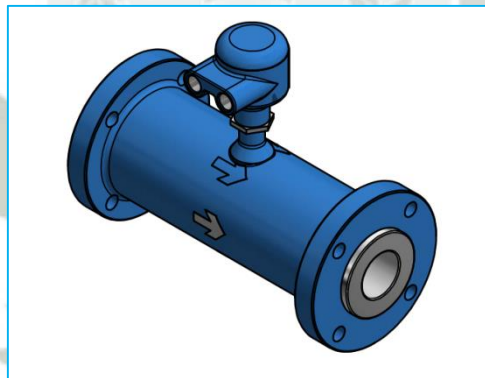
Fuente: Tecnología de medición de caudal
Autor: Endress + Hauser

**FIGURA N° 65: TRANSMISOR DEL CAUDALIMETRO ELECTROMAGNÉTICO DEL
MODULO DE BOMBEO DE SLURRY**



Fuente: Proyecto de Investigación
Autores: Ccamaque y Ortega

**FIGURA N° 66 SENSOR DEL CAUDALIMETRO ELECTROMAGNÉTICO DEL
MODULO DE BOMBEO DE SLURRY**



Fuente: Proyecto de Investigación
Autores: Ccamaque y Ortega

3.5.8. Selección de manómetro

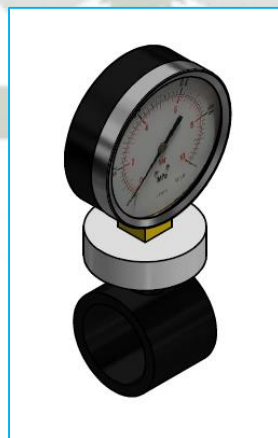
La selección correspondiente al medidor de manómetro para el módulo de bombeo de slurry tiene una serie de parámetros a considerar como se describe:

1. Propiedades del fluido a transportar
2. Temperatura del fluido
3. Condiciones ambientales
4. Rangos de presión de servicio
5. Conocer las condiciones que afectan al desgaste
6. Selección de indicadores para un servicio en particular
7. Seleccionar instrumentos robustos con características de seguridad apropiadas
8. Seleccionar un manómetro con la exactitud requerida
9. Seleccione un medidor con una esfera legible

La selección la hemos realizado de acuerdo a las investigaciones y asesoramiento técnicos según los tipos y características de diferentes medidores de presión

El manómetro seleccionado es un manómetro con diafragma por tener las siguientes características técnicas como son: aplicaciones especiales en lodos, sólidos en suspensión, aplicación en minería, líquidos corrosivos.

FIGURA Nº 67: MANÓMETRO DEL CAUDALIMETRO ELECTROMAGNÉTICO DEL MODULO DE BOMBEO DE SLURRY



Fuente: Proyecto de Investigación
Autores: Ccamaque y Ortega

3.5.9. Diseño del sistema eléctrico.

Tendremos dos partes importantes dentro de nuestro sistema eléctrico:

- a) Sistema Eléctrico de Potencia, diseñada encargada de la alimentación y control de la electrobomba así como también el del motorreductor.
- b) Sistema Eléctrico de Control; diseñada para controlar la secuencia de operaciones, como el encendido el apagado de la electrobomba y el motorreductor. Este circuito cumple una lógica secuencial de encendido y apagado.

3.5.9.1. Sistema Eléctrico de Potencia.

Encargado de alimentar y controlar el arranque y parada del motor eléctrico de la bomba y el motor eléctrico del reductor. Deberá estar en condiciones de proteger al operario durante la manipulación de los dispositivos; a los equipos, de cortocircuitos y de posibles sobrecargas que pudieran producirse durante las pruebas en el módulo de bombeo para slurries.

Seleccionamiento

Para poder realizar las pruebas en nuestro módulo de bombeo para slurries con total seguridad, las instalaciones, las máquinas y sus respectivos equipos eléctricos, deberán disponer de medios que permitan aislar eléctricamente los circuitos de potencia y de control de la red de alimentación general.

El seccionamiento consiste en aislar eléctricamente una instalación de su red de alimentación, según los criterios de seguridad que establecen las normas. “El seccionador es un aparato mecánico de conexión que en posición abierta cumple las prescripciones especificadas para la función de seccionamiento” [norma IEC 947-3].

Protección contra los cortocircuitos

Un cortocircuito es el contacto directo de dos puntos con potenciales eléctricos Distintos: contacto entre fases, entre fase y neutro o entre fases y masa conductora, El cortocircuito desencadena un brutal aumento de corriente que en milésimas de segundo puede alcanzar un valor cien veces superior al valor de la corriente de empleo. Los disyuntores magnéticos protegen los circuitos contra los cortocircuitos, dentro de los límites de su poder de corte a través de disparadores magnéticos (un disparador por fase).

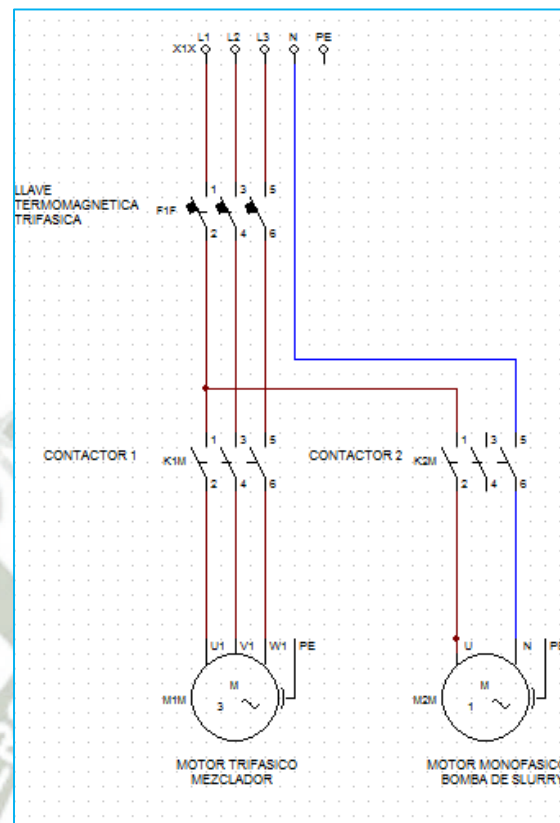
Protección contra las sobrecargas

Los fallos más habituales en las máquinas son las sobrecargas, que se manifiestan a través de un aumento de la corriente absorbida por el motor y de ciertos efectos térmicos.

Los relés térmicos de biláminas son los aparatos más utilizados para proteger los motores contra las sobrecargas débiles y prolongadas. Los relés térmicos no sólo nos protegen contra las sobrecargas sino que requieren una protección contra los mismos, por lo que es necesario asociarles un disyuntor o fusibles.

En la Figura N°68, se muestra el esquema de conexión para el sistema eléctrico de potencia, en el que el motor de la bomba (monofásico) y el motor del reductor (trifásico) cuentan con un elemento de protección contra cortocircuitos (llave termo magnética trifásica), y protección ante sobrecargas (relé térmico) y dos contactores las cuales serán accionados por el circuito de control.

FIGURA N° 68: SISTEMA ELÉCTRICO DE POTENCIA



Fuente: Proyecto de Investigación
Autores: Ccamaque y Ortega

3.5.9.2 Sistema Eléctrico de Control.

Este sistema tiene por función principal controlar el encendido y el apagado de los motores. Adicionalmente cuenta con otros dispositivos de protección tanto para el usuario, como para el sistema.

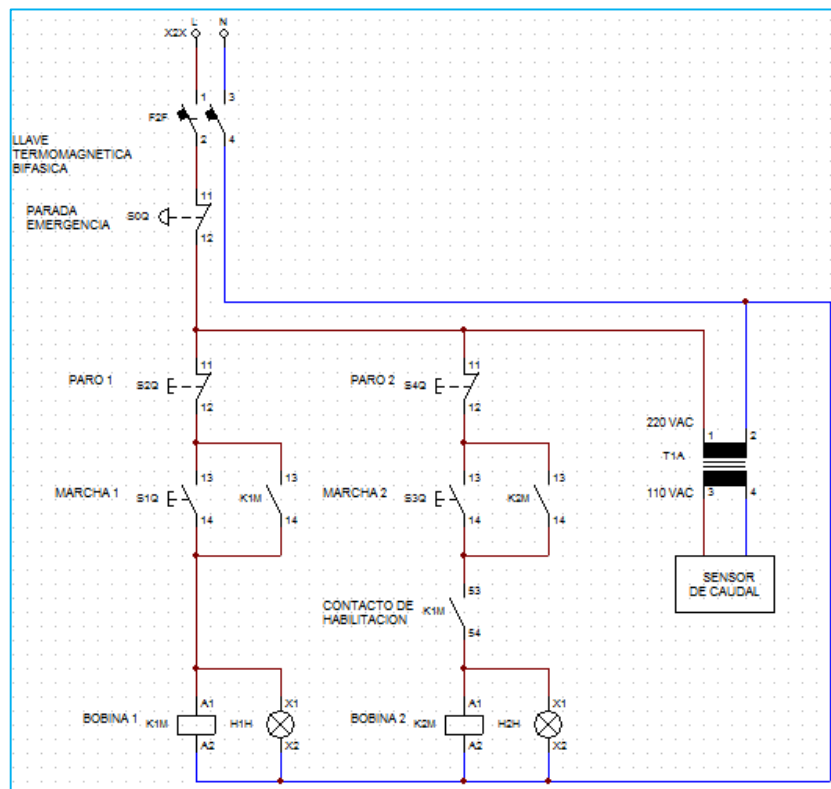
Descripción de los principales componentes:

a) Pulsadores:

- Dos pulsadores de encendido de los motores “S1Q” y “S3Q” (ver figura N° 69), para el arranque del motor trifásico del agitador y el motor monofásico de la bomba respectivamente.

- Dos pulsadores de parada de los motores “S2Q” y “S4Q” (ver figura N° 69), para el arranque del motor trifásico del agitador y el motor monofásico de la bomba respectivamente.
- b) Dos contactores para el motor trifásico del agitador y para el motor monofásico de la bomba, estas se mantendrán cerradas el circuito de fuerza siempre que la bobina K1M y K2M estén energizadas (ver figura N° 69),.
- c) Sistema de Protección de los Circuitos Eléctrico de Potencia y control:
 - Para el caso de presentarse una sobre corriente en el Circuito Eléctrico de Potencia, deberá activarse el disyuntor magnético “F1F” o “F2F” respectivamente (ver figura N° 69), abriendo el circuito dejara sin paso la alimentación de los motores
 - En caso de una sobrecarga el relé térmico es activado, des energizando al sistema al Circuito Eléctrico de Potencia y al el Circuito Eléctrico de Control.
- d) En caso se presente una emergencia y se necesiten detener las operaciones, se presiona “S0Q” (EMERGENCIA), con lo cual quedan des energizados todos los motores (ver figura N° 69).
- e) se incluye el conexionado del transformador monofásico de 220/110 V. para la alimentación del medidor de caudal.

FIGURA Nº 69: SISTEMA ELECTRICO DE CONTROL



Fuente: Proyecto de Investigación
Autores: Ccamaque y Ortega

3.5.9.3. Consideraciones para la construcción del sistema eléctrico

- El cableado eléctrico de los motores será realizado con el cable calibre 14 AWG para ambos motores (trifásico y monofásico).
- Es importante la conexión de las luces H1H y H2H de los pulsadores (pilotos), ya que indicaran el funcionamiento de los respectivos motores.
- Cabe mencionar que el circuito de control se rige bajo un sentido lógico, donde la consideración principal recae sobre agitador, ya que este no deberá dejar de funcionar durante la mezcla agua y arena. Por qué se podría correr con el riesgo de que la arena se sedimente y esté presente problemas en las paletas del agitador al momento de encenderse el motor de esta, ya que tendrá que romper una inercia muy alta y podría llegar a su fractura. Así también la arena sedimentada podría llegar a tapan la tubería de succión e imposibilitar el trabajo de la bomba. Siguiendo esta línea de


razonamiento es que se ha incluido un CONTACTO DE HABILITACIÓN, la bomba podrá encenderse si y solo si el agitador esta encendido.








- Se incluye el conexionado del transformador monofásico para el medidor de caudal. El transformador debe ir dentro del tablero para mayor seguridad.
- Cuando se haga las pruebas con las bombas verificar el consumo de corriente de los motores. Anteriormente Felipe comentaba que el motor monofásico calentaba bastante. Normalmente el calentamiento en los motores monofásicos es mayor que en el de los trifásicos. Se recomienda medir la corriente de consumo de los motores y verificar que no se superen los valores de placa.
- Debido a que se está empleando una bomba centrífuga común para el bombeo de slurry, se recomienda que el sistema no funcione por tiempos prolongados. Además, realizar una inspección periódica del impulsor de dicha bomba.

3.6. CONSTRUCCIÓN DEL MODULO DE BOMBEO PARA SLURRIES

La siguiente tabla contiene de manera dividida los materiales que han sido utilizados para la fabricación del módulo de bombeo de slurry, así tenemos:

CUADRO Nº 36: CARACTERISTICAS INDIVIDUALES DE LOS COMPONENTES DEL MODULO DE BOMBEO DE SLURRY







MATERIAL	FIGURA	DIMENSIONES	CARACTERÍSTICAS Y/O PROPIEDADES
Tubo ASTM A513 Cuadrado Tipo 2		1.1/2"X1.1/2"	Tubo electrosoldado fabricado con acero al carbono laminado en frío (LAF), utilizando el sistema de soldadura por resistencia eléctrica por inducción de alta frecuencia longitudinal (ERW). Las secciones de fabricación pueden ser redondas, cuadradas y rectangulares. VER ANEXO: 32

MATERIAL	FIGURA	DIMENSIONES	CARACTERÍSTICAS Y/O PROPIEDADES
Tornillo de acero cabeza redonda DIN 7985		1/8"-1/4" Longitud de esparrago: 3" Tipo de Cabeza: Redonda -Phillips 	Se denomina tornillo a un elemento u operador mecánico cilíndrico con una cabeza, generalmente metálico, aunque pueden ser de madera o plástico, utilizado en la fijación temporal de unas piezas con otras, que está dotado de una caña roscada con rosca triangular, que mediante una fuerza de torsión ejercida en su cabeza con una llave adecuada o con un destornillador, se puede introducir en un agujero roscado a su medida o atravesar las piezas y acoplarse a una tuerca
Tornillo Autorroscante DIN 7982		Tipo de Cabeza: Phillips 	Un tornillo autorroscante o tirafondos es un tipo de tornillo que tiene la capacidad de avanzar a medida que se hace girar, creando al mismo tiempo su propia rosca. Esta capacidad es a veces posible gracias a un vacío en la continuidad de la rosca del tornillo. Los bordes del tornillo cortan una rosca a medida que el tornillo va entrando dentro del material. La punta cortante perfora el material, dejando un agujero por el que pasa el tornillo.
Tuerca de acero DIN 934		1/8"-1/4"-5/16"	Una tuerca es una pieza con un orificio central, el cual presenta una rosca, que se utiliza para acoplar a un tornillo en forma fija o deslizante. La tuerca permite sujetar y fijar uniones de elementos desmontables. En ocasiones puede agregarse una arandela para que la unión cierre mejor y quede fija. Las tuercas se fabrican en grandes producciones con máquinas y procesos muy automatizados.
Arandela de acero DIN 1440		1/8"-1/4"-5/16"	Una arandela es un disco delgado con un agujero, por lo común en el centro. Normalmente se utilizan para soportar una carga de apriete. Entre otros usos pueden estar el de espaciador, de resorte, dispositivo indicador de precarga y como dispositivo de seguro.
Arandela de presión DIN 7980		1/8"-1/4"-5/16"	Las arandelas de presión es un disco delgado con un agujero en el centro, y con una abertura en un lado, con forma curvada hacia arriba y su función es hacer presión para que no se afloje el

MATERIAL	FIGURA	DIMENSIONES	CARACTERÍSTICAS Y/O PROPIEDADES
			tornillo.
Perno de Acero DIN 933		5/16" Longitud de esparrago: 2.5"	Pieza metálica larga de sección constante cilíndrica, normalmente hecha de acero o hierro. Está relacionada con el tornillo pero tiene un extremo de cabeza redonda, una parte lisa, y otro extremo roscado para la chaveta, tuerca, o remache, y se usa para sujetar piezas en una estructura, por lo general de gran volumen.
Varilla Roscada DIN 975		3/8"	Estos herrajes se usan para montar y/o fijar otros elementos; son de servicio continuo. Están formados por un cuerpo cilíndrico roscado.
Garrucha		4" de diámetro	Ruedas en goma standard, dureza 83 Shore A, núcleo conseguido por remachado de dos llantas de chapa zincadas electrolíticamente. Soportes industriales (NL).
Muebles en Melamina		Soporte de la tubería	La melamina es una molécula que se utiliza como base en los procesos de síntesis para fabricar resinas, plásticos o pegamentos. También es muy característica por tener una variedad de textura, la melamina se puede encontrar en textura rugosa, lisa, con mate o brillo. Para evitar el deterioro de los materiales con el paso del tiempo se está optando por aquellos materiales poli laminados, los cuales son muy flexibles para la moldura.
Tubería de PVC		2" de diámetro	Tubería para agua VER:ANEXO 4
Codos de PVC		Codos de PVC de 90°	Accesorios para agua según NTP 399.166:2008 (2013) son fabricados en diámetros de 1/2" hasta 2" para una presión de trabajo de 10 Bar. Las roscas usadas son NPT. VER:ANEXO 9

MATERIAL	FIGURA	DIMENSIONES	CARACTERÍSTICAS Y/O PROPIEDADES
Manguera transparente		1 metro	
Unión universal		2" de diámetro	Accesorios para agua según NTP 399.166:2008 (2013) son fabricados en diámetros de ½" hasta 2" para una presión de trabajo de 10 Bar. Las roscas usadas son NPT. VER:ANEXO 11
Unión de PVC		2" de diámetro	Accesorios para agua según NTP 399.166:2008 (2013) son fabricados en diámetros de ½" hasta 2" para una presión de trabajo de 10 Bar. Las roscas usadas son NPT. VER:ANEXO 10
Niple de PVC		2" de diámetro	Accesorios para agua según NTP 399.166:2008 (2013) son fabricados en diámetros de ½" hasta 2" para una presión de trabajo de 10 Bar. Las roscas usadas son NPT.
Abrazaderas metálicas		63 mm de diámetro	Abrazadera de doble pie, presenta un recubrimiento zincado mayores a 5 micras. VER:ANEXO 13
Abrazaderas		1 1/8" a 2" de diámetro	Abrazadera sin fin, su recubrimiento es zincado, teniendo un zincado mayor a 5 micras, esta tiene un tornillo con arandela estampada, para facilitar el apriete del tornillo. VER:ANEXO 14
Tacos de madera		7 unidades	

MATERIAL	FIGURA	DIMENSIONES	CARACTERÍSTICAS Y/O PROPIEDADES
Abrazadera de PVC		2" de diámetro	Abrazadera que se adapta al diámetro exterior de la tubería, está diseñada para tuberías según normas ISO, consta de dos partes una montura inferior y otra superior. VER:ANEXO 12
Manómetro		3 unidades	Manómetro tipo diafragma, tiene una escala de 0-7 Bar. La posición de la tomas son dos; siendo estas para tubos horizontales y para tubos verticales. El modulo cuenta con 2 de posición horizontal y una de posición vertical.
Sensor del caudalímetro		1 unidad	Sensor del caudalímetro electromagnético, esta el caudal que pasa a través de esta misma.
Transmisor del caudalímetro		1 unidad	El transmisor del cudalímetro electromagnético muestra mediante su display el caudal instantáneo que pasa a través del sensor.
Brida de PVC		6 unidades	Accesorios para agua según NTP 399.166:2008 (2013) son fabricados en diámetros de 1/2" hasta 2" para una presión de trabajo de 10 Bar. Las roscas usadas son NPT. VER:ANEXO 15
Manguito enlace rosca hembra de PVC		2 unidades	VER:ANEXO 16

MATERIAL	FIGURA	DIMENSIONES	CARACTERÍSTICAS Y/O PROPIEDADES
Electrobomba		1 unidad	Electrobomba centrífuga, de la marca BALDOR, tienen una alimentación monofásica 220V. VER:ANEXO 2
Enchufe trifásico		1 unidad	Enchufe trifásico Macho 3P +N+T. consta de un clavija macho para tomas 3P+T VER:ANEXO 17
Cable de 4 polos		12 metros	Cordón vulcanizado 14 AWG de cuatro polos INDECO
Tablero de control		40x50x20 cm	Los tableros eléctricos son equipos pertenecientes a los sistemas eléctricos, esta tiene una fabricación estándar de chapa de acero. la función que desempeña en nuestro modulo es como un tablero de control.
Pulsadores de marcha y parada		2 unidades	Componente de control que nos permiten el encendido y apagado del los equipos como la bomba centrífuga y el moto reductor. VER:ANEXO 18
Pulsador de parada de emergencia		1 unidad	Componente de control que nos permite la parada total del sistema, ante una eventualidad de peligro o fatalidad. VER:ANEXO 19

MATERIAL	FIGURA	DIMENSIONES	CARACTERÍSTICAS Y/O PROPIEDADES
Llave trifásica		1 unidad	Llave electromagnética trifásica de 40 amperios. esta se utiliza para el circuito de fuerza. VER:ANEXO 20
Llave monofásica		1 unidad	Llave monofásica de 32 amperios. Esta se utiliza para el circuito de control de nuestro sistema. VER:ANEXO 20
contactores		2 unidades	Contactores, estas nos permiten básicamente controlar encendido y apagado, la cual tiene peculiaridad de ser activada a distancia. VER:ANEXO 21
Relé térmico		2 unidades	Estos relés están destinados a la protección de motores. Están compensados y son sensibles a una pérdida de fase. El rearme puede ser manual o automático. VER:ANEXO 22
Conductor eléctrico AWG 14		150 metros	Alambre sólido de cobre cubierto con un aislamiento plástico para evitar que entre en contacto con algún otro alambre, objeto metálico o persona. VER:ANEXO 23
Borneras		15 unidades	Ahorro espacio por construcción compacta. Cableado cómodo en espacios estrechos. El receptáculo de conexión grande permite la conexión de conductores rígidos y flexibles sin puntera, también mediante secciones nominales. VER:ANEXO 24
Conectores rectos de PVC		4 unidades	Sirve para facilitar la conexión de la tubería corrugada de PVC con la tablero de control. VER:ANEXO 25

MATERIAL	FIGURA	DIMENSIONES	CARACTERÍSTICAS Y/O PROPIEDADES
Tubería corrugada de PVC		16 metros	Una tubería corrugada es un sistema de tubería que se usa para la protección y el enrutamiento del cableado eléctrico. El conducto eléctrico puede estar hecho de metal, plástico, fibra o barro cocido. VER:ANEXO 26
riel		40 cm.	Un carril DIN o rail DIN es una barra de metal normalizada. Es muy usado para el montaje de elementos eléctricos de protección y mando, tanto en aplicaciones industriales como en viviendas. VER:ANEXO 27
Base adhesiva porta cintillo		100 unidades	Proveen un método efectivo y económico de soportar, en rutar y proteger cables. Diseñada para soportar pesos ligeros. VER:ANEXO 28
Cintas de sujeción de cables		100 unidades	Generalmente usados para la organización de cables, y con muchas otras aplicaciones en el hogar y la oficina. VER:ANEXO 29

Fuente: Proyecto de Investigación

Autores: Ccamaque y Ortega

CAPÍTULO IV

DISEÑO Y APLICACIÓN DE LAS GUÍAS PRÁCTICAS PARA EL MÓDULO DE BOMBEO DE SLURRY

4.1. INTRODUCCIÓN

En el presente Proyecto de Tesis de Bombeo de Slurry nació de necesidad de poder plasmar la teoría con la práctica en este tipo de fluidos no newtonianos. Nuestra Escuela no contaba con este tipo de modulo, de ahí se ideó el proyecto de bombeo de slurry donde procedimos a desarrollar el proyecto preliminar y en consultas con la Dirección de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica –Eléctrica y Mecánica nos dio el pase de ejecución como diseño y como implementación del módulo.

Debemos indicar en el proceso de ejecución del proyecto hemos aplicado los conceptos enseñados en nuestra alma mater tales como: Diseño, selección, montaje, pruebas de funcionamiento para que todo quede en forma integral del buen funcionamiento del módulo y lo utilicen nuestros compañeros para su formación profesional.

4.2. PRUEBAS REALIZADAS EN EL MODULO DE BOMBEO DE SLURRY

Las pruebas fueron realizadas en el taller del programa profesional de ingeniería mecánica eléctrica, en este apartado se mostrara los datos tomados durante las pruebas, pruebas realizadas con un módulo completamente desarrollado.

CUADRO N° 37: DATOS DE LA PRIMERA PRUEBA Y OBTENCIÓN DE FACTOR DE FRICCIÓN

N°	Q (Lt/min)	Q (m ³ /min)	hf(m)	L (m)	D (m)	g (m ² /seg)	F. Friccion
1	450	0.0075	0.5	5	0.0508	9.81	f1 = 0.0072717
2	380	0.006333333	0.36	5	0.0508	9.81	f2 = 0.0073422
3	180	0.003	0.0966	5	0.0508	9.81	f3 = 0.0087805
4	70	0.001166667	0.05	5	0.0508	9.81	f4 = 0.0300513

Fuente: Proyecto de Investigación

Autores: Ccamaque y Ortega

Primera prueba en la que se tomaron los datos de Caudal, Presión, Longitud, y Diámetro del módulo de bombeo de slurry, con los cuales aplicando la fórmula de Darcy – Weisbach, obtenemos los valores para el factor de fricción para diferentes caudales y para la diferencia entre la presión uno y presión dos, de nuestro módulo de Bombeo de Slurry.

CUADRO N° 38: DATOS DE LA SEGUNDA PRUEBA Y OBTENCIÓN DE FACTOR DE FRICCIÓN

N°	Q (Lt/min)	Q (m ³ /min)	hf(m)	L (m)	D (m)	g (m ² /seg)	F. Friccion
1	470	0.007833333	0.5	5	0.0508	9.81	f1 = 0.006666
2	350	0.005833333	0.36	5	0.0508	9.81	f2 = 0.0086548
3	160	0.002666667	0.0966	5	0.0508	9.81	f3 = 0.0111129
4	85	0.001416667	0.05	5	0.0508	9.81	f4 = 0.0203808

Fuente: Proyecto de Investigación

Autores: Ccamaque y Ortega

Segunda prueba en la que se tomaron los datos de Caudal, Presión, Longitud, y Diámetro del módulo de bombeo de slurry, con los cuales aplicando la fórmula de Darcy - Weisbach obtenemos los valores para el factor de fricción para diferentes caudales y para la diferencia entre la presión uno y presión dos, de nuestro módulo de Bombeo de Slurry, como se puede observar los valores de caudal son muy diferentes a los de nuestra primera prueba.

CUADRO N° 39: DATOS DE LA TERCERA PRUEBA Y OBTENCIÓN DE FACTOR DE FRICCIÓN

N°	Q (Lt/min)	Q (m ³ /min)	hf(m)	L (m)	D (m)	g (m ² /seg)	F. Friccion
1	435	0.00725	0.5	5	0.0508	9.81	f1 = 0.0077818
2	365	0.006083333	0.36	5	0.0508	9.81	f2 = 0.007958
3	174	0.0029	0.0966	5	0.0508	9.81	f3 = 0.0093965
4	90	0.0015	0.05	5	0.0508	9.81	f4 = 0.0181792

Fuente: Proyecto de Investigación
Autores: Ccamaque y Ortega

Tercera prueba en la que se tomaron los datos de Caudal, Presión, Longitud, y Diámetro del módulo de bombeo de slurry, con los cuales aplicando la fórmula de Darcy - Weisbach obtenemos los valores para el factor de fricción para diferentes caudales y para la diferencia entre la presión uno y presión dos, de nuestro módulo de Bombeo de Slurry, como se puede observar los valores de caudal son muy diferentes a los de nuestra primera prueba y segunda prueba.

CUADRO N° 40: DATOS DEL CAUDAL MÁXIMO DE LAS PRUEBAS REALIZADAS DE LOS CUADROS 41, 42 Y 43

N°	Q (Lt/min)	Q (m ³ /min)	hf(m)	L (m)	D (m)	g (m ² /seg)	F. Friccion
1	470	0.007833333	0.5	5	0.0508	9.81	f1 = 0.006666
2	450	0.0075	0.5	5	0.0508	9.81	f2 = 0.0072717
3	435	0.00725	0.5	5	0.0508	9.81	f3 = 0.0077818

Fuente: Proyecto de Investigación
Autores: Ccamaque y Ortega

De las tres pruebas anteriores nosotros tomamos muestras de los caudales con mayor valor para que luego nosotros podamos obtener factor de fricción para dichos caudales.

CUADRO N° 41: PROMEDIOS DEL CAUDAL Y DEL FACTOR DE FRICCIÓN DEL CUADRO 44

Q promedio	f promedio
452	0.00723982

CUADRO N° 42: CAUDAL INTERMEDIO PROMEDIO DE NUESTRAS PRUEBAS REALIZADAS DE LOS CUADROS 41,42 Y 43

N°	Q (Lt/min)	Q (m ³ /min)	hf(m)	L (m)	D (m)	g (m ² /seg)	F. Friccion
1	380	0.006333333	0.36	5	0.0508	9.81	f1 = 0.0073422
2	365	0.006083333	0.36	5	0.0508	9.81	f2 = 0.007958
3	350	0.005833333	0.36	5	0.0508	9.81	f3 = 0.0086548

Fuente: Proyecto de Investigación

Autores: Ccamaque y Ortega

De las tres pruebas anteriores nosotros tomamos muestras de los caudales intermedios para que luego nosotros podamos obtener factor de fricción para dichos caudales.

CUADRO N° 43: PROMEDIOS DEL CAUDAL Y DEL FACTOR DE FRICCIÓN DEL CUADRO 46

Q promedio	f promedio
365	0.007985

Según el cuadro N°06 nosotros determinamos un caudal promedio como también un factor de fricción promedio.

CUADRO N° 44: CAUDAL INTERMEDIO PROMEDIO DE NUESTRAS PRUEBAS REALIZADAS DE LOS CUADROS 41,42 Y 43

N°	Q (Lt/min)	Q (m ³ /min)	hf(m)	L (m)	D (m)	g (m ² /seg)	F. Friccion
1	180	0.003	0.0966	5	0.0508	9.81	f1 = 0.0087805
2	174	0.0029	0.0966	5	0.0508	9.81	f2 = 0.0093965
3	160	0.002666667	0.0966	5	0.0508	9.81	f3 = 0.0111129

Fuente: Proyecto de Investigación

Autores: Ccamaque y Ortega

De las tres pruebas anteriores nosotros tomamos muestras de los caudales intermedios para que luego nosotros podamos obtener factor de fricción para dichos caudales.

CUADRO Nº 45: PROMEDIOS DEL CAUDAL Y DEL FACTOR DE FRICCIÓN DEL CUADRO 58

Q promedio	f promedio
171	0.00976332

Según el cuadro nosotros determinamos un caudal promedio como también un factor de fricción promedio.

CUADRO Nº 46: CAUDAL MINIMO PROMEDIO DE NUESTRAS PRUEBAS REALIZADAS DE LOS CUADROS 41,42 Y 43

Nº	Q (Lt/min)	Q (m ³ /min)	hf(m)	L (m)	D (m)	g (m ² /seg)	F. Friccion
1	90	0.0015	0.05	5	0.0508	9.81	f1 = 0.0181792
2	85	0.001416667	0.05	5	0.0508	9.81	f2 = 0.0203808
3	70	0.001166667	0.05	5	0.0508	9.81	f3 = 0.0300513

Fuente: Proyecto de Investigación

Autores: Ccamaque y Ortega

De las tres pruebas anteriores nosotros tomamos muestras de los caudales con mínimo valor para que luego nosotros podamos obtener factor de fricción para dichos caudales.

CUADRO Nº 47: PROMEDIOS DEL CAUDAL Y DEL FACTOR DE FRICCIÓN DEL CUADRO 50

Q promedio	f promedio
82	0.02287043

Según el cuadro N°50 nosotros determinamos un caudal promedio como también un factor de fricción promedio.

CUADRO Nº 48: PROMEDIOS DEL CAUDAL Y DEL FACTOR DE FRICCIÓN DE LOS CUADROS

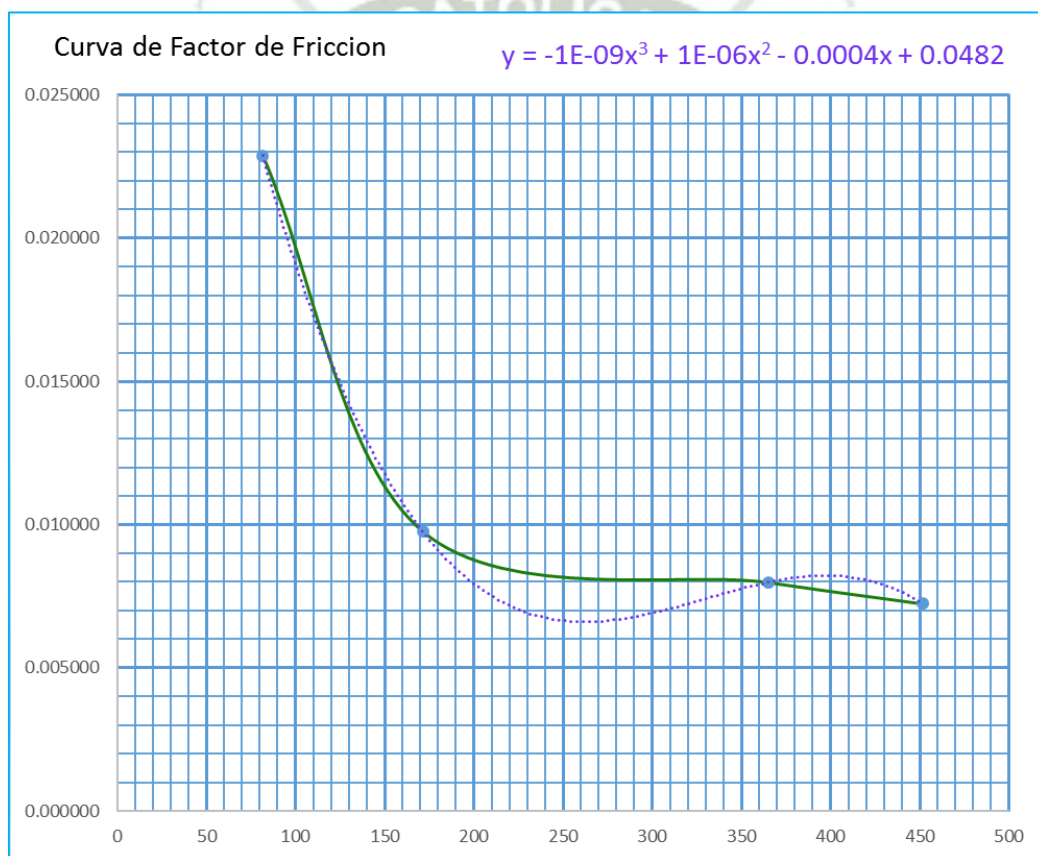
Q promedio	f promedio
452	0.007240
365	0.007985
171	0.009763
82	0.022870

Fuente: Proyecto de Investigación

Autores: Ccamaque y Ortega

Con los datos del cuadro 52, en el que se muestra el caudal promedio de las pruebas y el factor de fricción promedio de las pruebas realizaremos el grafico que se muestra en la figura N° 70, mediante este grafico pretendemos estimar el valor de la fricción teniendo el valor del caudal como dato, es la razón de cómo se obtuvieron los valores del cuadro, todas estas salieron de promedios de pruebas realizadas, para así tener una mejor estimación del valor real experimental. Cabe notar que esta curva solo será usada para condiciones similares de trabajo.

FIGURA N° 70: CURVA DE FACTOR DE FRICCIÓN PARA SLURRY



Fuente: Proyecto de Investigación
Autores: Ccamaque y Ortega

Calculo del factor de fricción mediante el modelo matemático.

Concentración en volumen

$$C_v = \frac{V_{sol}}{V_{sol} + V_{H2O}}$$

$$C_v = \frac{2}{2 + 3}$$

$$C_v = 0.4$$

Factor de arrastre (F_L)

$$F_L = 3.332 \times C_v^{0.21}$$

$$F_L = 3.332 \times 0.4^{0.21}$$

$$F_L = 2.74$$

Densidad Relativa de los sólidos (S_s)

$$S_s = \frac{\rho_{arena}}{\rho_{H2O}}$$

$$S_s = \frac{1450 \text{ kg} - \text{m}/\text{m}^3}{1000 \text{ kg} - \text{m}/\text{m}^3}$$

$$S_s = 1.45$$

Velocidad Crítica

$$V_c = F_L \sqrt{2 \cdot g(D(S_s - 1)) \cdot \left(\frac{d_{50}}{D}\right)^{\frac{1}{6}}}$$

$$V_c = 2.74 \sqrt{2 \times 9.81(0.0508(1.45 - 1)) \cdot \left(\frac{0.0015}{0.0508}\right)^{\frac{1}{6}}}$$

$$V_c = 1.02 \frac{\text{m}}{\text{seg}}$$

Caudal

$$Q = V_m \cdot A$$

Para nuestro diseño consideraremos un 50% del caudal máximo que nos indica en placa por tratarse de bomba de slurry.

$$Q_{placa} = 600 \frac{Lt}{min} \quad Q_{placa\ 50\%} = 0,5 \times 600 \frac{Lt}{min}$$

$$Q_{placa\ 50\%} = 300 \frac{Lt}{min} \cdot \frac{0.001 m^3}{1 Lt} \cdot \frac{1 min}{60 seg}$$

$$Q_{placa\ 50\%} = 5 \times 10^{-3} \frac{m^3}{seg}$$

$$A = \frac{\pi x D^2}{4} = \frac{\pi x 0.0508^2}{4} = 0.00202 m^2$$

$$V_m = \frac{Q}{A} = \frac{5 \times 10^{-3} \frac{m^3}{seg}}{0.00202 m^2} = 2,47 \frac{m}{seg}$$

Comparando entre la velocidad media y la velocidad critica

$$V_m > V_c$$

$$2,47 \frac{m}{seg} > 1,02 \frac{m}{seg}$$

Viscosidad absoluta de pulpas con altas $C_V \geq 20\%$

Para altas concentraciones, thomas (1965) según la formula

$$\frac{\mu_m}{\mu} = 1 + 2,5C_V + 10,05C_V^2 + 0,00273 \cdot e^{16.6C_V}$$

$$\mu_m = (1 + 2,5(0,4) + 10,05(0,4^2) + 0,00273 \cdot e^{16.6(0,4)}) 0,001003 \frac{kg - m}{m \cdot seg}$$

$$\mu_m = 5,714 \times 10^{-3} \frac{kg - m}{m \cdot seg}$$

Arquímedes

$$A_r = \frac{\rho_s \cdot g \cdot L^3 (\rho_s - \rho_{H2O})}{\mu_m^2}$$

$$A_r = \frac{1450 \frac{kg - m}{m^3} \cdot 9,81 \frac{m}{seg^2} \cdot 0.0015^3 (1450 \frac{kg - m}{m^3} - 1000 \frac{kg - m}{m^3})}{(5,714 \times 10^{-3} \frac{kg - m}{m \cdot seg})^2}$$

$$A_r = 661.67$$

$A_r > 1$ Fluido sedimentario

Numero de Reynolds para slurry Sedimentario

$$NRe_m = \frac{V_d \cdot D \cdot S_m}{\mu_r \cdot V_{H2O}}$$

$$S_m = 1 + \frac{C_v}{100} (S_s - 1)$$

$$S_m = 1 + \frac{40}{100} (1.45 - 1)$$

$$S_m = 1.18$$

$$\frac{\mu_m}{\mu} = \mu_r = 1 + 2,5C_v + 10,05C_v^2 + 0,00273 \cdot e^{16,6C_v}$$

$$\mu_r = (1 + 2,5(0,4) + 10,05(0,4^2) + 0,00273 \cdot e^{16,6(0,4)})$$

$$\mu_r = 5.69$$

$$NRe_m = \frac{2,47 \frac{m}{seg} \cdot 0,0508 m \cdot 1.18}{5,69 \cdot 1,003 \times 10^{-6} \frac{m^2}{seg}}$$

$$NRe_m = 25898.04$$

Factor de fricción utilizando la Formula de Colebrock

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 4 \log \left(\frac{D}{2 \varepsilon} \right) + 3.48 - 4 \log \left(1 + \frac{9,35 \cdot D}{2 \cdot \varepsilon \cdot NRe \sqrt{f}} \right)$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 4 \log \left(\frac{0,0508 m}{2,1,5 \times 10^{-6} m} \right) + 3.48 - 4 \log \left(1 + \frac{9,35 \cdot 0,0508 m}{2,1,5 \times 10^{-6} m \cdot 25898.04 \sqrt{f}} \right)$$

$$f = 0.00610$$

Comparación del factor de fricción hallado por el método matemático vs el factor de fricción hallado por el método experimental.


Valor del factor de fricción por análisis matemático	Valor factor de fricción por ensayo de laboratorio
0.00610	0.008

$$\%e = \frac{0.008 - 0.0061}{0.008} * 100\% == 23.75\%$$

Claramente en el anterior cuadro se compara y se calcula el porcentaje de error entre el factor de fricción por análisis matemático y el valor de factor de fricción por ensayo de laboratorio, donde el porcentaje de error es del 23.75%.



4.3. GUÍA DE PRACTICA N°1 ANÁLISIS DE GRANULOMETRIA, OBTENCIÓN DEL DIÁMETRO EFECTIVO Y DENSIDAD RELATIVA DEL SLURRY.

	Universidad Católica de Santa María	“Módulo de Bombeo de Slurries para la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica –Eléctrica y Mecatrónica- UCSM.”	Fecha de la Prueba: 18/04/16	
Título De la Prueba: ANÁLISIS DE GRANULOMETRIA, OBTENCIÓN DEL DIÁMETRO EFECTIVO Y DENSIDAD RELATIVA DEL SLURRY			Prueba N°	1
Apellidos y Nombres:		Ccamaque Cuti, Flavio Cesar Ortega Rimachi, Felipe		



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECÁNICA-ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA

ANÁLISIS DE GRANULOMETRIA, OBTENCIÓN DEL DIÁMETRO EFECTIVO Y DENSIDAD RELATIVA DEL SLURRY

1. OBJETIVOS

- Aprender los diferentes porcentajes de concentración en peso y en volumen de los slurry o pulpas a bombear.
- Obtener las muestras de slurry a través del procedimiento su diámetro efectivo de las partículas para un sesenta y cincuenta por ciento acumulada.
- Determinar por medio del cálculo respectivo del número adimensional de Arquímedes si el slurry es depositante o no depositante.
- Obtener por medio de formulación respectiva la densidad relativa de la mezcla.

2. PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

a. Materiales y equipo

Materiales

- Arena y grava

Equipo

- Balanza de 1 KG de capacidad y 0.1 de precisión
- Juego de mallas o tamices N° 16 14 12 10 9 8 7, charola de fondo y tapa.
- 500g de arena cuarteada
- Brochuelo de cerda y cepillo de alambre
- Brocha pequeña

b. Procedimiento para “ensayo estándar de material más fino que la malla n°7 en agregado mineral por lavado”

- Saque una muestra de arena, esta debe tener un peso inicial.
- Superponer las mallas que restan de mayor a menor el diámetro de abertura. Verter la muestra en la malla superior.
- Sacudir de manera uniforme por el espacio de 10 minutos
- Pesar las porciones retenidas en cada malla en charolas y pesar dichas cantidades retenidas. Al retirar cada porción del tamiz que le corresponde, se debe tener el cuidado de dejar limpia las mallas, para esto se utiliza el cepillo y la brocha pequeño.
- Registrar los datos en la tabla de resultados.
- Calcular el porcentaje de error de la prueba no sea mayor que 2%

c. Clasificación de la muestra de arena a través del tamizado

Material: Arena

Peso inicial de la muestra: 500 g

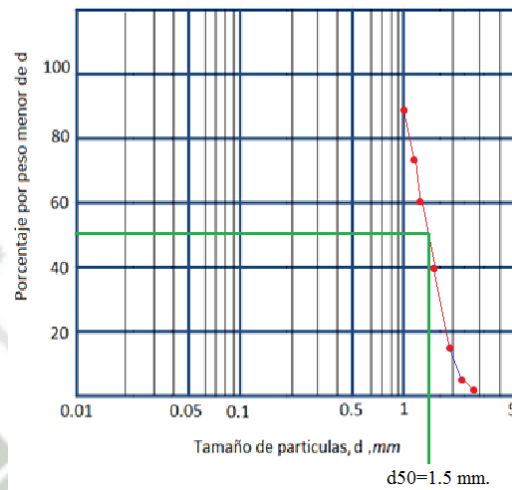
Malla N°	Abertura (mm)	Peso retenido (g)	% retenido		% acumulado que pasa
			Parcial	Acumulada	
16	0.991	59.1	11.82	11.8	88.18
14	1.168	63.2	12.64	24.5	75.4
12	1.397	77	15.4	39	60.14
10	1.651	101.4	20.28	60.1	39.86
9	1.981	112.3	22.68	82.2	17.18
8	2.362	68.2	13.64	96.5	3.54
7	2.794	12.7	2.54	99	1
Pasa la N° 7		5	1	100	0
suma	W final = 498.9		100		

Fuente: Proyecto de Investigación

Autores: Ccamaque y Ortega

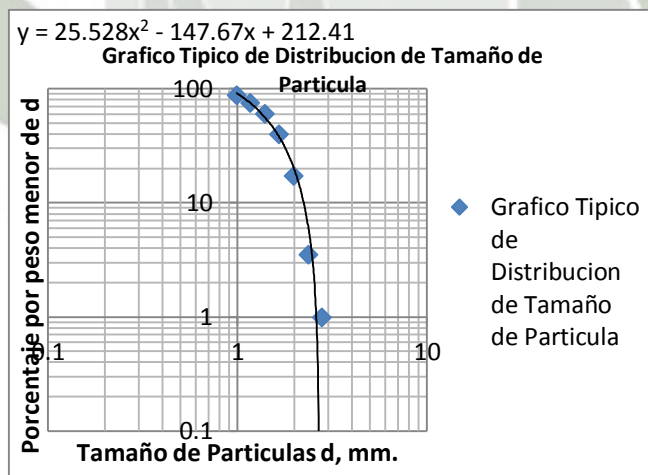
d. Grafica en papel logarítmico el tamizado de la arena.

Grafica Típico de Distribución de Tamaño de Partícula



Fuente: Proyecto de Investigación
Autores: Ccamaque y Ortega

Grafica Típico de Distribución de Tamaño de Partícula realizado en el Excel



Fuente: Proyecto de Investigación
Autores: Ccamaque y Ortega

e. Obtener el diámetro de partícula= D50

El Diámetro de partícula se puede obtener de la manera gráfica siendo esta el valor de: 1.5 mm

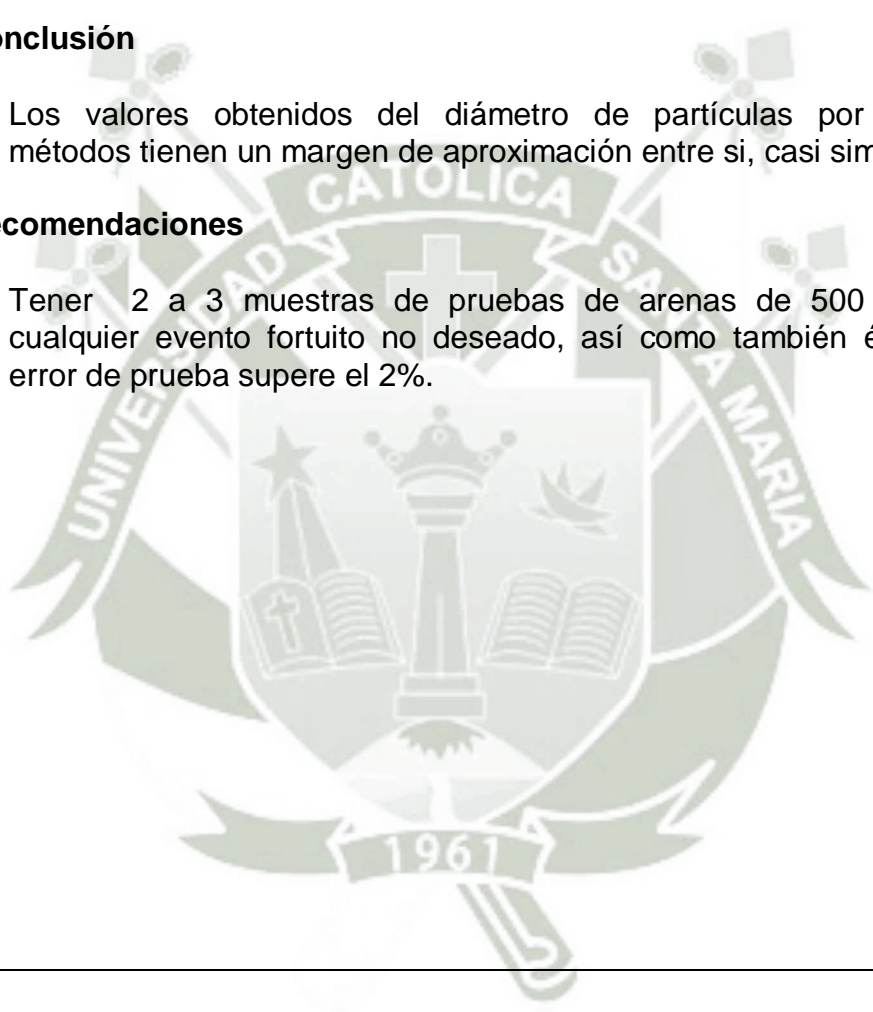
El diámetro de partícula también se puede obtener de la manera matemática, con la ayuda del Excel, donde reemplazaremos el valor de $y=50$ y obteniendo el valor de X, donde x será tamaño de partícula en mm. Finalmente tendremos que $D50=1.476$ mm

3. Conclusión


- Los valores obtenidos del diámetro de partículas por ambos métodos tienen un margen de aproximación entre si, casi similar.

4. Recomendaciones

- Tener 2 a 3 muestras de pruebas de arenas de 500 g para cualquier evento fortuito no deseado, así como también el % de error de prueba supere el 2%.



4.4. GUÍA DE PRACTICA N°2: CURVA CARACTERÍSTICA DE LA ELECTROMBA PARA AGUA Y SLURRY

	Universidad Católica de Santa María	“Módulo de Bombeo de Slurries para la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica –Eléctrica y Mecatrónica- UCSM.”	Fecha de la Prueba: 25/04/16	
Título De la Prueba: CURVA CARACTERÍSTICA DE LA ELECTROMBA PARA AGUA Y SLURRY			Prueba N°	2
Apellidos y Nombres:		Ccamaque Cuti, Flavio Cesar		
		Ortega Rimcahi; Luis Felipe		



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECÁNICA-ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA

CURVA CARACTERÍSTICA DE LA ELECTROBOMBA PARA AGUA Y SLURRY

1. OBJETIVOS

- Familiarizarse con el módulo de bombeo de Slurry, su finalidad e importancia para el proceso enseñanza aprendizaje de los alumnos de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica – Eléctrica y Mecatrónica.
- Conocer del Módulo de Bombeo de Slurry así como sus componentes y sus parámetros de funcionamiento y la interacción de estos.
- Realizar el ensayo en el Módulo de Bombeo de Slurry de la curva característica del slurry caudal versus altura.
- Comparar la curva característica de la electrobomba para agua y la curva característica del slurry.

2. DESCRIPCIÓN DEL MÓDULO DE BOMBEO DE SLURRY

El Modulo de Bombeo de Slurry es un prototipo de fabricación peruana inglesa, y está ubicado en el Laboratorio de Máquinas Térmicas e Hidráulicas de la Escuela de Ingeniería Mecánica.

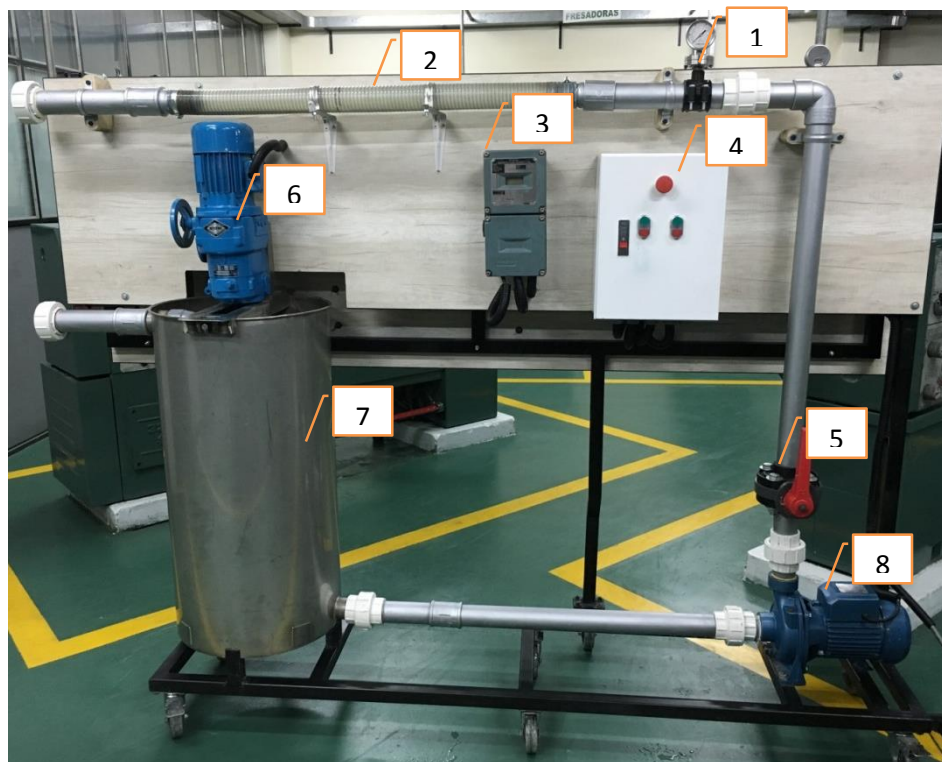
Las características técnicas del banco son las siguientes:

FIGURA Nº 71: MODULO DE BOMBEO DE SLURRY



Fuente: Proyecto de Investigación
Autores: Ccamaque y Ortega

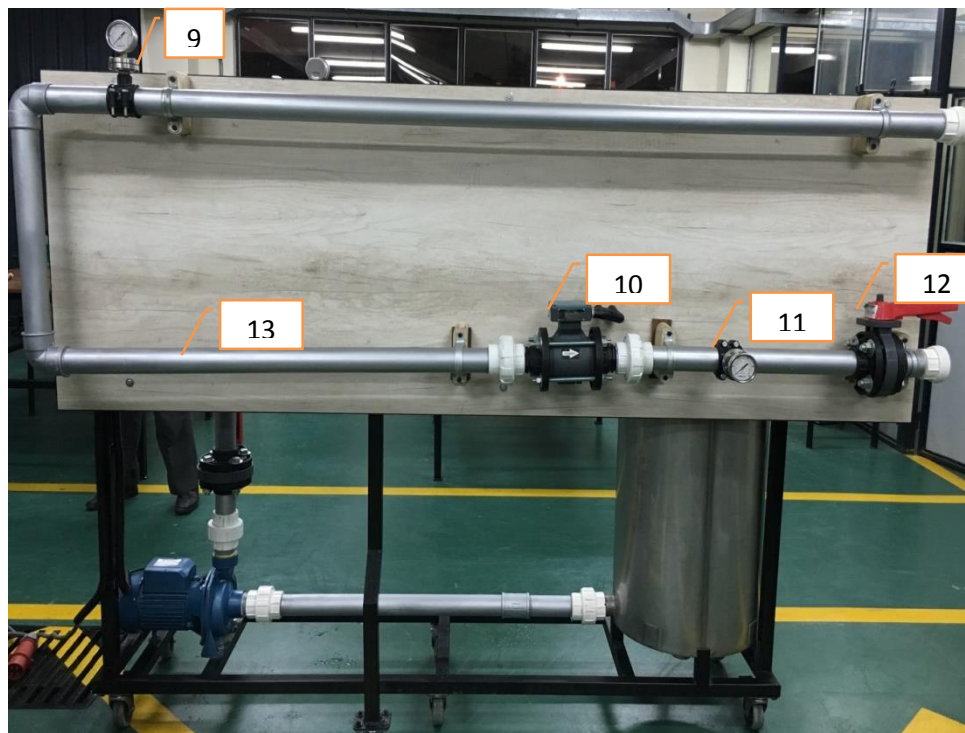
FIGURA Nº 72: MODULO DE BOMBEO DE SLURRY LADO DERECHO



Fuente: Proyecto de Investigación
Autores: Ccamaque y Ortega

Lista de Partes	
Nombre del componente	Descripción
Manómetro 1	1
Visor de partículas	2
Transmisor	3
Caja de control	4
Válvula mariposa 1	5
Motoreductor	6
Tanque de alimentación	7
Electro-bomba	8





FIGURA Nº 73: MODULO DE BOMBEO DE SLURRY LADO IZQUIERDO



Fuente: Proyecto de Investigación
Autores: Ccamaque y Ortega

Lista de Partes	
Nombre del componente	Descripción
Manómetro 2	9
Sensor de caudal	10
Manometro 3	11
Valvula mariposa 1	12
Tubería de retorno	13

CUADRO Nº 49: COMPONENTES DEL MODULO DE BOMBEO DE SLURRY

<p>Electrobomba:</p> <p>Marca : Baldor Tipo: HFM/5AM Serie: 14552073 Altura nominal: 23 m (75 pies) Velocidad nominal : 3450 RPM Potencia nominal: 2 HP</p>	
<p>Motor del Moto reductor:</p> <p>Motor : Wien Tipo : DPI 80 S - 2 Serie : 726824 Potencia: 1 HP Velocidad: 2800 RPM Frecuencia: 60 Hz Alimentación :220/380V Trifásica 3.1/1.8 A</p>	
<p>Reductor:</p> <p>Marca : INDUR Tipo : R25 – 1009-0754 Serie : 298816 Rango: 78 – 390 RPM</p>	
<p>Manómetro:</p> <p>Marca : NUGVAFIMA Rango: 0 – 100 PSI Aproximación: 2 PSI</p>	

<p>Magnetic flow transmitter :</p> <p>Marca : AB Modelo: IMT20-PA15FGZ Excitación AC: 120 Vac 30VA max Frecuencia: 50/60 Hz Corriente de Salida : 4-20 ma</p>	
<p>Sensor de Caudal:</p> <p>Marca : AB Rango: 0 – 740 l/min Aproximación: 10 l/min</p>	
<p>Válvula de Mariposa:</p> <p>Marca : JIMMAO Rango: 0 – 100% Diámetro: 2” Presión de trabajo: 200PSI</p>	

Fuente: Proyecto de Investigación
Autores: Ccamaque y Ortega

ENSAYOS A REALIZAR EN EL MODULO DE BOMBEO DE SLURRY

El propósito de dicho ensayo es el de obtener la curva característica de la electrobomba para un ensayo con slurry, durante el ensayo se mide los siguientes parámetros:

- Altura de presión de agua : en PSI para convertir a m de H₂O
- Lectura del sensor de caudal : en Lt/Hr.

Procedimiento de los ensayos

Para iniciar el ensayo, antes de encender la bomba, se debe verificar lo siguiente:

Antes de encender la bomba

- 1.- Verificar el estado de los manómetros, así como la posición correcta del indicador.
- 2.- Energizar el tablero de control
- 3.- Verificar el estado del sensor de caudal, observar que el display del transmisor muestre un valor de 0.
- 4.- Realizar la recarga de agua correspondiente y en el porcentaje de volumen con el que se quiera hacer la prueba.
- 5.- Abrir todas las válvulas.
- 6.- Des energizar la llave trifásica y presionar el pulsador de marcha P1, seguidamente presionar el pulsador de marcha P2; de esta manera se consigue poner en funcionamiento la bomba más no el agitador.

Después de encender la bomba

- 7.- Verificar que los indicadores de presión nos brinden valores.
- 8.- Verificar que el sensor de presión nos esté brindando valores de caudal y que estos valores sean coherentes, considerando el valor máximo de caudal que puede brindarnos la bomba; este valor está indicado en la placa de la electrobomba.
- 9.- Parar la electrobomba presionado el pulsado de parada P2 y P1.
- 10.- Energizar la llave trifásica.
- 11.- Verificar la posición de velocidad del agitador; esta tiene que estar en la posición de velocidad mínima.
- 12.- Poner en funcionamiento el agitador, presionando el pulsador de marcha P1.

- 13.- Realizar el llenado de arena, considerando el porcentaje de volumen con el que seese hacer la prueba. El llenado se hará de manera progresiva.
- 14.- Encender la bomba, presionado el pulsador de marcha P2.
- 15.- Realizar la toma de datos.

Fin de la prueba

- 16.- Apagar la bomba, presionando el pulsador de parada P2.
- 17.- Mantener el agitador en funcionamiento.
- 18.- Desplazar el modulo hacia el drenaje, de tal manera que el tanque quede justo por encima del drenaje.
- 19.- Abrir la tapa de drenado del tanque, hasta retirar todo el contenido. Una vez que el contenido este al 50% apagar el agitador.
- 20.- Cerrar la tapa de drenado del tanque.
- 21.- Llenar el tanque con agua al 60% para finalizar la limpieza de las tuberías del módulo.
- 22.- Encender el agitador en su mínima velocidad.
- 23.- Aperturar la tapa del drenador del tanque, hasta retirar todo el contenido. Una vez que el contenido este al 50% apagar el agitador.
- 24.- Des energizar el tablero de control.
- 25.- Limpieza del módulo.
- 26.- Orden y limpieza del área.

1. TOMA DE DATOS Y CALCULO

POTENCIA DEL MOTOR

Procedemos a calcular la potencia del motor con la siguiente formula:

$$P_{eje} = \frac{\gamma_m * Q_{mv} * H_B}{76 * \eta}$$

Q_{mv} = caudal de la mezcla en volumen $\frac{m^3}{s}$

γ_m = peso específico de la mezcla $\frac{Kg-f}{m^3}$

H_B = altura de bombeo m.

η = eficiencia del motor.

En este caso se ha seleccionado una Electrobomba centrifuga de 2.00 H.P.

CÁLCULO PARA LA SELECCIÓN DE LA POTENCIA DEL MOTOR

Para realizar el cálculo correspondiente a la potencia del motor de la electrobomba en primer lugar se utilizará la siguiente relación:

$$H_B = \frac{P_2 - P_1}{\gamma} + Z_2 - Z_1 + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} + \left(f \frac{L}{D} + \Sigma K + f \frac{\Sigma l_{eq}}{D} \right) \cdot \frac{8 \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot D^4 \cdot g}$$

Dónde:

- H_B =Altura de Bombeo (**m**)
- $P_2 - P_1 / \gamma$ = Altura de pérdidas Hidráulicas total en 1 y 2 (**m**)
- $Z_2 - Z_1$ = Diferencia de Alturas geodésicas (**m**)
- $\frac{V_2^2 - V_1^2}{2g}$: Diferencia de Alturas de Velocidad (**m**)
- f: Factor de fricción (Adimensional)
- L: Longitud del conducto (**m**)
- D: Diámetro Interno del Conducto (**m**)
- ΣK : Sumatoria de Coeficientes adimensionales de Carga (Adimensional)
- Σl_{eq} : Sumatorias de Longitudes Equivalentes (**m**)
- Q: Caudal DEL Fluido (m^3/seg)
- g: Aceleración de la gravedad

Pérdidas totales dadas por los instrumentos

$$\Sigma H_{P_{1 \rightarrow 2}} = \frac{P_1 - P_2}{\gamma_m}$$

$$\Sigma H_{P_{1 \rightarrow 2}} = \frac{0.8 \text{ Bar} - 0 \text{ Bar}}{12158 \frac{N}{m^3}}$$

$$\Sigma H_{P_{1 \rightarrow 2}} = \frac{0.8 \text{ Bar} * \frac{0.1 \text{ MPa}}{1 \text{ Bar}}}{12158 \frac{N}{m^3}}$$

$$\Sigma H_{P_{1 \rightarrow 2}} = \frac{80000 \frac{N}{m^2}}{12158 \frac{N}{m^3}}$$

$$\Sigma H_{P_{1 \rightarrow 2}} = 6.58 \text{ m.}$$

Diferencia de altura de velocidades

$$= \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g}$$

$$Q = v * A$$

$$340 \frac{\text{Lt}}{\text{min}} = v * 2 \text{ pulg}$$

$$340 \frac{\text{Lt}}{\text{min}} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} * \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ Lt}} = v * \frac{\pi * (2 \text{ pulg} * \frac{2.54 \text{ cm}}{1 \text{ plug}} * \frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}})^2}{4}$$

$$0.0056 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = v * 2.03 * 10^{-3} \text{m}^2$$

$$v = 2.76 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Reemplazando este valor en la ecuación de diferencia de velocidades:

$$v = \frac{(2.76 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2 * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$v = 0.39 \text{ m.}$$

En el Caso de la distancia de la altura Geodésica del sistema según el diseño de tuberías es de 0.8 m

$$Z_2 - Z_1 = 0.8 \text{ m}$$

CÁLCULO DEL FACTOR DE FRICCIÓN "f"

- Para el calcular el factor "f" se tiene que tomar en cuenta dos condiciones:
- D, Diámetro de la tubería = 2"
- ε, rugosidad de la tubería de PVC= 0.0000015
- Re, numero de Reynolds = 23 000

Teniendo estos dos valores recurrimos a la siguiente Formula:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 4 \text{ Log} \frac{D}{2\varepsilon} + 3.48 - 4 \text{ Log} \left(1 + \frac{9.35 * D}{2\varepsilon R_e \sqrt{f}} \right)$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 4 \text{ Log} \frac{0.0508}{2 * 0.0000015} + 3.48 - 4 \text{ Log} \left(1 + \frac{9.35 * 0.0508}{2 * 0.0015 * 25898.04 \sqrt{f}} \right)$$

$$f = 0.0061$$

Longitud total de la tubería:

$$L = 114\text{cm} + 60\text{cm} + 225\text{cm} + 32\text{cm} + 100\text{cm} + 36\text{cm} + 12\text{cm} + 92\text{cm}$$

$$L = 7.62 \text{ m}$$

Teniendo estos datos remplazamos en la fórmula general para dar origen a una función de tabulación de la manera siguiente:

$$H_B = \frac{P_2 - P_1}{\gamma} + Z_2 - Z_1 + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} + \left(f \frac{L}{D} + \Sigma K + f \frac{\Sigma l_{eq}}{D} \right) \cdot \frac{8 \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot D^4 \cdot g}$$

$$H_B = 6.58 \text{ m} + 0.8 \text{ m} + 0.39 \text{ m}$$

$$+ \left(0.0145 \frac{1.8 \text{ m}}{0.0508 \text{ m}} + 0 \right) \cdot \frac{8 \cdot \left(0.0056 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right)^2}{\pi^2 \cdot (0.0508 \text{ m})^4 \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{seg}^2}}$$

$$H_B = 7.77 \text{ m} + \left(0.0145 \frac{1.8 \text{ m}}{0.0508 \text{ m}} + 0 \right) \cdot \frac{8 \cdot \left(0.0056 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right)^2}{\pi^2 \cdot (0.0508 \text{ m})^4 \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{seg}^2}}$$

$$H_B = 7.77 \text{ m} + (0.514) \cdot \frac{8 \cdot \left(0.0056 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right)^2}{\pi^2 \cdot (0.0508 \text{ m})^4 \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{seg}^2}}$$

$$H_B = 7.77 \text{ m} + (0.514) \cdot \frac{8 \cdot \left(0.0056 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right)^2}{\pi^2 \cdot (0.0508 \text{ m})^4 \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{seg}^2}}$$

$$H_B = 7.96 \text{ m}$$

Ecuación de la curva del sistema:

$$H_B = 7.77 \text{ m} + 6377.2 Q^2$$

Finalmente reemplazamos los valores hallados en la fórmula para hallar la potencia del eje:

$$P_{eje} = \frac{\gamma_m \cdot Q_{mv} \cdot H_B}{76 \cdot \eta} \quad P_{eje} = \frac{1239.3 \frac{\text{Kg} \cdot \text{f}}{\text{m}^3} \cdot 0.0056 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 7.96 \text{ m}}{76 \cdot 0.7}$$

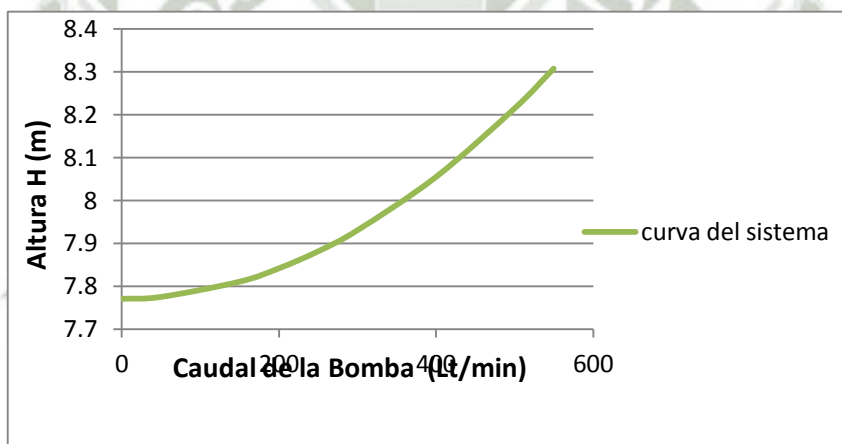
$$P_{eje} = 1.04 \text{ HP}$$

CUADRO Nº 50: DATOS PARA GRAFICAR LA CURVA DEL SISTEMA

Q (m3/seg)	Q (Lt/min)	HB (m)
0	0	7.77
0.000835	50	7.77
0.002505	150	7.81
0.00334	200	7.84
0.004171	250	7.88
0.00501	300	7.93
0.00668	400	8.05
0.00835	500	8.21
0.009185	550	8.31

Fuente: Proyecto de Investigación
Autores: Ccamaque y Ortega

FIGURA Nº 74: GRAFICA DE LA CURVA DEL SISTEMA



Fuente: Proyecto de Investigación
Autores: Ccamaque y Ortega

Curva de la bomba para slurry

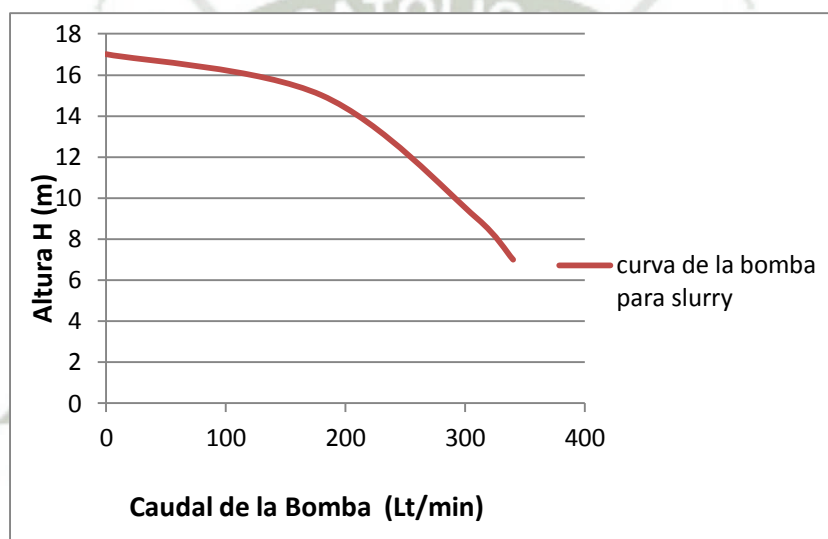
Datos tomados del módulo de bombeo de slurry durante la prueba:

**CUADRO Nº 51: DATOS PARA GRAFICAR LA
CURVA DE LA BOMBA PARA SLURRY**

Q (Lt/min)	HB(m)
340	7
310	9
180	15
0	17

Fuente: Proyecto de Investigación
Autores: Ccamaque y Ortega

**FIGURA Nº 75: CURVA DE LA BOMBA PARA SLURRY CON LOS DATOS
TOMADOS DEL ENSAYO.**



Fuente: Proyecto de Investigación
Autores: Ccamaque y Ortega

Curva de la bomba para agua

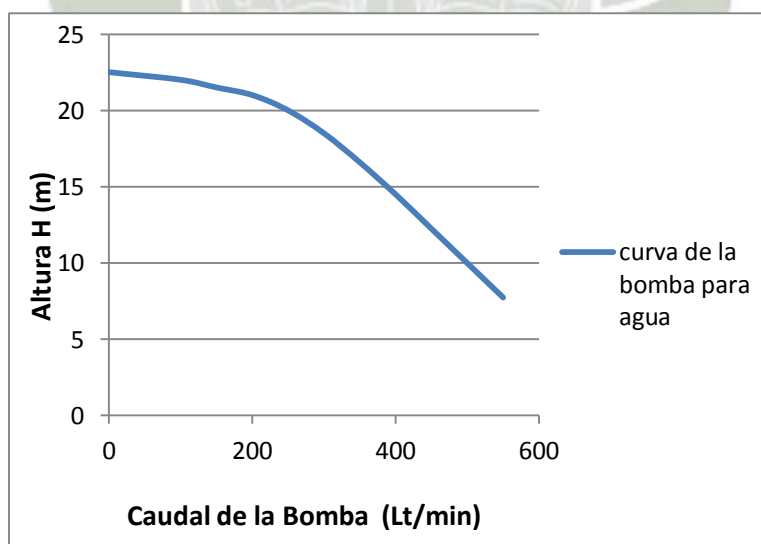
Esta curva nos la proporciona el fabricante:

CUADRO Nº 52: DATOS PARA GRAFICAR LA CURVA DE LA BOMBA PARA AGUA

Q (Lt/min)	HB (m)
550	7.75
500	10
450	12.25
400	14.5
350	16.6
300	18.5
250	20
200	21
150	21.5
100	22
0	22.5

Fuente: Proyecto de Investigación
Autores: Ccamaque y Ortega

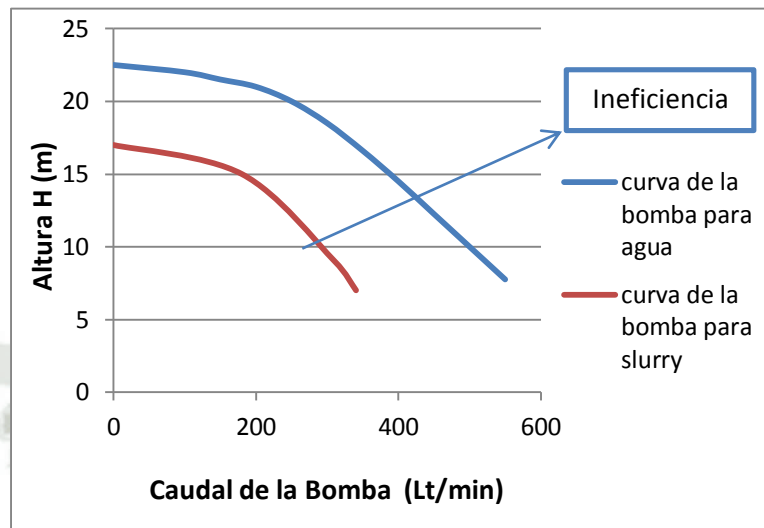
FIGURA Nº 76: CURVA DE LA BOMBA PARA AGUA CON LOS DATOS QUE NOS DA EL FABRICANTE.



Fuente: Proyecto de Investigación
Autores: Ccamaque y Ortega

La bomba centrífuga fue afectada por el efecto de concentración de sólidos, a continuación se pondrá en comparación la curva de que nos brinda el fabricante y la curva de la bomba para la prueba con slurry, donde claramente se podrá apreciar la ineficiencia por sólidos.

FIGURA Nº 77: DEMOSTRACIÓN DE LA INEFICIENCIA POR SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN

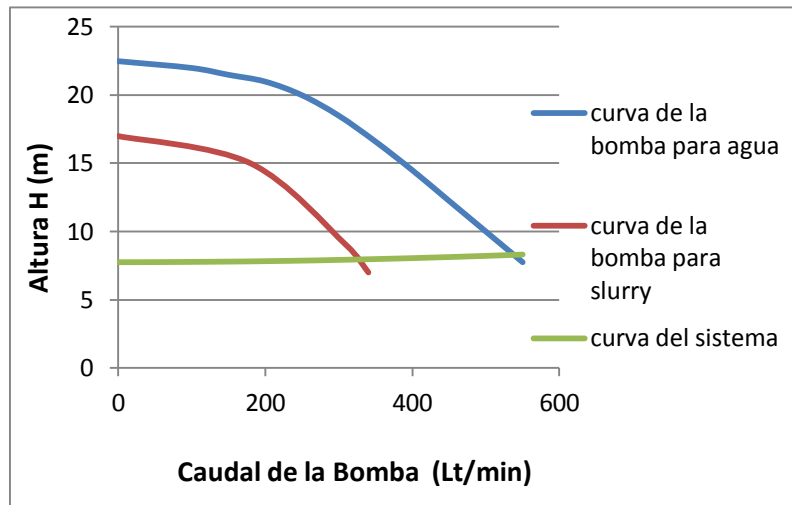


Fuente: Proyecto de Investigación
Autores: Ccamaque y Ortega

Obtención del punto de operación de la bomba

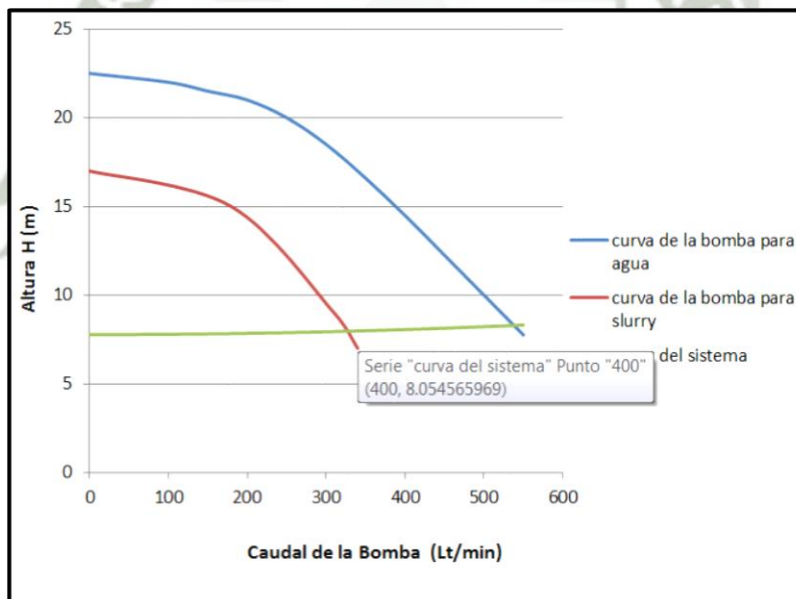
El punto de operación de la bomba será obtenido de la intersección de la curva de la bomba para slurry y de la curva del sistema. A continuación mostraremos el gráfico donde se puede apreciar las curvas.

FIGURA Nº 78: CURVAS PARA LAS DOS BOMBAS Y CURVA DEL SISTEMA



Fuente: Proyecto de Investigación
Autores: Ccamaque y Ortega

FIGURA Nº 79: PUNTO DE OPERACIÓN DE LA BOMBA PARA SLURRY



Fuente: Proyecto de Investigación
Autores: Ccamaque y Ortega

Del grafico anterior podemos obtener el punto de operación de la bomba, obteniendo los siguientes valores:

Q (Lt/min)	HB (m)
400	8.05

4.5. GUÍA DE PRACTICA N°3: CERTIFICACIÓN DE PERDIDAS PRIMARIAS Y SECUNDARIAS EN EL MODULO DE BOMBEADO DE SLURRY

	Universidad Católica de Santa María	“Módulo de Bombeo de Slurries para la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica –Eléctrica y Mecatrónica- UCSM.”	Fecha de la Prueba: 09/05/16	
Título De la Prueba: CERTIFICACIÓN DE PERDIDAS PRIMARIAS Y SECUNDARIAS EN EL MODULO DE BOMBEO DE SLURRY			Prueba N°	3
Apellidos y Nombres:		Ccamaque Cuti, Flavio Cesar Ortega Rimcahi; Luis Felipe		
<div style="text-align: center;">  <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA</p> <p>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECÁNICA-ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA</p> <p><u>CURVA CARACTERÍSTICA DE LA ELECTROBOMBA PARA AGUA Y SLURRY</u></p> <p>1.- OBJETIVOS</p> <ul style="list-style-type: none"> - Familiarizarse con el módulo de bombeo de Slurry, su finalidad y importancia para el proceso enseñanza aprendizaje de los alumnos de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica – Eléctrica y Mecatrónica. - Conocer del Módulo de Bombeo de Slurry así como sus componentes y sus parámetros de funcionamiento y la interacción de estos. - Realizar el ensayo en el Módulo de Bombeo de Slurry de la curva característica del slurry caudal versus altura. - Comparar la curva característica de la electrobomba para agua y la curva característica del slurry. </div>				

2.-DESCRIPCIÓN DEL MÓDULO DE BOMBEO DE SLURRY

El Modulo de Bombeo de Slurry es un prototipo de fabricación Peruana inglesa, y está ubicado en el Laboratorio de Máquinas Térmicas e Hidráulicas de la Escuela de Ingeniería Mecánica.

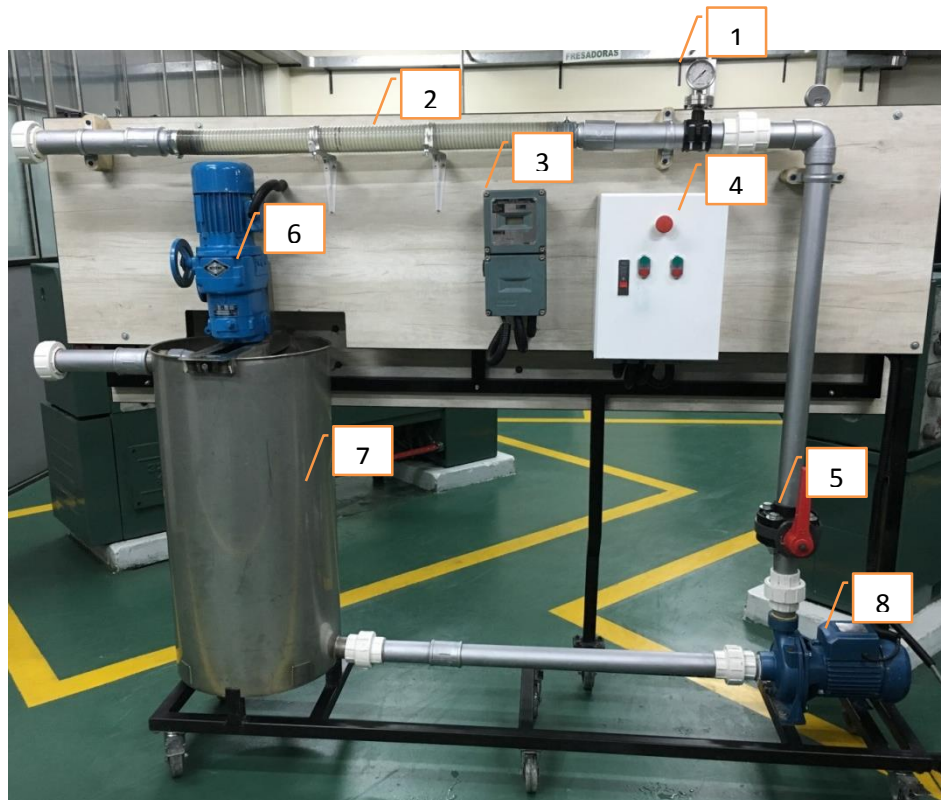
Las características técnicas del banco son las siguientes:

FIGURA N° 80: MODULO DE BOMBEO DE SLURRY



Fuente: Proyecto de Investigación
Autores: Ccamaque y Ortega

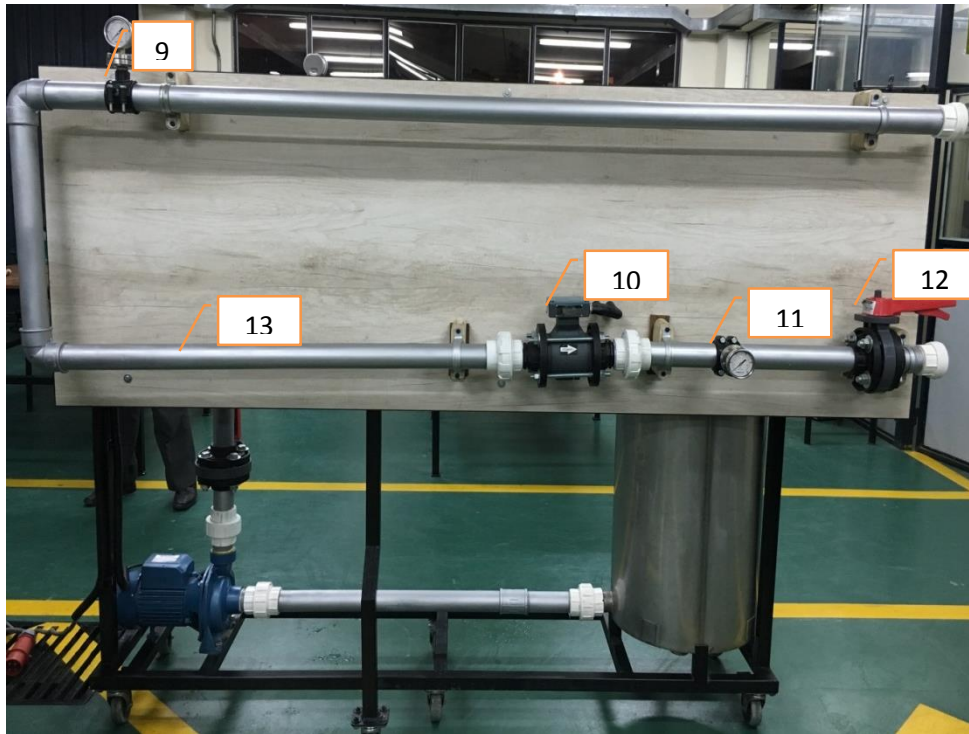
FIGURA Nº 81: MODULO DE BOMBEO DE SLURRY LADO DERECHO



Fuente: Proyecto de Investigación
Autores: Ccamaque y Ortega

Lista de Partes	
Nombre del componente	Descripción
Manómetro 1	1
Visor de partículas	2
Transmisor	3
Caja de control	4
Valvula mariposa 1	5
Motoreductor	6
Tanque de alimentación	7
Electro-bomba	8

FIGURA Nº 82: MODULO DE BOMBEO DE SLURRY LADO IZQUIERDO



Fuente: Proyecto de Investigación
Autores: Ccamaque y Ortega

Lista de Partes	
Nombre del componente	Descripción
Manómetro 2	9
Sensor de caudal	10
Manómetro 3	11
Valvula mariposa 1	12
Tubería de retorno	13

CUADRO Nº 53: COMPONENTES DEL MODULO DE BOMBEO DE SLURRY

<p>Electrobomba:</p> <p>Marca : Baldor Tipo: HFM/5AM Serie: 14552073 Altura nominal: 23 m (75 pies) Velocidad nominal : 3450 RPM Potencia nominal: 2 HP</p>	
<p>Motor del Moto reductor:</p> <p>Motor : Wien Tipo : DPI 80 S - 2 Serie : 726824 Potencia : 1 HP Velocidad : 2800 RPM Frecuencia : 60 Hz Alimentación :220/380V Trifásica 3.1/1.8 A</p>	
<p>Reductor:</p> <p>Marca : INDUR Tipo : R25 – 1009-0754 Serie : 298816 Rango : 78 – 390 RPM</p>	

<p>Manómetro:</p> <p>Marca : NUGVAFIMA Rango: 0 – 100 PSI Aproximación: 2 PSI</p>	
<p>Magnetic flow transmitter :</p> <p>Marca : AB Modelo: IMT20-PA15FGZ Excitación AC: 120 Vac 30VA max Frecuencia: 50/60 Hz Corriente de Salida : 4-20 ma</p>	
<p>Sensor de Caudal:</p> <p>Marca : AB Rango: 0 – 740 l/min Aproximación: 10 l/min</p>	
<p>Válvula de Mariposa:</p> <p>Marca : JIMMAO Rango: 0 – 100% Diámetro: 2” Presión de trabajo : 200PSI</p>	

Fuente: Proyecto de Investigación
Autores: Ccamaque y Ortega

ENSAYOS A REALIZAR EN EL MODULO DE BOMBEO DE SLURRY

El propósito de dicho ensayo es el de obtener la curva característica de la electrobomba para un ensayo con slurry, durante el ensayo se mide los siguientes parámetros:

- Altura de presión de agua : en PSI para convertir a m de H₂O
- Lectura del sensor de caudal : en Lt/Hr.

Procedimiento de los ensayos

Para iniciar el ensayo, antes de encender la bomba, se debe verificar lo siguiente:

Antes de encender la bomba

- 1.- Verificar el estado de los manómetros, así como la posición correcta del indicador.
- 2.- Energizar el tablero de control
- 3.- Verificar el estado del sensor de caudal, observar que el display del transmisor muestre un valor de 0.
- 4.- Realizar la recarga de agua correspondiente y en el porcentaje de volumen con el que se quiera hacer la prueba.
- 5.- Abrir todas las válvulas.
- 6.- des energizar la llave trifásica y presionar el pulsador de marcha P1, seguidamente presionar el pulsador de marcha P2; de esta manera se consigue poner en funcionamiento la bomba más no el agitador.

Después de encender la bomba

- 7.- verificar que los indicadores de presión nos brinden valores.
- 8.- verificar que el sensor de presión nos esté brindando valores de caudal y que estos valores sean coherentes, considerando el valor máximo de caudal que puede brindarnos la bomba; este valor está indicado en la placa de la electrobomba.
- 9.- parar la electrobomba presionado el pulsador de parada P2 y P1.
- 10.- energizar la llave trifásica.
- 11.- verificar la posición de velocidad del agitador; esta tiene que estar en la posición de velocidad mínima.
- 12.- poner en funcionamiento el agitador, presionando el pulsador de marcha P1.
- 13.- realizar el llenado de arena, considerando el porcentaje de volumen con el que sese hacer la prueba. El llenado se hará de manera progresiva.
- 14.- encender la bomba, presionado el pulsador de marcha P2.
- 15.- realizar la toma de datos.

Fin de la prueba

- 16.- apagar la bomba, presionando el pulsador de parada P2.
- 17.- mantener el agitador en funcionamiento.
- 18.- desplazar el modulo hacia el drenaje, de tal manera que el tanque quede justo por encima del drenaje.
- 19.- abrir la tapa de drenado del tanque, hasta retirar todo el contenido. Una vez que el contenido este al 50% apagar el agitador.
- 20.- cerrar la tapa de drenado del tanque.
- 21.- llenar el tanque con agua al 60% para finalizar la limpieza de las tuberías del módulo.
- 22.- encender el agitador en su mínima velocidad.
- 23.- aperturar la tapa del drenador del tanque, hasta retirar todo el contenido. Una vez que el contenido este al 50% apagar el agitador.
- 24.- des energizar el tablero de control.
- 25.- limpieza del módulo.
- 26.- orden y limpieza del área.

1. TOMA DE DATOS Y CALCULO

Toma de las dimensiones:

**CUADRO N° 54: DATOS PARA GRAFICAR
LA CURVA DE LA BOMBA PARA AGUA**

Longitud de la tubería	
L total	7.62 m
Diámetro de la tubería	
D	0.0508 m
Longitud ente el punto de succión y el punto de descarga	
$Z_2 - Z_1$	0.8 m

Fuente: Proyecto de Investigación
Autores: Ccamaque y Ortega

Diferencia de altura de velocidades

$$= \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g}$$

$$Q = v * A$$

$$340 \frac{\text{Lt}}{\text{min}} = v * 2 \text{ pulg}$$

$$340 \frac{\text{Lt}}{\text{min}} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} * \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ Lt}} = v * \frac{\pi * (2 \text{ pulg} * \frac{2.54 \text{ cm}}{1 \text{ pulg}} * \frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}})^2}{4}$$

$$0.0056 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = v * 2.03 * 10^{-3} \text{m}^2$$

$$v = 2.76 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Reemplazando este valor en la ecuación de diferencia de velocidades:

$$= \frac{(2.76 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2 * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$= 0.39 \text{ m.}$$

FIGURA Nº 83: RUGOSIDAD RELATIVA DE LA TUBERÍA

Material	Ks (mm)
Vidrio	0.0003
PVC	0.0015
Polietileno (PE)	0.002
Asbesto cemento	0.030
Acero	0.046
Hierro forjado	0.06
Hierro fundido asfaltado	0.12
Hierro galvanizado	0.15
Arcilla vitrificada	0.15
Hierro fundido	0.15
Hierro dúctil	0.25
Madera cepillada	0.18 -0.9
Concreto	0.3 -3.0
Acero bridado	0.9 - 9

Fuente: Elaboración propia

Determinar el número de Reynolds

Numero de Reynolds = 23 000

Hallar el factor de fricción

- Para el calcular el factor "f" se tiene que tomar en cuenta dos condiciones:
- D, Diámetro de la tubería= 0.0508 m
- ε, rugosidad de la tubería de PVC= 0.0015
- Re, numero de Reynolds = 23 000

Teniendo estos dos valores recurrimos a la siguiente Formula:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 4 \operatorname{Log} \frac{D}{2\varepsilon} + 3.48 - 4 \operatorname{Log} \left(1 + \frac{9.35 * D}{2\varepsilon R_e \sqrt{f}} \right)$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 4 \operatorname{Log} \frac{D}{2\varepsilon} + 3.48 - 4 \operatorname{Log} \left(1 + \frac{9.35 * D}{2\varepsilon R_e \sqrt{f}} \right)$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 4 \operatorname{Log} \frac{0.0508}{2 * 0.0015} + 3.48 - 4 \operatorname{Log} \left(1 + \frac{9.35 * 0.0508}{2 * 0.0015 * 23000 \sqrt{f}} \right)$$

$$f = 0.0145$$

Determinar la caída de presión mediante la prueba en el módulo de bombeo para slurry

Diferencia de presión entre en el manómetro P3 y P1	
P1 – P3	0.5 bar – 0bar

Pérdidas totales dadas por los instrumentos

$$\Sigma H_{P_{1 \rightarrow 2}} = \frac{P_1 - P_2}{\gamma_m}$$

$$\Sigma H_{P_{1 \rightarrow 2}} = \frac{0.8 \text{ Bar} - 0 \text{ Bar}}{12158 \frac{\text{N}}{\text{m}^3}}$$

$$\Sigma H_{P_{1 \rightarrow 2}} = \frac{0.8 \text{ Bar} * \frac{0.1 \text{ MPa}}{1 \text{ Bar}}}{12158 \frac{\text{N}}{\text{m}^3}}$$

$$\Sigma H_{P_{1 \rightarrow 2}} = \frac{80000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}}{12158 \frac{\text{N}}{\text{m}^3}}$$

$$\Sigma H_{P_{1 \rightarrow 2}} = 6.58 \text{ m.}$$

Teniendo estos datos remplazamos en la formula general para dar origen a una función de tabulación de la manera siguiente:

$$H_B = \frac{P_2 - P_1}{\gamma} + Z_2 - Z_1 + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} + \left(f \frac{L}{D} + \Sigma K + f \frac{\Sigma l_{eq}}{D} \right) \cdot \frac{8 \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot D^4 \cdot g}$$

$$H_B = 6.58 \text{ m} + 0.8 \text{ m} + 0.39 \text{ m}$$

$$+ \left(0.0145 \frac{1.8 \text{ m}}{0.0508 \text{ m}} + 0 \right) \cdot \frac{8 \cdot \left(0.0056 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right)^2}{\pi^2 \cdot (0.0508 \text{ m})^4 \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{seg}^2}}$$

$$H_B = 7.77 \text{ m} + \left(0.0145 \frac{1.8 \text{ m}}{0.0508 \text{ m}} + 0 \right) \cdot \frac{8 \cdot \left(0.0056 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right)^2}{\pi^2 \cdot (0.0508 \text{ m})^4 \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{seg}^2}}$$

$$H_B = 7.77 \text{ m} + (0.514) \cdot \frac{8 \cdot \left(0.0056 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right)^2}{\pi^2 \cdot (0.0508 \text{ m})^4 \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{seg}^2}}$$

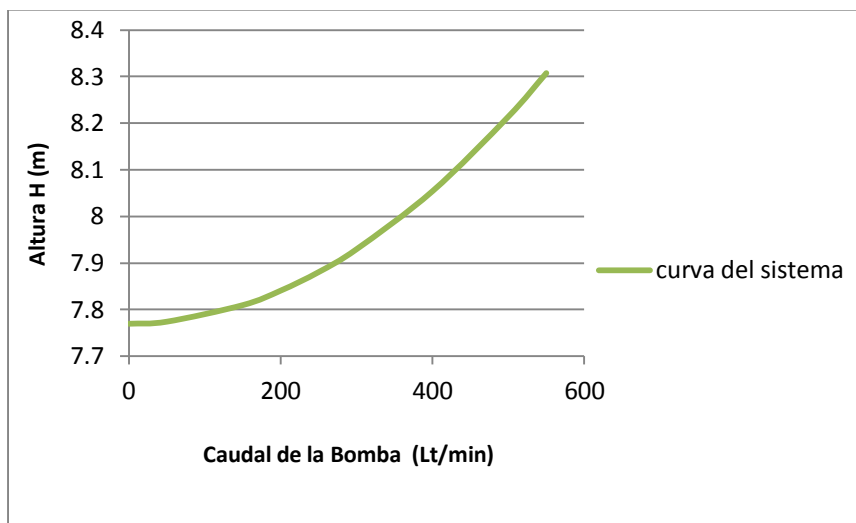
$$H_B = 7.77 \text{ m} + (0.514) \cdot \frac{8 \cdot \left(0.0056 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right)^2}{\pi^2 \cdot (0.0508 \text{ m})^4 \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{seg}^2}}$$

$$\mathbf{H_B = 7.96 \text{ m}}$$

Ecuación de la curva del sistema:

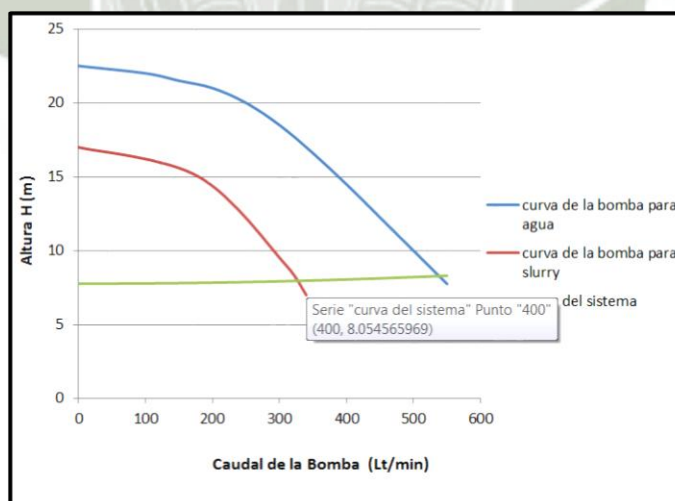
$$H_B = 7.77m + 6377.2Q^2$$

FIGURA Nº 84: CURVA DEL SISTEMA



Fuente: Proyecto de Investigación
Autores: Ccamaque y Ortega

FIGURA Nº 85: PUNTO DE OPERACIÓN DE LA BOMBA



Fuente: Proyecto de Investigación
Autores: Ccamaque y Ortega

CAPITULO V

COSTO DEL MODULO DE BOMBEO DE SLURRY

5.1. INTRODUCCIÓN

El término costo representa el dinero o su equivalente que se entrega para adquirir bienes y de los cuales se espera que generen un beneficio futuro. Se presenta en cuentas de activos, que van al balance general. Los gastos se definen como los desembolsos de dinero que pueden expresarse en términos monetarios que generan un beneficio y tienen como características que se reflejan en el estado de resultado.

Desde el punto de vista de la contabilidad de costos, los costos de producción y/o de los servicios prestados son aquellas erogaciones de recursos económicos incurridos y aplicados en la operación de un proceso o fabricación de un producto o en la prestación de un servicio con la finalidad de generar ingresos o beneficios en el futuro. Representan la base para el costo de los productos o servicios, el proceso de planeación y control, la evaluación del desempeño y la toma de decisiones gerenciales. Cuando se utilizan estos bienes o servicios, es decir, a medida que se consumen en la generación de ingresos los costos se convierten en gastos. Los gastos se definen como los costos que han producido un beneficio y que han expirado, por lo que se consideran costos del periodo y se llevan al estado de resultado en el periodo en que se incurren. Estos gastos se aplican en el momento en que se venden los artículos, es decir se asocian directamente a las ventas. Los costos se incorporan a los inventarios de materiales, productos en proceso y productos terminados. Se clasifican como activos en el balance general y se llevan al estado de resultados a medida que los productos elaborados son vendidos.

Elementos de un producto.

Los elementos de costo de un producto o sus componentes son los materiales directos, la mano de obra directa y los costos indirectos de fabricación, esta clasificación suministra la información necesaria para la medición del ingreso y la fijación del precio del producto.

Materiales:

Son los principales recursos que se usan en la producción; estos se transforman en bienes terminados con la ayuda de la mano de obra y los costos indirectos de fabricación.

- **Directos:** Son todos aquellos que pueden identificarse en la fabricación de un producto terminado, fácilmente se asocian con éste y representan el principal costo de materiales en la elaboración de un producto.
- **Indirectos:** Son los que están involucrados en la elaboración de un producto, pero tienen una relevancia relativa frente a los directos.
- **Costos Indirectos Varios:** son rubros que no pueden ubicarse ni en los materiales indirectos ni en la mano de obra indirecta, como las depreciaciones, seguros, el consumo de energía eléctrica, agua, arriendos, impuestos, suministros de mantenimientos.

A más de los costos de los tres costos de fabricación, se deben tomar en cuenta los costes que llevan asociados, como lo son:

- **Costos de mantenimiento:** son los costes correspondientes a mantener los inventarios a lo largo del tiempo. Por lo tanto, estos costes incluyen también los que se deben a la obsolescencia de los materiales y los relacionados con el almacenamiento, como los de seguros, la contratación de personal adicional si es necesaria y el pago de

intereses. Tipos de costes que hay que tener en cuenta para calcular los costes de almacenamiento.

- **Costos de preparación:** son los costes correspondientes a la preparación de una máquina o proceso para elaborar un pedido. Incluyen el tiempo y el trabajo necesarios para limpiar y cambiar herramientas o instrumentos.

Mano de obra:

Es el esfuerzo físico o mental empleados para la elaboración de un producto.

- **Directa:** Es aquella directamente involucrada en la fabricación de un producto terminado que puede asociarse con este con facilidad y que tiene gran costo en la elaboración.
- **Indirecta:** Es aquella que no tiene un costo significativo en el momento de la producción del producto.

Costos indirectos de fabricación (CIF):

Son todos aquellos costos que se acumulan de los materiales y la mano de obra indirecta más todos los incurridos en la producción pero que en el momento de obtener el costo del producto terminado no son fácilmente identificables de forma directa con el mismo.

5.2. COSTOS UNITARIOS

**CUADRO Nº 55: ESPECIFICACION DE COSTOS
UNITARIOS DE LOS COMPONENTES DEL
MODULO DE BOMBEO DE SLURRY**

Item	Material	Dimensiones	Peso KG	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
1	Perfiles Cuadrados de 50X50. e:1.5 mm Acero ASTM A36	L:6000mm		5	60	300
2	Planchas de Melamina. e:18mm	2.88 m2		2	240	480
3	Tubos de PVC	Diam. 50.8 X L:3000mm		4	35	140
4	Bridas de PVC	Diam. 50.8		3	20	60
5	Soportes para Manómetros	Diam. 50.8		3	20	60
6	Codos de 90°	Diam. 50.8		3	8	24
7	Uniones Universales	Diam. 50.8		5	45	225
8	Cilindro inoxidable de Diam. 600mm	L:900mm		1	800	800
9	Ángulos Estructurales Inox. 50x50mm. e:1.5mm	L:6000mm		2		
10	Eje Acero inox. 304L	Diam. 18.75xL:1000mm		1		
11	Chumaceras de			2		
12	Cinta Teflón			10	2.5	25
13	Diseño de Impulsor de Bomba centrífuga			1	290	290
14	Cable de 4 hilos N° 12	L: 15m		15 m	9	135
15	Cable de 3 hilos N 12	L: 15m		10 m	6	60
16	Contactores Trifásicos	N/A		2	65	130
17	Relay trifásicos	N/A		2	35	70
18	Pulsadores	N/A		2	19	38
19	Pulsador de Parada de Emergencia	N/A		1	21	21
20	Caja de control			1	130	130
21	Rollo de Cable N°14 Indeco	L: 100m		1	110	110
22	Rollo de Cable N°18 Indeco	L: 100m		1/2	80	40
23	Termo Magnética Trifásica	N/A		1	45	45
24	Termo Magnética Monofásica	N/A		1	35	35
25	Riel DIN	L: 1m		1m	10	10
26	Transformador de 220V/110V	N/A		1	65	65
27	Borneras	N/A		16	1.5	24.00
28	Borneras de Tierra	N/A		6	2.5	15
29	Ruedas con freno	N/A		8	10	80
30	Enchufe Trifásico Industrial	N/A		1	40	40
31	Válvulas de Bola para prueba	Diam. 50.8		2	25	50
32	Manguera Transparente m	Diam. 50.8 L:1m		1	45	45
					Total Soles	3547

Fuente: Proyecto de Investigación

Autores: Ccamaque y Ortega

CUADRO Nº 56: ESPECIFICACIÓN DE COSTOS UNITARIOS DE LOS EQUIPOS DEL MODULO DE BOMBEO DE SLURRY

Item	Descripción Equipos	Descripción	Peso KG	Cantidad	Precio Unitario	Total
1	Caudalimetro Fox Boro	Fuente 110 V		1	3950	3950
2	Electrobomba Centrifuga baldor	Fuente 220 V		1	260	260
3	Válvulas de Mariposa	Diam. 50.8 mm		2	210	420
4	Moto reductor Indur	Fuente 380 V Min 78 RPM Max 390 RPM		1	960	960
5	Manómetro con diafragma Verticales	Min 0 bar Max 7 bar		2	880	1760
6	Manómetro con diafragma Horizontal	Min 0 bar Max 7 bar		1	1100	1100
					Total Soles	8450

Fuente: Proyecto de Investigación

Autores: Ccamaque y Ortega

CUADRO Nº 57: ESPECIFICACIÓN DE COSTOS UNITARIOS DE LOS MATERIALES USADOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL MODULO.

Item	Descripción Herramientas	Descripción	Peso KG	Cantidad	Precio Unitario	Total
1	Tarraja para sacar hilo	Diam. 50.8		2	75	150
2	Disco de corte	Diam. 177,8		4	12	48
3	Disco de desbaste	Diam. 177,8		4	10	40
4	Thiner Acrílico gl			2	16	32
5	Pintura Negra gl			1/2	70	35
					Total Soles	305

Fuente: Proyecto de Investigación

Autores: Ccamaque y Ortega

5.3. COSTOS TOTAL DEL MODULO

CUADRO Nº 58: COSTOS TOTAL DEL MODULO DE BOMBEO DE SLURRY.

Componentes Total soles	3547
Equipos Total Soles	8450
Herramientas Total Soles	305
Mano de Obra Para la Estructura	400
Mano de Obra para el Agitador	500
TOTAL	13202

Fuente: Proyecto de Investigación

Autores: Ccamaque y Ortega

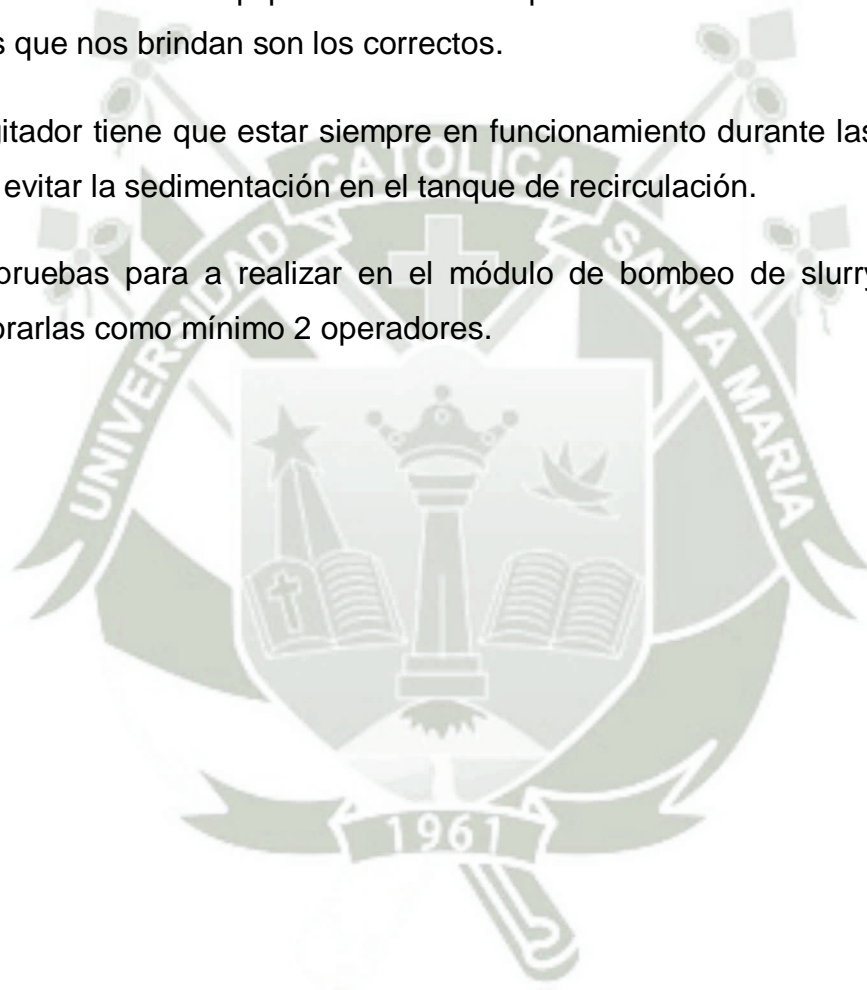


CONCLUSIONES

1. El módulo de bombeo de slurry se diseñó y se construyó bajo las siguientes normas internacionales AISC, API, ASME con la finalidad de obtener un óptimo desempeño, fácil fabricación y ensamble; cumpliendo con las normas de seguridad que requiere el operador. Todo lo anterior para que los resultados de las pruebas a realizar tengan una fidelidad y exactitud.
2. Las normas y el cálculo matemático nos brindaron el adecuado seleccionamiento de los componentes, los cuales cumplen con su función y nos permiten el desarrollo de las pruebas experimentales.
3. El factor de fricción obtenida por medios matemáticos son valores casi similares al valor obtenido por medio de las pruebas experimentales.
4. Se tiene la certeza de que los sólidos en suspensión crean una ineficiencia en la curva característica de la bomba para slurries respecto a la curva de característica de la bomba para agua.

RECOMENDACIONES

1. Entes de realizar las pruebas es indispensable revisar el procedimiento de trabajo que nos brinda las guías prácticas.
2. Verificar todos los equipos de medición para tener la certeza de que los datos que nos brindan son los correctos.
3. El agitador tiene que estar siempre en funcionamiento durante las pruebas. Para evitar la sedimentación en el tanque de recirculación.
4. Las pruebas para a realizar en el módulo de bombeo de slurry deberán elaborarse como mínimo 2 operadores.



BIBLIOGRAFÍA

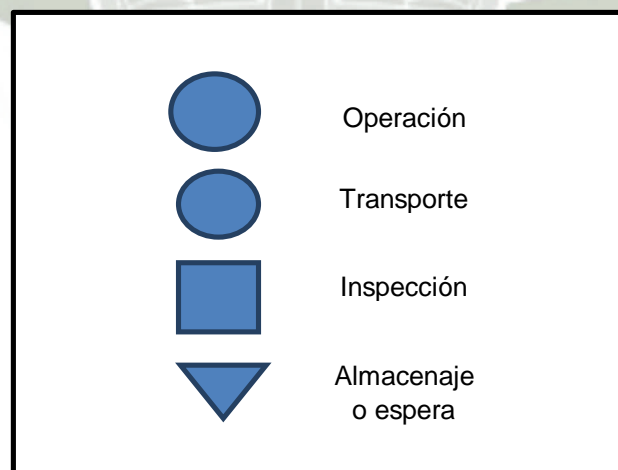
1. BAHÁ E. ABULNAGA, MAZDAK International Inc., 2002. "Slurry systems hand book", McGraw – Hill, New York.
2. CABALLERO, A., (2013). Metodología Integral Innovadora para Planes y Tesis. México: Editorial. Cengage Learning.
3. CENGEL, Y.A., CIMBALA, J. M. (2010). Ecuaciones de conservaciones de masa, de Bernoulli y de energía. Mc Graw-Hill, Mecánica de Fluidos: Fundamentos y Aplicaciones. (pp. 197). México.
4. FEBRERO, 2009. Principio de las bombas de lodos. "Slurry pump hand book-2009", 5ta edición, p.6-1
5. GAITÁN, I.P. (2010). "Estimación de parámetros reológicos de pulpas minerales a diferentes concentraciones de sólidos" (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de Ingeniería. Lima.
6. LEVENSPIEL, O. (1996). Flujo de Fluidos e Intercambiador de Calor. España: Editorial Reverte, S.A.
7. RODRÍGUEZ Aquilino. "Sistemas SCADA". 2 da ed. Barcelona/España. Marcombo. 2007 .p. 101.
8. SEYMOUR, J., (1971). El Laboratorio del Ingeniero Mecánico. Argentina: Editorial. Hispano Americana S.A.
9. TOVAR, J. (1997). Principios básicos de Hidráulica para Bombas Centrifugas e Instalaciones. Perú: Editorial. ASINAC.
10. WHITE, Frank., "Controladores Lógicos Programables". 1ra .Ed. México. Trillas 2009 .pp. 18-19
11. ZUBICARAY, M.(2000). Bombas Teoría, Diseño y Aplicaciones. México: Editorial Limusa S.A.



ANEXO Nº 1: DIAGRAMA DE PROCESO

Estos diagramas sirven para recoger un proceso en forma resumida, a fin de adquirir un conocimiento superior del mismo y poder mejorarlo. Representan gráficamente las fases que atraviesan la ejecución de un trabajo o una serie de actos. El diagrama del proceso ayuda a. mostrar los efectos que los cambios introducidos en una parte de un proceso que producirán sobre otras partes o elementos del mismo. Además, puede conducir al descubrimiento de ciertas operaciones que deben someterse a un análisis más cuidadoso. El diagrama del proceso, al igual que otros métodos de representación gráfica, debe ser modificado para adaptarlo al caso particular en estudio. Los Gilbreth idearon una serie de cuarenta símbolos que emplearon para hacer los diagramas del proceso. En los últimos años se ha utilizado extensamente la serie abreviada de cuatro símbolos mostrada en la parte inferior, que resulta suficiente para muchas clases de trabajos. Estos símbolos sirven como una especie de taquigrafía para anotar rápidamente las fases o actividades de un proceso.

SÍMBOLOS DE GILBERTH, PARA LOS DIAGRAMAS DE PROCESO








Fuente: Estudio de Movimientos y Tiempos

Autor: BARNES, Ralph

En 1947, la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos estableció como típicos los cinco símbolos reproducidos en el cuadro siguiente que constituyen una modificación de la serie abreviada de Gilbreth, en la cual se ha sustituido el círculo pequeño por una flecha y se ha añadido un nuevo símbolo para representar las esperas.

SIMBOLOGÍA SEGÚN ASME















SÍMBOLO	NOMBRE	DESCRIPCIÓN
	<i>OPERACIÓN</i>	Tiene lugar una operación cuando se altera intencionadamente un objeto en una o más de sus características. Una operación representa una fase principal del proceso y generalmente se realiza en una máquina o en un puesto de trabajo.
	<i>TRANSPORTE</i>	Tiene lugar un transporte cuando se mueve un objeto de un lugar a otro, excepto cuando el movimiento forma parte de una operación o de una inspección.
	<i>INSPECCIÓN</i>	Tiene lugar una inspección cuando se examina un objeto para su identificación, o se verifica en cuanto a calidad o cantidad.
	<i>ESPERA</i>	Tiene lugar una espera cuando las circunstancias, excepto las inherentes al proceso, no permiten la ejecución inmediata de la acción siguiente prevista
	<i>ALMACENAMIENTO</i>	Tiene lugar un almacenamiento cuando se guarda un objeto de forma que no se pueda retirar sin la correspondiente autorización.

Fuente: Estudio de Movimientos y Tiempos
Autor: BARNES, Ralph

DIAGRAMA DEL PROCESO PARA EL CONTROL DE CAUDAL DEL MÓDULO DIDÁCTICO

A continuación veremos el diagrama de Proceso para el Control de Caudal en el Modulo didáctico:

DIAGRAMA DE PROCESO PARA DESARROLLAR LAS PRUEBAS EN EL MODULO DE BOMBEO PARA SLURRY

SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
	El estudiante se dirige al Laboratorio de Automatización y Control.
	Abre la puerta.
	Se dirige a la ubicación del módulo Didáctico.
	Coge la Guía Práctica de Control de Flujo.
	Toma asiento.
	Realiza una lectura detallada de los requerimientos y restricciones del uso del Módulo Didáctico.
	Ubica la Práctica a desarrollar y realiza una lectura de los Objetivos Materiales y el Procedimiento a seguir.
	El estudiante espera la Aprobación del Docente encargado del Laboratorio antes de encender los equipos.
	El Docente Inspecciona los Requerimientos de la Práctica a desarrollar y emite la orden de encendido del equipo.
	El estudiante Verifica el estado de los manómetros, así como la posición correcta del indicador.
	El estudiante Energiza el tablero de control
	El estudiante Verificar el estado del sensor de caudal, observar que el display del transmisor muestre un valor de 0
	El estudiante realiza la recarga de agua correspondiente y en el porcentaje de volumen con el que se quiera hacer la prueba
	Abre todas las válvulas

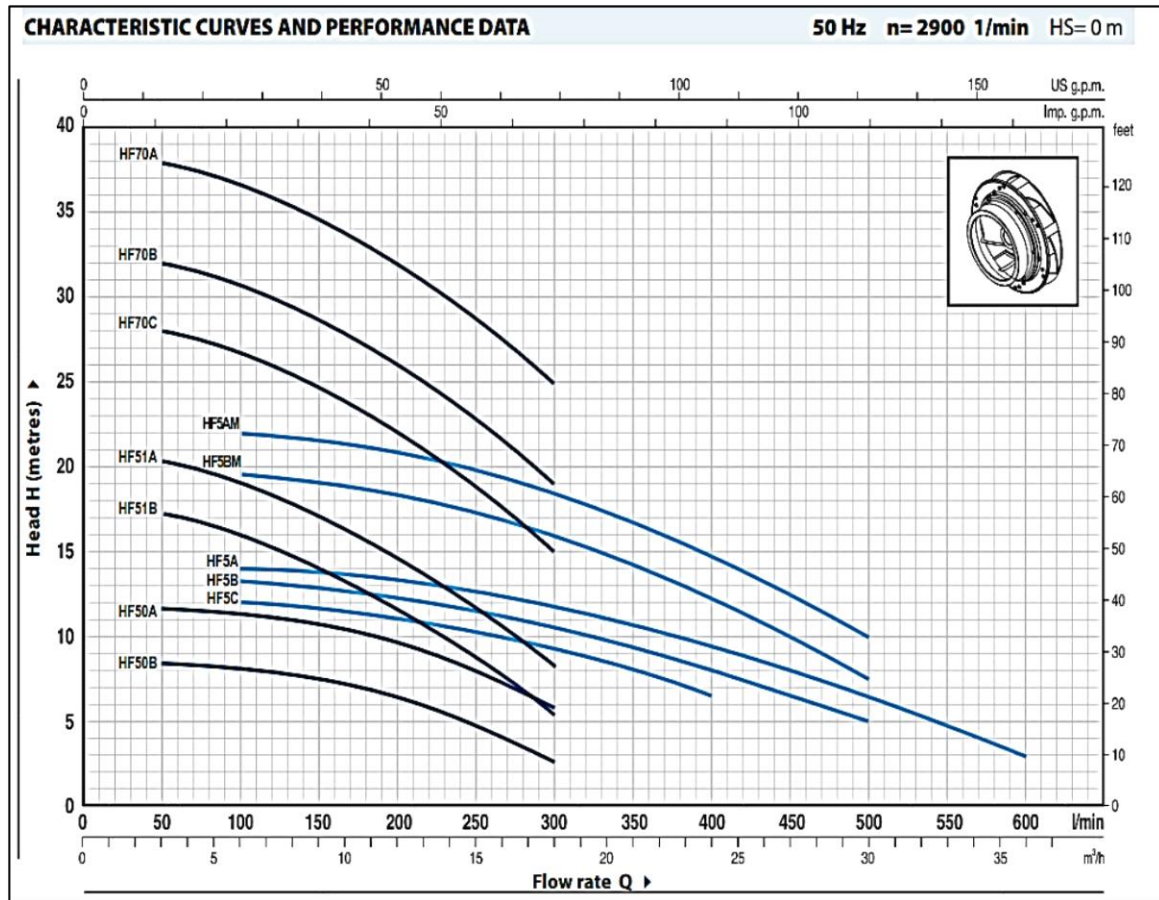
<input type="radio"/>	des energiza la llave trifásica y presionar el pulsador de marcha P1, seguidamente presionar el pulsador de marcha P2; de esta manera se consigue poner en funcionamiento la bomba mas no el agitador
<input type="checkbox"/>	El estudiante verifica que los indicadores de presión nos brinden valores.
<input type="checkbox"/>	El estudiante verifica que el sensor de presión nos esté brindando valores de caudal y que estos valores sean coherentes, considerando el valor máximo de caudal que puede brindarnos la bomba; este valor está indicado en la placa de la electrobomba
<input type="radio"/>	El estudiante para la electrobomba presionado el pulsado de parada P2 y P1.
<input type="radio"/>	El estudiante energiza la llave trifásica
<input type="checkbox"/>	El estudiante verifica la posición de velocidad del agitador; esta tiene que estar en la posición de velocidad mínima
<input type="radio"/>	El estudiante pone en funcionamiento el agitador, presionando el pulsador de marcha P1.
<input type="radio"/>	Realiza el llenado de arena, considerando el porcentaje de volumen con el que sesee hacer la prueba. El llenado se hará de manera progresiva.
<input type="radio"/>	Enciende la bomba, presionado el pulsador de marcha P2.
<input type="radio"/>	Realiza la toma de datos.
<input type="radio"/>	apagar la bomba, presionando el pulsador de parada P2
<input type="radio"/>	Mantiene el agitador en funcionamiento.
<input type="radio"/>	Desplaza el modulo hacia el drenaje, de tal manera que el tanque quede justo por encima del drenaje.
<input type="radio"/>	Abre la tapa de drenado del tanque, hasta retirar todo el contenido. Una vez que el contenido este al 50% apagar el agitador.

<input type="radio"/>	Cierra la tapa de drenado del tanque.
<input type="radio"/>	Llena el tanque con agua al 60% para finalizar la limpieza de las tuberías del módulo.
<input type="radio"/>	Enciende el agitador en su mínima velocidad.
<input type="radio"/>	El estudiante apertura la tapa del drenador del tanque, hasta retirar todo el contenido. Una vez que el contenido este al 50% apagar el agitador.
<input type="radio"/>	El estudiante des energizar el tablero de control.
<input type="radio"/>	El estudiante limpia del módulo.
<input type="radio"/>	El estudiante ordena y limpia del área.

Fuente: Proyecto de Investigación
Autores: Ccamaque y Ortega



ANEXO Nº 2: CARACTERISTICAS DE LA BOMBA



MODEL		POWER		Q	H metres											
Single-phase	Three-phase	kW	HP		m³/h	0	3	6	9	12	15	18	21	24	30	36
				l/min	0	50	100	150	200	250	300	350	400	500	600	
HFm 50B	HF 50B	0.37	0.50	H metres	9	8.5	8.2	7.5	6.3	4.9	2.8					
HFm 50A	HF 50A	0.55	0.75		12	11.5	11.2	10.6	9.6	8	6					
HFm 51B	HF 51B	0.60	0.85		18.2	17.2	16	14	11.5	9	5.4					
HFm 51A	HF 51A	0.75	1		21.2	20.2	19	17	14.5	11.6	8.4					
HFm 70C	HF 70C	1.1	1.5		29	28	26.5	24.5	22	18.5	15					
HFm 70B	HF 70B	1.5	2		33	32	30.5	28.5	26	22.5	19					
-	HF 70A	2.2	3		39	38	36.5	34.5	32	28.5	25					
HFm 5C	HF 5C	0.60	0.85		12.5	-	12	11.7	11	10.2	9.2	8	6.5			
HFm 5B	HF 5B	0.75	1		13.7	-	13.2	13	12.5	11.6	10.5	9.2	8	5		
HFm 5A	HF 5A	1.1	1.5		14.5	-	13.8	13.5	13.2	12.6	11.8	10.5	9.2	6.5	3	
HFm 5BM	HF 5BM	1.1	1.5		20.2	-	19.2	19	18	17	16	14	12	7.5		
HFm 5AM	HF 5AM	1.5	2		22.5	-	22	21.5	21	20	18.5	16.6	14.5	10		

Q = Flow rate H = Total manometric head HS = Suction height Tolerance of characteristic curves in compliance with EN ISO 9906 App. A.

ANEXO Nº 3: PESO ESPECIFICO DE MATERIALES



PESO ESPECIFICO DE MATERIALES

MATERIALES	densidad en Kg/dm3	densidad en Kg/m3
Arena fina y seca 1,4 a 1,65	1.5	1500
Arena fina y húmeda 1,9 a 2,05	1.99	1990
Arena gruesa 1,4 a 1,5	1.45	1450
Arenisca natural 2,4 a 2,7	2.65	2650
Arenisca artificial 2,7 a 3,2	2.8	2800
Asfalto 1,5	1.5	1500
Asfalto apisonado 2,3	2.3	2300
Asfalto en placas 2,0	2	2000
Asfalto fundido 1,4	1.4	1400
Basalto 2,7 a 3,2	2.89	2890
Caliza 2,86 a 2,84	2.85	2850
Cal viva (en terron) 0,9 a 1,3	1.1	1100
Cal apagada 1,15 a 1,25	1.2	1200
Cal mortero en pasta 1,75 a 1,80	1.78	1780
Cal mortero fraguado 1,6 a 1,65	1.62	1620
Cal de córdoba en pasta 1,3	1.3	1300
Cal hidráulica apagada en polvo 1,8	1.8	1800
Cal hidráulica viva en polvo 1,15	1.15	1150
Canto rodado 1,8	1.8	1800
Cemento en polvo 1,5	1.5	1500
Cemento fraguado 3,0	3	3000
Caolín 2,2	2.2	2200
Creta 1,8 a 2,7	2.25	2250
Cuarzo 2,5 a 2,8	2.7	2700
Escombros 1,4	1.4	1400
Gabro 2,9 a 3,0	2.95	2950
Gneis 2,4 a 2,7	2.6	2600
Granate 3,4 a 4,3	4.3	4300
Granito 2,5 a 2,7	2.7	2700
grava cantos vivos 1,8	1.8	1800
Gravilla quijo 1,8 a 2,0	2	2000
Gravilla de río seca 2,3 a 2,7	2.7	2700
Gravilla de río húmeda 2,5 a 2,85	2.85	2850
Hormigón 1,8 a 2,45	2.45	2450
Hormigón armado 2,4	2.4	2400
Hormigón de cascotes de ladrillo 1,8	1.8	1800
Hormigón de escorias de alto horno 2,4	2.4	2400
Hormigón de grava 2,3	2.3	2300
Hornablenda 2,9 a 3,3	3	3000
Ladrillos comunes 1,6	1.6	1600
Ladrillos de corcho blanco 0,25	0.25	250
Ladrillos de corcho negro 0,56	0.56	560

ANEXO N° 4: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA TUBERÍA



Tuberías Presión PAVCO

RDE 9 PVC

Presión de Trabajo a 23°C: 500 PSI

RDE 11 PVC

Presión de Trabajo a 23°C: 400 PSI

RDE 13.5 PVC

Presión de Trabajo a 23°C: 315 PSI

RDE 21 PVC

Presión de Trabajo a 23°C: 200 PSI

RDE 26 PVC

Presión de Trabajo a 23°C: 160 PSI

RDE 32.5 PVC

Presión de Trabajo a 23°C: 125 PSI

RDE 41 PVC

Presión de Trabajo a 23°C: 100 PSI

Diámetro Nominal		Referencia	Peso	Diámetro Exterior Promedio		Espesor de Pared Mínimo		Diámetro Interior Promedio
mm	pulg.			mm	pulg.	mm	pulg.	
21	1/2	2900266	218	21.34	0.84	2.37	0.09	16.60
26	3/4	2900210	304	26.67	1.05	2.43	0.09	21.81
21	1/2	2902449	157	21.34	0.84	1.58	0.06	18.18
33	1	2900213	364	33.40	1.31	2.46	0.09	28.48
26	3/4	2900237	189	26.7	1.05	1.52	0.06	23.63
33	1	2900220	252	33.4	1.31	1.60	0.06	30.20
42	1.1/4	2900225	395	42.2	1.66	2.01	0.08	38.14
48	1.1/2	2902450	514	48.3	1.90	2.29	0.09	43.68
60	2	2902453	811	60.3	2.37	2.87	0.11	54.58
73	2.1/2	2900230	1185	73.0	2.87	3.48	0.14	66.07
88	3	2900233	1761	88.9	3.50	4.24	0.17	80.42
114	4	2900240	2904	114.3	4.50	5.44	0.21	103.42
168	6	2904616	5835	168.3	6.62	8.03	0.32	152.22
60	2	2900246	655	60.3	2.37	2.31	0.09	55.70
73	2.1/2	2900248	964	73.0	2.87	2.79	0.11	67.45
88	3	2900251	1438	88.9	3.50	3.43	0.13	82.04
114	4	2900254	2376	114.3	4.50	4.39	0.17	105.52
168	6	2904617	4759	168.3	6.62	6.48	0.25	155.32
88	3	2900256	1157	88.9	3.50	2.74	0.11	83.42
114	4	2900258	1904	114.3	4.50	3.51	0.14	107.28
114	4	2900261	1535	114.3	4.50	2.79	0.11	108.72

ANEXO Nº 5: ESPEORES DE ACERO INOXIDABLE

Peso de chapa por m ²				
Fórmula de calculo chapa: ancho x largo x espesor x p.e. (7.85)	Esesor (mm.)	Peso (m ²)	Esesor (mm.)	Peso (m ²)
	0.30	2.40	7.00	56.00
	0.40	3.20	8.00	64.00
	0.50	4.00	9.00	72.00
	0.60	4.80	9.35	74.80
	0.70	5.60	10.00	80.00
	0.80	6.40	12.00	96.00
	0.90	7.20	12.70	101.60
	1.00	8.00	15.00	120.00
	1.20	9.60	15.80	126.40
	1.50	12.00	16.00	128.00
	2.00	16.00	18.00	144.00
	2.50	20.00	19.00	152.00
	3.00	24.00	20.00	160.00
3.50	28.00	22.00	176.00	
4.00	32.00	25.00	200.00	
4.50	36.00	25.40	203.20	
5.00	40.00	30.00	240.00	
6.00	48.00	32.00	256.00	
6.35	50.80	35.00	280.00	

ANEXO Nº 6 CARACTERÍSTICAS DEL MOTO-REDUCTOR

WIEN			
DPI 80 S - 2		726824	
KW 0.75		HP 1	
1 Mot.	220 V / 380 V	60 Hz	2800 rpm
INDUR			
R25 – 1009-0754		298816	
Velocidad	78 – 390 RPM	Fuente	380 V.

ANEXO Nº 7 PLANCHAS DE ACERO INOXIDABLE

ASTM A240 / ASME SA240

PLANCHAS DE ACERO INOXIDABLE (SHEETS AND PLATES)

Acabado	Grado	Espesor (mm)	1219mm X 2438mm (4' x 8')	1500mm X 3000mm	1524mm X 3048mm (5' x 10')	1500mm X 6000mm	1524mm X 6096mm (5' x 20')	1800mm X 6000mm
NO. 1	304/304 L	3.0 - 50.0	*	*	*	*	*	
	316/316 L	4.5 - 50.0	*	*	*	*	*	
	310 S	3.0 - 25.0	*	*	*	*	*	
	253MA	6.0 - 20.0	*	*	*	*	*	
	DUPLEX 2304S	6.0 - 32.0						*
	41003 (CROMGARD®)	3.0 - 12.0				*	*	
2B	201	0.4 - 3.0	*					
	304/304 L	0.4 - 0.5	*					
		0.6	*	*	*			
		0.7	*					
		0.8 - 2.5	*	*	*			
	316/316 L	3.0 - 6.0	*	*	*	*	*	
		0.4 - 0.9	*					
		1.0	*	*	*			
		1.2	*					
		1.5 - 2.5	*	*	*			
	3.0 - 6.0	*	*	*	*	*		
430	0.4 - 3.0	*						
BA	430	0.4 - 2.0	*					
	BA-PVC	430	0.4 - 0.6	*				
N4-PVC		201	0.4 - 0.6	*				
	0.8		*					
	304/304 L	0.5 - 1.5	*					
		0.4 - 0.7	*					
		0.8 - 2.0	*	*	*			
	430	0.4 - 0.9	*					
1.0 - 1.2		*	*	*				
		1.5 - 2.0	*					



ANEXO Nº 8 FICHA TÉCNICA DE BARRAS DE ACERO INOXIDABLE

Barra de Acero Inoxidable

Cuadrada, redonda y hexagonal.

Laminada en caliente o estrada en frío.

Tipos AISI

Cuadrada: 304, y 316.

Hexagonal: 303, y 316.

Redonda: 303, 304, 316, y 416.

Norma

ASTM A-276, A-262, A-582

Medidas y Pesos

Medidas		Peso aproximado por metro lineal		
mm	Pulg.	Redonda	Cuadrada	Hexagonal
3,2	1/8	0,185	--	--
4,8	3/16	0,140	--	--
6,4	1/4	0,248	0,316	0,274
7,9	5/16	0,388	0,496	0,428
9,5	3/8	0,559	0,712	0,616
11,1	7/16	0,761	0,964	0,839
12,7	1/2	0,994	1,265	1,096
14,3	9/16	1,257	1,601	1,367
15,9	5/8	1,552	1,976	1,712
17,5	11/16	1,878	2,393	2,072
19,0	3/4	2,235	2,847	2,465
20,8	13/16	2,624	3,341	2,893
22,2	7/8	3,042	3,874	3,355
23,8	15/16	3,493	4,449	3,852
25,4	1	3,974	5,060	4,383
27,0	1 1/16	4,486	--	4,947
28,6	1 1/8	5,029	6,404	5,547
30,2	1 3/16	5,605	--	6,179
31,8	1 1/4	6,211	7,906	6,848
33,3	1 5/16	6,846	--	7,549
34,9	1 3/8	7,470	9,567	8,285
36,6	1 7/16	8,212	10,460	--
38,1	1 1/2	8,942	11,390	9,860
41,3	1 5/8	10,494	--	11,570
42,9	1 11/16	11,320	14,410	--
44,4	1 3/4	12,170	15,400	13,420
47,6	1 7/8	13,970	--	15,400
49,2	1 15/16	14,910	18,990	--
50,8	2	15,900	20,240	17,530
54,0	2 1/8	17,950	--	--
57,2	2 1/4	20,120	25,830	22,190
60,3	2 3/8	22,430	--	24,720
63,5	2 1/2	24,840	--	27,380
66,7	2 5/8	27,380	--	30,200
69,9	2 3/4	30,060	--	33,140
73,0	2 7/8	32,850	--	36,230
76,2	3	35,760	--	39,440
79,4	3 1/8	38,810	--	--
82,6	3 1/4	41,970	--	--
85,7	3 3/8	45,270	--	--
88,9	3 1/2	48,680	--	--
95,2	3 3/4	55,900	--	--
101,6	4	63,600	--	--
107,9	4 1/4	71,800	--	--
114,3	4 1/2	80,470	--	--
127,0	5	99,360	--	--
139,7	5 1/2	120,210	--	--
152,4	6	143,100	--	--
177,8	7	194,800	--	--
203,2	8	254,500	--	--

DESDE
DM
1947



ANEXO Nº 9: CODOS 90° CON ROSCA

CODOS 90° CON ROSCA

Diámetro Nominal (Pulg)	DE (mm)	R (mm)	PESO (Kg)	F
1/2"	45	17	0.020	I
3/4"	55	17	0.052	I
1"	64	21	0.074	I
1 1/4"	90	22	0.200	I
1 1/2"	90	22	0.168	I
2"	115	24	0.289	I

ANEXO Nº 10: UNIONES CON ROSCA INTERNA

UNIONES CON ROSCA INTERNA

Diámetro Nominal (Pulg)	D1 (mm)	L (mm)	R (mm)	PESO (Kg)	F
1/2" REX	21.3	40	17	0.010	I
1/2" RI	18.4	48	17	0.029	I
3/4" RI	23.8	53	17	0.042	I
1" RI	29.9	56	21	0.053	I
1 1/4" RI	38.7	77	22	0.167	I
1 1/2" RI	44.8	77	22	0.130	I
2" RI	56.8	97	24	0.125	I

ANEXO Nº 11: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA UNION UNIVERSAL DE 2”

Uniones Universales de PVC

Para aplicaciones tipo pesado y liviano



PROCEDIMIENTO PARA SOLDAR

1. Corte el tubo procurando que el corte quede perpendicular al eje del tubo.
2. Quite la rebaba del tubo y limpie tanto el extremo del tubo como el interior de la Union Universal PCP, a soldar, utilice limpiador para PVC.
3. Aplique la soldadura para PVC en la Union Universal PCP, y en el exterior del tubo. Procure no aplicar excesos.
4. Una la Union Universal PCP y el tubo con ligero movimiento de torsión para lograr un mejor contacto.

PROCEDIMIENTO PARA ROSCAR

1. Procure utilizar cinta de teflón sin exceso antes de roscar la Union Universal.
2. Apriete únicamente con la mano, no requiere herramientas.

Todos nuestros empaques son fabricados con materiales reciclables.



**ASEGÚRESE
QUE SU UNIÓN
SEA PCP
HECHO EN COLOMBIA
NO ACEPTE IMITACIONES**

FICHA TÉCNICA

CARACTERÍSTICAS

1. Rápida instalación.
2. Giro suave de la tuerca.
3. Fabricado en PVC-I virgen de alta resistencia.
4. Precisión de la cavidad para el O'ring que evita su caída.
5. Presión de ejercicio: 235 PSI a 23°C en uniones de roscar
150 PSI a 23°C en uniones de soldar
6. Filetes de rosca de alta precisión.
7. Roscas NPT controladas con patrones internacionales, según norma ANSI B1.20.1.
8. Campanas según norma ASTM D2466.
9. Disponible en medidas desde 1/2" hasta 4" para soldar y roscar.
10. O'ring de precisión en Nitrilo, dureza 70 ± 5 Shore A.

**UTILIZADO
POR LOS
EXPERTOS**

REF. UNIONES UNIVERSALES PVC SOLDAR

3001	UNION UNIVERSAL DE 1/2" SOLDAR
3018	UNION UNIVERSAL DE 3/4" SOLDAR
3003	UNION UNIVERSAL DE 1" SOLDAR
3005	UNION UNIVERSAL DE 1 1/4" SOLDAR
3007	UNION UNIVERSAL DE 1 1/2" SOLDAR
3009	UNION UNIVERSAL DE 2" SOLDAR
3013	UNION UNIVERSAL DE 3" SOLDAR
3015	UNION UNIVERSAL DE 4" SOLDAR

REF. UNIONES UNIVERSALES PVC ROSCAR

3002	UNION UNIVERSAL DE 1/2" ROSCAR
3019	UNION UNIVERSAL DE 3/4" ROSCAR
3004	UNION UNIVERSAL DE 1" ROSCAR
3006	UNION UNIVERSAL DE 1 1/4" ROSCAR
3008	UNION UNIVERSAL DE 1 1/2" ROSCAR
3010	UNION UNIVERSAL DE 2" ROSCAR
3014	UNION UNIVERSAL DE 3" ROSCAR
3016	UNION UNIVERSAL DE 4" ROSCAR

Recomendaciones

- NO GOLPEE LA PIEZA
- USE CINTA DE TEFLÓN PARA ROSCAR
- USE LIMPIADOR Y SOLDADURA DE PVC NO UTILICE ÁCIDOS
- NO EMPONGALAS PIEZAS AL FUEGO
- NO APTO PARA AGUA CALIENTE
- NO PINTE EL PRODUCTO LAS PARTURAS PUES CONTIENE AGENTES ROSCOS PARA EL PRODUCTO
- NO EMPLEE HERRAMIENTAS DE FUERZA PARA LA INSTALACIÓN DE LA PIEZA



Sujeto a cambios sin previo aviso. Edición 2008 - Rev. 2

ANEXO Nº 12: ESPECIFICACIONES TECNICAS DE ABRAZADERA 2 CUERPOS TERMOPLÁSTICAS DE 2"



ABRAZADERA 2 CUERPOS TERMOPLÁSTICAS PVC



Norma Referencial: 399.137:2009

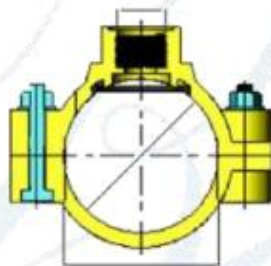
Abrazadera que se adapta al diámetro exterior de la tubería de agua potable permite el paso de agua desde la tubería hasta la conexión domiciliaria, está diseñada para tubería fabricadas según norma ISO tiene dos partes una de ellas es la montura inferior y la otra es la montura superior. El diseño del interior de la abrazadera permite el agarre perfecto en la tubería.

Ensayos

Presión Hidráulica (PN) : 10 bar
Dimensiones de rosca : ISO 7/1
Presión Hidrostática de Prueba: 20 bar / 15 min

Componentes

1. Montura superior : PPR
2. Montura inferior : PPR
3. O-Ring / Empaquetadura : NBR
4. Perno de cabeza hexagonal : Ac. Zincado
5. Tuerca hexagonal : Ac. Zincado
6. Arandela plana : Ac. Zincado
7. Anillo : Ac. Inoxidable



Diámetro Nominal DN		Rango de diámetro exterior		Salida Rø	Tipos de pernos		Tipos de tubería utilizada				Espesor de la abrazadera	Resistencia al Torque en las Roscas da. N.m.	Peso Aprox (Gr.)
Pulgadas	Milímetro	Pulgadas	Milímetros		Acero Galvalume	Acero Inoxidable	PVC 1111111111	PVC 1111111111	Ac ISO	Fe 111111			
2"	50	2.36"	60	1"	2P	2P	SI	NO	NO	NO	5.5	4	112
2"	50	2.48"	63	1"	2P	2P	SI	NO	NO	NO	5.5	8	112
2 1/2"	65	2.95"	75	3/4"	4P	4P	SI	NO	NO	NO	7.5	4	237
				1"	4P	4P	SI	NO	NO	NO	7.5	8	278
3"	80	3.54"	90	1 1/4"	4P	4P	SI	NO	NO	NO	7.5	13	400
				1"	4P	4P	SI	NO	NO	NO	7.5	8	320
				1 1/4"	4P	4P	SI	NO	NO	NO	7.3	8	400
4"	100	4.33"	110	1"	4P	4P	SI	NO	NO	NO	7.5	13	400
				1 1/4"	4P	4P	SI	NO	NO	NO	7.3	8	400
6"	150	6.29"	160	1"	4P	4P	SI	NO	NO	NO	7.3	8	400
				1 1/4"	4P	4P	SI	NO	NO	NO	7.3	13	400

ANEXO Nº 13: FICHA TÉCNICA DE ABRAZADERAS LIGERAS DE DOBLE PIE

FICHA TÉCNICA



Abrazaderas ligeras

Denominación: ABRAZADERAS LIGERAS	Códigos: AB-M8, AB-D8, AB-8I, AB-DI, AB-GS, AB-GD, AB-GM, AB-CR, AB-PI, AB-PU, AB-SF, AB+P, AB+TO, AB+SI		
Referencia: FT ABRAL-es	Fecha: 24/03/15	Revisión: 2	Página: 12 de 16

10.- AB-PU Abrazadera de doble pie

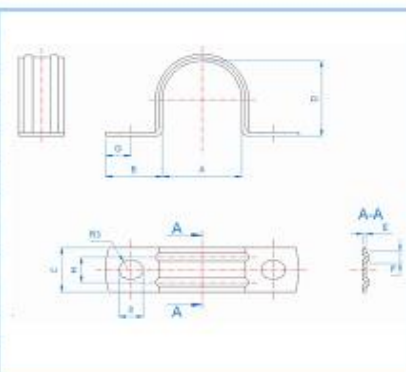
	Usos principales			Recubrimiento	Aplicaciones
	Tubo de acero	Tubo de plástico	Cables	Zn Cincado \geq 5 micras	Saneamiento Eléctrico

10.1. Características y Ventajas.

- Para tubos y cables desde $\varnothing 1$ hasta $\varnothing 63$ mm.
- Acabado superficial: cincado \geq 5 micras.
- Perfil de acero de 1,2+ 1,4 mm de espesor.
- Adecuada para tubos ligeros de plástico, acero y cables.
- Indicada para instalaciones de cableado, saneamiento, etc.

10.2. Datos.

Código	$\varnothing A$ (mm)	$\varnothing A$ (")	Ancho (C)	Espesor (E)	Carga recomendada (kg)
ABPU016	16	---	12 + 14	1,2 + 1,4	75
ABPU018	18	3/8	12 + 14	1,2 + 1,4	75
ABPU020	20	1/2	12 + 14	1,2 + 1,4	75
ABPU022	22	---	15 + 16	1,2 + 1,4	75
ABPU025	25	3/4	15 + 16	1,2 + 1,4	75
ABPU028	28	---	15 + 16	1,2 + 1,4	75
ABPU032	32	1	15 + 16	1,2 + 1,4	75
ABPU037	37	---	18 + 20	1,2 + 1,4	75
ABPU040	40	1 1/4	18 + 20	1,2 + 1,4	75
ABPU050	50	1 1/2	18 + 20	1,2 + 1,4	75
ABPU063	63	---	18 + 20	1,2 + 1,4	75



10.3. Ejemplos de aplicación.



ANEXO Nº 14: FICHA TÉCNICA DE ABRAZADERAS LIGERAS SIN-FIN

FICHA TÉCNICA



Abrazaderas ligeras

Denominación: ABRAZADERAS LIGERAS

Códigos: AB-M8, AB-D8, AB-Ø1, AB-D1, AB-GS, AB-GD, AB-GM, AB-CR, AB-PI, AB-PU, AB-SF, AB-P, AB-TD, AB-SI

Referencia: FT ABRAL-es

Fecha: 24/03/15

Revisión: 2

Página: 13 de 16

11.- AB-SF Abrazadera sin-fin



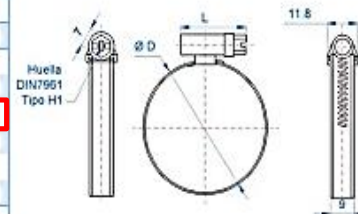
Usos principales		Recubrimiento	Aplicaciones
		Zn	Domésticas Industriales Agrícolas
Tubo flexible	Tubo de plástico	Cincado \geq 5 micras	

11.1. Características y Ventajas.

- Para tuberías desde $\varnothing 8$ hasta $\varnothing 150$ mm.
- Acabado superficial: cincado \geq 5 micras.
- Tornillo con arandela estampada, para facilitar el apriete del tornillo.
- Perfil de acero de 0.6 a 0.8 mm de espesor, dependiendo de la medida.
- Especialmente indicada para mangueras, tuberías de plástico, usos industriales, etc.
- Facilidad y rapidez de montaje.

11.2. Datos.

Código	ØD (mm)	ØD (")	Par de apriete (Nm)	Espesor fleje	Ancho	L
ASF008016	8+16	5/16"+5/8"	4,50	0,60	9	21
ASF012022	12+22	1/2"+7/8"	4,50	0,70	9	24
ASF016027	16+27	5/8"+1 1/16"	4,50	0,70	9	24
ASF020032	20+32	3/4"+1 1/4"	4,50	0,70	9	24
ASF025040	25+40	1"+1 5/8"	4,50	0,70	9	26
ASF030045	30+45	1 3/16"+1 3/4"	4,50	0,70	9	26
ASF035050	35+50	1 3/8"+2"	4,50	0,70	9	26
ASF040060	40+60	1 5/8"+2 3/8"	4,50	0,70	9	26
ASF050070	50+70	2"+2 3/4"	4,50	0,70	9	26
ASF060080	60+80	2 3/8"+3 1/8"	4,50	0,70	9	26
ASF070090	70+90	2 3/4"+3 1/2"	4,50	0,70	9	26
ASF080100	80+100	3 1/8"+4"	4,50	0,70	9	26
ASF090110	90+110	3 1/2"+4 3/8"	4,50	0,70	9	26
ASF100120	100+120	4"+4 3/4"	4,50	0,70	9	26
ASF110130	110+130	4 3/8"+5 1/8"	4,50	0,70	9	26
ASF120140	120+140	4 3/4"+5 1/2"	4,50	0,80	9	26
ASF130150	130+150	5 1/8"+5 7/8"	4,50	0,80	9	26



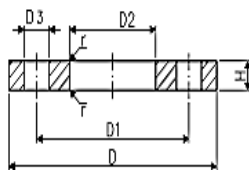
11.3. Ejemplos de aplicación.



ANEXO Nº 15: FICHA TÉCNICA DE BRIDAS DE PVC

Ficha técnica

Válido desde: 24/05/16



Brida loca de PVC-U
ASTM / ANSI

Modelo:

- Para sistemas de manguitos
- Dimensiones de conexión: ANSI/ASME B 16.5 class 150 (ASTM D 4024), BS EN 1759
- **Bolt circle class 150**

*Usar sólo con portabridas ISO/DIN

AL: número de agujeros

Pulgadas (inch)	d (mm)	DN (mm)	PN (bar)	Código	SP	Peso (kg)
½	15	10	10	721 702 206	90	0,068
¾	20	10	10	721 702 207	50	0,090
1	25	10	10	721 702 208	40	0,128
1 ¼	32	10	10	721 702 209	25	0,203
1 ½	40	10	10	721 702 210	20	0,238
2	50	10	10	721 702 211	30	0,302
2 ½	65	10	10	721 702 212	27	0,369
3	80	10	10	721 702 213	20	0,509
4	100	10	10	721 702 214	30	0,516
4	110	100	10	161 483 180	30	0,538
5	125	10	10	721 702 216	12	0,737
6	150	10	10	721 702 217	5	1,910
8	200	10	10	721 702 220	8	1,360

Pulgadas (inch)	d (mm)	DN (mm)	D (mm)	D1 (mm)	D2 (mm)	D3 (mm)	H (mm)	r (mm)	AL
½	15	95	60	28	16	11	1	4	
¾	20	105	70	34	16	12	2	4	
1	25	115	79	42	16	14	2	4	
1 ¼	32	140	89	51	16	15	2	4	
1 ½	40	150	98	62	16	16	2	4	
2	50	165	121	78	19	18	3	4	
2 ½	65	185	140	92	19	19	3	4	
3	80	200	152	110	19	20	3	4	
4	100	220	190	138	19	22	3	8	
4	110	100	220	190	133	19	22	3	8
5	125	250	216	167	22	26	4	8	
6	150	285	241	200	22	28	4	8	
8	200	340	298	250	22	32	4	8	

ANEXO Nº 16: FICHA TÉCNICA DE ABRAZADERAS DE MANGUITOS PORTA BRIDAS HEMBRA

MANGUITOS PORTA BRIDAS HEMBRA



PN 1,6 MPa (16 bar) a 20°C hasta Ø 90
PN 1,0 MPa (10 bar) a 20°C a partir de Ø 110

DN mm	Referencia	uds/caja	CÓDIGO	€/ud
25	A-25	C-170	7000299	1,33
32	A-32	D-100	7000300	1,49
40	A-40	C-110	7000301	1,66
50	A-50	E-30	1000024	1,81
63	A-63	D-35	1000025	2,40
75	A-75	D-25	1000026	3,33
90	A-90	C-30	1000027	4,75
110	A-110	C-20	1000028	5,87
125	A-125	C-15	1000029	7,80
140	A-140	C-8	7000308	17,16
160	A-160	B-14	1000030	14,37
200	A-200	B-8	7000310	38,03
250	A-250	B-2	7000311	82,99
315	A-315	B-1	7000312	125,97



ANEXO Nº 17: FICHA TÉCNICA DE CLAVIJAS PARA TOMA DE ENERGÍA

Serie EUREKA

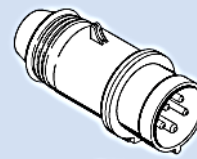
CLAVIJAS

Tensión nominal >50V

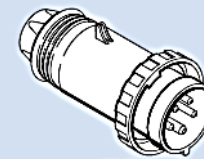
Normas de referencia IEC 60309-1 y -2.

- Aprobaciones: de pág. 535
- Dimensiones: de pág. 192
- Tapón para clavijas 570.0316: de pág. 228

AÉREA - SALIDA RECTA



IP44



IP67

Polos	Hz.	Unidades / Embalaje			AÉREA - SALIDA RECTA			
		Voltios	Color	h.	16 A Pasacables 10/100	32 A Pasacables 10/50	16 A Pasacables 10/100 ¹	32 A Pasacables 10/40
2P+T	50/60	100-130	■	4	211.1630	211.3230	216.1630	216.3230
	50/60	200-250	■	6	211.1633	211.3233	216.1633	216.3233
	50/60	380-415	■	9	211.1638	211.3238	216.1638	216.3238
	60	277	■	5	211.16337	211.32337	216.16337	216.32337
	50/60	480-500	■	7	211.16336	211.32336	216.16336	216.32336
	50/60	trasf.	■	12	211.16333	211.32333	216.16333	216.32333
	>300-500	>50	■	2	211.16332	211.32332	216.16332	216.32332
	c.c.	>50-250	■	3	211.16334	211.32334	216.16334	216.32334
	c.c.	>250	■	8	211.16338	211.32338	216.16338	216.32338
3P+T	50/60	100-130	■	4	211.1631	211.3231	216.1631	216.3231
	50/60	200-250	■	9	211.1634	211.3234	216.1634	216.3234
	50/60	380-415	■	6	211.1636	211.3236	216.1636	216.3236
	60	440-460	■	11	211.16365	211.32365	216.16365	216.32365
	50/60	480-500	■	7	211.16366	211.32366	216.16366	216.32366
	50/60	600-690	■	5	211.16367	211.32367	216.16367	216.32367
	50/60	trasf.	■	12	211.16363	211.32363	216.16363	216.32363
	50/60	380/440	■	3	211.16364	211.32364	216.16364	216.32364
	100-300	>50	■	10	211.16361	211.32361	216.16361	216.32361
	>300-500	>50	■	2	211.16362	211.32362	216.16362	216.32362
3P+N+T	50/60	100-130	■	4	211.1632	211.3232	216.1632	216.3232
	50/60	208-250	■	9	211.1635	211.3235	216.1635	216.3235
	50/60	346-415	■	6	211.1637	211.3237	216.1637	216.3237
	50/60	480-500	■	7	211.16376	211.32376	216.16376	216.32376
	50/60	600-690	■	5	211.16377	211.32377	216.16377	216.32377
	60	440-460	■	11	211.16375	211.32375	216.16375	216.32375
	50/60	380/440	■	3	211.16374	211.32374	216.16374	216.32374
	>300-500	>50	■	2	211.16372	211.32372	216.16372	216.32372

¹3P+N+T=Unidades / Embalaje 10/40



ANEXO Nº 18: FICHA TÉCNICA DE PULSADORES

47.4 Botones Pulsadores y Luces Indicadoras

Botones Modulares M22



Botones Dobles, Botones Superiores Rasantes con Luz Central, Momentáneos

Sólo Operadores⁽¹⁾

	Bisel	Color Superior	Inferior	Leyenda Superior	Inferior	Número de Parte	Precio U.S. \$ ⁽³⁾
 M22-DDLF-GR	Plateado	Verde	Rojo	—	—	M22-DDLF-GR	30.75
				Personal	Personal	M22-DDLF-GR-ETCH ⁽²⁾	31.75
		Blanco	Negro	—	—	M22-DDLF-WS	30.75
				Personal	Personal	M22-DDLF-WS-ETCH ⁽²⁾	31.75
		Verde	Rojo	⓪	Ⓢ	M22-DDLF-GR-X1-X0	31.75
		Blanco	Negro	⓪	Ⓢ	M22-DDLF-WS-X1-X0	31.75
 M22S-DDLF-GR-X1-X0	Negro	Verde	Rojo	—	—	M22S-DDLF-GR	29.25
				Personal	Personal	M22S-DDLF-GR-ETCH ⁽²⁾	30.25
		Blanco	Negro	—	—	M22S-DDLF-WS	29.25
				Personal	Personal	M22S-DDLF-WS-ETCH ⁽²⁾	30.25
		Verde	Rojo	⓪	Ⓢ	M22S-DDLF-GR-X1-X0	30.25
		Blanco	Negro	⓪	Ⓢ	M22S-DDLF-WS-X1-X0	30.25

Botones Dobles, Botón Superior Rasante con Luz Central, Botón Inferior Extendido, Momentáneos

Sólo Operadores⁽¹⁾

	Bisel	Color Superior	Inferior	Leyenda Superior	Inferior	Número de Parte	Precio U.S. \$ ⁽³⁾
 M22-DDLM-GR	Plateado	Verde	Rojo	—	—	M22-DDLM-GR	30.75
				Personal	Personal	M22-DDLM-GR-ETCH ⁽²⁾	31.75
		Blanco	Negro	—	—	M22-DDLM-WS	31.75
				Personal	Personal	M22-DDLM-WS-ETCH ⁽²⁾	31.75
		Verde	Rojo	⓪	Ⓢ	M22-DDLM-GR-X1-X0	31.75
		Blanco	Negro	⓪	Ⓢ	M22-DDLM-WS-X1-X0	31.75
 M22S-DDLM-GR-X1-X0	Negro	Verde	Rojo	—	—	M22S-DDLM-GR	29.25
				Personal	Personal	M22S-DDLM-GR-ETCH ⁽²⁾	30.25
		Blanco	Negro	—	—	M22S-DDLM-WS	30.25
				Personal	Personal	M22S-DDLM-WS-ETCH ⁽²⁾	30.25
		Verde	Rojo	⓪	Ⓢ	M22S-DDLM-GR-X1-X0	30.25
		Blanco	Negro	⓪	Ⓢ	M22S-DDLM-WS-X1-X0	30.25

Notas

- (1) Incluye el adaptador de montaje para bloque de contactos.
 (2) Al ordenar, indique la leyenda con el código del número de parte del directorio de símbolos (vea las páginas 77-84) en las Notas del Pedido. Por ejemplo, M-22-XD-S-ETCH; Añote el símbolo X91, Artículo #_.
 (3) Clave de Descuento: 1CD1.






ANEXO Nº 19: FICHA TÉCNICA DE PULSADORES DE PARADA DE EMERGENCIA

Características: 5/2
Esquemas: 5/5
Referencias: 5/6
Accesorios: 5/11

Unidades de mando y de señalización Ø 22 Harmony® Style 4

Pulsadores metálicos cromados XB4-B
Referencias

Componga usted mismo otros productos utilizando los subconjuntos cabezal + base + contactos

Parada de emergencia Ø 40 color rojo contra fraude						
Forma de la cabeza	Tipo de pulsador	Tipo de contacto		Referencia	Peso	
		"NA"	"NC"			kg
 107171 XB4-BT42		1	1	IEC-60204-1 XB4-BT845 (ZB4-BZ105 + ZB4-BT84)	0,136	
		1	1	IEC-60204-1 XB4-BS8445 (ZB4-BZ105 + ZB4-BS844)	0,130	
		1	1	IEC-60204-1 XB4-BS9445 (ZB4-BZ105 + ZB4-BS944)	0,170	
Pulsadores "de seta"						
Forma de la cabeza	Tipo de pulsador	Tipo de contacto		Referencia	Peso	
		"NA"	"NC"			kg
 107172 XB4-BS142		-	1	XB4-BT42 (ZB4-BZ102 + ZB4-BT4)	0,125	
		-	1	XB4-BS542 (ZB4-BZ102 + ZB4-BS54)	0,118	
		-	1	XB4-BS142 (ZB4-BZ102 + ZB4-BS14)	0,133	
Selectores (2)						
Forma de la cabeza	Dispositivo de control	Tipo de contacto		Número y tipo de posiciones (1)	Referencia	Peso
		"NA"	"NC"			kg
 101168LD XB4-BD33		1	-	2 fijas	XB4-BD21 (ZB4-BZ101 + ZB4-BD2)	0,095
		1	1	2 fijas	XB4-BD25 (ZB4-BZ105 + ZB4-BD2)	0,105
		2	-	3 fijas (3)	XB4-BD33 (ZB4-BZ103 + ZB4-BD3)	0,105
 101168LD XB4-BJ33		1	-	3 con vuelta al centro (3)	XB4-BD53 (ZB4-BZ103 + ZB4-BD5)	0,105
		2	-	2 fijas	XB4-BJ21 (ZB4-BZ101 + ZB4-BJ2)	0,096
		2	-	3 fijas (3)	XB4-BJ33 (ZB4-BZ103 + ZB4-BJ3)	0,105
 101168LD XB4-BG33		1	-	3 con vuelta al centro (3)	XB4-BJ53 (ZB4-BZ103 + ZB4-BJ5)	0,105
		2	-	2 fijas	XB4-BG21 (ZB4-BZ101 + ZB4-BG2)	0,117
				2 fijas	XB4-BG41 (ZB4-BZ101 + ZB4-BG4)	0,117
				2 con vuelta a la izquierda	XB4-BG61 (ZB4-BZ101 + ZB4-BG6)	0,117
		2	-	3 fijas (3)	XB4-BG03 (ZB4-BZ103 + ZB4-BG0)	0,127
				3 fijas	XB4-BG33 (ZB4-BZ103 + ZB4-BG3)	0,127

(1) El símbolo indica la posición de extracción de la llave. (2) Accionamiento de contactos laterales y central.
(3) Posible conmutar el contacto central.

5 Unidades de mando y señalización

ANEXO Nº 20: FICHA TÉCNICA DE TERMOMAGNETICAS TRIFASICAS Y MONOFASICAS



Btdin
Interrupitor Termomagnético Btdin (breakers)



FN81CE...



FN82CE...



FN83CE...

BTDIN RX3, 440V, 60 Hz, 6KA, CURVA C, IEC 60898-1, IEC 60947-2				
Nº Polos	In	1	2	3
Nº Mod. Din	(A)	1	2	3
In (A)	6	FN81CE6	FN82CE6***	FN83CE6***
	10	FN81CE10	FN82CE10	FN83CE10***
	16	FN81CE16	FN82CE16	FN83CE16***
	20	FN81CE20	FN82CE20	FN83CE20***
	25	FN81CE25	FN82CE25	FN83CE25***
	32	FN81CE32	FN82CE32	FN83CE32***
	40	FN81CE40	FN82CE40	FN83CE40***
	50	FN81CE50	FN82CE50	FN83CE50***
	63	FN81CE63	FN82CE63	FN83CE63***

Nota: 1. **BTDIN** utiliza peine estándar (LG049...) para su alimentación eléctrica.
LG04926: 1 polo / LG04938: 2 polos / LG04942: 3 polos



FN81C...
FH81C...



FN82C...
FH82C...



FN83C...
FH83C...

BTDIN DX3 (6KA, 10KA, 16KA), 440V, 60Hz, CURVA C, IEC 60898-1, IEC 60947-2					
Nº Polos	In	Icu	1	2	3
Nº Mod. Din	(A)	(KA)	1	2	3
In (A)	2	6	FN81C2	FN82C2	FN83C2***
	4	6	FN81C4	FN82C4	FN83C4***
	6	10	FH81C6***	FH82C6	FH83C6***
	10	10	FH81C10***	FH82C10	FH83C10***
	16	10	FH81C16	FH82C16	FH83C16***
	20	10	FH81C20	FH82C20	FH83C20***
	25	10	FH81C25	FH82C25	FH83C25***
	32	10	FH81C32	FH82C32	FH83C32***
	40	10	FH81C40	FH82C40	FH83C40***
	50	10	FH81C50	FH82C50	FH83C50***
	63	10	FH81C63	FH82C63	FH83C63***
	80	16		FT82C80*	FT83C80**
	100	16		FT82C100*	FT83C100**
	125	16		FT82C125*	FT83C125**

- **BTDIN** - Los Breakers de 2y 4 amperios son de 6KA de capacidad interruptiva.

Notas: (aplica para ambas tablas)

- * 3 Módulos Din

- ** 4.5 Módulos Din

- *** Contra pedido, consultar existencias en fábrica.



ANEXO Nº 21: FICHA TÉCNICA DE CONTACTORES

Selección: 1/32
Características: 1/34
Referencias: 1/38
Accesorios: 1/41
Dimensiones: 1/48
Esquemas: 1/49

Contactores TeSys serie D

Para motores hasta 75 kW bajo 400 V, en AC-3
Referencias



LC1-D09



LC1-D40A



LC1-D95



LC1-D115

Contactores tripolares con conexión mediante bornes a tornillo											
Potencias normalizadas de los motores trifásicos 50/60 Hz en categoría AC-3 (4)			Corriente asignada de empleo en AC-3	Contactos auxiliares instantáneos		Referencia básica para completar con el código de la tensión (1) Fijación (2)	Tensiones habituales				Peso (3)
380V 400V kW	440V kW	690V kW		hasta 440 V A				~	—	—	
4	4	5,5	9	1	1	LC1-D09	M7	F7	B7	BD	0,320
5,5	5,5	7,5	12	1	1	LC1-D12	M7	F7	B7	BD	0,325
7,5	9	10	18	1	1	LC1-D18	M7	F7	B7	BD	0,330
11	11	15	25	1	1	LC1-D25	M7	F7	B7	BD	0,370
15	15	18,5	32	1	1	LC1-D32	M7	F7	B7	BD	0,375
18,5	18,5	18,5	38	1	1	LC1-D38	M7	F7	B7	BD	0,380
18,5	22	30	40	1	1	LC1-D40A	M7	F7	B7	BD	0,850
22	30	33	50	1	1	LC1-D50A	M7	F7	B7	BD	0,855
30	37	37	65	1	1	LC1-D65A	M7	F7	B7	BD	0,860
37	45	45	80	1	1	LC1-D80	M7	F7	B7	BD	1,590
45	45	45	95	1	1	LC1-D95	M7	F7	B7	BD	1,610
55	59	80	115	1	1	LC1-D115	M7	F7	B7	BD	2,500
75	80	100	150	1	1	LC1-D150	M7	F7	B7	BD	2,500

(1) Tensiones del circuito de mando existentes

Corriente alterna					
Voltios	24	48	110	220	380
LC1-D09...D150 (bobinas D115 y D150 antiparasitadas de fábrica)	B7	E7	F7	M7	Q7
Corriente continua					
Voltios	24	48	110	220	
LC1-D09...D150 (bobinas antiparasitadas de fábrica) (5)	BD	ED	FD	MD	

Para otras tensiones de 5 a 690 V consultar.

(2) LC1-D09 a D65: enganche sobre perfil de 35 mm AM1-DP o mediante tornillos.

LC1-D80 a D95 : enganche sobre perfil de 35 mm o 75 mm AM1-DL o mediante tornillos.

LC1-D80 a D95 : enganche sobre perfil de 75 mm AM1-DL o mediante tornillos.

LC1-D115 y D150: enganche sobre 2 perfiles de 35 mm AM1-DP o mediante tornillos.

(3) Los pesos indicados son aquellos de los contactores para circuito de mando en corriente alterna. Para circuito de mando en corriente continua añadir 0,160 kg de LC1-D09 a D38, 0,785 kg de LC1-D40 a D65 y 1 kg para LC1-D80 y D95.

(4) Categoría AC3: Aplicaciones de arranque directo de motores de inducción tipo jaula de ardilla.

(5) Excepto LD1-D80 y LC1-D95

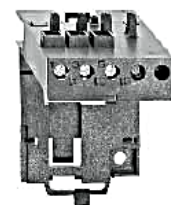
ANEXO Nº 22: FICHA TÉCNICA DEL RELE DE PROTECCION TERMICA

Características: 1/78
Referencias: 1/80
Dimensiones: 1/81

Relés de protección térmica
TeSys serie K
Regulables de 0,11 a 16 A
Referencias



LR2-K0301



LA7-K0064

Relés tripolares para redes equilibradas

Estos relés están destinados a la protección de motores. Están compensados y son sensibles a una pérdida de fase. El rearme puede ser manual o automático.

Montaje directo: únicamente debajo del mini-contactor serie K de conexión mediante tornillos de estribo.

Montaje por separado: utilizando el bornero LA7-K0064 (ver a continuación).

En la cara frontal:

- selección del modo de rearme: Manual (código H) o Automático (código A),
- pulsador rojo para la función Test de disparo,
- pulsador azul para las funciones Parada y Rearme manual,
- indicador mecánico amarillo de disparo del relé.

Protección mediante disyuntor magnético de tipo GV2-L, ver las páginas de guardamotores.

Zona de reglaje del relé	Guarda Motor Magnético para asociar al Relé elegido	Referencia	Peso kg
Clase 10 A (la norma establece una duración de disparo a 7,2 In comprendida entre 2 y 10 segundos)			
0,11...0,16	GV2-LE03	LR2-K0301	0,145
0,16...0,23	GV2-LE03	LR2-K0302	0,145
0,23...0,36	GV2-LE03	LR2-K0303	0,145
0,36...0,54	GV2-LE04	LR2-K0304	0,145
0,54...0,8	GV2-LE05	LR2-K0305	0,145
0,8...1,2	GV2-LE05	LR2-K0306	0,145
1,2...1,8	GV2-LE06	LR2-K0307	0,145
1,8...2,6	GV2-LE07	LR2-K0308	0,145
2,6...3,7	GV2-LE08	LR2-K0310	0,145
3,7...5,5	GV2-LE010	LR2-K0312	0,145
5,5...8	GV2-LE014	LR2-K0314	0,145
8...11,5	GV2-LE014	LR2-K0316	0,145
10...14	GV2-LE016	LR2-K0321	0,145
12...16	GV2-LE020	LR2-K0322	0,145

Accesorio

Designación	Conexión	Referencia	Peso kg
Bornero para montaje separado del relé, por enganche sobre perfil * anchura 35 mm	Tornillos de estribo	LA7-K0064	0,100

ANEXO Nº 23: FICHA TÉCNICA DEL CONDUCTOR ELECTRICO

TABLA DE DATOS TECNICOS TW - 80 (AWG / MCM)									
CALIBRE CONDUCTOR	SECCION NOMINAL	Nº HILOS	DIAMETRO HILO	DIAMETRO CONDUCTOR	ESPESOR AISLAMIENTO	DIAMETRO EXTERIOR	PESO	AMPERAJE (*)	
								AIRE	DUCTO
AWG/MCM	mm ²		mm	mm	mm	mm	Kg/Km	A	A
ALAMBRES									
16	1.3	1	1.24	1.24	0.7	2.7	17	15	12
14	2.1	1	1.57	1.57	0.8	3.2	26	28	22
12	3.3	1	1.98	1.98	0.8	3.6	38	33	28
10	5.3	1	2.50	2.50	0.8	4.1	56	44	33
8	8.4	1	3.15	3.15	1	5.2	88	66	44
CABLES									
14	2.1	7	0.60	1.75	0.8	3.4	28	28	22
12	3.3	7	0.76	2.20	0.8	3.8	40	33	28
10	5.3	7	0.96	2.78	0.8	4.4	60	44	33
8	8.4	7	1.20	3.61	1	5.6	96	66	44
6	13.3	7	1.53	4.60	1	6.6	147	88	61
4	21.1	7	1.93	5.80	1.2	8.2	231	116	77
2	33.6	7	2.44	7.31	1.2	9.7	353	154	105
1/0	53.4	19	1.87	8.58	1.4	11.4	539	215	138
2/0	67.4	19	2.10	9.60	1.4	12.4	671	248	160
3/0	85.1	19	2.35	10.82	1.6	14.1	850	286	182
4/0	107.2	19	2.64	12.15	1.6	15.4	1058	330	215
350	177.5	37	2.44	15.69	2	19.7	1740	462	286

(*) NO MAS DE TRES CONDUCTORES POR DUCTO / TEMPERATURA AMBIENTE 30°C.

ANEXO Nº 24: FICHA TÉCNICA DE LAS BORNERAS DE CONEXION

Bornes de conexión Telemecanique

Tipo tornillo

Control y potencia

Referencias

Bornes tipo tornillo: 4/32
Bornes Libre mantención: 4/33
Accesorios de marcaje: 4/34



AB1 VV435U

Bornes tipo tornillo (fijación sobre rieles 2,5 - 15)						
Sección	Paso	Conexión			Cantidad indivisible	Referencia
		cables flexibles		conductor sólido		
mm ²	mm	sin terminal	con terminal	mm ²		
2,5	5	0,5 ... 2,5	0,5 ... 1,5	0,5 ... 4	100	AB1 VV235U
4	6	0,5 ... 4	0,5 ... 2,5	0,5 ... 6	100	AB1 VV435U
6	8	0,5 ... 6	0,5 ... 6	0,5 ... 10	100	AB1 VV635U
10	10	2,5...10	2,5...10	1... 16	50	AB1 VVN1035U
16	12	4 ... 16	4 ... 16	10... 25	50	AB1 VVN1635U
35	16	10 ... 35	10 ... 35	10 ... 50	20	AB1 VVN3535U
70	24	10 ... 70	10 ... 70	16 ... 95	20	AB1 VVN7035U
150	28	35 ... 150	35 ... 150	35 ... 185	10	AB1 VVN15035U



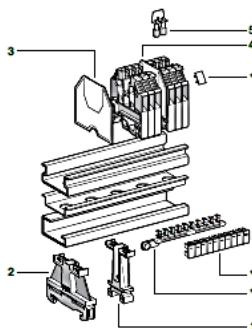
AB1 TP435U

Bornes tipo tornillo para tierra de protección						se vende en lotes de	Referencia
Sección	Paso	Conexión			Cantidad		
		Cables Flexibles		conductor sólido			
mm ²	mm	sin terminal	con terminal	mm ²			
4	6	0,5...4	0,5...2,5	0,5...6	100		AB1 TP435U
6	8	0,5...6	0,5...6	0,5...10	50		AB1 TP635U
10	10	2,5...10	2,5...10	6...16	50		AB1 TP1035U
16	12	4...16	4...16	10...25	50		AB1 TP1635U
35	16	10...35	10...35	10...50	20		AB1 TP3535U



AB1 BB9535

Bornes de potencia					se vende en lotes de	Referencia
Sección	Paso	Conexión		perno de fijación	Cantidad	
		Cables Flexibles	conductor sólido			
mm ²	mm	mm ²	mm ²			
95	32	hasta 95	hasta 95	M10	10	AB1 BB9535
185	42	hasta 185	hasta 185	M12	10	AB1 BB18535
240	42	hasta 240	hasta 240	M12	10	AB1 BB24035



Accesorios para Bornes de Tornillo			se vende en lotes de	Referencia
1	Topes Plásticos	Riel Asimétrico (tipo G)	100	AB1AB7P32
		Riel simétrico (din)	100	AB1AB8P35
2	Topes Metálicos	Riel simétrico (din)	100	AB1AB8M35
		Sección de Borne		
3	Tapas Bornes	2,5 mm ² y 4 mm ²	50	AB1AC24
		6 mm ²	50	AB1AC6
		10 mm ²	10	AB1ACN10
		16 mm ²	10	AB1ACN16
		90 mm ²	50	AB1CT1
4	Tapa Separadora	2,5 mm ² y 4 mm ²	50	AB1AS24
		6 mm ²	50	AB1AS6
		10 mm ²	10	AB1ASN10
		16 mm ²	10	AB1ASN16
		35 mm ²	10	AB1ASN35
5	Puentes de Unión	2,5 mm ²	10	AB1AL2
		4 mm ²	10	AB1AL4
		6 mm ²	10	AB1AL6
		10 mm ²	10	AB1AL10
		16 mm ²	10	AB1ALN16
		70 mm ²	10	AB1ALN702
		150 mm ²	10	AB1ALN1502

* Para mayor información ver pág. 4/34

ANEXO Nº 25: FICHA TÉCNICA DE CONECTORES RECTOS

Familia 2

Racores y Manguitos para Tubos Rígidos

Sistema **INSTAL-RAPIDO** de poliamida y libre de halógenos, para una instalación rápida y de calidad

Rosca	Para tubos Ø mm. exterior	Emb. mínimo	Referencia
-------	------------------------------	-------------	------------

■ **RACOR** roscado de poliamida libre de halógenos de inserción rápida, para enlace a caja de tubos lisos y corrugados, con junta plana y contratuerca incorporada. Fabricado según norma UNE EN 61386. Grado de protección IP67 con tubos lisos, IP64 con tubos corrugados. Color: Gris

M 16x1,5	16	20	243.1600.0
M 20x1,5	20	10	243.2000.0
M 25x1,5	25	10	243.2500.0
M 32x1,5	32	10	243.3200.0
M 40x1,5	40	10	243.4000.0
M 50x1,5	50	5	243.5000.0
M 63x1,5	63	5	243.6300.0

Rosca	Para tubos Ø mm. exterior	Emb. mínimo	Referencia
-------	------------------------------	-------------	------------

■ **MANGUITO** de unión en poliamida libre de halógenos, de inserción rápida, para tubos rígidos lisos y corrugados. Fabricado según norma UNE EN 61386. Grado de protección IP67 con tubos lisos, IP64 con tubos corrugados. Color: Gris

M 16	16	20	244.1600.0
M 20	20	10	244.2000.0
M 25	25	10	244.2500.0
M 32	32	10	244.3200.0
M 40	40	10	244.4000.0
M 50	50	5	244.5000.0

Rosca	Para tubos Ø mm. exterior	Emb. mínimo	Referencia
-------	------------------------------	-------------	------------

■ **MANGUITO** de unión libre de halógenos, de inserción rápida, para tubos rígidos lisos y corrugados. Fabricado según norma UNE EN 61386. Grado de protección IP40. Color: Gris

M 16	16	19	241.1600.0
M 20	20	19	241.2000.0
M 25	25	19	241.2500.0
M 32	32	10	241.3200.0
M 40	40	10	241.4000.0
M 50	50	5	241.5000.0
M 63	63	5	241.6300.0

TUBO RÍGIDO Ø exterior (mm.)	TUBO ESPIRALADO Ø interior (mm.)	Emb. mínimo	Referencia
---------------------------------	-------------------------------------	-------------	------------

■ **MANGUITO** de unión mixto en poliamida libre de halógenos, de inserción rápida, para tubos rígidos lisos con tubos espiralados. Fabricado según norma UNE EN 61386. Color: Gris

16	16	20	246.1600.0
20	20	10	246.2000.0
25	25	10	246.2500.0
32	32	10	246.3200.0
40	40	10	246.4000.0
50	50	5	246.5000.0

Tubos Rígidos apropiados para todas estas series, ver pag. 104, 105, 106 Y 108

IP 67
LIBRE DE HALÓGENOS



IP 67
LIBRE DE HALÓGENOS



IP 40
LIBRE DE HALÓGENOS



LIBRE DE HALÓGENOS



GG
GAESTOPAS

ANEXO Nº 26: FICHA TÉCNICA DEL TUBO FLEXIBLE

Familia 3

Tubos Flexibles Corrugados

TUBO CORRUGADO de EMPOTRAR “EMPOFLEX” Libre de Halógenos



El tubo “EMPOFLEX” está fabricado con material a base de polipropileno autoextinguible y libre de halógenos. Soporta un amplio rango de temperatura (-5°C hasta +90°C) y al aplastamiento, con gran capacidad de recuperación. Cumple Norma UNE-EN-50267/2 sobre “Material Libre de Halógenos” antigua norma UNE-21147/2.

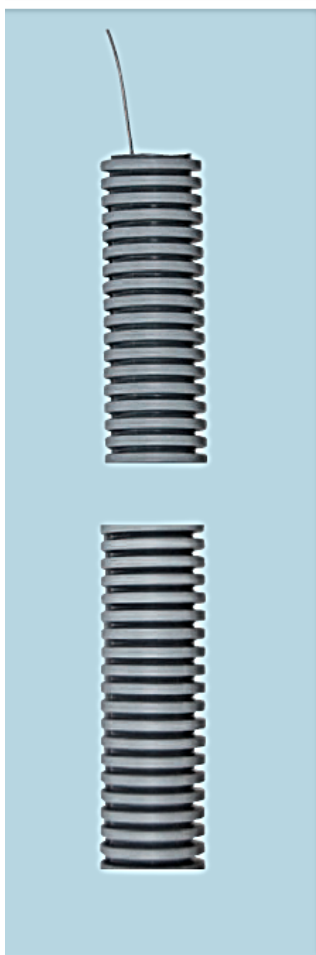
Color Gris Oscuro (RAL7090).

Código de clasificación 3422.

Resistencia a la compresión: >750N

Resistencia dieléctrica: >2.000 V (a 50 Hz/15 min.)

Resistencia al aislamiento: >100 M a 500 V



Tipo	Int. x ext. Ø mm	Largo rollo m.	Referencia
------	---------------------	----------------	------------

■ Tubo corrugado “EMPOFLEX” autoextinguible y libre de halógenos.
CON GUÍA PASACABLES.

M 16	10 x 16	100	903.1600.0
M 20	13,5 x 20	100	903.2000.0
M 25	17,8 x 25	75	903.2500.0
M 32	23,7 x 32	50	903.3200.0
M 40	31,2 x 40	25	903.4000.0
M 50	39,5 x 50	25	903.5000.0

Tipo	Int. x ext. Ø mm	Largo rollo m.	Referencia
------	---------------------	----------------	------------

■ Tubo corrugado “EMPOFLEX” autoextinguible y libre de halógenos.
SIN GUÍA PASACABLES.

M 16	10 x 16	100	903.1600.1
M 20	13,5 x 20	100	903.2000.1
M 25	17,8 x 25	75	903.2500.1
M 32	23,7 x 32	50	903.3200.1
M 40	31,2 x 40	25	903.4000.1
M 50	39,5 x 50	25	903.5000.1



Serie 230

Racores apropiados: serie 230 (ver pag. 102)

ANEXO Nº 27: FICHA TÉCNICA DE LA RIEL PARA FIJACION DE COMPONENTES

Familia 15

Perfiles

Perfiles laminados estándar para el sector eléctrico fabricados conforme a las normas de calidad UNE-EN-ISO 9001 y ÜHP.

Campo de aplicación, medidas, denominaciones, materiales, terminaciones, tolerancias, etc., bajo normas europeas EURO-NORM y normas DIN que garantizan la utilización general en anclajes de aparatos industriales de baja tensión.

Programa de Fabricación

Espesores de 1,0 a 1,5 mm.

Materiales

Acero laminado en frío.
Acero decapado.

Acabados

Bruto.
Galvanizado sendzimir.
Galvanizado electrolítico.
Bicromatado.

Modelos



Modelos	REFERENCIAS		
	Bicromatado	Cincado	Galvanizado
Perfil omega liso	F-224	F-224-Z	F-224-G
Perfil omega perforado	F-224 A	F-224A-Z	F-224A-G

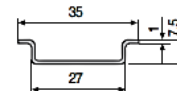
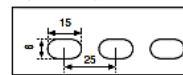
Kg./m = 0,36

Long. estándar = 2 m.

Paquete = 40 m.

Acabado = Bicromatado / Cincado / Galvanizado

Espesor = 1,00 mm.



Modelos	REFERENCIAS		
	Bicromatado	Cincado	Galvanizado
Perfil omega reforzado liso	F-84E	F-84E-Z	F-84E-G
Perfil omega reforzado perforado	F-84EA	F-84EA-Z	F-84EA-G

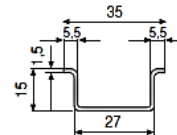
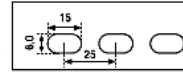
Kg./m = 0,69

Long. estándar = 2 m.

Paquete = 20 m.

Acabado = Bicromatado / Cincado / Galvanizado

Espesor = 1,50 mm.



Modelos	REFERENCIAS		
	Bicromatado	Cincado	Galvanizado
Perfil "C" 20x10 liso	C-2010	C-2010-Z	C-2010-G
Perfil "C" 20x10 perforado	C-2010 A	C-2010 A-Z	C-2010 A-G

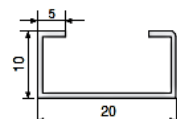
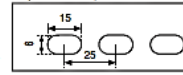
Kg./m = 0,33

Long. estándar = 2 m.

Paquete = 40 m.

Acabado = Bicromatado / Cincado / Galvanizado

Espesor = 1,00 mm.



Modelos	REFERENCIAS		
	Bicromatado	Cincado	Galvanizado
Perfil "C" 40x20 liso	C-4020	C-4020-Z	C-4020-G
Perfil "C" 40x20 perforado	C-4020 A	C-4020 A-Z	C-4020 A-G

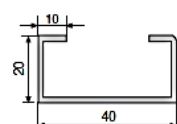
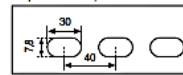
Kg./m = 1,04

Long. estándar = 2 m.

Paquete = 20 m.

Acabado = Bicromatado / Cincado / Galvanizado

Espesor = 1,50 mm.



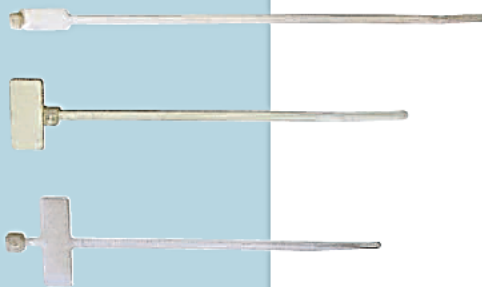
ANEXO Nº 28: FICHA TÉCNICA DE BASES DE POLIAMIDA PARA FIJACION (GALLETAS)

Familia 10

Bridas



Modelos



■ BRIDAS DE IDENTIFICACIÓN DE CABLES

Tamaño L x W	Referencia	Emb. mínimo
192 x 4,8	200 - 045 - OIC	100
270 x 4,8	280 - 045 - OIC	100
110 x 2,5	110 - 025 - OIC	100
210 x 2,5	210 - 025 - OIC	100
100 x 2,5	100 - 025 - OIC	100
200 x 2,5	200 - 025 - OIC	100



Tamaño (mm.)	Emb. Mínimo	Referencia
		natural negro

■ BASES DE POLIAMIDA SERIE "BAS"

Pequeñas bases en PA 6.6 natural o negro autoextinguible V2. Se les pueden colocar abrazaderas en sus ranuras, para fijar cables u otros objetos en las paredes. Las bases se presentan con adhesivo aplicado. Para su aplicación es necesario que las paredes estén lisas y sin grasa.

19x19	100	BAS.020.0	BAS.020.1
28x28	100	BAS.028.0	BAS.028.1



Tamaño (mm.)	Emb. Mínimo	Referencia
--------------	-------------	------------

■ PLACAS DE IDENTIFICACIÓN DE POLIAMIDA SERIE "PID"

Placas de identificación. Se trata de láminas en PA 6.6 natural autoextinguible V2 con 4 ranuras por donde se pueden colocar las abrazaderas que tengan hasta 5 mm de ancho y 1,5 de espesor. Tienen una dimensión útil de 20x40 mm se les puede añadir una etiqueta o bien marcarlas con rotulador indeleble.

20X40X1,3	100	PID.101.0
-----------	-----	-----------



Referencia

■ HERRAMIENTAS SERIE "PIN"

Pinzas para aplicación. Facilitan el ajuste y el corte de bandas y bridas. Las PIN.003 están indicadas para bridas de 2,5 a 5 mm de ancho. Se puede regular la tensión de cierre según el ancho. Permiten obtener un corte perfecto, evitando la formación de aristas residuales.

PIN.003

GAESTOPAS

172

ANEXO Nº 29: FICHA TÉCNICA DE BRIDAS SUJETABLES (CINTILLOS)

Familia 10

Bridas



Tamaño (L x W)	POLIAMIDA PA 6.6 NATURAL Referencia	Emb. mínimo
----------------	--	-------------

■ BRIDAS SUJETACABLES SERIE "FAS"

ABRAZADERAS PARA CABLES de poliamida 6.6 natural o negro.

Temperatura de trabajo entre -40°C y +85°C. Autoextinguibles V2 según UL94.
(Aprobación UL: E75050).

100x2,5	100-025-0	4000/100
160x2,5	160-025-0	4000/100
200x2,5	200-025-0	3000/100
140x3,6	140-035-0	2500/100
200x3,6	200-035-0	2000/100
300x3,6	280-035-0	2000/100
370x3,6	370-035-0	2000/100
160x4,8	160-045-0	2000/100
200x4,8	200-045-0	1500/100
300x4,8	280-045-0	1000/100
370x4,8	380-045-0	1500/100
430x4,8	430-045-0	2000/100
200x7,6	200-075-0	1000/100
292x7,6	280-075-0	1000/100
368x7,6	360-075-0	1000/100
533x7,6	500-075-0	800/100
775x9,0	750-075-0	100

Tamaño (L x W)	POLIAMIDA PA 6.6 NEGRA Referencia	Emb. mínimo
----------------	--------------------------------------	-------------

100x2,5	100-025-1	4000/100
160x2,5	160-025-1	4000/100
200x2,5	200-025-1	3000/100
140x3,6	140-035-1	2500/100
200x3,6	200-035-1	2000/100
300x3,6	280-035-1	2000/100
370x3,6	370-035-1	2000/100
160x4,8	160-045-1	2000/100
200x4,8	200-045-1	1500/100
300x4,8	280-045-1	1000/100
370x4,8	380-045-1	1500/100
430x4,8	430-045-1	2000/100
200x7,6	200-075-1	1000/100
292x7,6	280-075-1	1000/100
368x7,6	360-075-1	1000/100
533x7,6	500-075-1	800/100
775x9,0	750-075-1	100

Tamaño (L x W)	POLIAMIDA PA 6.6 Referencia	Emb. mínimo
----------------	--------------------------------	-------------

■ BRIDAS SUJETACABLES serie "FAS" en color VERDE, especialmente indicadas como complemento de fijación para el cable verde libre de halógenos modelo KV.

98x2,5	100-025-V	4000/100
140x3,6	140-036-V	2500/100
200x3,6	200-036-V	2000/100
200x4,8	200-045-V	1500/100
290x4,8	280-045-V	1000/100

OTRAS MEDIDAS Y COLORES, BAJO DEMANDA

ANEXO Nº 30: FICHA TÉCNICA DE CINTA HELICOIDAL

Familia 9

Cinta Helicoidal



Ø Mínimo aplicación	Color	Ø mm. Interior / exterior	Embalaje (m. por rollo)	Referencia
■ CINTA HELICOIDAL "CH"				
2,5	Blanco	2,5- 4	50	CH.9001.0
2,5	Negro	2,5- 4	50	CH.9001.1
4	Blanco	4,0- 6	50	CH.9002.0
4	Negro	4,0- 6	50	CH.9002.1
6	Blanco	6,0- 8	50	CH.9003.0
6	Negro	6,0- 8	50	CH.9003.1
9	Blanco	9,0-11	50	CH.9004.0
9	Negro	9,0-11	50	CH.9004.1
12	Blanco	12,0-15	25	CH.9005.0
12	Negro	12,0-15	25	CH.9005.1
16	Blanco	16,0-20	25	CH.9006.0
16	Negro	16,0-20	25	CH.9006.1
20	Blanco	20,0-24	25	CH.9007.0
20	Negro	20,0-24	25	CH.9007.1

De fácil aplicación y montaje, proporciona a los haces de cables la máxima protección y flexibilidad.
Temperatura de trabajo: -60°C a +85°C.

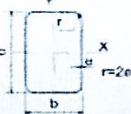
ANEXO Nº 31: TAMAÑOS DE LAS PARTÍCULAS

Tyler Standard Screen Scale			
Mesh (malla)	Micrones (μ)	Milímetro (mm)	Pulgadas (inch)
400	33	0.033	0.0012992
325	43	0.043	0.0016929
270	53	0.053	0.0020866
250	61	0.061	0.0024016
200	74	0.074	0.0029134
170	88	0.088	0.0034646
150	104	0.104	0.0040945
115	121	0.121	0.0047638
100	147	0.147	0.0057874
80	173	0.173	0.0068110
65	208	0.208	0.0081890
60	246	0.246	0.0096850
48	295	0.295	0.0116142
42	351	0.351	0.0138189
35	417	0.417	0.0164173
32	495	0.495	0.0194882
28	589	0.589	0.0231890
24	701	0.701	0.0275984
20	833	0.833	0.0327953
16	991	0.991	0.0390160
14	1168	1.168	0.0459843
12	1397	1.397	0.0550000
10	1651	1.651	0.0650000
9	1981	1.981	0.0779921
8	2362	2.362	0.0929921
7	2794	2.794	0.1100000
6	3327	3.327	0.1309843
5	3962	3.962	0.1559843
4	4699	4.699	0.1838543
3.5	5613	5.613	0.2209843
3	6680	6.680	0.2629921
2.5	7925	7.925	0.3120079

ANEXO Nº 32: FICHA TÉCNICA DEL PERFIL ESTRUCTURAL

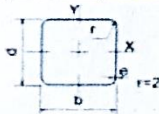
CARACTERÍSTICAS Y DENOMINACIÓN										PROPIEDADES ESTÁTICAS							UNIDADES DE ENPAQUE
TAMAÑO PERFIL		REAL		Espesor pared e	PESO		AREA	FLEXIÓN			TORSIÓN						
TAMAÑO NOMINAL		d	b		mm	kg/m		cm ²	Momento de Inercia Ix = Iy	Módulo elástico Sx = Sy	Radio de Giro rx = ry	Módulo Plástico Zx = Zy	Momento de Inercia J	Módulo Elástico I			
PULGADAS	MILIMETROS	mm	mm	mm	Negro	Galvanizado	cm ⁴	cm ³	cm	cm ³	cm ⁴	cm ³					
1 X 1	25 X 25	25,00	25,00	1,50	1,12	1,25	1,42	1,22	0,97	0,92	1,17	2,03	1,48				
		25,00	25,00	2,00	1,49	1,60	1,90	1,68	1,19	0,86	1,52	2,58	1,82				
		25,00	25,00	2,50	1,80	1,90	2,29	1,69	1,35	0,86	1,71	3,07	2,11				
1 1/2 X 1 1/2	40 X 40	40,00	40,00	1,50	1,73	1,90	2,20	5,49	2,75	1,58	3,22	8,77	4,13				
		40,00	40,00	2,00	2,32	2,49	2,95	6,94	3,47	1,53	4,13	11,36	5,25				
		40,00	40,00	2,50	2,81	2,98	3,58	8,22	4,11	1,52	4,97	13,79	6,25				
2 X 2	50 X 50	50,00	50,00	1,50	2,29	2,53	2,92	11,07	4,43	1,95	5,15	17,45	6,66				
		50,00	50,00	2,00	3,04	3,31	3,87	14,15	5,66	1,91	6,66	22,73	8,53				
		50,00	50,00	2,50	3,76	3,97	4,79	16,34	6,78	1,88	8,07	27,75	10,26				
2 3/8 X 2 3/8	60 X 60	60,00	60,00	1,50	2,67	2,94	3,39	19,52	6,51	2,40	7,53	30,53	9,78				
		60,00	60,00	2,00	3,63	3,86	4,63	25,14	8,38	2,33	9,79	39,91	12,61				
		60,00	60,00	2,50	4,37	4,63	5,56	30,34	10,11	2,34	11,93	48,92	15,26				
2 3/4 X 2 3/4	70 X 70	70,00	70,00	1,50	3,20	3,54	4,08	31,46	8,99	2,78	10,36	48,89	13,50				
		70,00	70,00	2,00	4,32	4,65	5,50	40,73	11,64	2,72	13,52	64,30	17,50				
		70,00	70,00	2,50	5,26	5,59	6,70	49,41	14,12	2,72	16,54	78,79	21,27				
3 X 3	75 X 75	75,00	75,00	3,00	6,19	6,52	7,89	57,53	16,44	2,70	19,42	92,98	24,82				
		75,00	75,00	3,00	6,35	-	8,41	71,62	19,10	2,92	22,49	115,24	28,81				
		75,00	75,00	4,00	8,35	-	10,95	90,19	24,05	2,87	28,76	148,83	36,48				
4 1/2 X 3 1/2	90 X 90	90,00	90,00	5,00	10,30	-	13,36	106,33	28,35	2,82	34,46	180,41	43,33				
		90,00	90,00	6,00	12,25	-	15,63	120,16	32,04	2,77	39,58	209,99	49,43				
		90,00	90,00	2,00	5,58	6,01	7,11	88,86	19,75	3,54	22,78	138,32	29,66				
4 X 4	100 X 100	100,00	100,00	2,50	6,81	7,23	8,68	108,55	24,12	3,54	28,00	170,65	36,27				
		100,00	100,00	3,00	8,03	8,45	10,23	122,28	28,29	3,52	33,94	202,14	42,69				
		100,00	100,00	4,00	10,17	-	14,95	150,63	30,13	3,96	34,86	235,64	45,27				
6 X 6	150 X 150	150,00	150,00	4,50	20,72	-	26,57	992,94	128,12	6,11	148,94	1,565,09	192,73				
		150,00	150,00	6,00	26,40	-	33,63	1,143,91	152,79	5,84	179,88	1,843,64	230,58				
		150,00	150,00	8,00	35,00	-	44,56	1,380,86	181,81	6,91	211,24	2,505,28	273,47				
8 X 8	200 X 200	200,00	200,00	5,00	30,11	-	38,56	2,410,08	241,01	7,93	278,87	3,771,50	362,44				
		200,00	200,00	7,00	46,16	-	58,38	4,365,55	396,87	8,65	462,83	6,917,52	592,47				
		200,00	200,00	9,00	66,47	-	84,67	8,093,21	647,46	9,78	758,74	12,925,82	975,95				
10 X 10	250 X 250	250,00	250,00	10,00	89,04	-	113,42	15,713,90	1,047,59	11,77	1,223,86	24,972,90	1,577,87				
		250,00	250,00	12,00	113,42	-	143,42	18,075,90	1,223,86	11,77	1,223,86	24,972,90	1,577,87				
		250,00	250,00	14,00	143,42	-	173,42	20,430,90	1,407,72	11,77	1,223,86	24,972,90	1,577,87				

PERFIL CUADRADO



Los perfiles tubulares Colmena cumplen con la norma ASTM A-500 grado C. Esfuerzo de Fluencia $F_y = 3.500 \text{ kg/cm}^2$ (50.000 psi) (350 MPa).

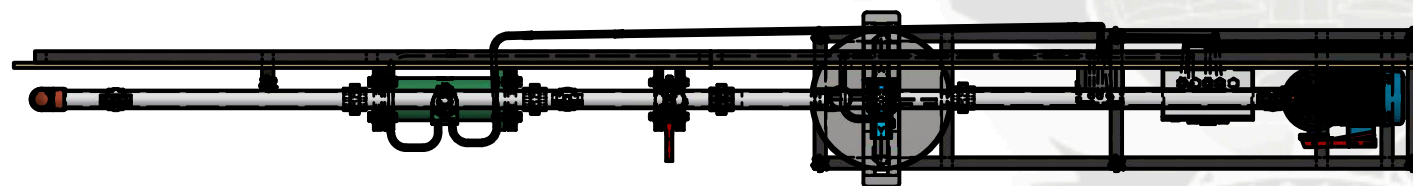
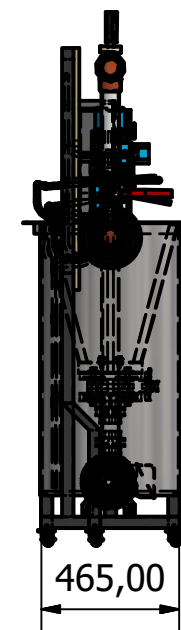
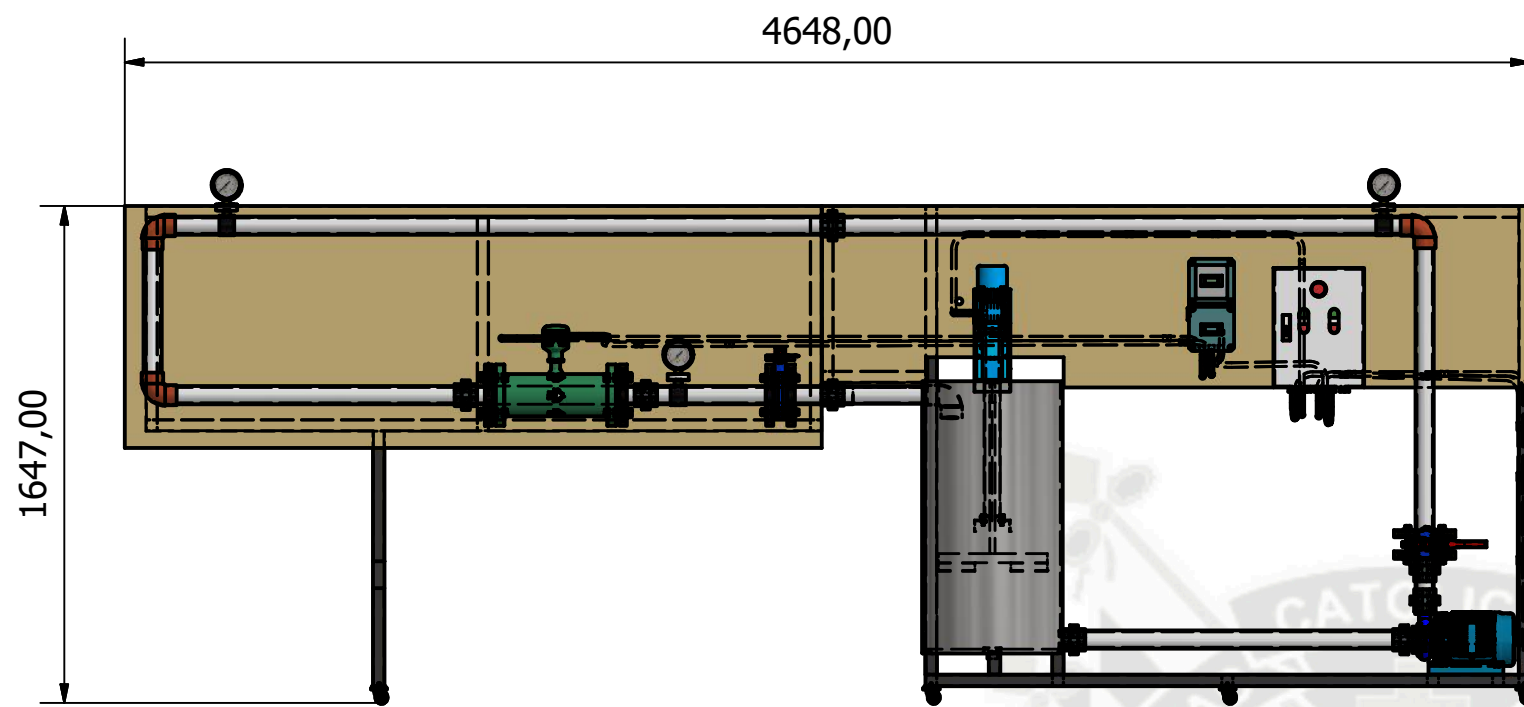
* Los tubos en espesor de 1.5mm se suministran en grado B esfuerzo de fluencia $f_y = 3.220 \text{ kg/cm}^2$ (46.000 psi) (322 MPa)




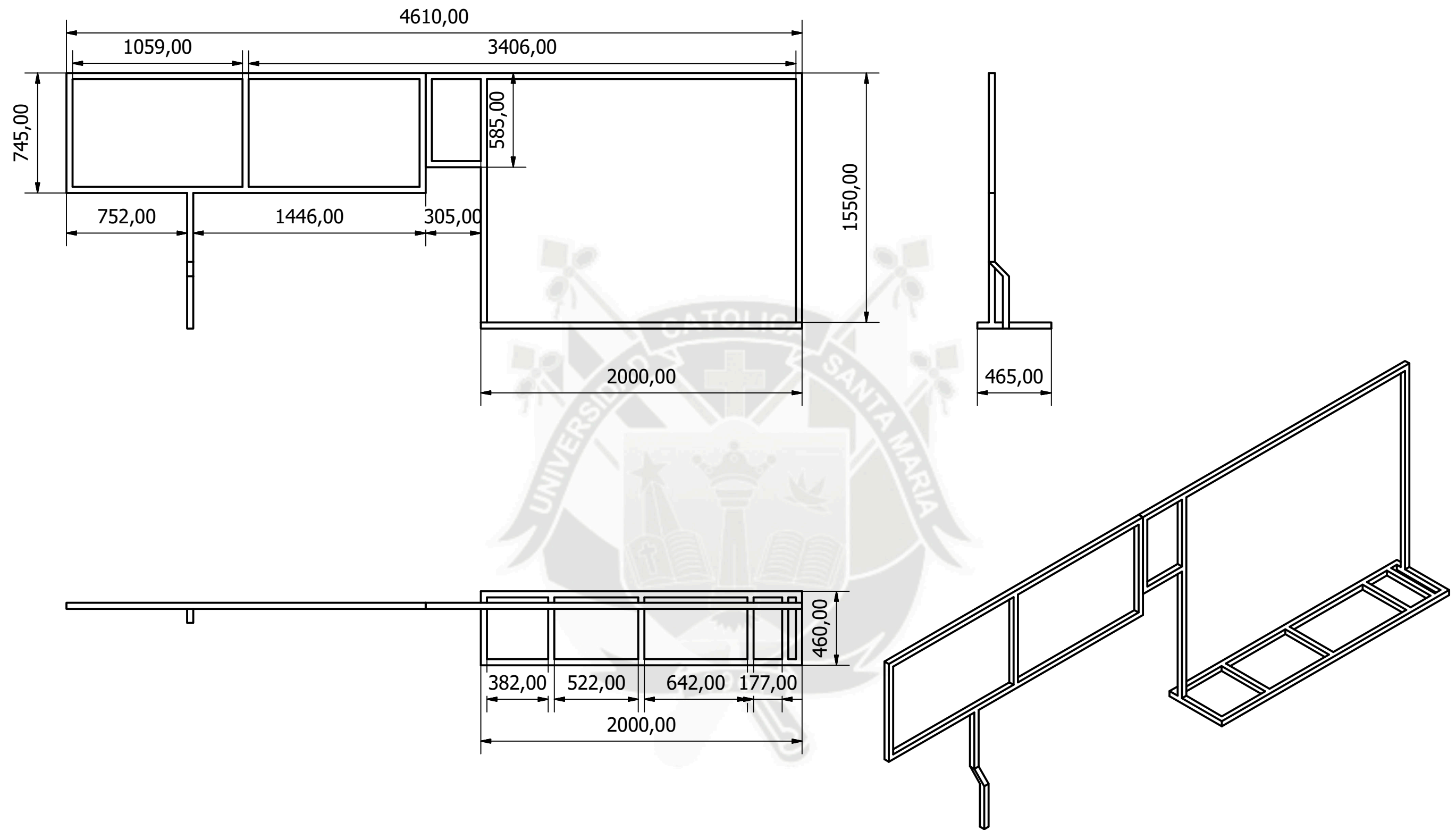
No. Control CC - 620 - 010 - Edición No. 5-12-05-18. Revisión A: 12-05-18


CARACTERÍSTICAS Y DENOMINACIÓN										PROPIEDADES ESTÁTICAS							UNIDADES DE ENPAQUE
TAMAÑO PERFIL		REAL		Espesor pared e	PESO		AREA	FLEXIÓN			TORSIÓN						
TAMAÑO NOMINAL		d	b		mm	kg/m		cm ²	Momento de Inercia Ix = Iy	Módulo elástico Sx = Sy	Radio de Giro rx = ry	Módulo Plástico Zx = Zy	Momento de Inercia J	Módulo Elástico I			
PULGADAS	MILIMETROS	mm	mm	mm	Negro	Galvanizado	cm ⁴	cm ³	cm	cm ³	cm ⁴	cm ³					
2X1/2	50 X 13	50,00	13,00	1,50	1,35	1,49	1,72	4,54	1,81	1,62	0,50	0,77	0,54				
		52,00	27,00	1,50	1,73	1,90	2,20	7,22	2,97	1,87	2,78	2,06	1,12				
		52,00	27,00	2,00	2,32	2,49	2,95	9,08	3,81	1,80	4,09	3,03	1,57				
2X1 1/16	50 X 30	50,00	27,00	2,50	2,81	2,98	3,58	11,55	4,44	1,80	5,31	3,81	1,97				
		60,00	37,85	1,50	2,29	2,53	2,92	13,84	4,61	2,18	6,81	3,60	1,53				
		60,00	37,85	2,00	3,04	3,31	3,87	17,69	5,90	2,14	8,66	4,71	1,50				
2 3/8 X 1 1/2	60 X 40	60,00	37,85	2,50	3,76	3,97	4,79	21,18	7,06	2,10	10,32	5,45	1,47				
		60,00	37,85	3,00	4,48	4,62	5,70	24,33	8,11	2,07	11,79	6,23	1,44				
		60,00	37,85	4,00	5,45	-	6,94	29,63	9,88	2,07	14,21	7,52	1,43				
3X1 1/2	76 X 38	76,20	38,10	1,50	2,62	2,89	3,34	24,92	6,54	2,73	8,54	4,48	1,60				
		76,20	38,10	2,00	3,52	3,79	4,49	32,06	8,42	2,67	10,90	5,72	1,56				
		76,20	38,10	2,50	4,29	4,55	5,46	38,54	10,30	2,62	13,26	6,85	1,55				
3 1/2 X 2	90 X 50	90,00	50,00	3,00	5,04	5,30	6,42	44,62	11,73	2,64	14,98	7,56	1,53				
		90,00	50,00	4,00	6,19	6,52	7,89	57,53	16,44	2,70	19,42	92,98	24,82				
		90,00	50,00	5,00	7,54	-	9,54	72,99	21,25	2,92	22,49	115,24	28,81				
3 3/4 X 2	90 X 50	90,00	50,00	3,00	5,04	5,30	6,42	44,62	11,73	2,64	14,98	7,56	1,53				
		90,00	50,00	4,00	6,19	6,52	7,89	57,53	16,44	2,70	19,42	92,98	24,82				
		90,00	50,00	5,00	7,54	-	9,54	72,99	21,25	2,92	22,49	115,24	28,81				
4X2	100 X 50	100,00	50,00	3,00	5,04	5,30	6,42	44,62	11,73	2,64	14,98	7,56	1,53				
		100,00	50,00	4,00	6,19	6,52	7,89	57,53	16,44	2,70	19,42	92,98	24,82				
		100,00	50,00	5,00	7,54	-	9,54	72,99	21,25	2,92	22,49	115,24	28,81				
4 3/4 X 3/8	120 X 60	120,00	60,00	1,50	3,20	3,54	4,08	44,88	9,96	3,32	18,15	7,26	2,11				
		120,00	60,00	2,00	4,32	4,65	5,50	58,15	12,90	3,25	23,41	9,36	2,06				
		120,00	60,00	2,50	5,26	5,59	6,70	70,99	15,66	3,25	28,28	11,31	2,05				
6X2	150 X 50	150,00	50,00	3,00	5,04	5,30	6,42	44,62	11,73	2,64	14,98	7,56	1,53				
		150,00	50,00	4,00	6,19	6,52	7,89	57,53	16,44	2,70	19,42	92,98	24,82				
		150,00	50,00	5,00	7,54	-	9,54	72,99	21,25	2,92	22,49	115,24	28,81				
6X4	150 X 100	150,00	100,00	6,00	12,25	-	15,63	120,16	32,04	2,77	39,58	209,99	49,43				
		160 X 65	160,00	65,00	3,40	11,24	-	14,54	108,55	24,12	3,54	28,00	170,65	36,27			
		160 X 65	160,00	65,00	4,00	14,45	-	18,55	150,63	30,13	3,96	34,86	235,64	45,27			
8 X 2 3/4	200 X 70	200,00	70,00	6,00	12,25	-	15,63	120,16	32,04	2,77	39,58	209,99	49,43				
		200,00	100,00	4,00	10,17	-	14,95	150,63	30,13	3,96	34,86	235,64	45,27				
		200,00	100,00	5,00	12,25	-	15,63	120,16	32,04	2,77	39,58	209,99	49,43				
8X4	200 X 100	200,00	100,00	4,00	10,17	-	14,95	150,63	30,13	3,96	34,86	235,64	45,27				
		200,00	100,00	5,00	12,25	-	15,63	120,16	32,04	2,77	39,58	209,99	49,43				
		200,00	100,00	6,00	14,31	-	17,69	143,42	36,18	3,96	41,21	279,48	53,27				
10X6	250 X 150	250,00	150,00	5,00	10,17	-	14,95	150,63	30,13	3,96	34,86	235,64	45,27				
		250,00	150,00	6,00	12,25	-	15,63	120,16	32,04	2,77	39,58	209,99	49,43				
		250,00	150,00	7,00	14,31	-	17,69	143,42	36,18	3,96	41,21	279,48	53,27				
12X4	300 X 100	300,00	100,00	5,00	10,17	-	14,95	150,63	30,13	3,96	34,86	235,64	45,27				
		300,00	100,00	6,00	12,25	-	15,63	120,16	32,04	2,77	39,58	209,99	49,43				
		300,00															



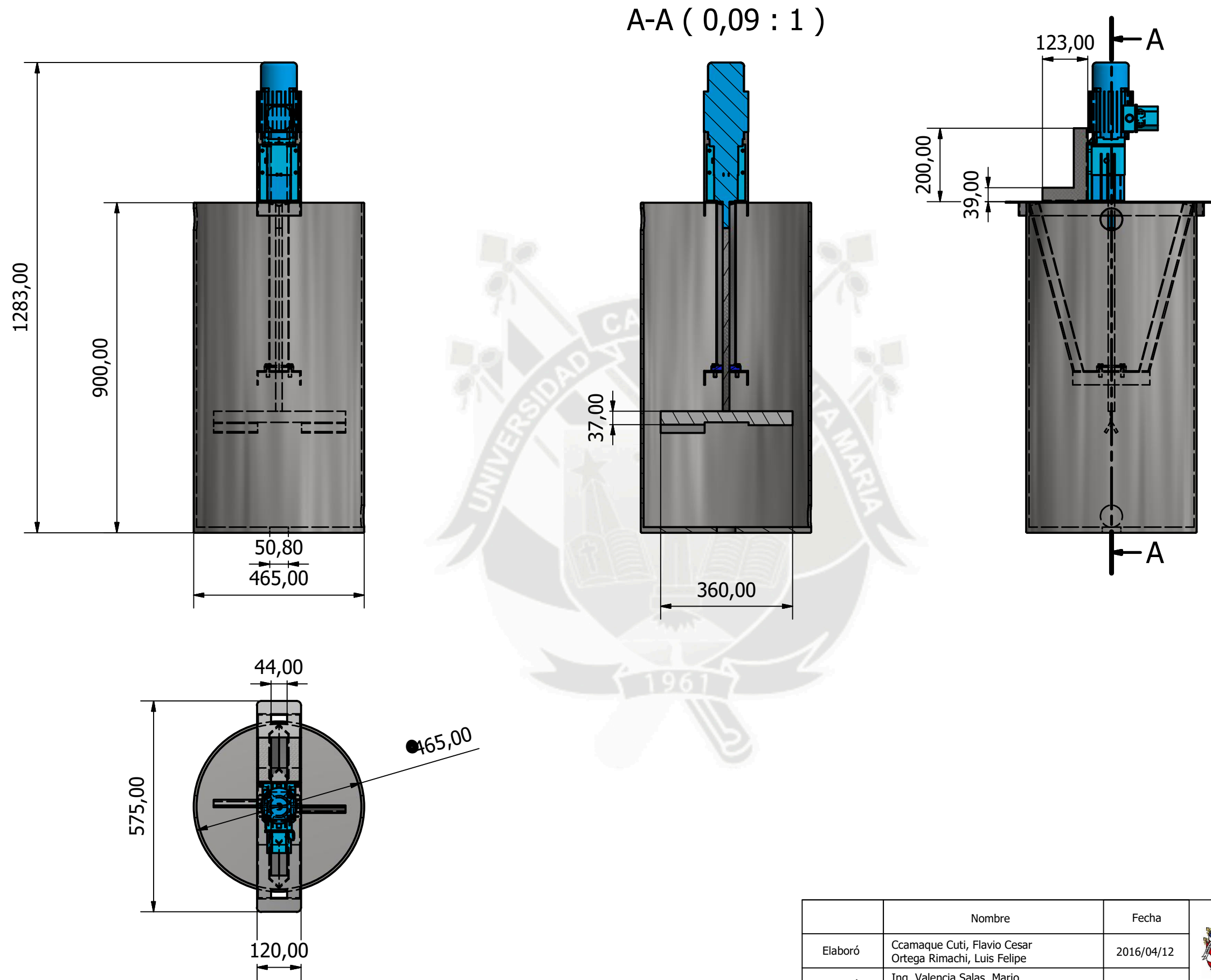



	Nombre	Fecha	 Universidad Católica de Santa María Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Mecánica Eléctrica y Mecatrónica
Elaboró	Ccamaque Cuti, Flavio Cesar Ortega Rimachi, Luis Felipe	2016/04/12	
Revisó	Ing. Valencia Salas, Mario Ing. Castro Valdivia, Jorge	2016/04/19	
Escala 0.04:1	Ensamble del módulo de bombeo de slurry		Pág. 1 Pags. 11



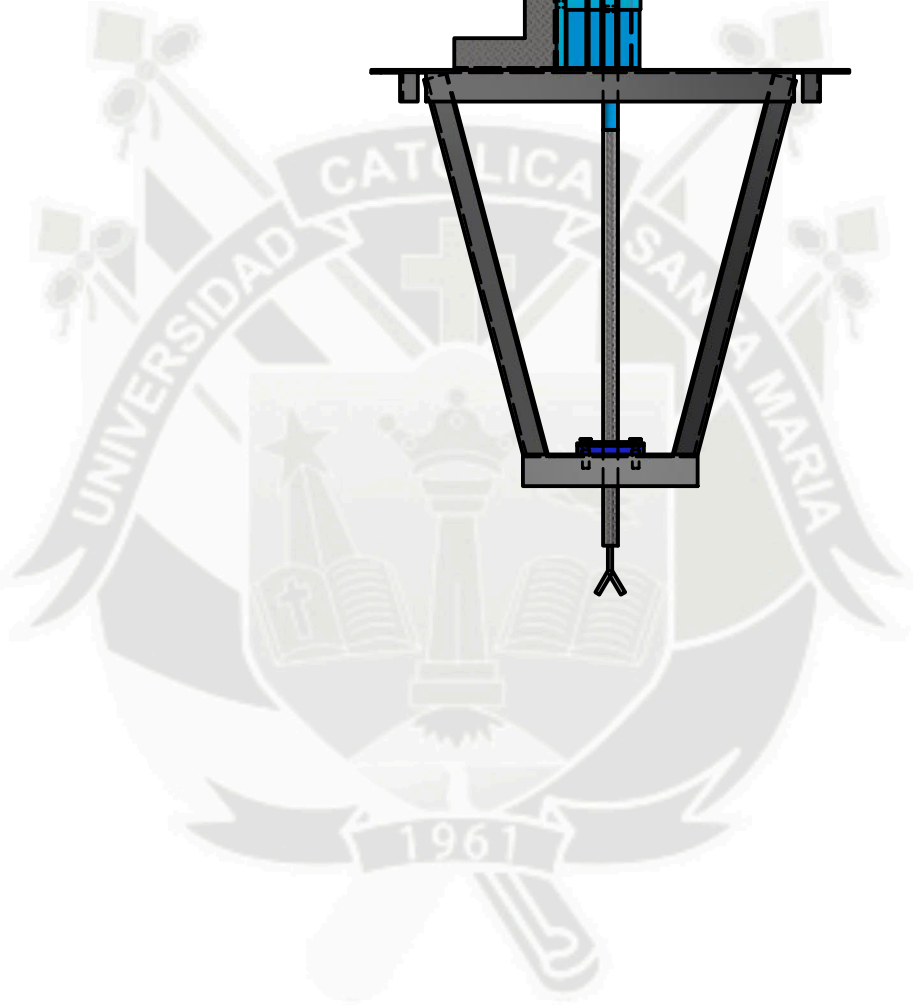
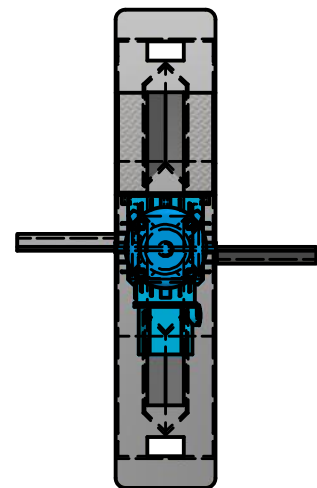
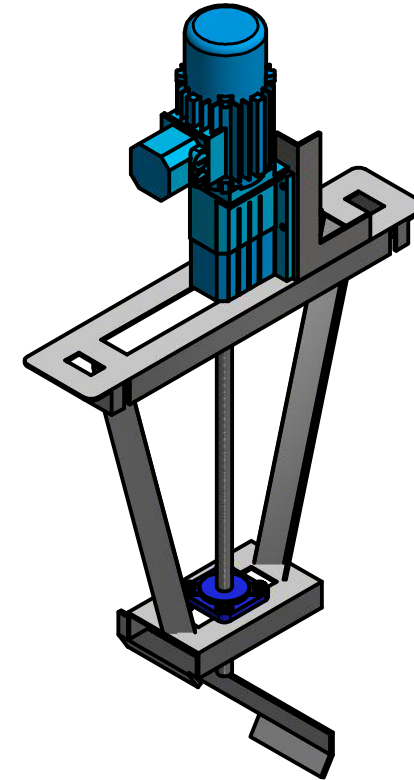
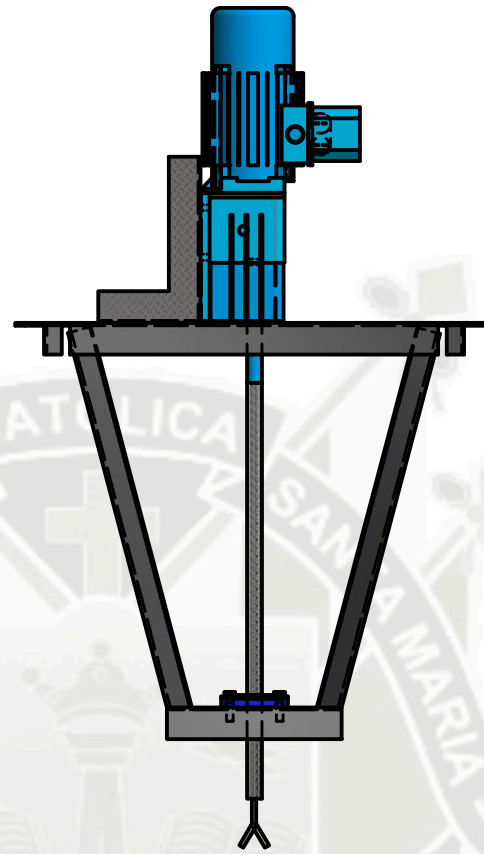
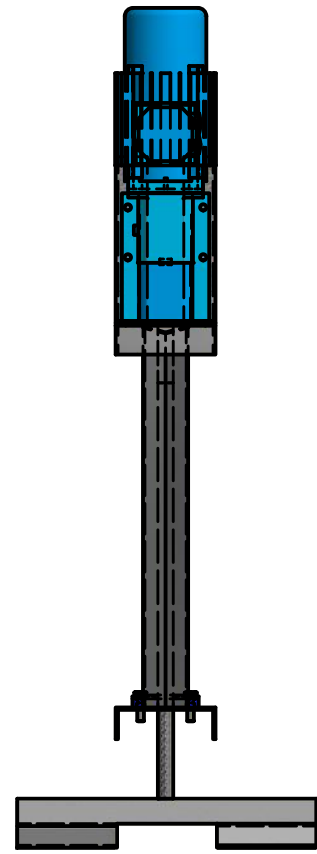
	Nombre	Fecha	 Universidad Católica de Santa María Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Mecánica Eléctrica y Mecatrónica
Elaboró	Ccamaque Cuti, Flavio Cesar Ortega Rimachi, Luis Felipe	2016/04/12	
Revisó	Ing. Valencia Salas, Mario Ing. Castro Valdivia, Jorge	2016/04/19	
Escala	0.04:1		Pág. 2 Pags. 11


Estructura del módulo de bombeo de slurry

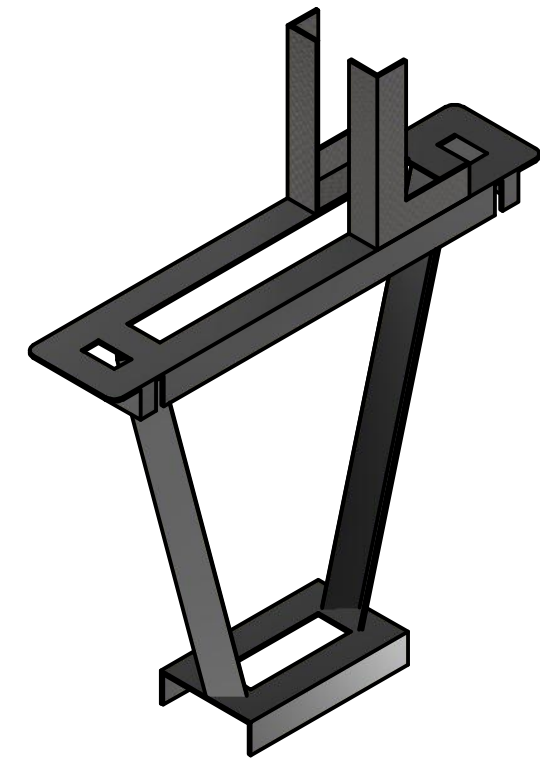
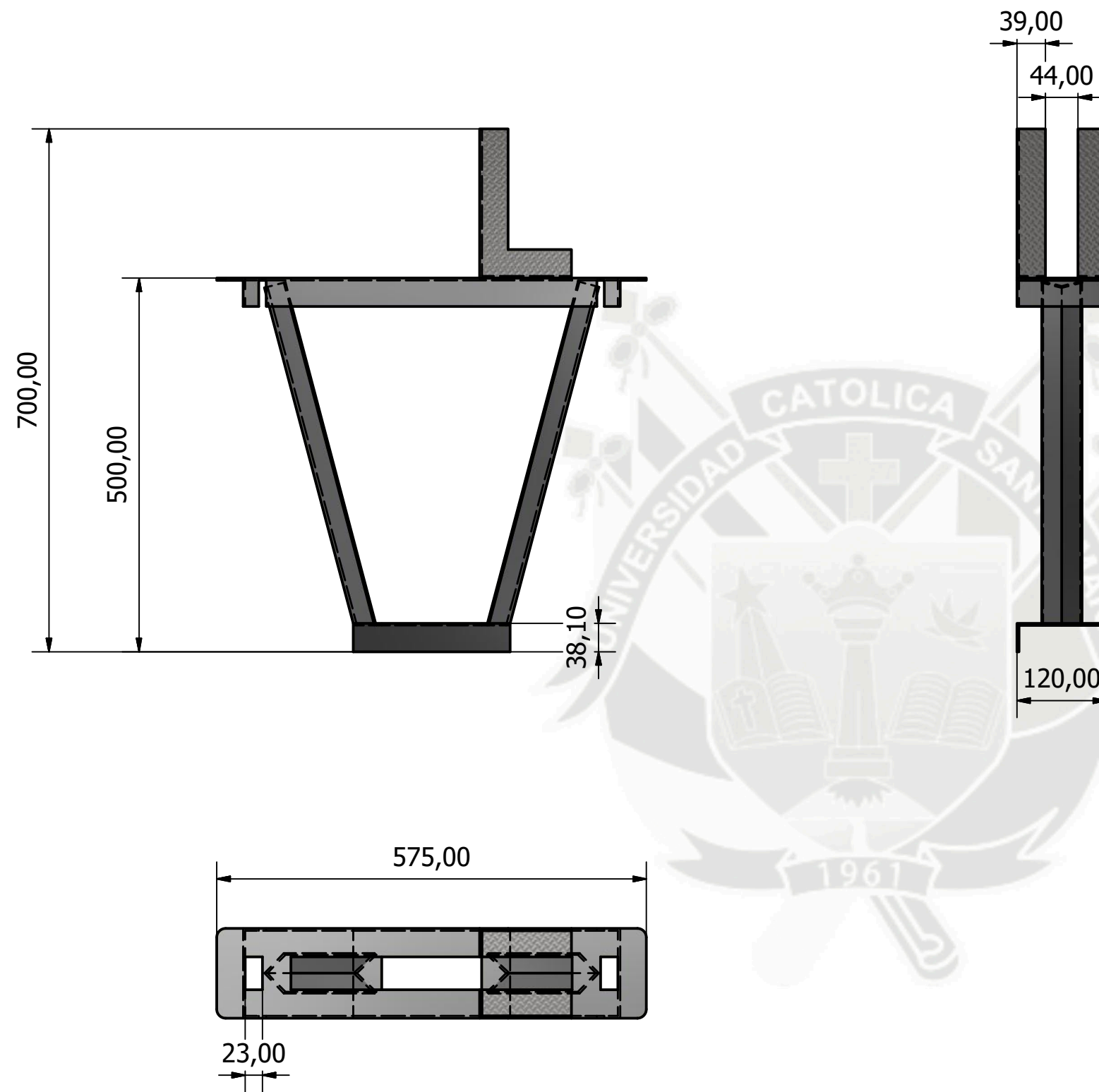



	Nombre	Fecha	 Universidad Católica de Santa María Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Mecánica Eléctrica y Mecatrónica
Elaboró	Ccamaque Cuti, Flavio Cesar Ortega Rimachi, Luis Felipe	2016/04/12	
Revisó	Ing. Valencia Salas, Mario Ing. Castro Valdivia, Jorge	2016/04/19	
Escala	0,09:1		Pág. 3 Pags. 11

Ensamble del agitador y el tanque depósito del módulo de bombeo de slurry

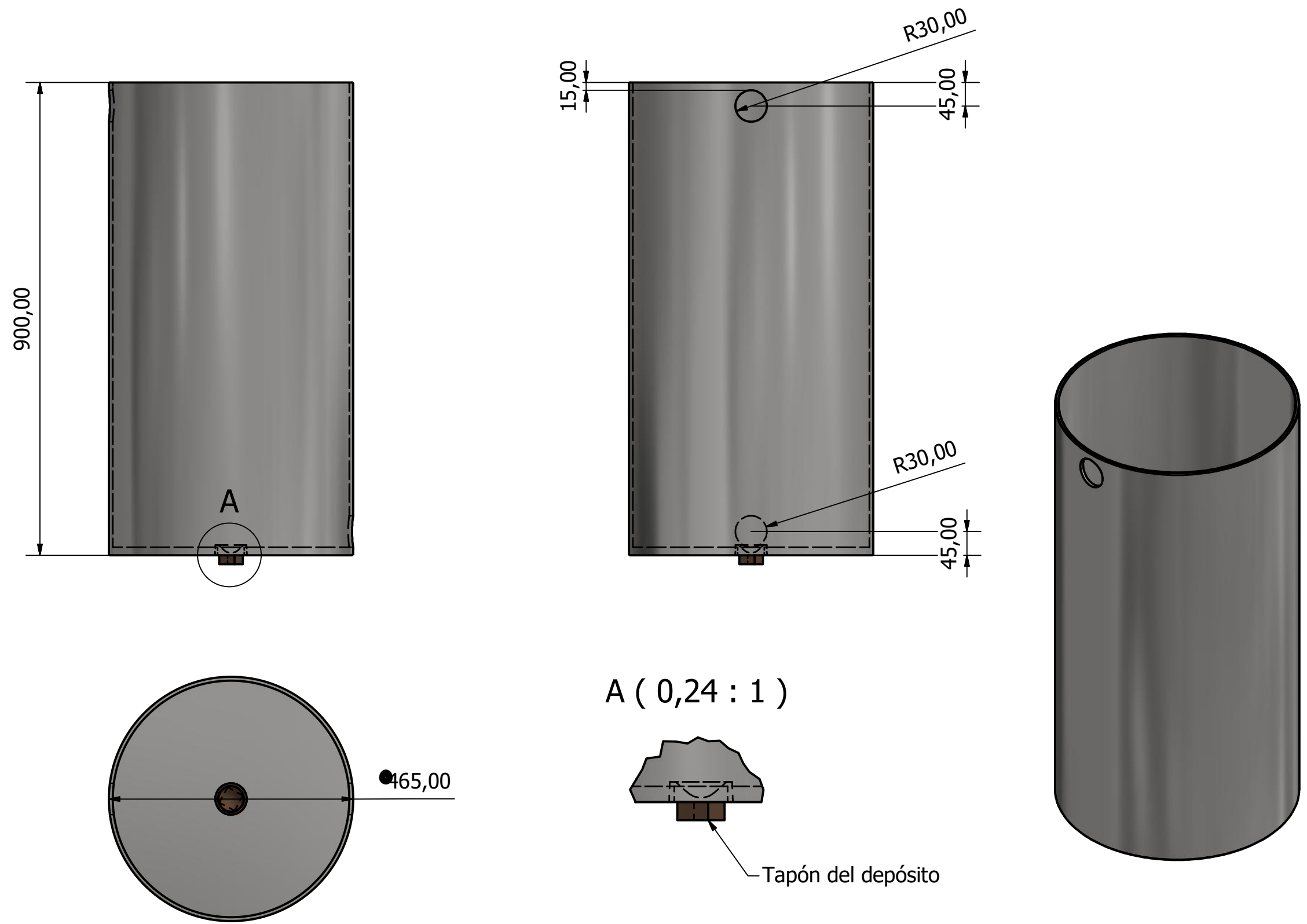


	Nombre	Fecha	 Universidad Católica de Santa María Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Mecánica Eléctrica y Mecatrónica
Elaboró	Ccamaque Cuti, Flavio Cesar Ortega Rimachi, Luis Felipe	2016/04/12	
Revisó	Ing. Valencia Salas, Mario Ing. Castro Valdivia, Jorge	2016/04/19	
Escala	Agitador del módulo de bombeo de slurry		Pág. 4 Pags. 11




	Nombre	Fecha	 Universidad Católica de Santa María Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Mecánica Eléctrica y Mecatrónica
Elaboró	Ccamaque Cuti, Flavio Cesar Ortega Rimachi, Luis Felipe	2016/04/12	
Revisó	Ing. Valencia Salas, Mario Ing. Castro Valdivia, Jorge	2016/04/19	
Escala	0.14:1		Pág. 5 Pags. 11

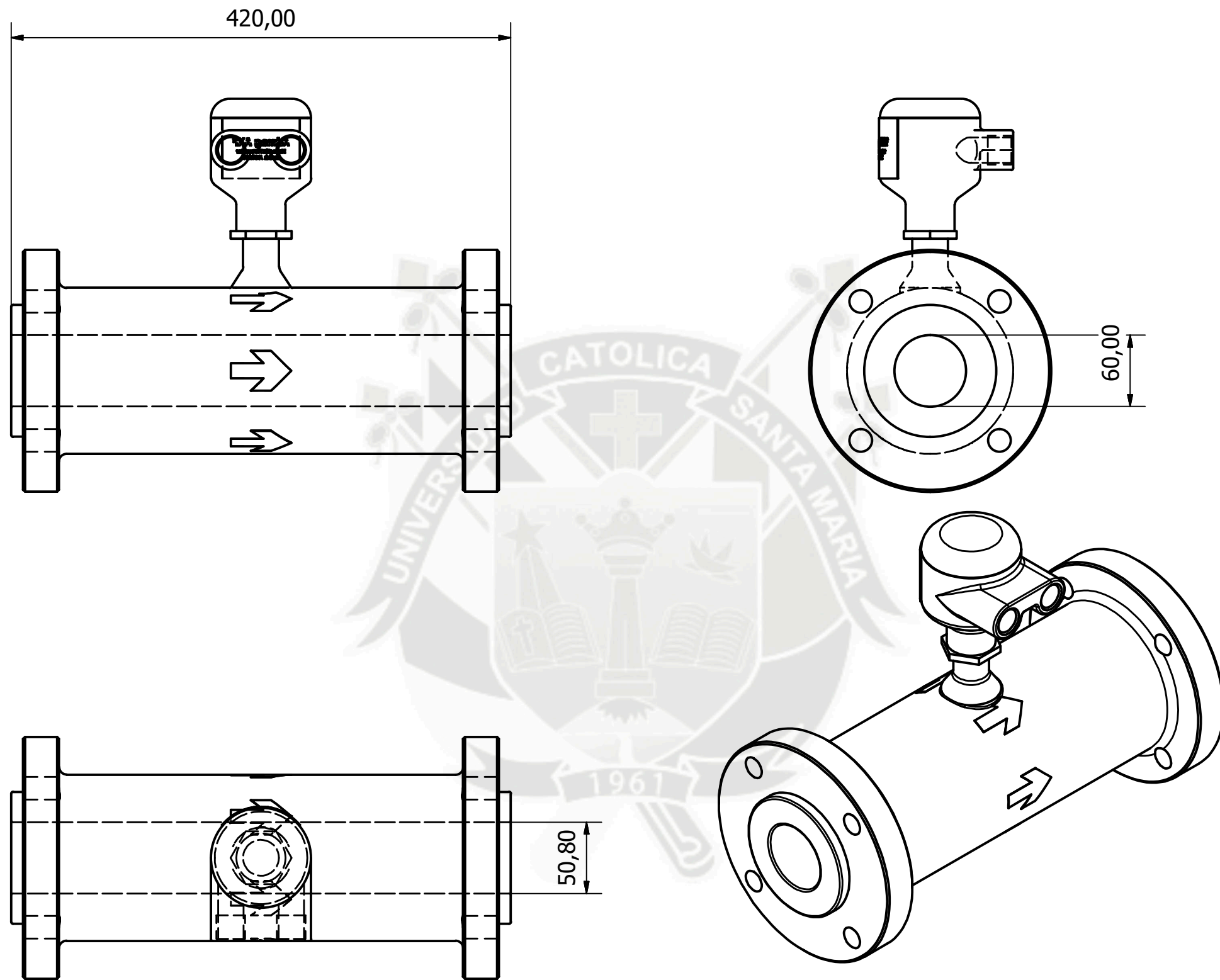
Base del Motoreductor del módulo de bombeo de slurry




A (0,24 : 1)

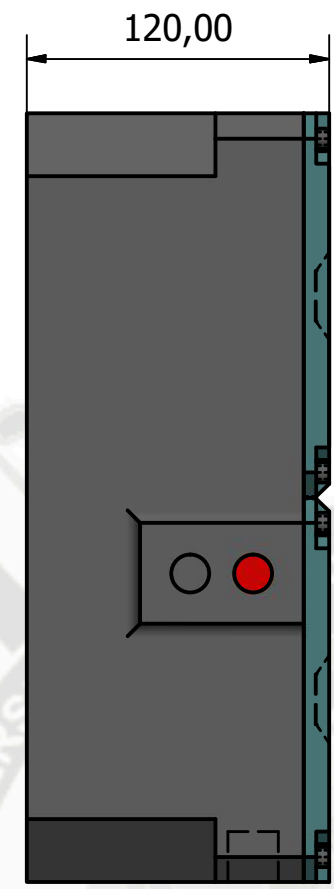
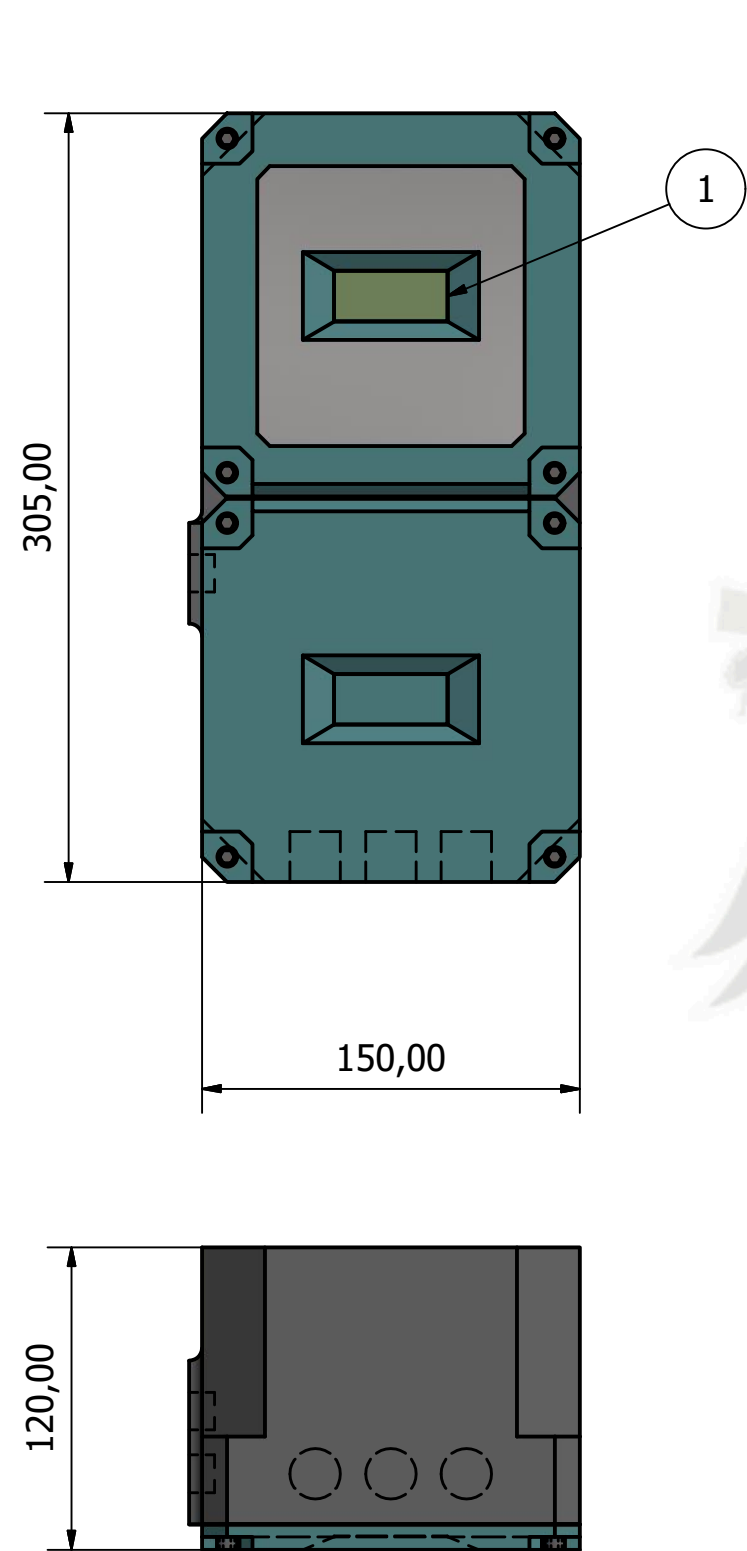
Tapón del depósito

	Nombre	Fecha	 Universidad Católica de Santa María Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Mecánica Eléctrica y Mecatrónica
Elaboró	Ccamaque Cuti, Flavio Cesar Ortega Rimachi, Luis Felipe	2016/04/12	
Revisó	Ing. Valencia Salas, Mario Ing. Castro Valdivia, Jorge	2016/04/19	
Escala	0,12:1		Pág. 6 Pags. 11
Tanque depósito del módulo de bombeo de slurry			

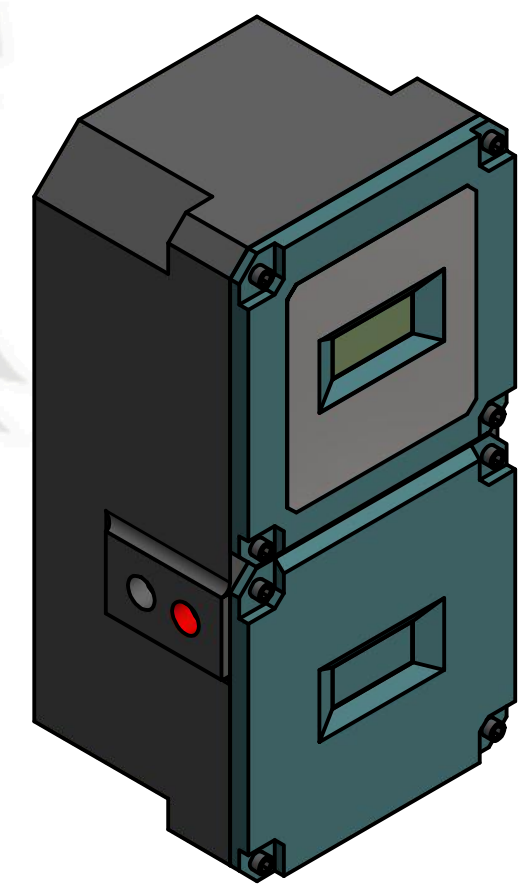



	Nombre	Fecha	 Universidad Católica de Santa María Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Mecánica Eléctrica y Mecatrónica
Elaboró	Ccamaque Cuti, Flavio Cesar Ortega Rimachi, Luis Felipe	2016/04/12	
Revisó	Ing. Valencia Salas, Mario Ing. Castro Valdivia, Jorge	2016/04/19	
Escala	1:4		Pág. 7 Pags. 11

Caudalímetro del módulo de bombeo de slurry

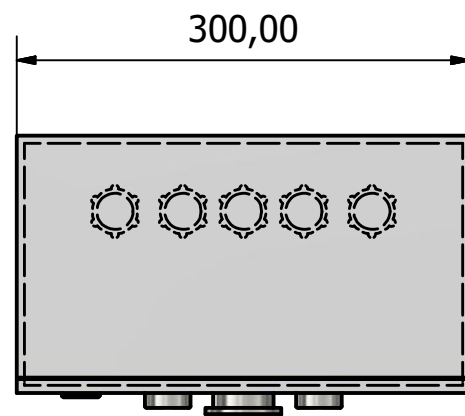
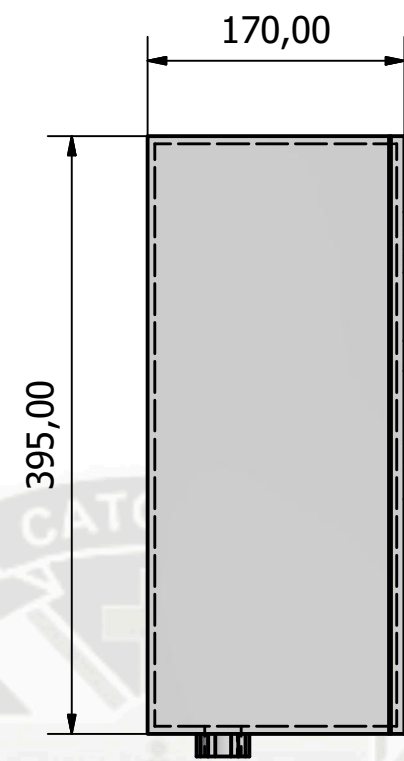
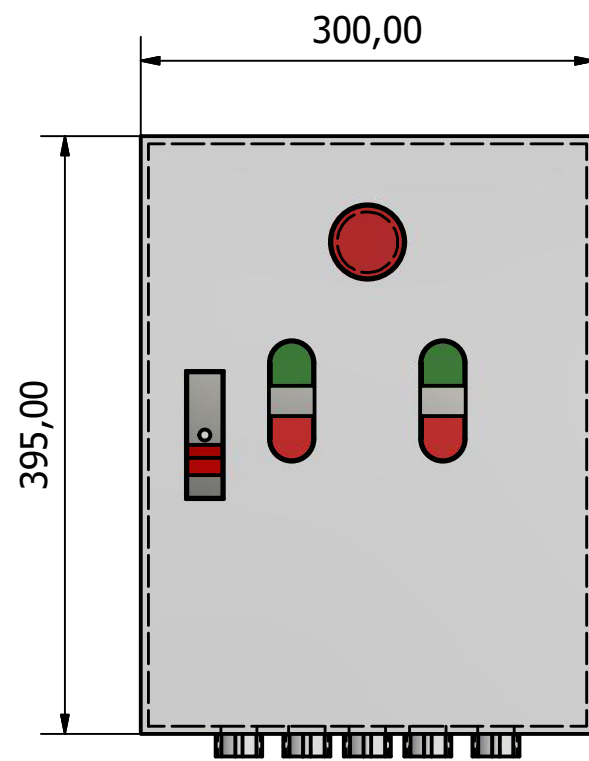


PARTS LIST		
ITEM	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	Display	Valores del caudal durante la prueba (Lt/min)

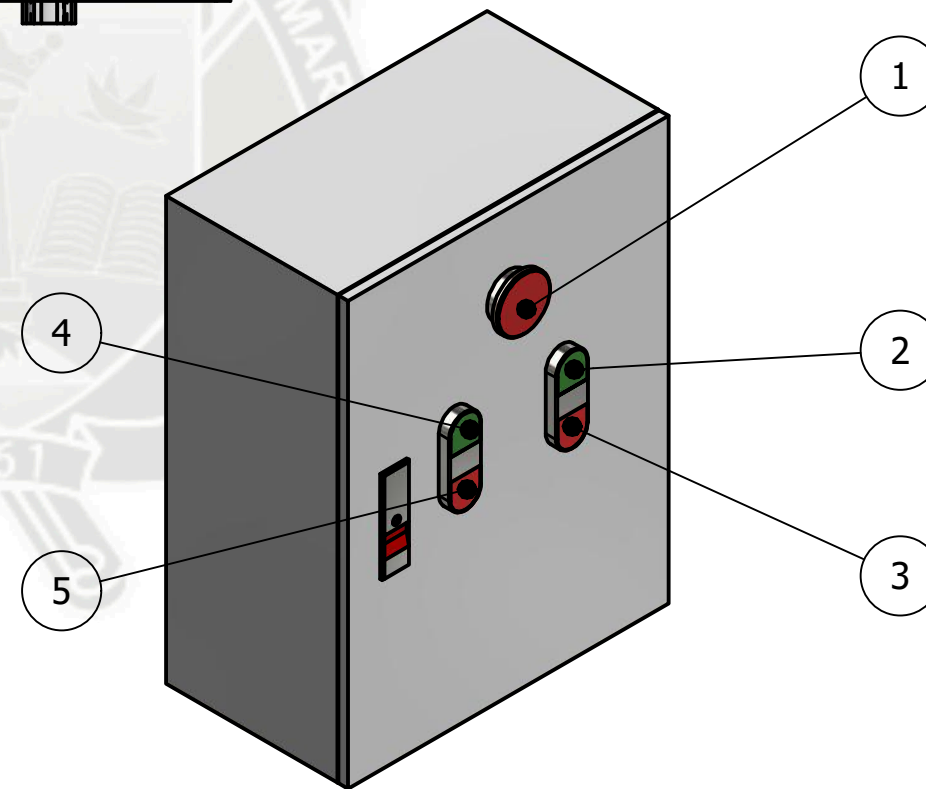



	Nombre	Fecha	 Universidad Católica de Santa María Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Mecánica Eléctrica y Mecatrónica
Elaboró	Ccamaque Cuti, Flavio Cesar Ortega Rimachi, Luis Felipe	2016/04/12	
Revisó	Ing. Valencia Salas, Mario Ing. Castro Valdivia, Jorge	2016/04/19	
Escala	1 : 3		Pág. 8 Pags. 11

Transmisor del módulo de bombeo de slurry

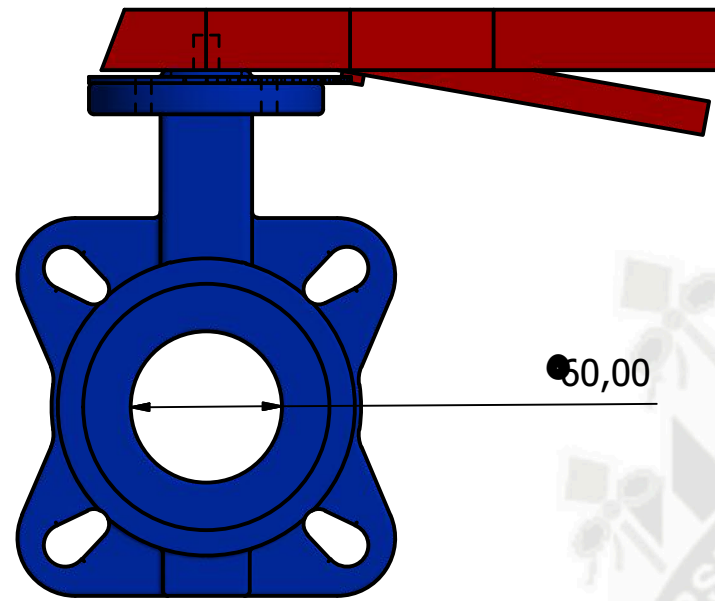


PARTS LIST	
ITEM	PART NUMBER
1	Parada de emergencia
2	Pulsador de marcha del motoreductor
4	Pulsador de parada del motoreductor
3	Pulsador de marcha de la electrobomba
5	Pulsador de parada de la electrobomba

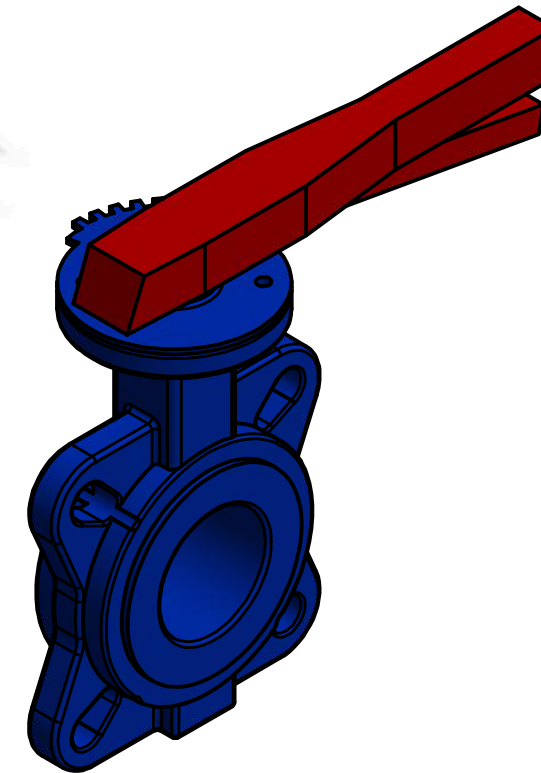
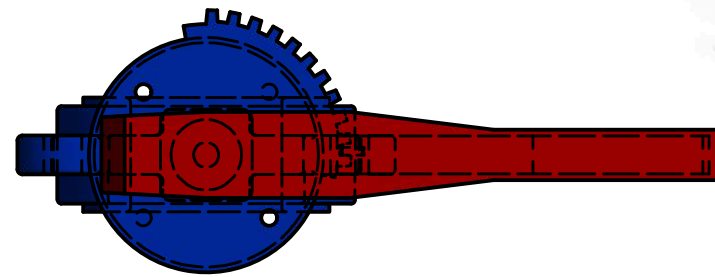
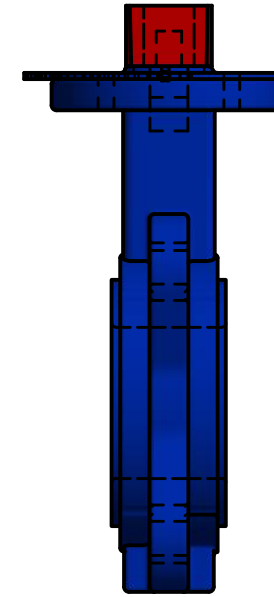



	Nombre	Fecha	 Universidad Católica de Santa María Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Mecánica Eléctrica y Mecatrónica
Elaboró	Ccamaque Cuti, Flavio Cesar Ortega Rimachi, Luis Felipe	2016/04/12	
Revisó	Ing. Valencia Salas, Mario Ing. Castro Valdivia, Jorge	2016/04/19	
Escala	1 : 5		Pág. 9 Pags. 11

Tablero de control del módulo de bombeo de slurry



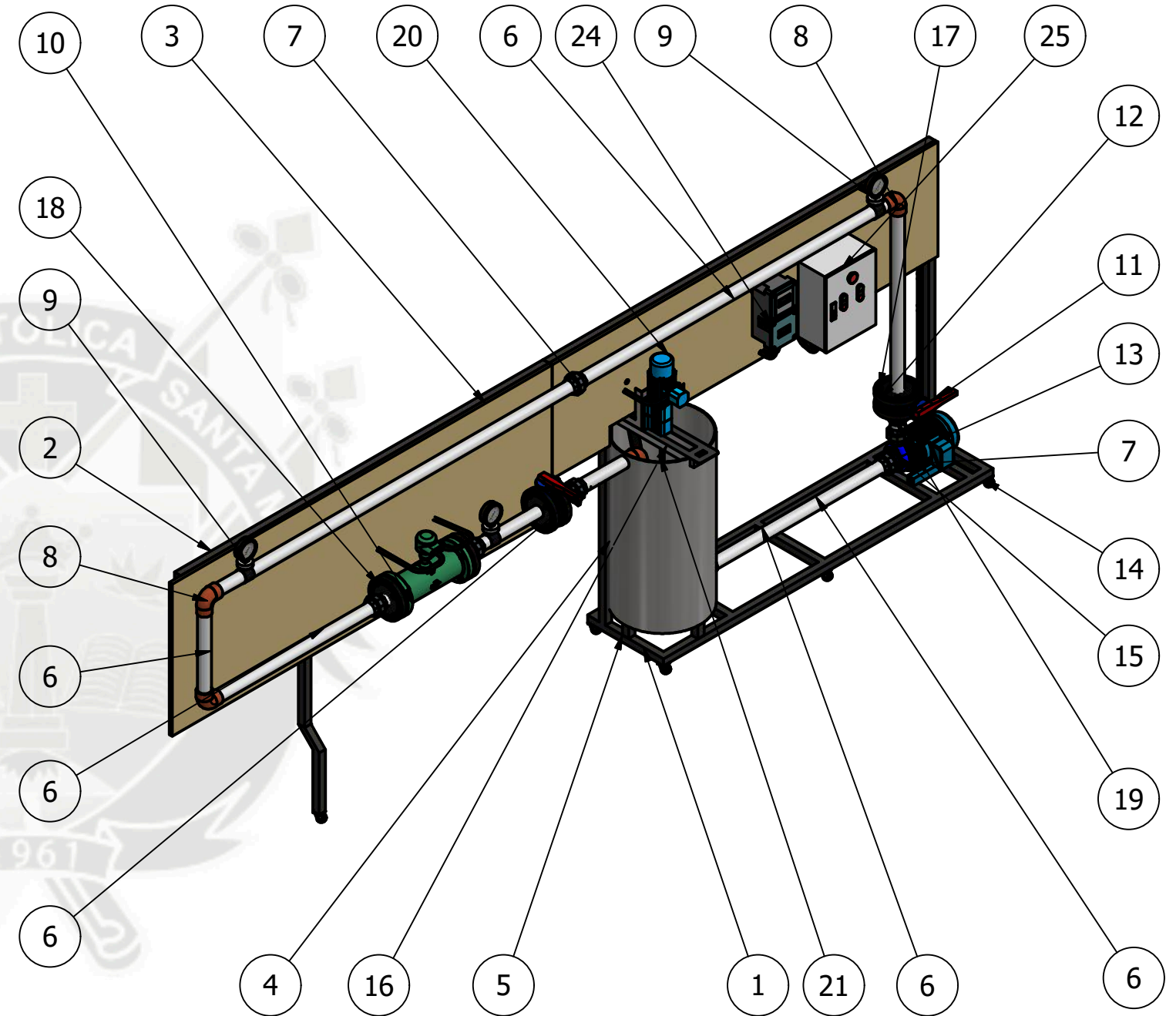
50,00




	Nombre	Fecha	 Universidad Católica de Santa María Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Mecánica Eléctrica y Mecatrónica
Elaboró	Ccamaque Cuti, Flavio Cesar Ortega Rimachi, Luis Felipe	2016/04/12	
Revisó	Ing. Valencia Salas, Mario Ing. Castro Valdivia, Jorge	2016/04/19	
Escala	1:3		Pág. 10 Pags. 11

Válvula mariposa del módulo de bombeo de slurry

PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	1		Base
2	1		Placa de Melamine
3	1		Placa de Melamine
4	1		Tanque depósito
5	4		Patas del depósito
6	1		Tubería Diámetro 2", Longitud: 220 mm
6	1		Tubería Diámetro 2", Longitud: 325 mm
6	1		Tubería Diámetro 2", Longitud: 340 mm
6	1		Tubería Diámetro 2", Longitud: 490 mm
6	1		Tubería Diámetro 2", Longitud: 1095 mm
6	1		Tubería Diámetro 2", Longitud: 1225 mm
6	1		Tubería Diámetro 2", Longitud: 1255 mm
6	1		Tubería Diámetro 2", Longitud: 1915 mm
6	1		Tubería Diámetro 2", Longitud: 2015 mm
7	8		Unión universal para tuberías Unión para tubos de 2"
8	4		Unión codo T-90 2"
9	3		Manómetro 0-1 MPa 1/2" UK
10	1		Caudalímetro
11	2		Válvula mariposa
12	4		Brida de unión
12	2		Brida de unión
13	1		Motor eléctrico
14	7		Rueda giratoria
15	1		Ensamble de la bomba
16	1		Base del motoreductor
17	8		Perno de brida
18	24		Arandela plana
19	16		Tuerca hexagonal
20	1		Motoreductor del agitador
21	1		Eje del agitador
22	1		Paletas del agitador
23	1		Base del eje
24	1		Transmisor
25	1		Tablero de control



	Nombre	Fecha	 Universidad Católica de Santa María Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Mecánica Eléctrica y Mecatrónica
Elaboró	Ccamaque Cuti, Flavio Cesar Ortega Rimachi, Luis Felipe	2016/04/12	
Revisó	Ing. Valencia Salas, Mario Ing. Castro Valdivia, Jorge	2016/04/19	
Escala	0,12:1		Pág. 11 Pags. 11

Lista de piezas del módulo de bombeo de slurry