DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA BOMBA PERISTALTICA DE MÚLTIPLES CANALES PARA PROCESOS DE LIXIVIACION

ALEXANDER ROJAS MANTILLA
ARIEL VEGA LIZARAZO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICO – MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA
2005

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA BOMBA PERISTALTICA DE MÚLTIPLES CANALES PARA PROCESOS DE LIXIVIACION

ALEXANDER ROJAS MANTILLA
ARIEL VEGA LIZARAZO

Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniero Mecánico

Director
NESTOR RAUL D´CROZ
Ingeniero Mecánico

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICO – MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA
2005

DEDICATORIA

A Dios por todo lo que me ha dado
A mis padres Hernán y Leonor,
por su amor, paciencia y apoyo incondicional
A mis hermanos, por su amistad y comprensión

Alexander Rojas Mantilla

DEDICATORIA

A Dios por todo lo que me ha dado
A mis padres Ariel y Elisa,
por su amor, paciencia y apoyo incondicional
A mis amigos por su ayuda y colaboración

Ariel Vega Lizarazo

AGRADECIMIENTOS

A Néstor Raúl D´croz, ingeniero mecánico, director del proyecto y amigo, por su respaldo, confianza y colaboración oportuna.

A Iván Uribe, ingeniero metalúrgico, Co-director del proyecto, gran colaborador incondicional y promotor de este proyecto.

Al Profesor del taller de mecánica industrial EDGAR RODRIGUEZ.

Al ingeniero Luís Fernando Mesa por su ayuda y colaboración

A nuestros profesores, compañeros, amigos, familiares, que de una u otra manera nos brindaron su apoyo y conocimiento para que este proceso de aprendizaje culminara satisfactoriamente alcanzando tan importante meta.

LOS AUTORES

CONTENIDO

Pág.

INTRODUCCIÓN……... 1

1 RESEÑA HISTORICA DEL PROCESO DE LIXIVIACION DE METALES…….. 2

1.1 DESARROLLO HISTÓRICO DE LA TECNOLOGÍA DE LIXIVIACIÓN DEL COBRE……... 2

1.2 METODOS Y PRÁCTICAS ACTUALES DE EXTRACCION DE COBRE……3

1.2.1 Lixiviación en pilas……... 3

1.2.2 Extracción por solvente (SX)……5

1.2.3 Electro obtención (EW)……6

1.3 ESTADO DEL ARTE DEL PROCESO DE LIXIVIACION DE COBRE……7

2 PROCESO DE LIXIVIACION EN EL LABORATORIO……...8

2.1 GENERALIDADES……...8

2.2 VARIABLES DEL PROCESO DE LIXIVIACIÓN……8

2.3 PROCESO DE RECIRCULACIÓN Y TOMA DE MUESTRAS EN EL LABORATORIO…… 9

3 CARACTERIZACIÓN Y REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA... 11

3.1 DESCRIPICIÓN DEL CIRCUITO DE RECIRCULACION DEL FLUIDO LIXIVIANTE……..11

3.1.1 Tanques……...11

3.1.2 Mangueras plásticas……..12

3.2 CRITERIOS DE SELECCIÓN DE LA BOMBA PERISTALTICA PARA EL PROCESO DE LIXIVIACIÓN EN EL LABORATORIO……12
4 DISEÑO Y CONSTRUCCION DE LA BOMBA PERISTALTICA DE MULTIPLES CANALES…….. 14
4.1 GENERALIDADES……...14
4.2 DISEÑO Y EVALUACION DE PROTOTIPOS PARA DETERMINAR EL COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA…….14
4.2.1 Prototipo 1……..15
4.2.2 Prototipo 2……..18
4.2.3 Calculo teórico del caudal de la bomba……23
4.2.4 Procedimiento para el cálculo del caudal del prototipo……..24
4.3 CALCULOS ESTIMATIVOS PARA DEL TORQUE RESISTENTE DE LA BOMBA PERISTALTICA……..…….....26
4.4 DETERMINACION DE LA POTENCIA REQUERIDA POR LA BOMBA PERISTALTICA…….…….…….....29
4.4.1 Calculo de la potencia hidráulica……..……30
4.4.2 Calculo de la potencia mecánica ejercida por el torque resistente….31
4.5 SELECCIÓN DEL MOTO-REDUCTOR…… 32
4.6 SELECCIÓN DEL VARIADOR ELECTRONICO…….33
4.6.1 Control de velocidad en motores jaula de ardilla…….. 33
4.6.2 Control de velocidad de motores c.a. por el método de ajuste de la frecuencia de alimentación……...36
4.7 DISEÑO DEL SISTEMA DE BOMBEO……...38
4.7.1 Selección del material y dimensiones de la manguera para la bomba peristáltica……...38
4.7.2 Diseño de la medialuna……40

4.7.3 Análisis por elementos finitos mediante ANSYS WORKBENCH V 8.0..... 46
4.8 DISEÑO DEL MECANISMO DE DESPLAZAMIENTO DE LA MEDIALUNA.....51
4.8.1 Análisis por elementos finitos mediante ANSYS WORKBENCH V 8.0..... 52
4.8.2 Selección de tornillo.....57
4.9 DISEÑO DEL ROTOR.....58
4.9.1 Calculo del eje.....61
4.10 DISEÑO DEL ACOPLE.....65
5 DESCRIPCION DEL EQUIPO..... 66
5.1 PARTES DE LA BOMBA PERISTALTICA.....68
5.2 DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA.....68
5.3 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA MOTRIZ Y DE CONTROL DE VELOCIDAD.....69
5.4 DESCRIPICIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO..... 70
6 PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCION Y MONTAJE DE LA BOMBA PERISTALTICA.....72
6.1 MEDIALUNA.....72
6.1.1 Etapas del proceso de mecanizado.....72
6.2 MECANISMO DE DESPLAZAMIENTO DE LA MEDIALUNA..... 76
6.2.1 Etapas del proceso de mecanizado.....76
6.2.2 Etapas del montaje..... 79
6.2.3 Modificaciones del mecanismo de desplazamiento.....81
6.3 ROTOR.....82
6.3.1 Etapas del proceso de mecanizado.....82

6.3.2 Etapas del montaje…… 85
6.4 PORTACONECTORES…… 86
6.4.1 Etapas del proceso de mecanizado……86
6.5 CONECTORES…….. 87
6.5.1 Etapas del proceso de mecanizado……87
6.6 ESTRUCTURA……...88
6.6.1 Etapas del proceso de mecanizado……88
6.7 GUARDAS…… 89
6.7.1 Etapas del proceso de mecanizado……89
6.8 MONTAJE GENERAL……..90
7 MEDICIONES Y PRUEBAS DE LA BOMBA PERISTALTICA…. 92
7.1 DETERMINACION DEL (NPSH)r DE LA BOMBA PERISTALTICA……92
7.2 CALCULO DEL (NPSH)r DE LA BOMBA PERISTÁLTICA……94
7.3 CALCULO DEL (NPSH)d DE LA BOMBA PERISTÁLTICA……95
7.3.1 CURVAS DEL NPSH Vs. CAUDAL……...96
7.4 MEDICION DE LOS CAUDALES DE LA BOMBA POR CADA CANAL……...97
7.5 Calculo de eficiencia volumétrica de la bomba…… 99
7.6 CURVA DE CAUDAL Vs. PRESION……100
7.7 PUESTA A PUNTO DE LA BOMBA PERISTALTICA……105
7.8 PROGRAMACION PARA PUESTA EN SERVICO DEL VARIADOR…….... 109
7.9 PRUEBA DE LIXIVIACION DE COBRE……...110
7.10 CONCLUSIONES DE LA PRUEBA DE LIXIVIACION……...113
8 CONCLUSIONES…… 114

9 RECOMENDACIONES……..116

BIBLIOGRAFÍA……...117

ANEXOS.....120

LISTA DE FIGURAS

pág.

Figura 1. Circuito de recirculación. 10
Figura 2. Prototipo 1 16
Figura 3. Estructura y partes del prototipo 16
Figura 4. Medialuna 16
Figura 5. Prueba de funcionamiento y comportamiento del prototipo1 17
Figura 6. Prototipo 2 19
Figura 7. Medialuna, camisa y ranuras – guías 19
Figura 8. Rotor del prototipo 2 20
Figura 9. Primer porta mangueras 20
Figura 10. Mangueras de caucho látex. 21
Figura 11. Moto-reductor y acople directo. 21
Figura 12. Medición de caudal del prototipo 2 22
Figura 13. Volumen capturado entre 2 rodillos. 24
Figura 14. Torque resistente 27
Figura 15. Resistencia a la rodadura. 27
Figura 16. Circuito cerrado de recirculación. 30
Figura 17. Velocidad sincrónica versus numero de polos. 34
Figura 18. Control de Velocidad Cambiando el Deslizamiento 35
Figura 19. Curvas de Torque vs Velocidad Variando la Frecuencia 36
Figura 20. Manguera de tygon, marca masterflex. 39
Figura 21. Diseño de la media luna. 43
Figura 22. Fuerzas ejercidas sobre la media luna 43
Figura 23. Fuerzas en X y Y sobre el rotor. 44
Figura 24. Fuerza total sobre el rotor. 45
Figura 25. Enmallado de la medialuna 46
Figura 26. Aplicación de la presión y las restricciones sobre la medialuna 47
Figura 27. Análisis de esfuerzos 47
Figura 28. Análisis de esfuerzos 48
Figura 29. Valores de esfuerzo. 49
Figura 30.Simulación de la deformación sufrida por la pieza. 50
Figura 31. Optimización de forma. 50
Figura 32. Mecanismo de desplazamiento de la media luna. 52
Figura 33. Enmallado del mecanismo de desplazamiento. 53

Figura 34. Aplicación de las cargas y las restricciones sobre el conjunto 53
Figura 35. Análisis de esfuerzos. 54
Figura 36. Valores de esfuerzo 55
Figura 37. Simulación de la deformación sufrida por el conjunto 55
Figura 38. Factor de seguridad 56
Figura 39. Optimización de forma 56
Figura 40. Radio del rotor. 60
Figura 41. Fuerzas resultantes aplicadas al rotor. 61
Figura 42. Fuerzas aplicadas al rodillo. 62
Figura 43. Diagramas de cortante y momento para el eje del rotor. 62
Figura 44. Vista isométrica de bomba peristáltica 66
Figura 45. Vista lateral de la bomba peristáltica 67
Figura 46. Vista superior de la bomba peristáltica 67
Figura 47. Marco soldado de acero 1020 73
Figura 48. Montaje del conjunto soldado en la copa del torno. 74
Figura 49. Mandrinado con barra de interiores, herramienta de corte widia. 74
Figura 50. Acabado final de la superficie cóncava 74
Figura 51. Se observan cuatro perforaciones roscadas y una central donde se aloja el tornillo. 75
Figura 52. Eliminación de aristas y bordes de la superficie cóncava. 75
Figura 53. Herramienta de corte widia y Barra de interiores. 75
Figura 54. Mecanismo de desplazamiento de la medialuna. 76
Figura 55. Foto Mecanizado del tornillo de empuje 77
Figura 56. Taladrados de las platinas y medialuna 77
Figura 57. Platinas para acoplar el tornillo a la medialuna. 78
Figura 58. Varillas de acero inoxidable (guías). 78
Figura 59. Cromado – niquelado de las platinas y el tornillo. 78
Figura 60. Roscado del tornillo. 79
Figura 61. Acople del tornillo a la medialuna. 80
Figura 62. Colocación de las varillas o guías. 80
Figura 63. Fijación de las varillas mediante prisioneros. 80
Figura 64. Primer mecanismo de desplazamiento de la medialuna. 81
Figura 65. Guías rectangulares en forma de C. 82
Figura 66. Ranuras defectuosas mecanizadas sobre la medialuna. 82
Figura 67. Eje principal. 83
Figura 68. Eje del rodillo. 84
Figura 69. Tubo del rodillo. 84
Figura 70. Mecanizado del soporte. 84
Figura 71. Rodillos. 85

Figura 72. Rotor. 86
Figura 73. Montaje del rotor sobre los soportes. 86
Figura 74. Portaconectores. 87
Figura 75. Conectores de polietileno. 88
Figura 76. Estructura soldada. 89
Figura 77. Guardas para la base y el moto-reductor. 90
Figura 78. Instalación de las mangueras y el variador. 91
Figura 79. Determinación de la máxima altura de succión. 92
Figura 80. Curva Q vs. NPSH 96
Figura 81. Circuito de de bombeo 102
Figura 82. Curva Caudal vs. Presión del sistema 104
Figura 83. Desenergizacion del sistema. 105
Figura 84. Montaje y ajuste de las mangueras 105
Figura 85. Ajuste del grado de aplastamiento de las mangueras 106
Figura 86. Acople de las mangueras plásticas. 106
Figura 87. Estanqueidad de la bomba. 108
Figura 88. Montaje del circuito de recirculación 110
Figura 89. Solución lixiviante. 110
Figura 90. Papel filtrante dentro de los tanques. 111
Figura 91. Mineral de prueba 111
Figura 92. Vaciado de la solución lixiviante sobre el mineral. 112
Figura 93. Recirculación de la solución lixiviante. 112
Figura 94 . Primera etapa del principio peristáltico 121
Figura 95. Segunda etapa del principio peristáltico 121
Figura 96. Tercera etapa del principio peristáltico 122
Figura 97. Funcionamiento en seco. 123
Figura 98. Funcionamiento en baño lubricado. 123
Figura 99. Bombas peristálticas de cabezas múltiples con un solo canal por cabeza. 124
Figura 100. Bombas peristálticas de una cabeza con múltiples canales. 125
Figura 101. Bomba peristáltica de tres cabezas de múltiples canales 126
Figura 102. Bombas peristálticas de obstrucción fija 127
Figura 103. Bombas peristálticas de rotor ajustable 128
Figura 104. Bombas peristálticas de varios 128
Figura 105. Bombas peristálticas de un tensor 129
Figura 106. Bombas peristálticas de dos rodillos o levas 129
Figura 107. Bombas peristálticas de tres rodillos o levas 130
Figura 108. Bombas de múltiples rodillos 130
Figura 109. MOTORES TRIFÁSICOS DE 4 POLOS. 141

Figura 110. VARIADORES ELECTRÓNICOS DE VELOCIDAD. 142
Figura 111. Materiales de construcción 155
Figura 112. Número de rodillos. 156
Figura 113. Facilidad de cambio de la tubería 156
Figura 114. Número de canales. 158
Figura 115. Número de cabezas. 158
Figura 116. Compatibilidad química. 159
Figura 117. Tolerancias. 165
Figura 118. Relación tamaño de la partícula, con diámetro de la manguera. 167

LISTA DE TABLAS

pág.

Tabla 1. Caudales medidos en el prototipo 2. 22
Tabla 2. Eficiencia volumétrica del prototipo 2. 25
Tabla 3. Fuerza total en función del ángulo. 45
Tabla 4.Comparación entre el esfuerzo máximo y el esfuerzo de fluencia a corte. 49
Tabla 5. Comparación entre el esfuerzo máximo y el esfuerzo de fluencia a corte 55
Tabla 6. Comparación entre el esfuerzo de cálculo y el esfuerzo de fluencia a corte 64
Tabla 7. Altura de succión critica de la bomba (Z CRITICO). 93
Tabla 8. (NPSH)r de la bomba peristáltica. 95
Tabla 9. Caudales promedio del canal 1 a las diferentes frecuencias. 97
Tabla 10. Caudales promedio del canal 3 a las diferentes frecuencias. 98
Tabla 11. Caudales promedio del canal 5 a las diferentes frecuencias. 98
Tabla 12. Caudales promedio vs. Frecuencia. 99
Tabla 13. Eficiencia volumétrica de la bomba. 100
Tabla 14. Presión del sistema. 103
Tabla 15. Variación del caudal vs. Presión del sistema 103
Tabla 16. Frecuencia del variador vs. Caudal. 107
Tabla 17. PROPIEDADES DE LAS MANGUERAS PARA BOMBAS PERISTÁLTICAS 143
Tabla 18. DIAMETROS DE MANGUERAS PARA BOMBAS PERISTALTICA 148
Tabla 19. PROPIEDADES DE LOS ACEROS INOXIDABLES SAE 304 Y 149

LISTA DE ANEXOS

pág.

Anexo A. BOMBAS PERISTALTICAS.....120

Anexo B. FIGURA 109. CATALOGO DE MOTORES TRIFÁSICOS DE 4 POLOS.....141

Anexo C. FIGURA 110. VARIADORES ELECTRÓNICOS DE VELOCIDAD.....142

Anexo D. TABLA 17. PROPIEDADES DE LAS MANGUERAS PARA BOMBAS PERISTÁLTICAS.....143

Anexo E. TABLA 18. DIAMETROS DE MANGUERAS PARA BOMBAS PERISTALTICA.....148

Anexo F. TABLA 19. PROPIEDADES DE LOS ACEROS INOXIDABLES SAE 304 Y SAE 316 (Cia General de aceros S.A.).....149

Anexo G. TABLA 20. PROPIEDADES DELOS PLASTICOS I NDUSTRIALES.....151

Anexo H. TABLA AT 4. PROPIEDADES TIPICAS DE LOS ACEROS INOXIDABLES (Elementos de maquinas, Faires).....152

Anexo I. TABLA DE SELECCIÓN DE RODAMIENTOS DE BOLAS.....153

Anexo J. PARAMETROS A TENER EN CUENTA EN LA SELECCIÓN DE UN SISTEMA DE BOMBEO PERISTALTICO.....155

Anexo K. LISTADO DE PLANOS.....170

RESUMEN

TÍTULO:
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA BOMBA PERISTALTICA DE MULTIPLES CANALES PARA PROCESOS DE LIXIVIACION

AUTORES:
Alexander Rojas Mantilla
Ariel Vega Lizarazo.**

PALABRAS CLAVES:
Bomba Peristáltica, Desplazamiento positivo, Lixiviación de cobre.

DESCRIPCIÓN:

Este trabajo de grado consiste en el diseño y construcción de una Bomba Peristáltica de múltiples canales para realizar pruebas de lixiviación de cobre proceso hidrometalúrgico que permite obtener el cobre de los minerales oxidados que lo contienen. La lixiviación se efectúa en circuito cerrado recirculando una solución lixiviante (Ácido sulfúrico + Agua) a través de el material triturado en estudio, obteniendo en su etapa final soluciones de sulfato de cobre (CUSO4), utilizando como medio para este proceso de recirculación bombas peristálticas y mangueras resistentes a la acción del ácido.
La Bomba Peristáltica es un tipo de bomba rotativa de desplazamiento positivo compuesta por un sistema de potencia (motor de 1/2 HP, reductor sin fin corona de relación 1:10 y un variador electrónico de velocidad), un sistema de bombeo (medialuna y su mecanismo de desplazamiento, rotor, mangueras y conectores.), y un sistema estructural. Este equipo esta diseñado para operar a un mínimo de 15 RPM hasta 160 RPM. La Bomba Peristáltica ha sido diseñada y construida como equipo de laboratorio de la Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales de la UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER. El diseño de la máquina fue realizado en el programa Solid Edge V12, y se simuló mediante el programa ANSYS WORKBENCH V 8.0.

***** Trabajo de grado
****** Facultad de Ciencias Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería mecánica, Ing. Néstor Raúl D´croz.

SUMMARY

TITLE:
DESIGN AND CONSTRUCTION OF A PERISTÁLTIC PUMP OF MULTIPLE CHANNELS FOR LIXIVIATION PROCESSES

AUTHORS:
Alexander Rojas Mantilla
Ariel Vega Lizarazo.**

KEY WORDS:
Peristáltic pump, Positive Displacement, Copper Lixiviatión.

DESCRIPCIÓN:

This grade work consists on the design and construction of a Peristáltic pump of multiple channels to carry out tests of copper lixiviación I process hidrometalúrgical that allows to obtain the copper of the rusty minerals that contain it. The lixiviación is made in closed circuit recycling a lixiviant solution (sulfuric Acid + water) through the crushed material in study, obtaining in this final stage solutions of copper sulfate (CUSO4), using for this process of recirculation Peristáltic pumps and resistant hoses to the action of the acid. The Peristáltic pump is a type of revolving pump of positive displacement composed by a system of power (motor of 1/2 HP, reducer worm gear 1:10 and an electronic speed variator), a pumping system (half moon and his displacement mechanism, rotor, hoses and connectors.), and a structural system. This team is designed to operate to a minimum of 15 RPM up to 160 RPM.
The Peristáltic pump has been designed and built as laboratory equipment of the Metalúrgical School Engineering and Materials Science of the UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER. The design of the machine was carried out in the program Solid Edge V12, and it was simulated using the program ANSYS WORKBENCH V 8.0.

---

*Degree work
**Physical-Mechanical Sciency Faculty, Mechanical Engineering, Eng. Néstor Raúl D´croz.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la importancia de utilizar equipos de laboratorio apropiados y eficientes , ha facilitado el desarrollo en las investigaciones que se llevan acabo en los procesos existentes, hecho que se ha tenido en cuenta en las diferentes escuelas, como es el caso de la Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales de la Universidad Industrial de Santander, que por medio de la realización de proyectos a cargo de estudiantes , ha beneficiado de una manera significativa el desarrollo en el campo de la Ingeniería metalúrgica, con la implementación y actualización de equipos de laboratorio para satisfacer las necesidades presentes en la investigación y realización de pruebas en el proceso de lixiviación de cobre o de cualquier otro proceso hidrometalúrgico que se desarrollan en su planta física. El proceso denominado lixiviación de cobre permite obtener el cobre de los minerales oxidados que lo contienen, aplicando una disolución de ácido sulfúrico y agua. La lixiviación se efectúa en circuito cerrado recirculando una solución lixiviante a través del material triturado en estudio, obteniendo en su etapa final soluciones de sulfato de cobre, utilizando como medio para este proceso de recirculación bombas y mangueras resistentes a la acción del ácido, siendo este equipo fundamental para este proceso y el cual es tema de nuestro proyecto; promoviendo así dentro del campo de la Ingeniería mecánica la oportunidad de diseñar y construir equipos de laboratorio al interior de la Universidad como es la bomba peristáltica de múltiples cabezas desacoplables con múltiples canales, con la ventaja adicional de crear una base propia que permita un futuro desarrollo de esta tecnología.

1 RESEÑA HISTORICA DEL PROCESO DE LIXIVIACION DE METALES

1.1 DESARROLLO HISTÓRICO DE LA TECNOLOGÍA DE LIXIVIACIÓN DEL COBRE.

La tecnología actual de lixiviación de cobre se ha desarrollado ampliamente desde mediados de la década del 70, en los últimos 20 años la lixiviación se ha desarrollado hasta llegar a ser un método eficiente para tratar el mineral de cobre, demostrando ser una forma efectiva para extraer metales de depósitos pequeños y poco profundos. El principio de la lixiviación tiene una larga historia, un ejemplo son las minas de Hungría donde reciclaban las soluciones que llevaban cobre a pilas de mineral de baja ley a mediados del siglo XVI y los mineros españoles lixiviaban soluciones ácidas en grandes pilas de mineral oxidado de cobre en Río Tinto en 1752 aproximadamente. Alrededor del año 1900, las operaciones de lixiviación fueron empleando técnicas como los ciclos de lixiviación/reposo para maximizar la recuperación de cobre. En 1904 Jackling en Bingham Canyon inició a gran escala la lixiviación de botaderos de cobre en la parte occidental de EE.UU. poco después del desarrollo de minas a tajo abierto, sin embargo, los esfuerzos serios para explotar la lixiviación de botaderos probablemente empezaron en las décadas del 30 y 40. Durante los últimos años, ha habido una tremenda expansión de la lixiviación de botaderos. Algunas innovaciones técnicas en los últimos años han aumentado la importancia de la minería de soluciones como un proceso para la recuperación de cobre. Entre éstas se incluye: avances en extracción por solventes y electro deposición o electro obtención (SX/EW); innovaciones en los procesos de curado con ácido y ácido férrico

para los minerales oxidados y mixtos; y mejoras en la construcción de pilas y botaderos.

1.2 METODOS ACTUALES DE EXTRACCION DE COBRE.

En los yacimientos de cobre de minerales oxidados, el proceso actual de obtención de cobre se viene realizando normalmente en tres etapas que trabajan como una cadena productiva, totalmente sincronizadas las cuales son:

-Lixiviación en pilas.

-Extracción por solvente.

-Electro-obtención.

1.2.1 Lixiviación en pilas.

La tecnología de la lixiviación en pilas surgió en la minería del cobre recientemente a nivel mundial. Es un proceso hridrometalurgico que permite la obtención del cobre, de las rocas que contienen minerales oxidados de cobre (malaquita, calcantina, atacamita, cuprita etc.), éstos minerales oxidados son sensibles al ataque de soluciones ácidas (ácido sulfúrico + agua). Los que típicamente tienen un color verde o azul. Los minerales oxidados se han formado por acción del oxígeno y otros agentes que atacan las rocas mineralizadas que se encuentran en la superficie.

Este proceso se realiza en tres etapas:

a) Trituración: En esta primera etapa se realiza el proceso de reducción de tamaño del material extraído de la mina (generalmente a cielo abierto), que

contiene minerales oxidados de cobre, el cual es fragmentado mediante triturado primario y secundario (eventualmente terciario), con el objeto de obtener un material mineralizado de un tamaño máximo de 1,5 a ¾ pulgadas. Este tamaño es suficiente para dejar expuestos los minerales oxidados de cobre a la infiltración de la solución ácida.

b) Formación de la pila: el material triturado es llevado hacia el lugar donde se formará la pila. En este trayecto el material es sometido a una primera irrigación con una solución de agua y ácido sulfúrico, conocido como proceso de curado, de manera de iniciar ya en el camino el proceso de sulfatación del cobre contenido en los minerales oxidados. En su destino, el mineral es depositando ordenadamente formando un terraplén continuo (la pila de lixiviación). Sobre esta pila se instala un sistema de riego por goteo y aspersores que van cubriendo toda el área expuesta.

Bajo las pilas de material a lixiviar se instala previamente una membrana impermeable sobre la cual se dispone un sistema de drenajes (tuberías ranuradas) que permiten recoger las soluciones que se infiltran a través del material.

c) Sistema de riego: a través del sistema de riego por goteo y de los aspersores, se vierte lentamente una solución ácida de agua con ácido sulfúrico en la superficie de las pilas. Esta solución se infiltra en la pila hasta su base, actuando rápidamente. La solución disuelve el cobre contenido en los minerales oxidados, formando una solución de sulfato de cobre, la que es recogida por el sistema de drenaje, y llevada fuera del sector de la pilas. El riego de las pilas, es decir, la lixiviación se mantiene por un tiempo

determinado que puede ser días, semanas, meses, etc. Después de lo cual se supone que se ha agotado casi completamente la cantidad de cobre lixiviable. El material restante o ripio es trasladado a botaderos donde se podría reiniciar un segundo proceso de lixiviación para extraer el resto de cobre. De la lixiviación se obtienen soluciones de sulfato de cobre (CUSO4) con concentraciones de hasta 9 gramos por litro (gpl) denominadas PLS que son llevadas a diversos estanques donde se limpian eliminándose las partículas sólidas que pudieran haber sido arrastradas. Estas soluciones de sulfato de cobre limpias son llevadas a planta de extracción por solvente.

1.2.2 Extracción por solvente (SX).

La tecnología de extracción por solventes fue desarrollada en EE.UU. durante la Segunda Guerra Mundial para la obtención del uranio como parte del proyecto Manhattan. En los años posteriores la desclasificación de esta tecnología permitió estudiar su aplicación civil y en particular su uso en la hidrometalurgia del cobre.

En esta etapa la solución que viene de las pilas de lixiviación, se libera de impurezas y se concentra su contenido de cobre, pasando de 9gpl a 45 gpl, mediante una extracción iónica. Para extraer el cobre de la solución PLS, ésta se mezcla con una solución de parafina y resina orgánica. La resina de esta solución captura los iones de cobre (CU+2) en forma selectiva. De esta reacción se obtiene por un lado un complejo resina-cobre y por otro una solución empobrecida en cobre que se denomina refino, la que se reutiliza en el proceso de lixiviación y se recupera en las soluciones que se obtienen del proceso. El compuesto de resina-cobre es tratado en forma independiente con una solución electrolito rica en ácido, el que provoca la descarga del cobre

desde la resina hacia el electrolito (solución), mejorando la concentración del cobre en esta solución hasta llegar a 45 gpl. Esta es la solución que se lleva a la planta de electro obtención.

1.2.3 Electro obtención (EW)

La electro-obtención es un proceso convencional es similar a la electro-refinación. Esta etapa corresponde al desarrollo de un proceso electrometalúrgico mediante el cual se recupera el cobre disuelto en una solución concentrada de cobre, mediante el proceso de electro obtención se recupera el cobre de una solución electrolito concentrado para producir cátodos de alta pureza de cobre (99,99%) muy cotizados en el mercado. La solución electrolítica que contiene el cobre en forma de sulfato de cobre (Cu SO4) es llevada a las celdas de electro obtención que son estanques rectangulares, que tienen dispuestas en su interior y sumergidas en solución, unas placas metálicas de aproximadamente 1-2 m cada una. Estas placas corresponden alternadamente a un ánodo y un cátodo. Los ánodos son placas de plomo que hacen las veces de polo positivo, ya que por éstos se introduce la corriente eléctrica, en tanto que los cátodos son placas de acero inoxidable o de cobre , que corresponde al polo negativo, por donde sale la corriente. Todas las placas están conectadas de manera que conforman un circuito por el que se hace circular una corriente eléctrica continua de muy baja intensidad, la que entra por los ánodos y sale por los cátodos. El cobre en solución (catión, de carga positiva +2: Cu+2) es atraído por el polo negativo representado por los cátodos, por lo que migra hacia éstos pegándose partícula por partícula en su superficie en forma metálica (carga cero).Una vez transcurridos seis a siete días en este proceso de electro obtención, se

produce la cosecha de cátodos. En este tiempo se ha depositado cobre con una pureza de 99,99% en ambas caras del cátodo con un espesor de 3 a 4 cm., lo que proporciona un peso total de 70 a 80 Kg. por cátodo. Cada celda de electro obtención contiene 60 cátodos y la cosecha se efectúa de 20 cátodos por maniobra. Los cátodos son lavados con agua caliente para remover posibles impurezas de su superficie y luego son llevados a la máquina despegadora, donde en forma totalmente mecanizada se despegan las hojas de ambos lados, dejando limpio el cátodo permanente que se reintegra al ciclo del proceso de electro obtención. Previamente, se efectúa un muestreo sistemático de algunos cátodos para determinar su contenido de cobre, que debe ser de 99,99%, e impurezas (menos de 0,01%, principalmente azufre).

1.3 ESTADO DEL ARTE DEL PROCESO DE LIXIVIACION DE COBRE.

En la actualidad la mayoría de las plantas han sido modificadas a operaciones modernas de lixiviación en pilas método que sirve de interfase con la extracción por solventes (SX) y la electro obtención (EW) para la recuperación final del metal (cobre), además de evitar por esta vía la contaminación ambiental causada por los procesos metalúrgicos convencionales basados en fundiciones.

2 PROCESO DE LIXIVIACION EN EL LABORATORIO

2.1 GENERALIDADES

El proceso utilizado para la realización de las pruebas en el laboratorio será la lixiviación en pilas. Etapa del proceso de extracción de cobre que en el laboratorio se efectuara mediante una recirculación del líquido lixiviante (ácido sulfúrico + agua) a través del material extraído de la mina, que contiene minerales oxidados de cobre, el material será fragmentado a un tamaño suficiente para dejar expuestos los minerales oxidados de cobre a la infiltración de la solución ácida, formando una solución de sulfato de cobre (CUSO4), de la cual se recogen varias muestras a diferentes tiempos durante todo el periodo de prueba, y son llevadas a una segunda etapa de estudio donde se determinaran el porcentaje de cobre de la muestra y se grafican los datos comparando el Porcentaje de cobre de la muestra tomada vs. Tiempo de muestreo, hasta que la grafica presente un comportamiento lineal con lo cual indicara que al material de prueba (mineral oxidado de cobre), no se le puede extraer mas cobre mediante este proceso dando por terminado la prueba, el tiempo de duración de la prueba oscila entre uno a siete días, aunque eso depende de las variables del procesos.

2.2 VARIABLES DEL PROCESO DE LIXIVIACIÓN

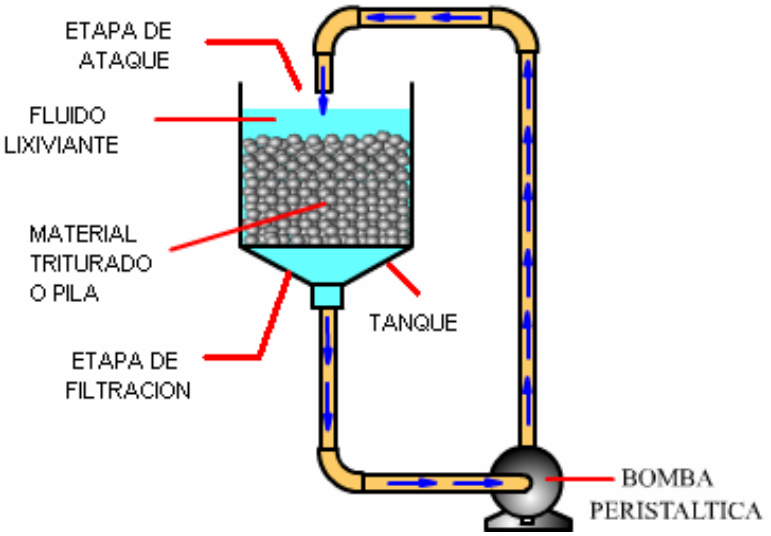
- Solución lixiviante.
- Concentración de la solución lixiviante.
- Forma de la pila.
- Tamaño del recipiente que contiene la pila.

- Granulometría del mineral.
- Distribución de los materiales a lixiviar.
- Tipo de sistema de riego.
- Caudal de irrigación.
- Velocidad de irrigación.
- Tiempo de infiltración en los materiales.
- Atmósfera para la lixiviación.
- Cantidad de material.

2.3 PROCESO DE RECIRCULACIÓN Y TOMA DE MUESTRAS EN EL LABORATORIO

En los procesos de lixiviación de minerales de cobre en pilas, el material fragmentado es depositado en un tanque en donde las soluciones lixiviantes son continuamente recirculadas entre la etapa de ataque del mineral y la etapa de filtración o extracción del liquido lixiviado, la lixiviación se efectúa con lecho inundado en un circuito cerrado recirculando la solución lixiviante, mediante bombas peristálticas y mangueras resistentes a la acción del ácido, de acuerdo al montaje de la figura 1. Las muestras de solución de sulfato de cobre (CUSO4), son tomadas a diferentes tiempos durante todo el periodo de prueba, el caudal de la bomba en el circuito de recirculación no puede ser un valor fijo, es una variable que se determinara según la granulometría del material, la velocidad y tiempo de irrigación, cantidad del material, forma del tanque, etc.

Figura 1. Circuito de recirculación.



3 CARACTERIZACIÓN Y REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA

3.1 DESCRIPICIÓN DEL CIRCUITO DE RECIRCULACION DEL FLUIDO LIXIVIANTE

El proceso de lixiviación en el laboratorio se realiza en un circuito cerrado o recirculación conformado por la bomba peristáltica, las mangueras plásticas y los tanques, la circulación del fluido comienza en la salida de la bomba o descarga, la cual envía paquetes de fluidos que se transportan por unas mangueras plásticas lisas que se conectan a la parte superior de los tanques que se encuentran a una altura máxima de 1metro , donde es irrigado el material de estudio por el fluido lixiviante, en la parte inferior del tanque sale una manguera que se conecta con la entrada de la bomba o succión para así cerrar el circuito y volver a comenzar con otro ciclo, la gama de caudales requeridos para las pruebas de lixiviación están entre (0,75 Lt/min – 0,25 Lt/min)

3.1.1 Tanques

Estos tanques son recipientes abiertos a la atmósfera y son los encargados de contener el material de estudio, están formados por dos partes, una cilíndrica que es donde se deposita el material que es irrigado por el fluido lixiviante y una cónica donde se filtra el fluido que llegara ala bomba, se encuentran colocados en una soporte metálico a un nivel por encima de la bomba peristáltica (1 metro máximo) y es a estos donde se conectan las salidas y las entradas de la bomba, el volumen mínimo requerido en cada

tanque es de dos litros, un litro y medio de solución lixiviante y medio litro de mineral oxidado de cobre, los tanques están en acrílico translucido resistente a la ataque químico del fluido lixiviante.

3.1.2 Mangueras plásticas

Son las encargadas de conectar las salidas y las entradas de la bomba con los tanques, su función es la de servir como medio para la circulación del fluido lixiviante, para su uso se requiere que el material de la manguera sea resistente al fluido de trabajo.

3.2 CRITERIOS DE SELECCIÓN DE LA BOMBA PERISTALTICA PARA EL PROCESO DE LIXIVIACIÓN EN EL LABORATORIO

La Escuela de Ingeniería Metalúrgica basada en el estudio realizado por los estudiantes vinculados al proyecto y asesorados por los directores del mismo determino la construcción de una bomba peristáltica de múltiples cabezas desacoplables con múltiples canales, de obstrucción variable, con funcionamiento en seco y de cuatro rodillos, ver ANEXO A. BOMBAS PERISTALTICAS, diseño que se selecciono por presentar las características mas apropiadas para satisfacer las necesidades presentes en las pruebas a realizar en el proceso de lixiviación de cobre o de cualquier otro proceso hidrometalúrgico, equipo que presenta además un numero fijo de canales por cada cabeza que para nuestro caso serán seis canales y la opción de desacoplar cualquiera de sus cabezas según la totalidad de los canales a utilizar, aunque para nuestro proyecto se construirá una sola cabeza y se

dejara la posibilidad de acoplar otra cabeza, para una futura expansión de los bancos de prueba en el laboratorio

4 DISEÑO Y CONSTRUCCION DE LA BOMBA PERISTALTICA DE MULTIPLES CANALES

4.1 GENERALIDADES

La bomba peristáltica fue diseña para ser empleada como equipo de laboratorio destinado a la realización de pruebas en el proceso de lixiviación de cobre o de cualquier otro proceso hidrometalúrgico, consta de una cabeza con un numero fijo de canales, con una capacidad máxima para realizar seis ensayos en forma simultanea permitiendo además utilizar una variada gama de caudales. El equipo esta conformado principalmente por un sistema motriz y la bomba peristáltica.

Para llegar al diseño definitivo de la bomba peristáltica se construyeron dos prototipos. El primer prototipo se construyo con el fin de observar el principio peristáltico y determinar las principales partes del sistema de bombeo. El segundo prototipo se construyo basándonos en las experiencias practicas obtenidas del prototipo anterior, esto nos aclaro puntos importantes como lo fueron determinar el ángulo de la superficie cóncava o media luna, el rotor, el sistema de obstrucción variable, el sistema de fijación y conexión de las mangueras y el sistema de transmisión.

4.2 DISEÑO Y EVALUACION DE PROTOTIPOS PARA DETERMINAR EL COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA

El funcionamiento de la bomba peristáltica fue determinado por medio de la utilización de prototipos y la potencia requerida por cálculos estimativos.

Pruebas desarrolladas:

Se desarrollaron dos prototipos que nos permitieron realizar pruebas y verificar condiciones de funcionamiento.

4.2.1 Prototipo 1

Este primer prototipo esta constituido por una estructura, un rotor, unas mangueras y una medialuna, las dimensiones tomadas fueron en cierta forma arbitrarias, puesto que el objetivo de este modelo era el de analizar los problemas de funcionamiento, de montaje, de construcción y de formas de sus partes, ver figura 2.

La estructura utilizada esta hecha en madera en forma de caja, sobre la cual va montado el rotor sobre rodamientos, el rotor consta de 4 rodillos giratorios montados sobre bujes de bronce instalados sobre dos platinas circulares espaciadas a cierta distancia longitudinal las cuales van aseguradas por tornillos al el eje central, todas las piezas del rotor fueron hechas en acero 1020, ver figura 3. Posee una medialuna (medio tubo plástico) que se encuentra pivotada sobre la estructura, la cual es la encargada de aplastar las tres mangueras de caucho látex contra el rotor para producir el sello, las mangueras se introducen sobre unos agujeros que hay sobre la estructura de madera y se mantienen fijas mediante unos tubos conectores que hacen la función de tope e impiden que se salgan ver figura 4.

Figura 2. Prototipo 1

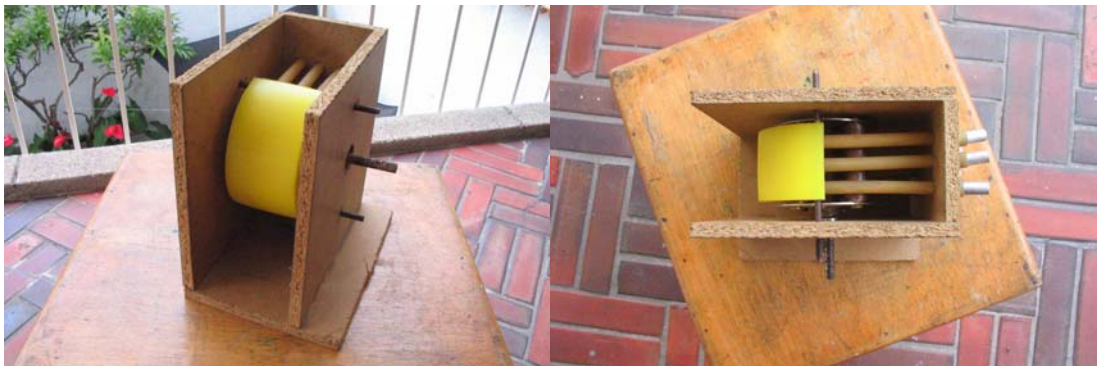


Figura 3. Estructura y partes del prototipo

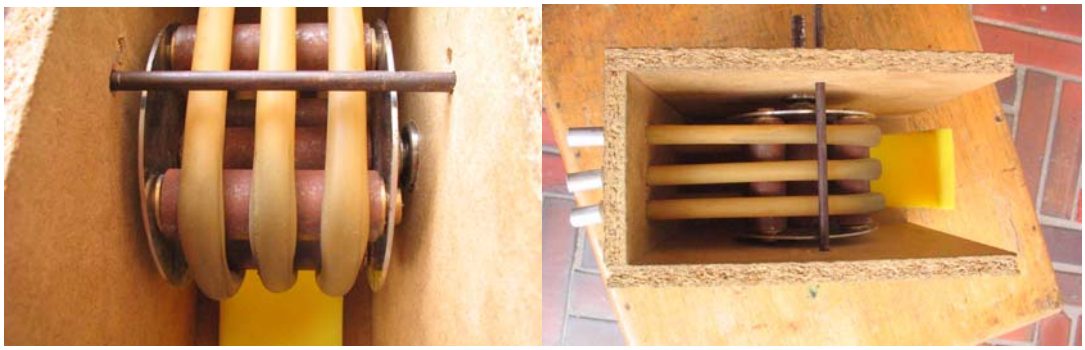


Figura 4. Medialuna

Con este prototipo se realizo la siguiente prueba:

Esta se realizo para observar el comportamiento del sistema y determinar las fallas en el funcionamiento, para tal prueba se utilizaron los siguientes elementos:

- Un taladro manual trabajo liviano de ½ hp, con una corriente nominal de 3,2 amperios, 120 voltios, monofasico, con velocidad variable, marca skill.
- Primer prototipo.

Para el ensayo con el prototipo se utilizaron tres mangueras de caucho látex (material de prueba) de diámetro interno 6,3mm, el fluido de prueba fue agua mezclada con un tinte azul para poder observar mejor el comportamiento del flujo, la finalidad del ensayo fue la de verificar la operación de succión y de descarga de la bomba, ensayo preliminar que nos sirvió para tener una base de referencia en cuanto al comportamiento de la mangueras, su aplastamiento, posicionamiento y bombeo, ver figura 5.

Figura 5. Prueba de funcionamiento y comportamiento del prototipo1

En el aplastamiento de las mangueras se observo una drástica obstrucción en parte debido al ángulo de contacto excesivo de 180 grados de la superficie cóncava empleada en la medialuna con los rodillos, produciendo un marcado desgaste en las superficies de las mangueras, altas tensiones y estiramientos en las entradas o succión, y aflojamientos, torceduras y

corrimiento en las salidas o descarga. Los inconvenientes citados y otros presentados como desalineamientos, falta de rigidez en el montaje y velocidad excesiva, genero un bombeo muy irregular en gran parte debido a que el aplastamiento de las mangueras no era continuo sobre toda la superficie cóncava. Con la experiencia obtenida y los inconvenientes presentados fue necesario construir otro prototipo que nos permitiera corregir los problemas mencionados y buscar soluciones a ellos.

4.2.2 Prototipo 2

Con la construcción de este segundo prototipo se pretendió corregir los inconvenientes anteriores, además que permitiera la realización de pruebas y mediciones más concluyentes que nos sirvieran para el caudal y un mejor funcionamiento del equipo, para así poder proyectarnos a un diseño final.

Para este segundo prototipo se construyo el rotor y la medialuna a una escala 1:1, para tener más certeza en el funcionamiento de la bomba, se utilizaron cuatro mangueras para las pruebas, máxima capacidad del prototipo.

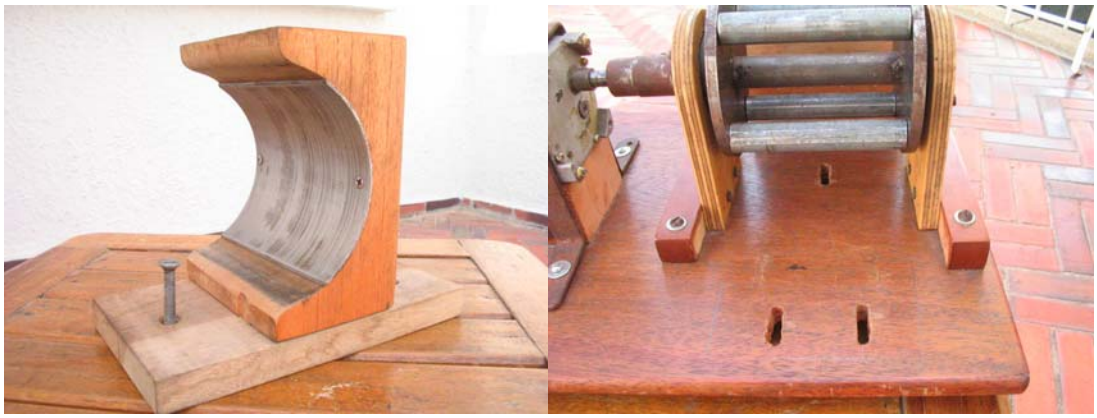
El prototipo consta de una estructura, una medialuna con guías, un rotor, un porta mangueras, cuatro mangueras de caucho látex y un motor- reductor.

La estructura del prototipo se construyo en madera y consta de una base, dos soportes, un porta mangueras y una base para el motor – reductor. En la base se encuentran fijados todos los elementos del prototipo mediante tornillos y unas ranuras que sirven de guía para la medialuna, ver figura 6.

Figura 6. Prototipo 2

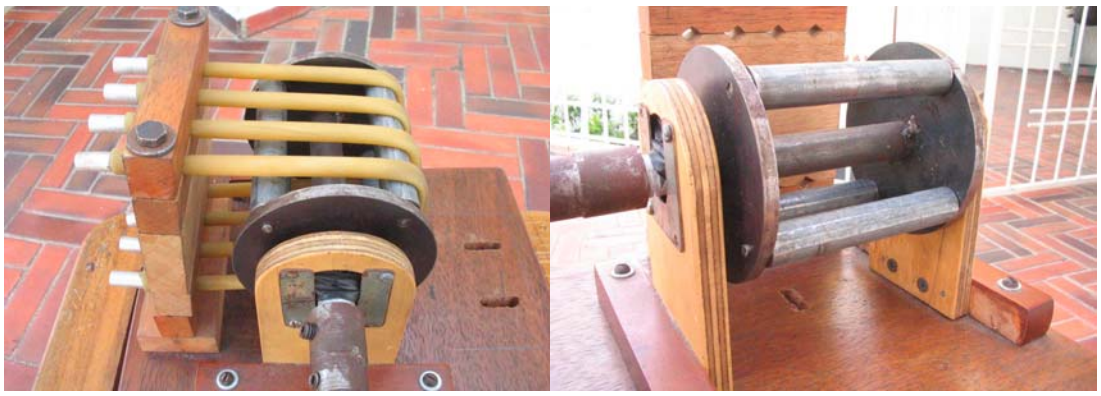
La medialuna se construyo en madera y se utilizo una especie de camisa que se atornillo a al superficie cóncava para dar mayor uniformidad, para la camisa se utilizo un tubo de acero que se rectifico a una medida especificada y se corto a la mitad. Además a la parte inferior de la medialuna se le colocaron unos tornillos que se desplazan sobre las ranuras de la base y que permiten que la pieza se mueva hacia a adelante y hacia atrás para ajustar el aplastamiento de las mangueras, ver figura 7.

Figura 7. Medialuna, camisa y ranuras – guías



El rotor presenta una configuración similar con el rotor utilizado en el prototipo anterior con la diferencia de que los rodillos van montados sobre rodamientos y no sobre bujes, ver figura 8.

Figura 8. Rotor del prototipo 2



El porta mangueras también se construyo en madera, y fue el segundo sistema utilizado para fijar las mangueras, esta constituido por secciones rectangulares que se introducen sobre dos tornillos espárragos y funcionan como mordazas que sujetan las mangueras para evitar altas tensiones o aflojamientos que provoquen que se monten unas con otras, ver figura 9.

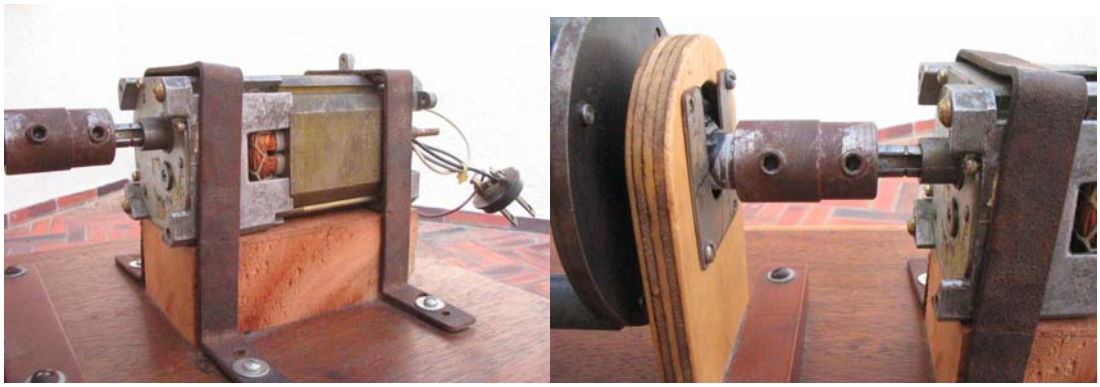
Figura 9. Primer porta mangueras

Las mangueras utilizadas en el prototipo son de caucho látex con un diámetro interno de 0,63 cm, el fluido de prueba utilizado fue agua mezclada con un tinte azul, ver figura 10.

Figura 10. Mangueras de caucho látex.

El movimiento del rotor de la bomba es otorgado por un moto-reductor cuya velocidad de salida es de 80 RPM, la transmisión se realizo por medio de un acople directo, ver figura 11.

Figura 11. Moto-reductor y acople directo.



Con este prototipo se realizo la siguiente prueba:

En esta prueba se utilizo el prototipo para medir el caudal que es proporcionado por cada canal de la bomba, además sirvió para determinar las posibles causas que provocan un desgaste prematuro de las mangueras por un mal aplastamiento o puntos muertos, la falta de succión y de descarga, lo cual ayudo a optimizar algunas partes del prototipo para conseguir un mejor funcionamiento, ver figura 12.

Figura 12. Medición de caudal del prototipo 2

La prueba consistió en medir el caudal por cada uno de los cuatro canales del prototipo y después comparar este valor con un caudal calculado.

Para esta prueba se utilizaron los siguientes elementos:

- Segundo prototipo.
- Una probeta volumétrica.
- Cronometro.
- Dos recipientes plásticos (tanques)

La altura del tanque superior con respecto a la descarga de la bomba es de 1metro, a continuación se expone la tabla 1 con los resultados obtenidos durante la prueba.

Tabla 1. Caudales medidos en el prototipo 2.

CANALES	Ø INTERNO DE MANGUERA (cm.)	TIEMPO (min.)	RPM	CAUDAL (Lt/min.)
CANAL 1	0,63	1	80	0,5 – 0,5 – 0,51
CANAL 2	0,63	1	80	0,48 – 0,5 – 0,47
CANAL 3	0,63	1	80	0,51 - 0,52 - 0,5
CANAL 4	0,63	1	80	0,49 - 0,48 – 0,49

Los valores medidos de caudal se promediaron y dio como resultado lo siguiente:

CANAL 1 = 0,5 Lt/ min.
CANAL 2 = 0,48 Lt/ min.
CANAL 3 = 0,51 Lt/ min.
CANAL 4 = 0,486 Lt/ min.

Los valores promediados se compararon con un valor calculado para determinar que diferencia existe entre el caudal real y el caudal calculado.

4.2.3 Calculo teórico del caudal de la bomba

Caudal de la bomba (Q) = (V total) x (rpm) x (Eficiencia Volumetrica)

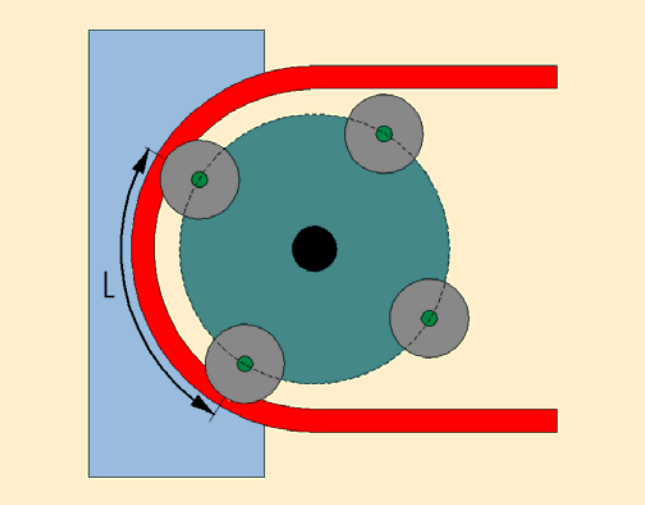
Volumen capturado entre 2 rodillos = (área seccional de la manguera) x (longitud del paquete de fluido L), ver figura 13.

$$V = (\pi/4xD^2) \times (L)$$

Como el diseño de la bomba peristáltica tiene 4 rodillos, el volumen total por revolución es el valor del volumen capturado entre dos rodillos multiplicado por 4.

V total = (π/4xD2) x (L) x (4) = Desplazamiento de la bomba = Cb

Figura 13. Volumen capturado entre 2 rodillos.



CAUDAL DE LA BOMBA (Q) = (Cb) X (RPM) X (ηV)

Cb = Desplazamiento de la bomba

ηV = (Eficiencia Volumetrica de la bomba) = Q Real / Q Teórico

4.2.4 Procedimiento para el cálculo del caudal del prototipo

Teniendo conocimiento de la ecuación para el cálculo del caudal teórico de la bomba, se determino medir directamente la longitud del paquete de fluido atrapado entre dos rodillos (L) lo cual midió 6 centímetros aproximadamente, conociendo que el diámetro de la manguera es de 0,63 cm y la velocidad es de 80 RPM pudimos calcular el caudal teórico.

CAUDAL TEORICO DE LA BOMBA (Q) = (Cb) X (RPM)

Cb = (π/4xD2) x (L) x (4)

Cb = 7,48 cm3.

RPM = 80

CAUDAL TEORICO DE LA BOMBA (Q) = (Cb) X (RPM) = 598, 5 cm3/ min.

CAUDAL TEORICO DE LA BOMBA (Q) = 0, 59 Lt/min.

Con los caudales promediados anteriormente en cada canal del prototipo y el caudal teórico, pudimos determinar la eficiencia volumétrica de la bomba (ηV), ver tabla 2.

Tabla 2. Eficiencia volumétrica del prototipo 2.

CANAL	1	2	3	4
CAUDAL REAL (lt/ min)	0.5	0.48	0.51	0.48
TEORICO (lt/ min)	0.59	0.59	0.59	0.59
ηV [real/teórico]	0.84	0.81	0.86	0.81

Con los cálculos anteriores determinamos que el caudal teórico es muy aproximado al caudal real, lo que nos sugiere que el método de cálculo es acertado para determinar el caudal de la bomba

Nota: las pruebas realizadas con este segundo prototipo permitieron constatar que los datos medidos a través de los ensayos en cuanto a caudal corresponden aproximadamente con los obtenidos por los medios teóricos, además se utilizo para observar condiciones de funcionamiento de la bomba, puesto que se pudo determinar que partes de la bomba producían mayor deterioro de las mangueras.

Como lo fue el ángulo de concavidad de la medialuna que se tomo en un principio de 180°, lo cual producía que cuando el rotor giraba 180° o múltiplos de este ángulo, los rodillos que se encontraban opuestos a un

ángulo de 180 uno del otro generaban con la medialuna un punto muerto o máxima obstrucción en la manguera, produciendo marcas puntales en la superficie que ocasionaban un rompimiento prematuro disminuyendo así su vida útil. Lo cual se corrigió disminuyendo el ángulo de concavidad a unos 130° eliminando así que los rodillos se enfrenten con la medialuna cuando el rotor gira y desapareciendo así los puntos muertos.

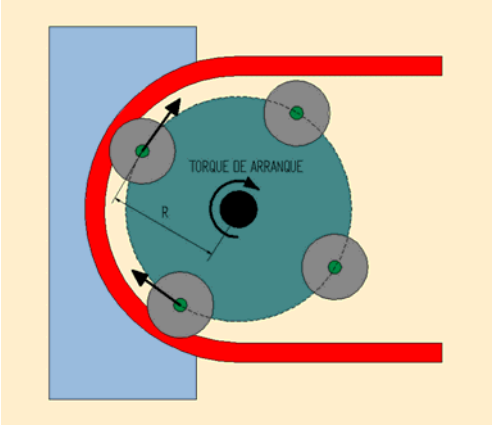
Se determino mediante medición el ángulo (θ) , ángulo de aplicación de la fuerza de resistencia a la rodadura (R), cuyo valor esta entre (25°- 30°) aproximadamente.

También se determino que la obstrucción o aplastamiento de las mangueras debe ser constante e igual para todas, para garantizar un caudal repetible e igual en cada canal mejorando la succión y la descarga de la bomba.

4.3 CALCULOS ESTIMATIVOS PARA DEL TORQUE RESISTENTE DE LA BOMBA PERISTALTICA

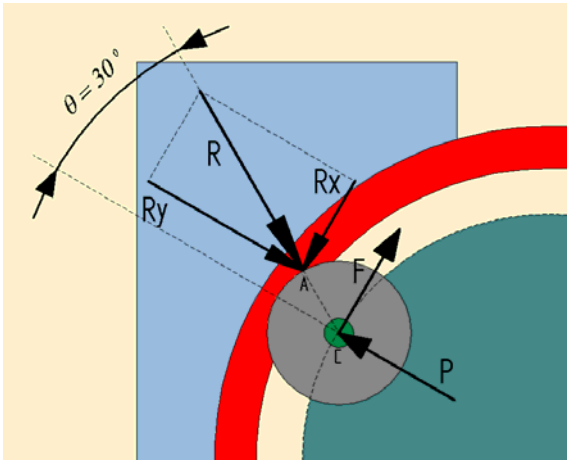
Según el diseño de la bomba peristáltica, el torque resistente será la fuerza necesaria para vencer la fricción que existe entre las mangueras de la bomba y los rodillos del rotor, en nuestro caso para obtener mayor vida útil de la manguera se recomienda que el ángulo de la medialuna sea menor de 180^{o} ya que los rodillos se disponen a 90^{o} uno del otro produciendo la mayor presión o punto muerto cuando se enfrentan a 180^{o}, reduciendo este ángulo se logra un funcionamiento con puntos de contacto constantes y eliminando puntos muertos que desgastan la manguera y producen golpes indeseables observar Figura 14.

Figura 14. Torque resistente.



Según lo dicho anteriormente el numero máximo de rodillos en contacto con las mangueras es dos, por ser este el numero mayor se toma como critico para calcular el torque necesario, analizando la trayectoria del rodillo sobre la manguera el fenómeno que se presenta es una resistencia a la rodadura sobre una superficie cóncava (forma de la media luna), ver Figura 15.

Figura 15. Resistencia a la rodadura.



Para determinar la fuerza (F), fuerza necesaria para poner en movimiento inminente el rodillo sobre la manguera puesta en la superficie cóncava y lograr vencer la fuerza (R) fuerza de resistencia a la rodadura, se realiza una

sumatoria de momentos en el punto A, teniendo como datos el ángulo $\theta = 30^o$ medido directamente sobre la superficies, y la fuerza (P) fuerza necesaria para aplastar totalmente la manguera de Tygon (material de la manguera seleccionado según el fluido que transporta la bomba, y que se ve mas adelante), para obtener así el sello necesario que garantiza el transporte del liquido, cuyo valor es 25N aproximadamente (Valor hallado experimentalmente).

$$\Sigma MA = 0$$

$$\Sigma MA = (F. \cos\theta. \ r) - (P. \text{Sen}\theta. \ r)$$

$$(F. \cos\theta. \ r) = (P. \text{Sen}\theta. \ r)$$

$$F = \text{Tan}\theta. \ P.$$

TORQUE DE ARRANQUE = F. R. # de contactos de las mangueras.

R = Brazo desde el centro del rodillo al eje.

DE CONTACTOS DE LAS MANGUERAS = 12.

Por medio del procedimiento descrito anteriormente calculamos el torque el cual es aproximado.

$$F = \text{Tan}30. \ 25$$

$$F = 14{,}43 \text{ N.}$$

TORQUE RESISTENTE = (14,43N) x (0,043mts) x (12)

TORQUE RESISTENTE = 7.4 N.m

Este es el torque de arranque necesario para mover una cabeza, para el torque total de la bomba peristáltica se debe tener en cuenta el doble de este valor

para que en un futuro si se desea instalar una segunda cabeza el motor tenga la suficiente capacidad para moverlas.

TORQUE TOTAL = 14.8 N.m

Antes de seleccionar un motor por los cálculos presentados anteriormente, determinamos según nuestro diseño que para obtener los caudales requeridos el rango de operación de la bomba oscilara entre (50-160 rpm), por ello investigando como lograr la reducción de velocidad de un motor que gira alrededor de 1600 rpm a 50 rpm para la aplicación mas critica, se llego a la conclusión de utilizar un Variador electrónico como primera medida, por presentar la ventaja de reducir las rpm del motor y mantener el torque nominal constante pero en un rango de rpm aproximadamente de 1600 rpm a 500 rpm, por ello al reducir las rpm del motor drásticamente como lo es en nuestro caso de 1600rpm a 50 rpm el torque tiende a caer y el recalentamiento del motor seria muy alto debido a los largos periodos de prueba (7 días como máximo), puesto que se anula el sistema de extracción de calor (ventilador) por las bajas rpm. En dicho caso el Variador con el motor no son adecuados para la reducción que se requiere, por tanto se necesita hacer una segunda reducción mecánica por medio de un reductor.

4.4 DETERMINACION DE LA POTENCIA REQUERIDA POR LA BOMBA PERISTALTICA

La potencia total requerida por la bomba peristáltica es igual a la sumatoria de la potencia hidráulica mas la potencia mecánica ejercida por el torque resistente (calculado anteriormente)

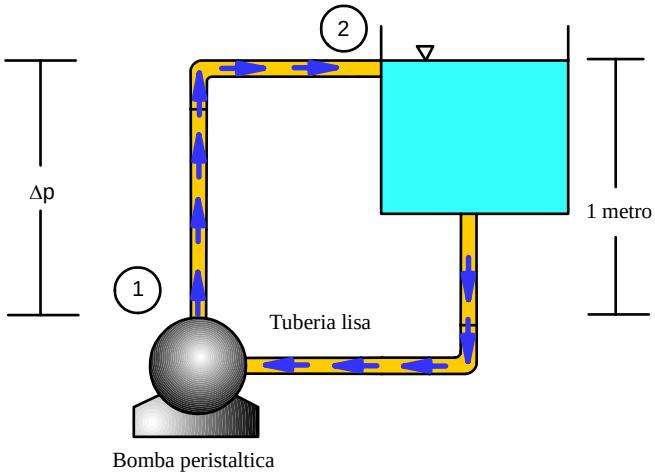
4.4.1 Calculo de la potencia hidráulica

Para el cálculo de la potencia hidráulica se tomo en cuenta el máximo caudal de la bomba (0,75 Lt/min por cada canal) propuesto en los objetivos, como la bomba tendra seis canales el caudal total de la bomba sera:

Qb = (0,75 Lt/min) x (6 canales) = 4,5 Lt/min = 1,2 Gpm

Según los requerimientos del sistema la bomba operara en un circuito cerrado de recirculación, ver figura 16.

Figura 16. Circuito cerrado de recirculación.



Utilizando la ecuación de Bernulli determinamos el Δp

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z + hL$$

hl = despreciable por ser tubería lisa.

V1=V2 se anulan.

γ = 9810 N/m3.

Z = 1 Metro.

La ecuación se simplifica a:

$\Delta p = \gamma Z$

Δp = 9810 Pa = 1,5 Psi.

Utilizando la siguiente ecuación determinamos la potencia hidráulica:

$$\dot{W}.bomba = \frac{(Qb)x(\Delta p)}{1714}$$

$$W.bomba = \frac{(1.2Gpm)x(1.5Psi)}{1714} = 1.050x10^{-3}Hp = 0.78[W]$$

4.4.2 Calculo de la potencia mecánica ejercida por el torque resistente

Con el torque total calculado anteriormente determinamos la potencia requerida de la bomba peristáltica mediante la siguiente ecuación:

$$\dot{W}.mecanica = (Torque - total)x(Velocidad - angular)$$

Como se dijo anteriormente la bomba peristáltica debe funcionar en un rango de (160 RPM – 50 RPM), para el calculo se utilizara el valor mas alto.

Torque total = 14,8 N.m.

$$\text{Velocidad angular (w)} = (160\text{RPM})x\frac{2\pi}{\text{Re}v}x\frac{1\text{min}}{60seg} = 16.75\frac{Rad}{Seg}$$

$$\dot{W}.mecanica = (14{,}8.N.m)x(16{,}75.Rad/seg)$$

$$\dot{W}.mecanica = 248.W$$

POTENCIA TOTAL REQUERIDA = $\dot{W}.bomba + \dot{W}.mecanica$

POTENCIA TOTAL REQUERIDA POR LA BOMBA= 249 W

4.5 SELECCIÓN DEL MOTO-REDUCTOR

Con los cálculos realizados anteriormente se procedió a seleccionar el motor teniendo en cuenta el torque total de 14.8 N.m calculado, utilizando el catalogo decidimos seleccionar un motor siemens trifásico de ½ hp o 370 w con velocidad nominal 1590 rpm, que proporciona un torque nominal de 2,24 N.m. el cual no es suficiente, pero como sabemos la segunda reducción de velocidad se realizara con un reductor mecánico, por esto seleccionamos un reductor sin fin marca siemens con relación 1:10 acoplado al motor, el cual nos proporcionara 160 rpm en el eje y la ventaja de aumentar el torque 10 veces el valor del torque nominal, además que utilizando esta reducción mecánica, el variador solo tendrá que reducir la velocidad del motor hasta aproximadamente 500 rpm previniendo así recalentamiento y obteniendo con el reductor una salida de 50 rpm , valor que se requiere para obtener el caudal mínimo en la bomba. El variador se selecciono de acuerdo a la misma potencia y marca del motor, ver ANEXO B. FIGURA 140. CATALOGO DE MOTORES TRIFASICOS DE 4 POLOS

Características del motor de ½ hp:

- Torque nominal: 2,24 N.m.
- Torque de arranque: 2.9 N.m.
- Velocidad nominal rpm: 1590.
- Eficiencia: 66%.
- Factor de potencia Cosϕ: 0.81.

Con los datos del motor se procedió a calcular el torque de salida del reductor:

TORQUE NOMINAL MOTOR: 2,24 N.m.

TORQUE DE ARRANQUE MOTOR: 2,9 N.m.

REDUCTOR CON RELACION DE: 1:10.

VELOCIDAD CON EL REDUCTOR: 160 RPM. = 16,75 Rad/seg

TORQUE CON REDUCTOR = (2,24 N.m) x (10) x (0,85 Eficiencia - reductor)

TORQUE CON REDUCTOR = 19 N .m

TORQUE TOTAL = 14,8 N.m < TORQUE CON REDUCTOR = 19 N .m

Esto nos da un factor de seguridad de 1.3, para garantizar la capacidad y correcto funcionamiento del motor.

POTENCIA DEL MOTO – REDUCTOR = (Torque) x (Velocidad angular)

POTENCIA DEL MOTO – REDUCTOR = (19 N.m) x (16,75 Rad/seg)

POTENCIA DEL MOTO – REDUCTOR = 320 W

POTENCIA TOTAL REQUERIDA POR LA BOMBA = 249 W

POTENCIA TOTAL BOMBA 249w< POTENCIAMOTOREDUCTOR 320w

4.6 SELECCIÓN DEL VARIADOR ELECTRONICO

4.6.1 Control de velocidad en motores jaula de ardilla

El motor a inducción jaula de ardilla es un motor de velocidad fija, la cual es controlada por el número de polos, y la frecuencia de alimentación a la que

está conectado. Un pequeño cambio de velocidad se nota a medida que la carga en el motor cambia, como resultado del deslizamiento.

La ecuación para el cálculo de la velocidad del motor es:

$N = F \times 120 / P - S$

N = velocidad del motor en revoluciones por minuto

f = frecuencia de alimentación del motor en Hz

p = número de polos en el estator

s = deslizamiento del motor en revoluciones por minuto

De esta ecuación, se desprende que la velocidad de un motor a inducción puede ser controlada en tres maneras:

(a) Cambio en el número de polos, ver figura 17.

Figura 17. Velocidad sincrónica versus numero de polos.

STATOR POLES	MOTOR SYNCHRONOUS SPEED
2	3000 rpm
4	1500 rpm
6	1000 rpm
8	750 rpm

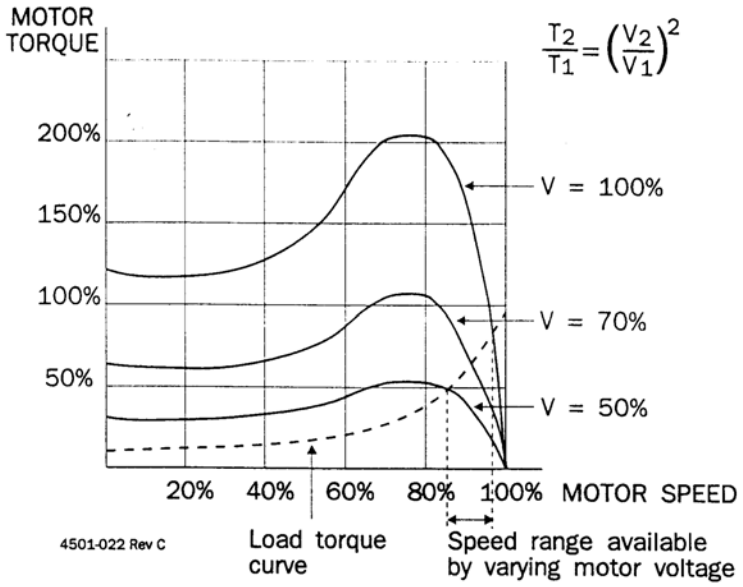
Fuente http://www.varitel.com

(b) Cambio en el valor de deslizamiento.

Esto se puede hacer mediante el ajuste de la tensión suministrada al motor. Esto causa que la curva torque vs velocidad se vuelva menos abrupta, causando así más deslizamiento a medida que la carga del motor aumenta. En general, la reducción de torque es proporcional al cuadrado de la

reducción de velocidad. Ver Figura. Para este método requiere una carga con una característica de torque vs velocidad en aumento. Cualquier variación en el torque de la carga causará una variación en la velocidad del motor, ver figura 18.

Figura 18. Control de Velocidad Cambiando el Deslizamiento



Fuente http://www.varitel.com

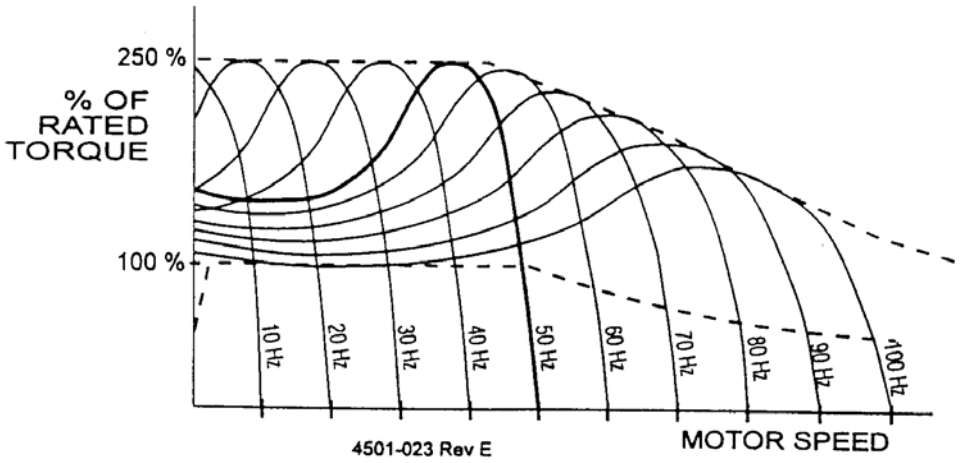
(c) Ajuste de la frecuencia de alimentación del motor.

Este es el método usado por los Variadores de velocidad electrónicos. Esto genera una familia completa de curvas Torque vs. Velocidad del motor en función del cambio de la frecuencia suministrada. Este es el mejor método de control de velocidad por que mantiene constante el torque de salida del motor.

4.6.2 Control de velocidad de motores c.a. por el método de ajuste de la frecuencia de alimentación

Este método se basa en mantener siempre una relación constante V/Hz, con lo cual el torque nominal del motor se mantiene constante a diferentes velocidades, esto genera una familia de curvas torque vs velocidad del motor, mediante el cambio de la frecuencia de alimentación que es suministrada a este, ver figura 19.

Figura 19. Curvas de Torque vs Velocidad Variando la Frecuencia



Fuente http://www.varitel.com

Con el variador electrónico se puede reducir la frecuencia de alimentación disminuyendo la velocidad del motor y de forma simultanea el variador internamente realiza la reducción de tensión de alimentación del motor, para mantener la relación tensión – frecuencia constante y conservar el torque nominal.

El variador puede incrementar la frecuencia de alimentación más allá de los 60 Hz, con lo cual la velocidad del motor puede ser aumentada. Sin embargo,

la tensión al motor no puede ser incrementada más allá del 100%, debido a la tensión de alimentación limitada la relación tensión-frecuencia se reduce disminuyendo así el flujo en el motor. Esto reduce el torque total del motor disponible a velocidades por encima de 60 Hz.

Uno de los problemas que presentan los variadores electrónico es que a muy bajas frecuencias (Frecuencias ≤ 10 Hz), el torque nominal del motor tiende a caer de forma abrupta como se puede ver en la figura 19.

En resumen el variador electrónico es el mejor método de control de velocidad, por las siguientes razones:

- Se mantiene una alta eficiencia a través del rango de velocidades
- Se dispone de control variable de velocidad continuo, esto convierte al variador ideal para automatización de procesos.
- El torque disponible del motor es mantenido, mientras las velocidades no sean muy bajas (Frecuencias ≤ 10 Hz).
- Se pueden lograr velocidades mayores que la "velocidad base" de 60 Hz, aunque con el costo de una reducción del torque total disponible.

Nota: Conociendo las ventajas que presenta este método para lograr un control de velocidad rápido y confiable, se decidió utilizar un variador electrónico ya que se acopla a los objetivos planteados en el proyecto, el variador se selecciono con la misma capacidad y marca del motor, Ver ANEXO C. FIGURA 141. VARIADORES ELECTRÓNICOS DE VELOCIDAD.

4.7 DISEÑO DEL SISTEMA DE BOMBEO

El diseño del sistema de bombeo se baso en los resultados obtenidos en las pruebas de funcionamiento con los prototipos desarrollados, puesto que con estos se pudo determinar y corregir las fallas presentadas en este sistema, aspectos que se tuvieron en cuenta para definir el diseño de todas las piezas necesarias de la bomba.

4.7.1 Selección del material y dimensiones de la manguera para la bomba peristaltica

Las mangueras para bomba peristálticas que se encontraron en el área de Bucaramanga y que cumplen con las características deseadas son de los siguientes materiales:

- Manguera de Silicona.
- Manguera de Tygon Standard.
- Manguera de Tygon para alimentos.
- Manguera de Tygon para hidrocarburos
- Manguera de viton.
- Manguera de Pharmed.
- Manguera de caucho Látex.

El material de la manguera que se utilizo para la bomba peristáltica se selecciono teniendo en cuenta los siguientes parámetros:

- Debe ser compatible (químicamente inerte) con el fluido de trabajo, para nuestro caso ácido sulfúrico + agua con concentraciones del 10%.

- Resistente a la abrasión, al desgaste y a los demás rigores presentes durante el bombeo peristáltico.
- Su color debe ser transparente para identificar la presencia o ausencia de flujo al instante y poder detectar partículas contaminantes dentro de la tubería.
- Resistente a las diferentes gamas de presión y temperatura, aunque las pruebas se realizaran a temperatura ambiente y presión atmosférica.
- Presentar la capacidad de ser esterilizable repetidamente.

Por cumplir con los parámetros mencionados se adopto la: La Tubería de Tygon para alimentos, elastómero termoplástico que maneja casi todos de los productos químicos inorgánicos encontrados en el laboratorio, ver figura 20.

Figura 20. Manguera de tygon, marca masterflex.

Las especificaciones de las mangueras fueron proporcionadas por el fabricante SCHOTT DE COLOMBIA y entregadas por el distribuidor ARQUILAB LTDA (Bucaramanga), para mayor información referirse al ANEXO D. TABLA 16. PROPIEDADES DE LAS MANGUERAS PARA BOMBAS PERISTALTICAS.

Las dimensiones de la manguera se seleccionaron teniendo en cuenta los caudales que manejara la bomba (0,75 Lt/min – 0,25 Lt/min), siendo el caudal función de los tres factores siguientes:

- Diámetro interno de la manguera
- Longitud del paquete atrapado entre dos rodillos, lo cual esta en función del numero de rodillos y la dimensión del rotor (configuración del rotor).
- Las RPM en que gira el rotor de bomba.

Para el caso se estimo el diámetro interno de la manguera mediante un cálculo de prueba y error utilizando la ecuación para determinar el caudal de la bomba vista anteriormente.

Caudal de la bomba (Q) = (V total) x (rpm) x (Eficiencia Volumetrica)
V total = (π/4xD2) x (L) x (4) = Desplazamiento de la bomba = Cb
CAUDAL DE LA BOMBA (Q) = (Cb) X (RPM) X (ηV).

Con lo cual se determino que las dimensiones más adecuadas para cumplir con las demandas de caudal propuestas en el proyecto es una manguera de Tygon para alimentos con diámetro interno de 0,63 cm con un espesor de pared de 1,6 mm.Para mayor información sobre las dimensiones del diámetro de la manguera referirse al ANEXO E. TABLA 17. DIAMETROS DE MANGUERAS PARA BOMBAS PERISTALTICA.

4.7.2 Diseño de la medialuna

La medialuna es la contra parte del rotor o carcaza de la bomba sobre la cual se aplastan las mangueras, debido a la función que desempeña esta pieza,

exigió un mecanizado y un acabado fino sobre la superficie cóncava, puesto que cualquier rugosidad o aspereza en esta superficie provocara un desgaste prematuro de la manguera, esta pieza se construyo en acero inoxidable en vez de utilizar materiales plásticos como (teflón, polietileno Hd, polipropileno) que a pesar de ser materiales mas fácilmente mecanizables e igual mente resistentes a la corrosión y la abrasión del fluido de trabajo, se selecciono el acero inoxidable SAE - 304 por proporcionar mas robustez al diseño, mayor durabilidad, menor deformación bajo cargas, mejor comportamiento a los requerimientos de esfuerzos y resistencia mecánica a los que es sometida la pieza, como también resistente a los efectos de corrosión y abrasión imprescindibles para este caso y con la ventaja adicional de ser un poco mas económico que los plásticos mencionados, para mayor información ver, ANEXO F. TABLA 18. PROPIEDADES DE LOS ACEROS INOXIDABLES SAE 304 Y SAE 316 y ver ANEXO G. TABLA 19 PROPIEDADES DE LOS PLASTICOS INDUSTRIALES.

Para llegar al diseño final de la medialuna se tuvieron en cuenta dos aspectos:

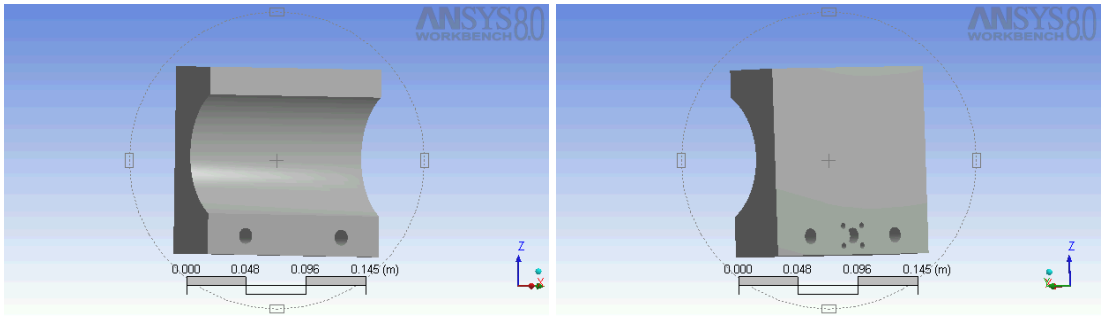
El primer aspecto fue el ángulo de la superficie cóncava de la medialuna el cual se determino experimentalmente con la utilización del segundo prototipo como se vio anteriormente, para el diseño se decidió optar por un ángulo de 120° menor al determinado consideración que se eligió por seguridad y la eliminación de aristas o bordes formados por el mecanizado en el inicio y en el final de la superficie cóncava, con el propósito de suavizar la entrada y salida de las mangueras para evitar un maltrato que ocasione

marcas o huellas en la superficie, produciendo a corto tiempo el rompimiento de la manguera.

El segundo aspecto importante que se tuvo en cuenta en el diseño de la medialuna fue el grado de aplastamiento o obstrucción de las mangueras, aspecto que motivo a utilizar un sistema de obstrucción variable, el cual permite que la medialuna se desplace hacia adelante y hacia atrás sobre guías circulares mediante el empuje de un tornillo- tuerca, lo cual garantiza un aplastamiento controlado e igual para todas logrando una vida útil mas larga para las mangueras y la opción de amortiguar partículas sólidas que logren escapar en la etapa de filtrado y que pueden provocar daños tanto en las mangueras, rodillos y medialuna.

La medialuna se construyo en acero inoxidable como se dijo anteriormente, para las dimensiones de la pieza se tuvo en cuenta las experiencias previas y además se procuro guardar proporciones que armonicen con las demás partes de la bomba, la pieza fue elaborada a partir de un bloque de dimensiones 15cm x 16,5cm x5cm (alto, ancho y espesor), con una superficie cóncava mecanizada en su parte frontal de radio 5,5cm , el cual se determino según los caudales requeridos para la bomba, con un ángulo de barrido de 120°, con dos perforaciones pasantes de ½ " de diámetro en su parte inferior por donde se desplaza la pieza sobre guías circulares y otra perforación en su parte inferior posterior con diámetro de 1cm rodeada con cuatro perforaciones roscadas de un ¼ " todas con una profundidad de 1 cm, las cuales alojan y aseguran el tornillo de empuje, ver figura 21.

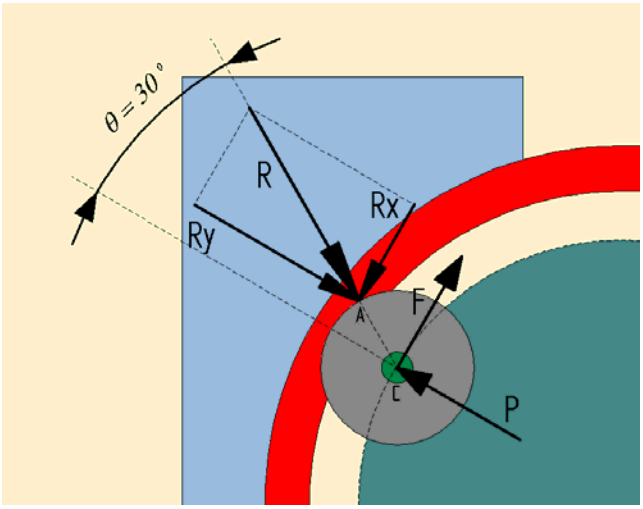
Figura 21. Diseño de la media luna.



Fuerzas ejercidas sobre la medialuna

Debido al moviendo rotativo de los rodillos y a que la fuerza de aplastamiento de las mangueras es constante (P), la carga aplicada sobre la medialuna es una fuerza resultante (R) constante que se desplaza sobre toda la superficie cóncava debido a la rotación de los rodillos, la fuerza (P) necesaria para aplastar totalmente la manguera de tygon y lograr el sello necesario para garantizar el transporte del fluido fue hallado experimentalmente y su valor es 25N aproximadamente, ver figura 22.

Figura 22. Fuerzas ejercidas sobre la media luna



Conocido los datos anteriores se procedió a determinar las fuerzas Ry y Rx:

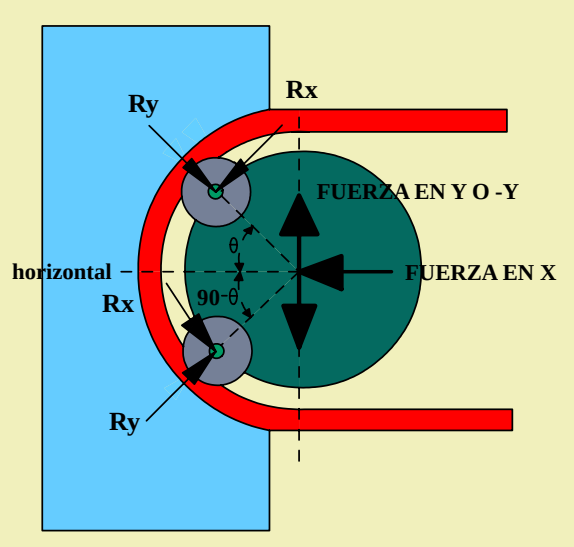
Fuerza (P) = 25N =Ry

Fuerza resultante (R) = Ry / cos 30 = 28 N

Fuerza (Rx) = Sen 30 (R) = 14N

Esto genera unas fuerzas en X y en Y sobre el eje del rotor, ver figura 23, las cual son las componentes de una fuerza total ejercida por el rotor a la superficie cóncava de la medialuna ver figura 24.

Figura 23. Fuerzas en X y Y sobre el rotor.



Se tomo como critico la condición en la cual se encuentran dos rodillos desplazándose sobre la superficie cóncava, por ser la situación que presenta más puntos de contacto sobre la medialuna.

Conocido todo lo anterior se procedió a calcular las fuerzas en X y en Y en las diferentes posiciones de los rodillos cuando se desplazan sobre la superficie cóncava, los rodillos se encuentran a 90° uno del otro.

Se utilizo ecuaciones generales para determinar la fuerza en X y en Y en función del ángulo θ (Angulo de rotación de los rodillos), y se tabularon los datos en la tabla 3.

FUERZA EN X = Ry [Cos θ + Cos (90- θ)] +Rx [Cos θ - Cos (90- θ)]

FUERZA EN Y = Ry [Sen (90- θ) - Sen θ] - Rx [Sen (90- θ) +Sen θ]

$FT^2 = Fx^2 + Fy^2$

Figura 24. Fuerza total sobre el rotor.

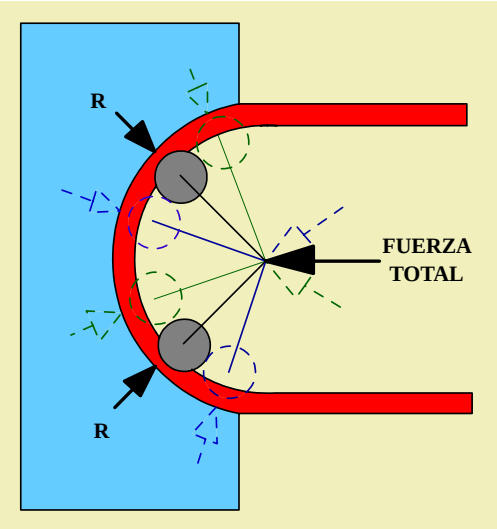


Tabla 3. Fuerza total en función del ángulo.

ANGULO (Grados)	FUERZA EN X (newton)	FUERZA EN Y (newton)	FUERZA TOTAL (newton)
30	39,3	-10	40,5
35	38,2	-13,35	40,5
40	37	-16,63	40,5
45	35,35	-19,8	40,5
50	33,5	-22,8	40,5
55	31,36	-26,15	40,5
60	29,5	-29,5	40,5

FUERZA RESULTANTE TOTAL = 40,5 x 6 (numero de mangueras)

FUERZA RESULTANTE TOTAL = 243 N

Nota: Como podemos observar la fuerza resultante total es constante sobre la superficie cóncava de la medialuna en cualquier posición de los rodillos.

4.7.3 Análisis por elementos finitos mediante ANSYS WORKBENCH V 8.0

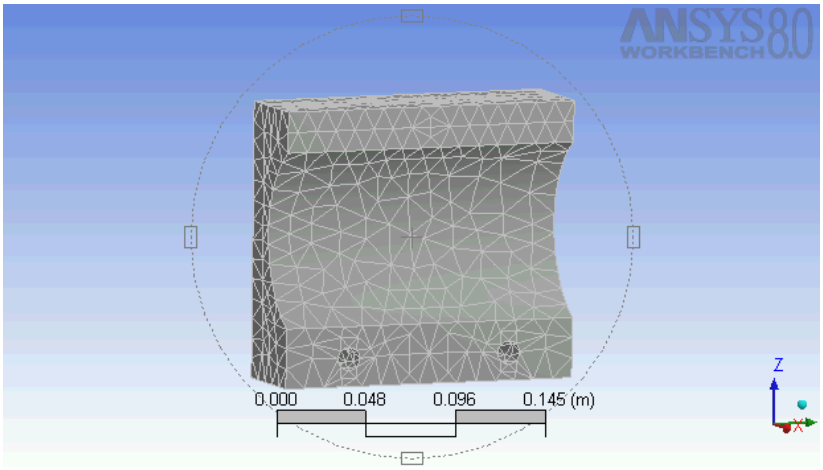
Para el análisis de esfuerzos y deformaciones se tuvo en cuenta los datos obtenidos en el cálculo anterior. El modelamiento de la pieza se realizo en Solid Edge v12, el material que se utilizó en el análisis es acero inoxidable SAE-304, las características del mismo son dadas por el software, Con el valor de la fuerza resultante total ejercida por el rotor calculado anteriormente se determino la presión a que esta sometida la superficie cóncava.

FUERZA RESULTANTE TOTAL = 243 N

AREA DE LA SUPERFICIE CONCAVA = 1,9 x 10- 4 m 2

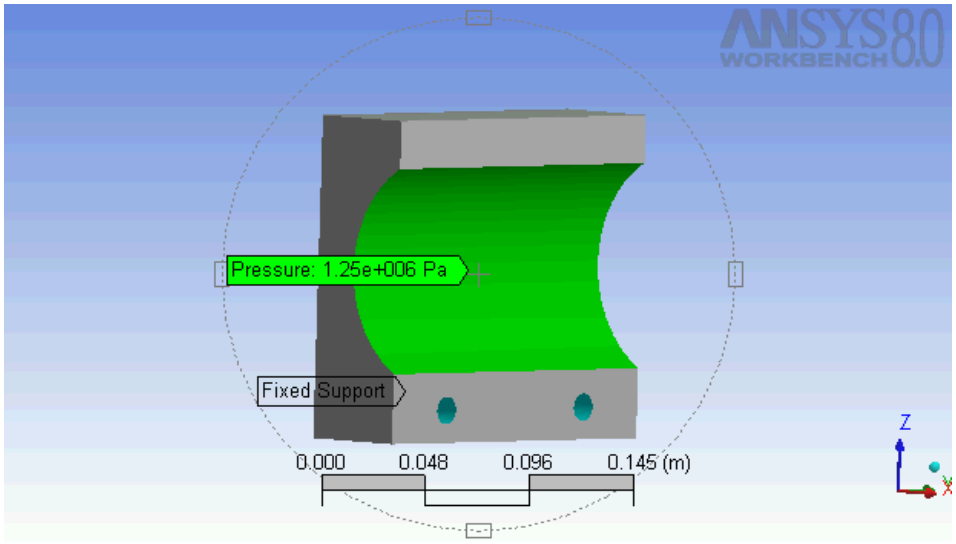
PRESION SOBRE LA SUPERFICIE CONCAVA = 243 / 1,9 x 10- 4 = 1,25 MPa

Figura 25. Enmallado de la medialuna



En La figura 25 se aprecia el enmallado de la medialuna paso previo para realizar el análisis.

Figura 26. Aplicación de la presión y las restricciones sobre la medialuna



En La figura 26 se puede observar en color verde la zona de la pieza sobre la cual esta ejercida la presión calculada de 1,25 Mpa y en color azul las restricciones de moviendo para la pieza (soporte fijo sobre las guías).

Figura 27. Análisis de esfuerzos

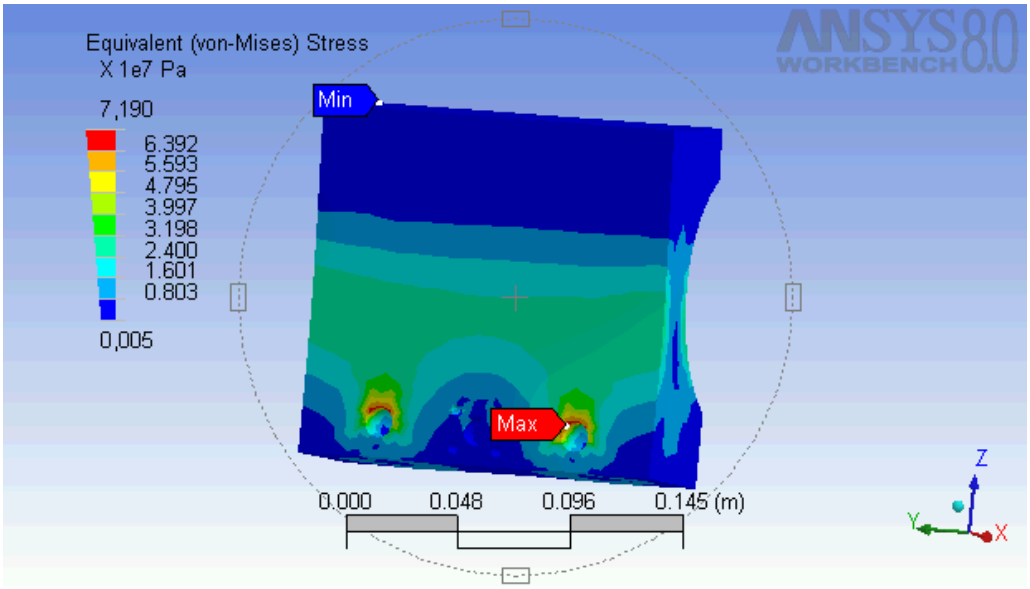
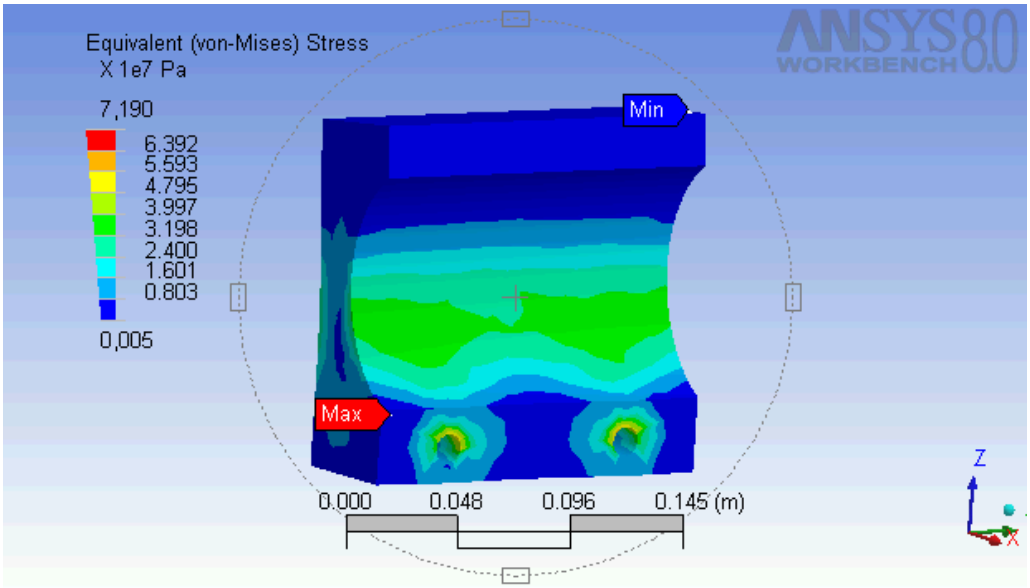


Figura 28. Análisis de esfuerzos



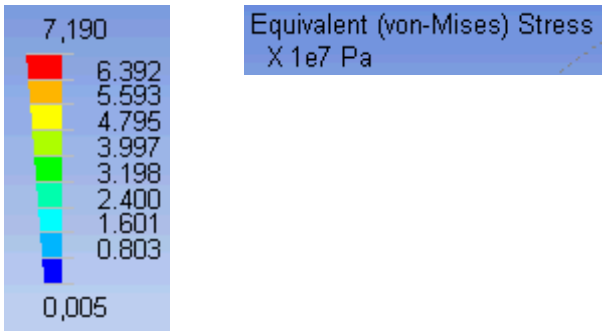
Las figuras 27 y 28 representan el estado de esfuerzos al que se encuentra sometida la medialuna. La barra de colores representa el valor de los esfuerzos, los cuales van desde el menor valor representado en color azul, hasta el valor máximo representado en rojo. Como se puede observar, el color predominante es el azul, lo cual indica que los esfuerzos son bastante bajos. Para el análisis se comparó el valor máximo dado por el software con el valor del esfuerzo fluencia a corte del material para determinar si la pieza falla a causa de las cargas aplicadas.

Según ANEXO H. TABLA AT 4. PROPIEDADES TIPICAS DE LOS ACEROS INOXIDABLE (Elementos de maquinas, Faires), el acero inoxidable SAE-304 presenta:

Sy (Esfuerzo fluencia tracción) = 2460Kg/Cm2

Sys (Esfuerzo fluencia a corte) = Sy x 0,5 = 1230 Kg/Cm2 = 120,5 MPa

Figura 29. Valores de esfuerzo.

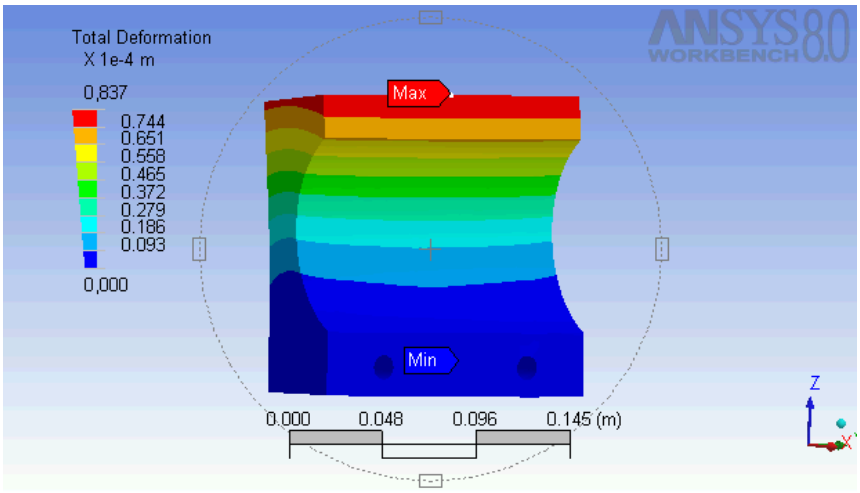


La figura 29 representa los valores de esfuerzo en N/m2, el valor máximo de esfuerzo al cual se encuentra sometido la medialuna es 71,9 Mpa, El esfuerzo de fluencia a corte del material es de 120,5 Mpa, lo cual nos garantiza un factor de seguridad bastante confiable que asegura que la pieza no fallara con los esfuerzos a que esta sometida, los esfuerzos son tabulados en la tabla 4 mostrada a continuación.

Tabla 4.Comparación entre el esfuerzo máximo y el esfuerzo de fluencia a corte.

ESFUERZO MÁXIMO	ESFUERZO DE FLUENCIA ACORTE	COMPARACIÓN
τmáx = 71,9 Mpa	τSys= 120,5 Mpa	τmáx < τSys

Figura 30.Simulación de la deformación sufrida por la pieza.

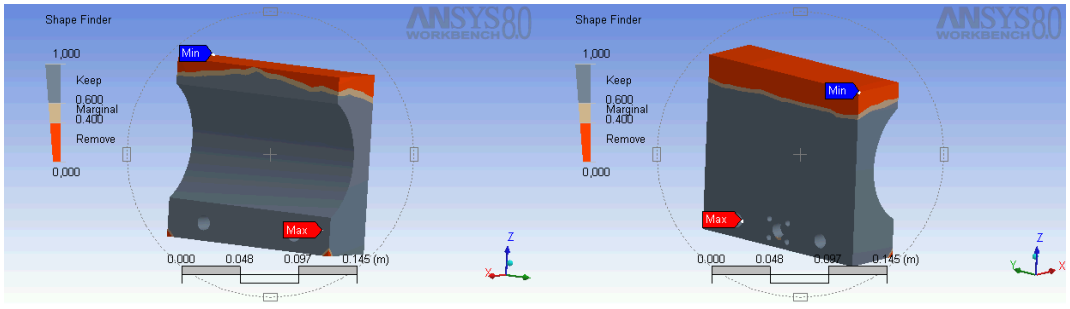


Para el análisis de deformaciones se utilizaron las mismas cargas a que esta sometida la pieza, La parte en rojo es la que presenta una mayor deformación con un valor muy bajo de 0,0837 mm, deformación que no alterara el funcionamiento de bomba, ver figura 30.

Optimización de forma

A parte de los análisis de esfuerzos y deformación realizados, el software ofrece la ventaja de mostrar una forma optimizada de la pieza, con lo cual podemos constatar si existen sobredimensionamientos en la medialuna.

Figura 31. Optimización de forma.



En la figura 31 se puede observar en un color naranja las zonas que pude ser removida para optimizar la forma de la pieza y en un color gris las zonas de

la pieza que debe dejarte sin alterar, con lo anterior nos podemos dar cuenta que la medialuna presenta en la parte superior un pequeño sobredimensionamiento, que se puede considerarse tolerable.

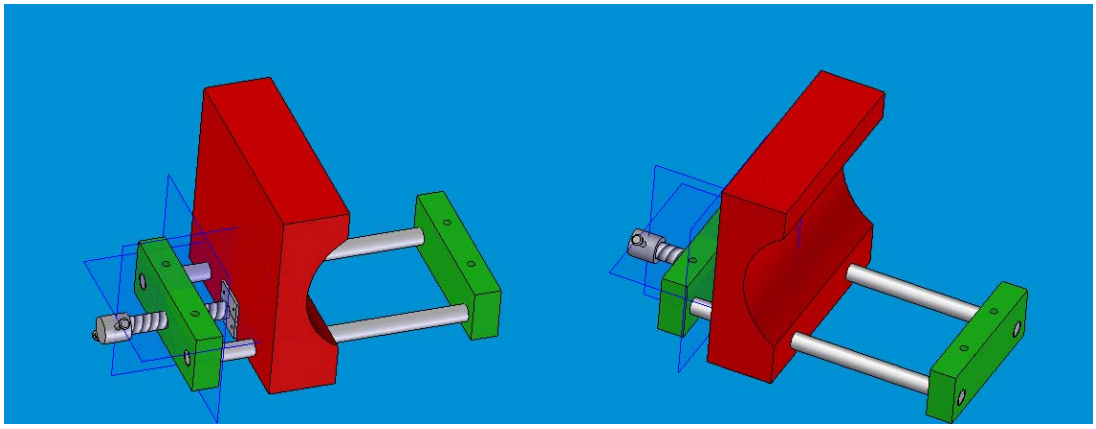
Nota: Con el análisis de esfuerzos y deformaciones realizado por el software nos dimos cuenta que las dimensiones y el material de la pieza garantiza un buen comportamiento a las cargas a que es sometida, dando un alto grado de confiabilidad indispensable para un correcto funcionamiento de la bomba.

4.8 DISEÑO DEL MECANISMO DE DESPLAZAMIENTO DE LA MEDIALUNA

Teniendo en cuenta uno de los aspectos mencionados en el diseño de la medialuna para obtener una obstrucción variable, se pensó en un mecanismo que permitiera desplazar la pieza hacia adelante y hacia atrás para poder conseguir diferentes grados de aplastamiento de la manguera, se utilizo el principio de la presa manual, sistema que permite desplazar una mordaza sobre guías mediante el empuje de un tornillo, en nuestro caso la mordaza es remplaza por la medialuna y las guías utilizadas son dos varillas de ½" de diámetro que se introducen en unos agujeros que se encuentran en la parte inferior de la pieza , las guías son motadas y fijadas sobre dos soportes uno de los cuales contiene la tuerca, el tornillo se aloja en la tuerca y en un agujero que se encuentran en la parte inferior posterior de la medialuna y se mantiene asegurado por unas platinas que permite su libre movimiento, el tornillo es el que se desplaza y por estar acoplado ala medialuna es quien empuja esta pieza sobre las guías circulares hacia delante y hacia atrás, mientras que la

tuerca se mantiene fija, el grado de aplastamiento de la manguera es logrado manualmente girando el tornillo hasta el punto donde se considere que se ha logrado el sello. Los materiales utilizados en el mecanismo fueron los siguientes: las varrillas que sirven de guías son de acero inoxidable SAE – 304, el tornillo y los soportes se construyeron en acero 1020 a los cuales se aplico un recubrimiento de cromo-níquel, por no estar estas piezas sometidas a un ataque químico directo, ver figura 32.

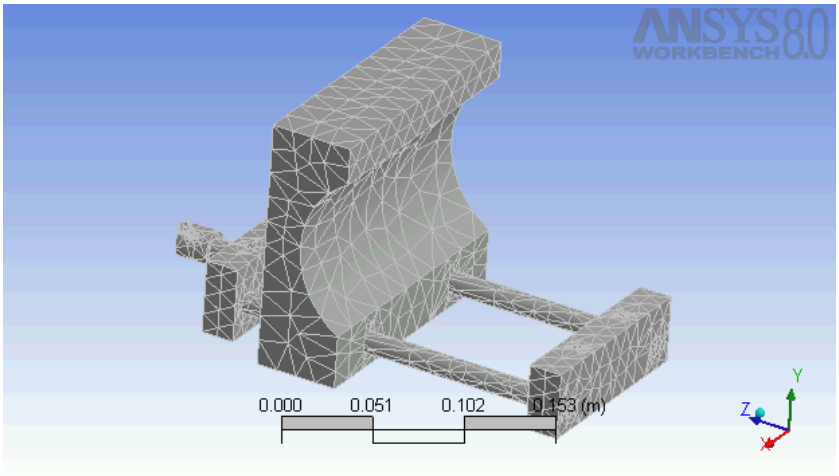
Figura 32. Mecanismo de desplazamiento de la media luna.



4.8.1 Análisis por elementos finitos mediante ANSYS WORKBENCH V 8.0

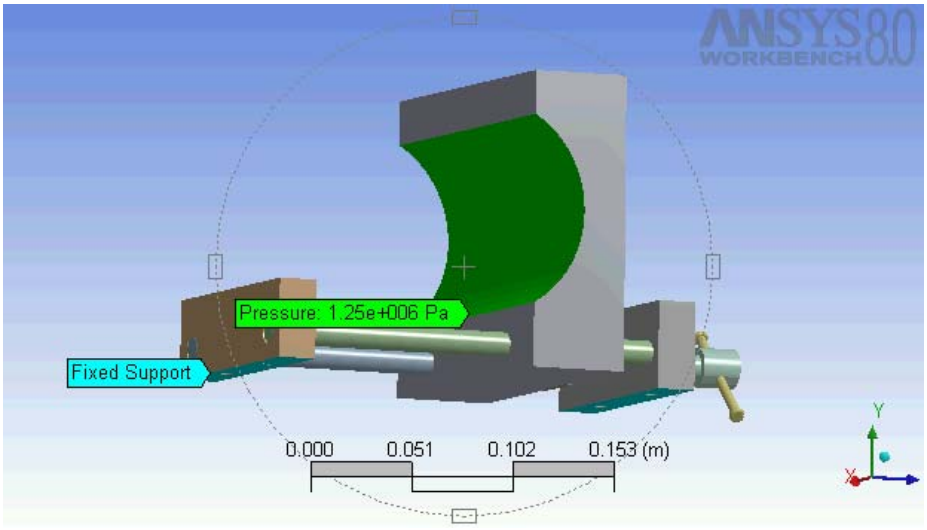
Conociendo las cargas a que esta sometido la medialuna se procedió a utilizar el método de elementos finitos para analizar el conjunto y determinar los esfuerzos a que esta sometido

Figura 33. Enmallado del mecanismo de desplazamiento.



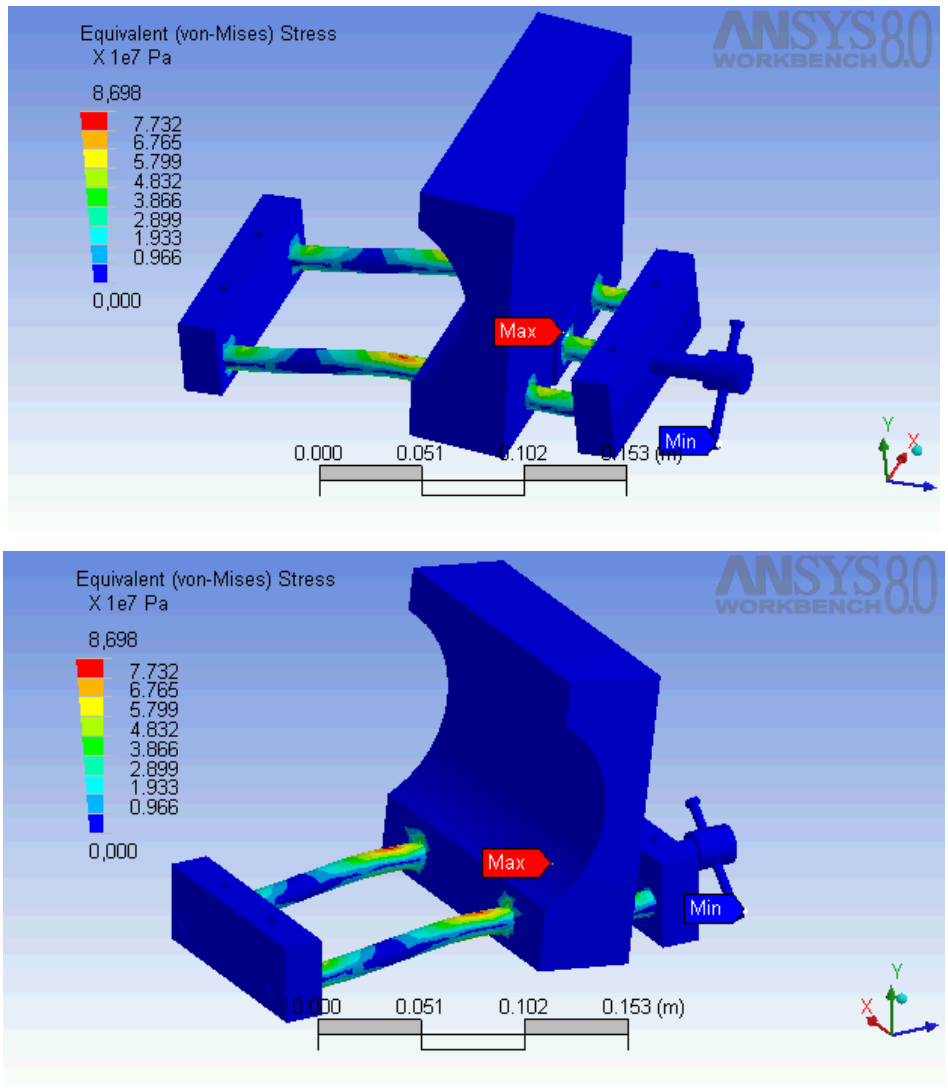
En la figura 33 podemos observar el enmallado generado para poder analizar el conjunto.

Figura 34. Aplicación de las cargas y las restricciones sobre el conjunto



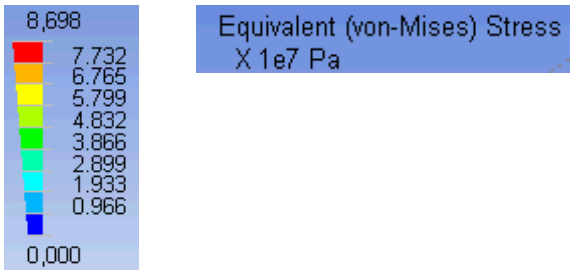
En la figura 34 se muestra en verde la zona de la medialuna sobre la cual actúa la presión calculada de 1,25 MPa y en azul las zonas que son soportes fijos, los demás contactos entre piezas son generados por el programa como contactos fijos.

Figura 35. Análisis de esfuerzos.



La figura 35 representa el estado de esfuerzos al que se encuentra sometido el conjunto. Como se puede observar, el color predominante es el azul oscuro, lo cual indica que los esfuerzos son bastante bajos. Para el análisis se comparó el valor máximo dado por el software con el valor del esfuerzo permisible del material para determinar si la pieza falla a causa de las cargas aplicadas.

Figura 36. Valores de esfuerzo

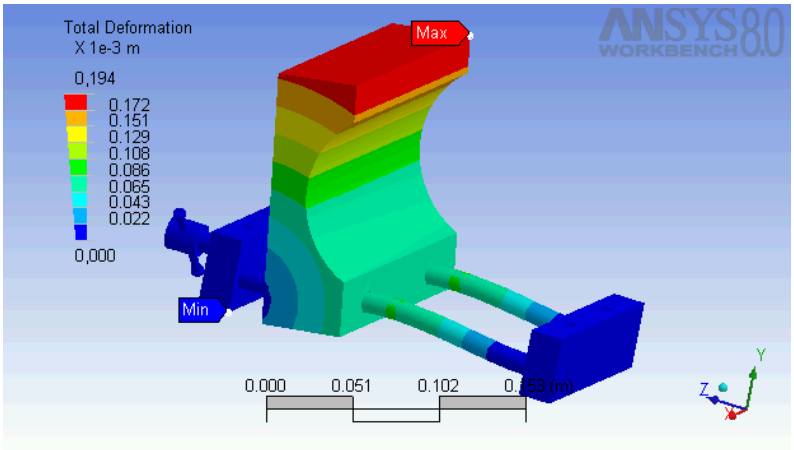


La figura 36 representa los valores de esfuerzo en N/m2, el valor máximo de esfuerzo al cual se encuentra sometido el conjunto es 87 Mpa, El esfuerzo de fluencia a corte del material es de 120,5 Mpa, lo cual nos garantiza un factor de seguridad bastante confiable que asegura que la pieza no fallara con los esfuerzos a que esta sometida, el esfuerzo máximo y el de fluencia a corte se muestran a continuación en la tabla 5.

Tabla 5. Comparación entre el esfuerzo máximo y el esfuerzo de fluencia a corte

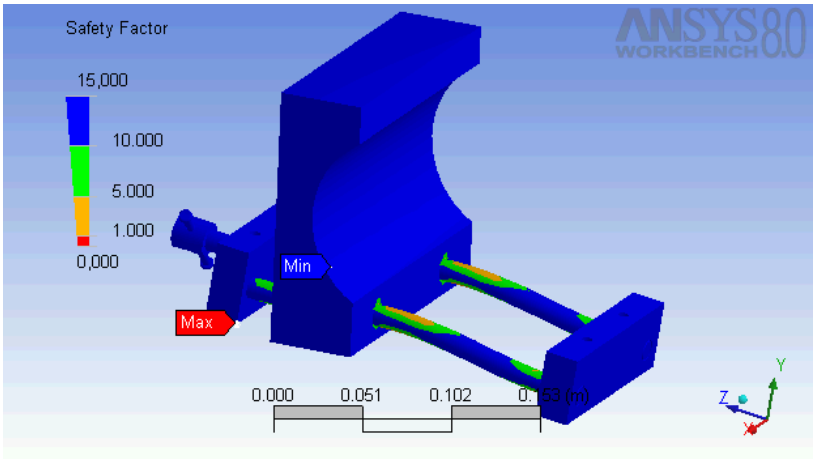
ESFUERZO MÁXIMO	ESFUERZO DE FLUENCIA A CORTE	COMPARACIÓN
τmáx = 87 Mpa	τSYs= 120,5 Mpa	τmáx < τSys

Figura 37. Simulación de la deformación sufrida por el conjunto



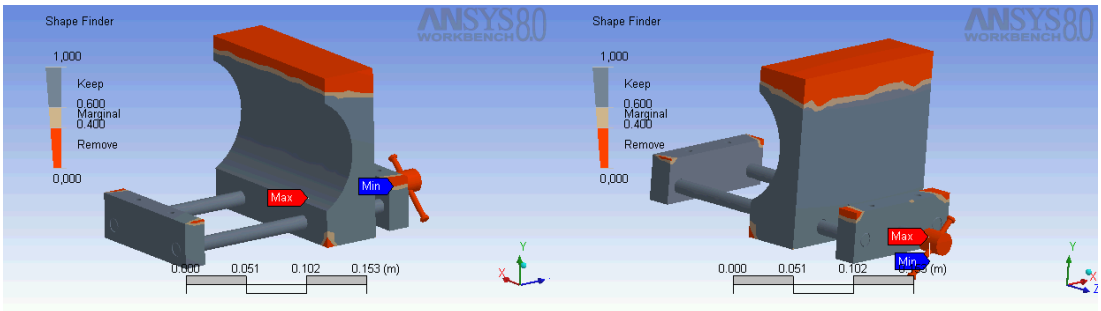
Para el análisis de deformaciones se utilizaron las mismas cargas a que esta sometido el conjunto, La parte en rojo es la que presenta una mayor deformación con un valor de 0,194 mm, deformación despreciable que garantiza la robustez del mecanismo y un óptimo funcionamiento, ver figura37.

Figura 38. Factor de seguridad



La figura 38 muestra el factor de seguridad calculado por el software, como se puede observar el color predominante en el conjunto es el azul (factor entre 10- 15) lo cual garantiza que el conjunto presenta un alto grado de confiabilidad.

Figura 39. Optimización de forma



En la figura 39 se observa el conjunto medialuna – guías, el cual presenta un ligero sobredimensionamiento zona naranja, lo cual se considera razonable.

4.8.2 Selección de tornillo.

Las dimensiones del tornillo se tomaron teniendo en cuenta principalmente la funcionalidad, la facilidad de mecanizado y la proporcionalidad respecto al conjunto. Se omitieron los cálculos en razón a que el valor del torque que requiere el tornillo para mantener la fuerza resultante total que ejerce el rotor sobre la medialuna da un valor muy pequeño, como se constato en el cálculo siguiente:

T = Torque que necesita el tornillo para mantener la fuerza F

F = Fuerza resultante total = 243N = 54,51Lb

dm =Diámetro medio del tornillo = 0,45"

$$Tan\lambda = Tagente.del.angulo.de.avance = \frac{P}{\pi \bullet dm} = 0.054$$

$$P = paso = \frac{1}{N} = 0.077$$

N = Hilos por pulgada = 13

α = Angulo de la rosca = 30˚

μ = Coeficiente de fricción = 0,15

μ > Tanλ = 0,15 > 0,054 (Autoblocante o Autoasegurante)

$$T = \frac{Fdm}{2}\left(\frac{Tan\lambda + \mu Sec\alpha}{1 - \mu Tan\lambda Sec\alpha}\right)$$

T = 2,82 Lb - Pulg.

Mediante cálculos efectuados se obtuvo un factor de seguridad demasiado alto, con lo cual no se justifica incluir un cálculo mas detallado para el

tornillo. Como se requiere que la medialuna se mantenga en una única posición durante todo el periodo que dure la prueba, es necesario que el tornillo sea autoblocante o autoasegurante, condición que se cumple si $\mu > Tan\lambda$, El tornillo utilizado fue mecanizado en acero 1020 de rosca triangular ordinaria normalizado, con diámetro de ½" de paso sencillo.

Nota: Con el análisis de esfuerzos y deformación realizados por el software, se pudo observar que parte del mecanismo de desplazamiento de la medialuna es el mas afectado por las cargas y que grado de confiabilidad presenta el conjunto para absorber los esfuerzos a que esta sometido, obteniendo como resultado un buen comportamiento de todas sus partes lo cual garantizara un optimo funcionamiento del mecanismo.

4.9 DISEÑO DEL ROTOR

Como se menciono anteriormente, el rotor esta conformado por un juego de cuatro rodillos, dos platinas circulares y un eje central.

El numero de rodillos se determino teniendo en cuenta la calidad de bombeo, puesto que a menor numero de rodillos hay transferencia fluida más rápida (mayor caudal) pero mayor pulsación y baja continuidad en el vació y en la presión, mientras que a mayor numero de rodillos se reduce la pulsación mejorando la repetitividad en el bombeo, pero disminuyendo caudal y la vida de la tubería, aunque mejora la continuidad en la presión y en el vació.

Teniendo en cuenta los efectos presentados se opto por utilizar cuatro rodillos, numero que permite mantener una condición promedio entre pulsación, vació y presión. Conocido el número de rodillos se determino las

dimensiones del rotor para obtener un volumen fijo o paquete de fluido atrapado entre dos rodillos, con el cual se determino el volumen total desplazado por la bomba en una revolución necesario para conseguir el rango de caudales deseados (0,75 Lt/min – 0,25 Lt/min) según el cambio de las RPM que gira el rotor.

Caudal de la bomba (Q) = (V total) x (rpm) x (Eficiencia Volumetrica).

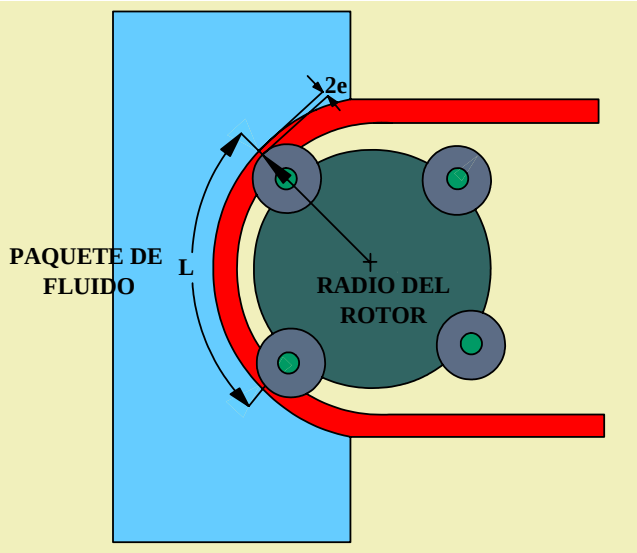
Volumen capturado entre 2 rodillos = (área seccional de la manguera) x (longitud del paquete de fluido L).

$$\text{Volumen capturado} = (\pi/4xD^2) \times (L)$$

Como el diseño de la bomba peristáltica tiene 4 rodillos, el volumen total por revolución es el valor del volumen capturado por dos rodillos multiplicado por 4.

$$V\ total = (\pi/4xD2) \times (L) \times (4) = \text{Desplazamiento de la bomba} = Cb$$

Figura 40. Radio del rotor.



CAUDAL DE LA BOMBA (Q) = (Cb) X (RPM) X (ηV).

Establecidas las dimensiones del rotor y conocido el espesor de la manguera se estableció el radio de la superficie cóncava de la medialuna de 5.5 cm, ver figura 40

Radio superficie concava = Radio del rotor + 2e.
e = espesor manguera.

Todas las piezas que conforman el rotor se montaron con ajuste forzado para mayor precisión, evitando la utilización de chaveteros o muescas por tornillos de sujeción que pueden originar pequeños desbalanceos y a la vez dejar la posibilidad de poderlas desmontar. El material utilizado en la construcción de todo el rotor fue acero inoxidable SAE- 304 y SAE- 316, ver ANEXO F.

TABLA 18. PROPIEDADES DE LOS ACEROS INOXIDABLES SAE 304 Y SAE 316, se utilizaron rodamientos rígidos de bolas tipo ZZA (con tapa de protección en ambos lados) o rodamientos sellados que evitan el contacto con el fluido de trabajo, ver ANEXO I. TABLA DE SELECCIÓN DE RODAMIENTOS DE BOLAS.

4.9.1 Calculo del eje

Conocido el valor del torque total necesario en el arranque y el valor de la fuerza total resultante sobre el rotor, se procedió a realizar el análisis de esfuerzos al que esta sometido el eje.

TORQUE TOTAL = 14,8 N.m

FUERZA RESULTANTE TOTAL = 40,5 x 6 (Numero de mangueras) = 243 N

Figura 41. Fuerzas resultantes aplicadas al rotor.

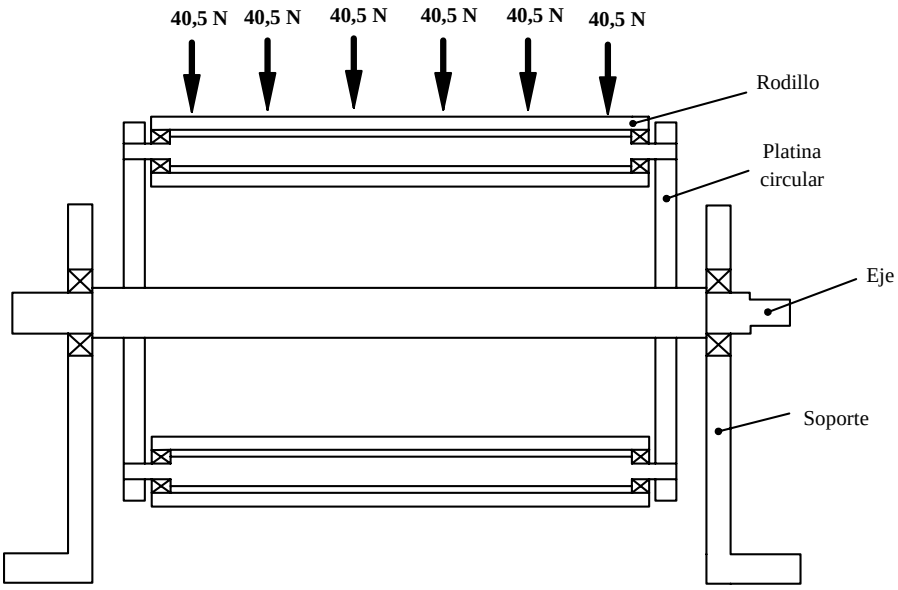


Figura 42. Fuerzas aplicadas al rodillo.

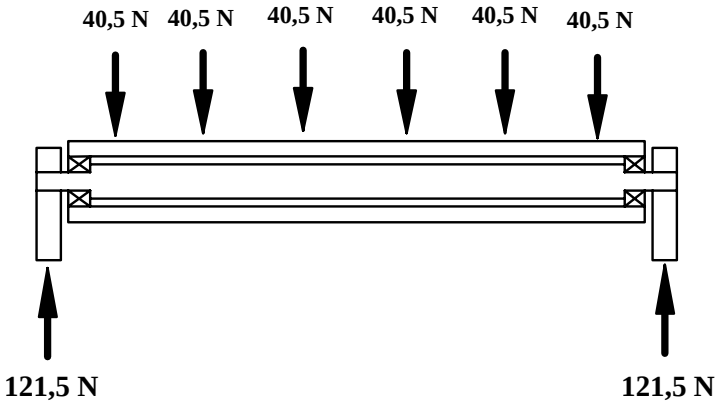
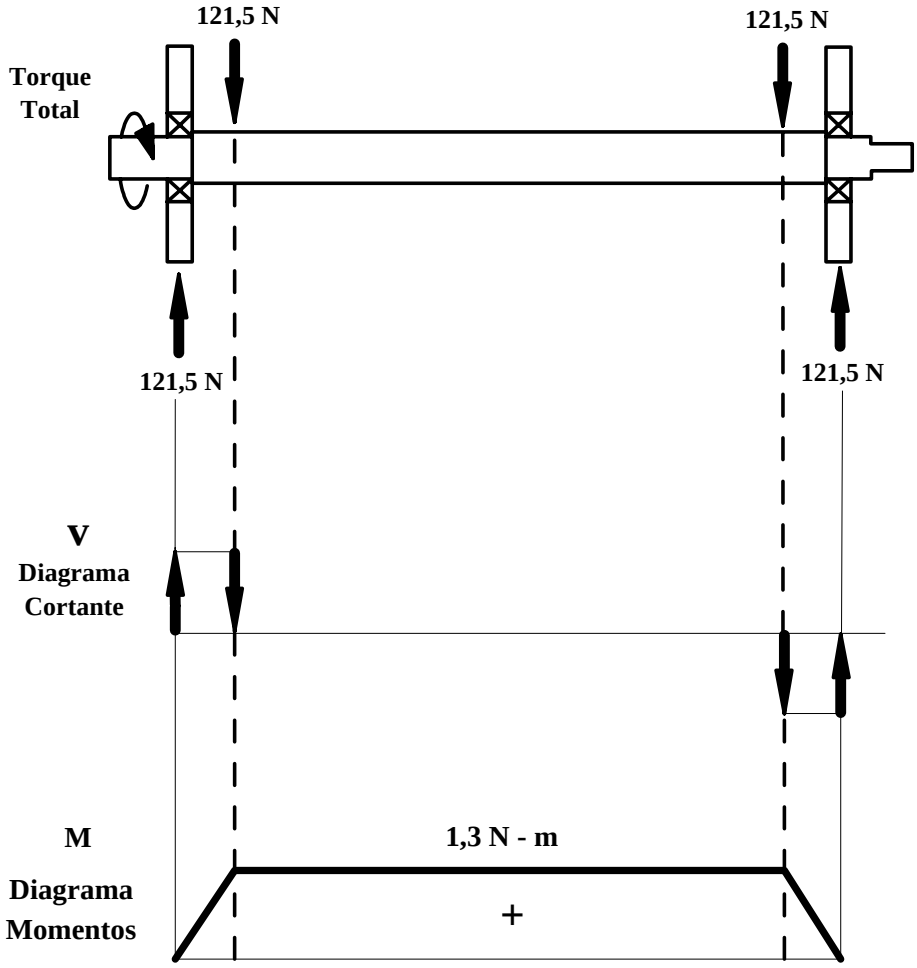


Figura 43. Diagramas de cortante y momento para el eje del rotor.



Según ANEXO H. TABLA AT 4 PROPIEDADES TIPICAS DE LOS ACEROS INOXIDABLE (Elementos de maquinas, Faires), el acero inoxidable SAE-304 presenta:

Sy (Esfuerzo fluencia tracción) = 2460Kg/Cm2

Sys (Esfuerzo fluencia a corte) = Sy x 0,5 = 1230 Kg/Cm2 = 120 Mpa

Utilizando la ecuación del Esfuerzo cortante máximo calculamos el valor del esfuerzo de cálculo y lo comparamos con el valor de esfuerzo de fluencia a corte para determinar su factor de seguridad, ver tabla 6.

Ss = Esfuerzo cortante.

S = Esfuerzo normal tracción o compresión.

$$Esfuerzo-cor\tan te-\max imo=\tau.calculo=\sqrt{Ss^2+\left(\frac{S}{2}\right)^2}$$

Conociendo los diagramas de cortante y momentos, podemos calcular los esfuerzos a que esta sometido el eje de diámetro ¾".

$$\sigma\left(Esfuerzo.normal.flexon\right)=\frac{Mc}{I}=0.05.Pa$$

M = Momento máximo en el eje = 1,3 N . m

c = Distancia mas lejana del eje neutro (R) = 9,525 x 10^{-3} m.

$$I=Momento.de.inercia.de.la.\sec cion=\frac{\pi\bullet r^4}{4}=0.245m^4$$

$$\tau\left(Esfuerzo_cor\tan te.\Pr omedio\right)=\frac{V}{A}=0.43.Mpa.$$

V = Fuerza cortante máxima = 121,5 N

A = Área de la sección = 2,85 x 10 -4 m

$$\tau\left(Esfuerzo_cor\tan te.Torsional\right)=\frac{T.c}{J}=0.29.Mpa.$$

T = Torque ejercido sobre la sección transversal = 14,8 N. m

c = Distancia mas lejana del eje neutro (R) = 9,525 x 10 -3 m.

$$\text{J} = \text{El momento polar de inercia de la sección transversal} = \frac{\pi.\text{c}^4}{2} = 0{,}49m^4$$

Entonces:

S = σ (Esfuerzo normal flexión) = 0,05 Pa

Ss = τ(Esfuerzo cortante prom) + τ(Esfuerzo cortante Torsional) = 0,43 Mpa

$$\tau \text{ calculo } = \sqrt{430000^2+\left(\frac{0{,}05}{2}\right)^2} = 0{,}43 \text{ Mpa.}$$

Tabla 6. Comparación entre el esfuerzo de cálculo y el esfuerzo de fluencia a corte

ESFUERZO CALCULO	ESFUERZO DE FLUENCIA ACORTE	COMPARACIÓN
τcalculo = 0,43 Mpa	τSys= 120,5 Mpa	τcal < τSys

Analizando los resultados obtenidos se puede verificar que el factor de seguridad que presenta el eje del rotor es muy conservativo, debido a la

calidad del material, alas bajas cargas a que esta sometido y al tamaño de los rodamientos adoptados.

Nota: En general las dimensiones de las piezas del rotor se determinaron principalmente según su funcionalidad, facilidad de mecanizado, tamaño de rodamientos y para guardar proporciones globales del conjunto.

4.10 DISEÑO DEL ACOPLE

El transmisión de potencia del motor al rotor de la bomba se realiza mediante el uso de un acople directo, debido a que las velocidades de operación de la bomba y el valor del torque requerido para su funcionamiento no eran muy altos, se decido diseñar el acople mas por funcionalidad y proporción con el equipo que por calculo, el acople esta unido al eje del motor mediante una chaveta y dos prisioneros y al eje del rotor por solo dos prisioneros.

5 DESCRIPCION DEL EQUIPO

En la figura 44 se observa una vista tridimensional de la bomba peristáltica en la cual se pueden apreciar todos sus componentes y accesorios, en la figura 45 y 46 se muestran las vistas lateral y superior para mayor apreciación del equipo

Figura 44. Vista isométrica de bomba peristáltica

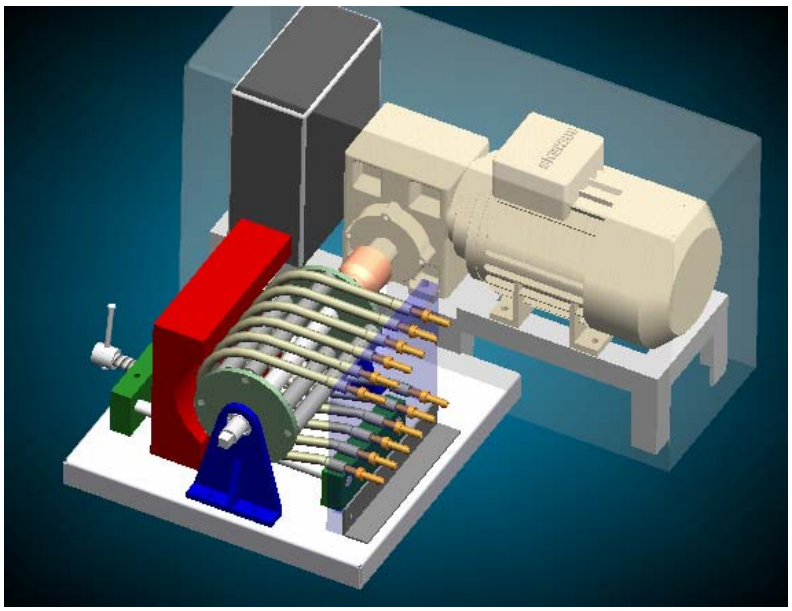


Figura 45. Vista lateral de la bomba peristáltica

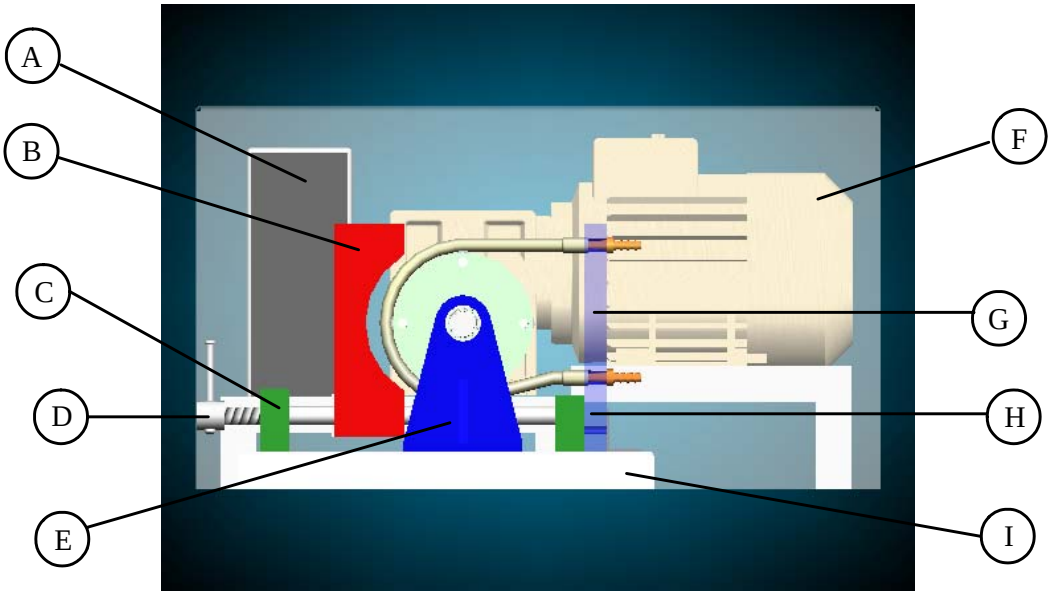
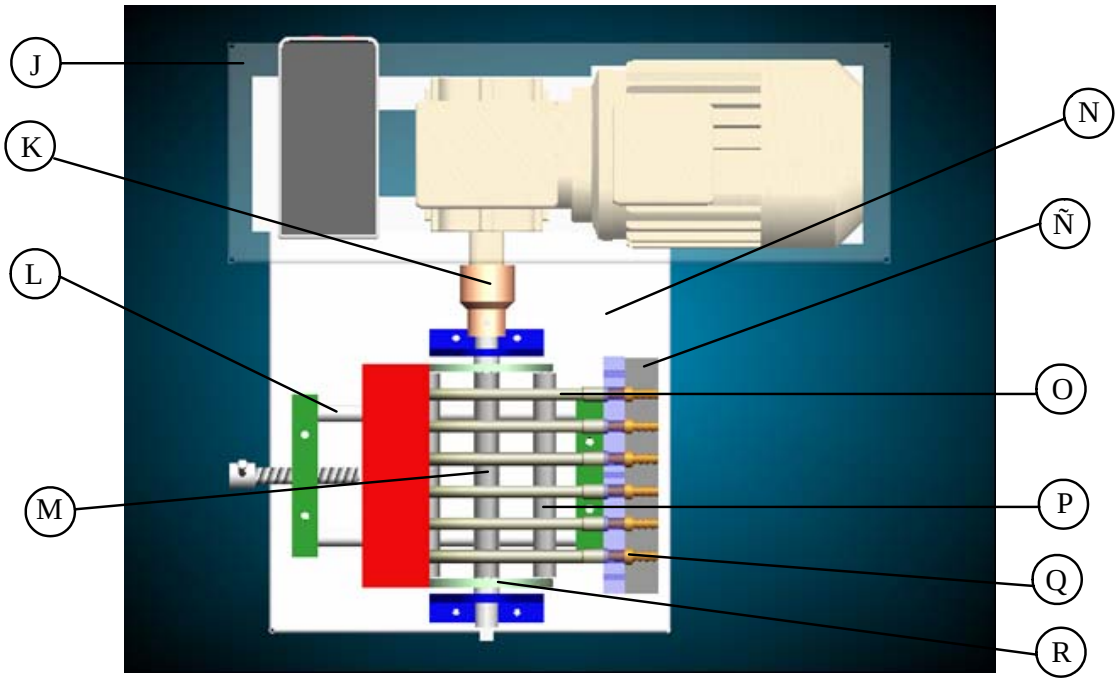


Figura 46. Vista superior de la bomba peristáltica



5.1 PARTES DE LA BOMBA PERISTALTICA

A- Variador Electrónico

B- Media Luna

C- Soporte Guías y tuerca

D- Tornillo

E- Soporte Rotor

F- Moto reductor Eléctrico

G- Porta Conectores

H- Soporte Guías

I- Estructura

J- Guarda motor

K- Acople

L- Guías circulas

M- Eje Rotor

N- Guarda Estructura

Ñ- Refuerzo

O- Mangueras

P- Rodillos

Q- Conectores

R- Platina Circular

5.2 DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA

La estructura se diseño fundamentalmente teniendo en cuenta todos los requerimientos de esfuerzos y resistencia mecánica a que es sometida.

Estructura: La estructura de la bomba peristáltica se construyo soldada empleando perfil en ángulo de acero cold rolled de 1″ x 1″ x 1/8″ y laminas ¼″ de acero 1020, esta estructura sirve como soporte al sistema motriz y al sistema de bombeo. En la parte inferior de la estructura se encuentra soldado segmentos de ángulos que se utilizaran como anclaje en la estructura para minimizar las vibraciones y darle mayor estabilidad.

5.3 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA MOTRIZ Y DE CONTROL DE VELOCIDAD

Este sistema es el encargado de conferirle el movimiento y controlar la velocidad a la bomba peristáltica mediante la fuente motriz que en este caso es un motor- reductor eléctrico trifásico y un variador electrónico.

Moto-reductor Eléctrico: La función del motor reductor es la de suministrar la potencia y el rango de velocidad necesaria para que el sistema de bombeo compuesto por un rotor, la medialuna y las mangueras, funcionen satisfactoriamente. El motor utilizado es de tipo trifásico de ½ HP de potencia con protección térmica automática incorporada y el reductor es de tipo sin fin corona con una relación de 1:10.

Variador Electrónico: El variador Electrónico MICROMASTER 420 es el encargado de regular la velocidad de giro del rotor de la bomba según los parámetros de ensayo. Este variador de velocidad tiene la capacidad de mantener el torque constante, y está equipado con un panel BOP (Panel

operador básico), que permite programar los datos nominales de tensión, corriente y frecuencia del motor, la variación de velocidad del motor es realizada por medio de este panel cambiando la frecuencia de operación.

5.4 DESCRIPICIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO

Este sistema (bomba peristáltica) esta compuesto por un rotor, una medialuna y las mangueras, es el encargado de bombear el fluido lixiviante (Acido sulfúrico + agua) hacia los tanques que contienen el material extraído de la mina (minerales oxidados de cobre) recirculando la solución formada por el ataque del fluido lixiviante al mineral en un circuito cerrado, El funcionamiento de la bomba peristáltica se basa en la presión ejercida por cuatro rodillos impulsores que giran y aplastan progresivamente un elemento tubular "Manguera" sobre una superficie cóncava (media luna). La alternancia entre la compresión y el aflojamiento del elemento tubular genera una depresión o vació y por consiguiente una aspiración continúa del fluido y un flujo constante durante la impulsión.

Rotor: Es el elemento giratorio constituido por un eje central, dos platinas circulares montadas a los extremos del eje sobre las cuáles van alojados cercanos a su periferia cuatro rodillos ubicados a 90° uno del otro, cada rodillo a su vez esta constituido por un eje fijo solidario a las platinas, sobre el cual van colocados dos rodamientos uno a cada extremo los cuales llevan montado un tubo que girara libremente. Todas las piezas del rotor se ensamblaron con ajuste forzado, el rotor esta montado sobre rodamientos que se localizan en unos soportes, elementos encargados de sostener todo el

conjunto, los cuales se encuentran fijados por medio de tornillos a la estructura, el rotor se relaciona al motor por medio de un acople directo. El material empleado para las partes mencionadas fue acero inoxidable.

Medialuna: Es el elemento sobre el cual se aplastan progresivamente las mangueras debido a la presión ejercida por el paso de los rodillos sobre su superficie cóncava. Esta piezas es un bloque de acero inoxidable de forma rectangular, con una superficie cóncava en su parte frontal, en su parte inferior dispone de dos perforaciones con el fin de facilitar el desplazamiento de esta pieza sobre guías circuladas, la pieza puede desplazarse hacia delante y hacia atrás mediante la utilización de un mecanismo tornillo- tuerca que se encuentra alojado en la parte inferior de atrás de esta pieza.

Mangueras: Como se menciono anteriormente es el elemento tubular encargado de transportar el liquido lixiviante, mediante la acción de aplastamiento ejercida entre la superficie cóncava y el paso de los rodillos, el equipo puede utilizar un máximo de seis mangueras simultáneamente para las pruebas, con la ventaja adicional de desconectar una o varias si no se necesita su totalidad. Para el sistema de conexión de las mangueras se utilizo una pieza plástica con 12 perforaciones 6 para las entradas y las otras 6 para las salidas, por donde se introduce cada respectiva manguera y un conector cónico el cual ejerce presión para asegurar la, es un sistema de acople rápido. Como ya sabemos el material de la manguera es muy importante para el correcto funcionamiento de este equipo, por ello el material utilizado es especial para el manejo del fluido de trabajo.

6 PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCION Y MONTAJE DE LA BOMBA PERISTALTICA

Se considero conveniente incluir este capitulo para ilustrar al lector sobre los procedimientos de mecanizado, las dificultades de montaje y los correctivos que se requirieron para poner a punto el equipo, así como también la falta de cumplimiento por parte de la empresa encargada de realizar la construcción y el montaje, puesto que la empresa no solo tenia el compromiso de realizar los mecanizados sino también el montaje el cual que nos toco realizar directamente para poder terminar el proyecto.

A continuación se mostrara las diferentes etapas de mecanizado que se realizaron para las distintas piezas de la bomba y para mayor comprensión del proceso se ilustrara con una serie de fotos

6.1 MEDIALUNA

6.1.1 Etapas del proceso de mecanizado:

- Elaboración de un marco soldado en acero 1020 para el montaje del bloque rectangular de acero inoxidable sobre la copa del torno, ver figura 47.
- Unión mediante soldadura entre el marco y el bloque rectangular de acero inoxidable y montaje del conjunto sobre la copa de cuatro mordazas del torno, ver figura 48.
- Operación de mandrinado con barra de interiores con herramienta de corte widia, a una velocidad de corte y avance muy baja ver figura 49.

- Operación de mandrinado con barra de interiores con herramienta de corte buril, a una velocidad de corte y avance moderado, hasta la dimensión deseada para la curva (radio de 5,5 cm con un de ángulo de concavidad de 120˚)
- Acabado final de la superficie cóncava, con una velocidad de corte alta y avance lento, ver figura 50.
- Taladrado de cinco agujeros en la parte inferior posterior de la medialuna, uno central con diámetro 1cm y cuatro roscados a su alrededor con diámetro 1/4", todos con la misma profundidad de 1 cm, Ver figura 51.
- Eliminación de aristas o bordes formados por el mecanizado en el inicio y en el final de la superficie cóncava mediante lima y liga, ver figura 52.

Figura 47. Marco soldado de acero 1020

Figura 48. Montaje del conjunto soldado en la copa del torno.

Figura 49. Mandrinado con barra de interiores, herramienta de corte widia.

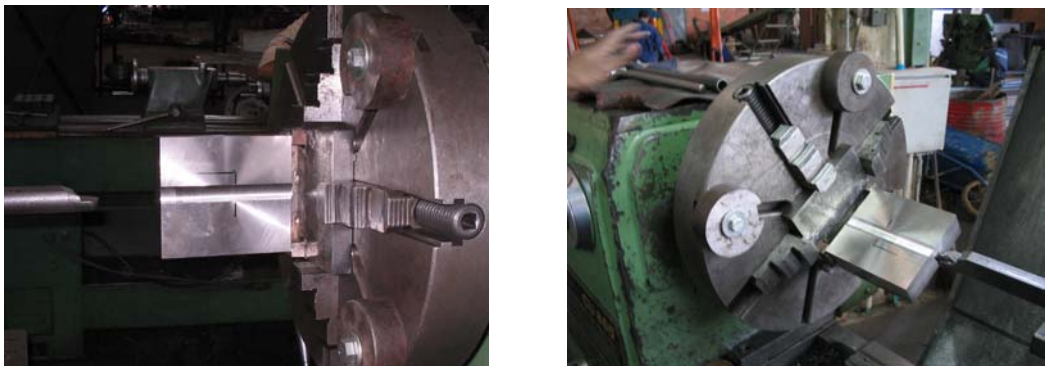


Figura 50. Acabado final de la superficie cóncava

Figura 51. Se observan cuatro perforaciones roscadas y una central donde se aloja el tornillo.

Figura 52. Eliminación de aristas y bordes de la superficie cóncava.

Nota: Durante la operación de mandrinado de la medialuna se rompieron 2 widias debido a la exigencia del trabajo de mecanizado y a la dureza del material ver figura 53.

Figura 53. Herramienta de corte widia y Barra de interiores.

6.2 MECANISMO DE DESPLAZAMIENTO DE LA MEDIALUNA

Para visualizar mejor el mecanismo ver figura 54.

Figura 54. Mecanismo de desplazamiento de la medialuna.

6.2.1 Etapas del proceso de mecanizado:

- Cilindrado, roscado, taladrado y ranurado del tornillo de empuje de rosca triangular ordinaria con un diámetro de media pulgada de paso sencillo, con una longitud roscada de 12 cm, ver figura 55.
- Corte de dos platinas de acero 1020 de 14 cm x 6 cm con un espesor de 1”en una sin fin y fresado de sus caras.
- Taladrado de un agujero pasante en una de las platinas cortadas y roscado manual de la tuerca del tornillo de empuje con juego de machuelos.
- Unión soldada (método MIG) entre las dos platinas y la medialuna
- Taladrado de dos agujeros pasantes con diámetro de 1/2" en las tres piezas soldadas, realizado en un taladro de árbol ver figura 71.
- Separación de las tres piezas soldadas quitando los puntos con pulidora.
- Taladrado de dos agujeros pasantes de 1/4" de diámetro en la cara superior de cada platina para fijarlas a la base con tornillos.

- Taladrado y roscado manual de un agujero de 1/4" de diámetro en cada cara lateral de las platinas para tornillos prisioneros.
- Perforado y corte de dos platinas que acoplan el tornillo a la medialuna, ver figura 57.
- Corte con sinfín de una varilla de 1/2" de acero inoxidable en dos segmentos de 25cm de largo, ver figura 58.
- Recubrimiento de cromo – níquel para las platinas y el tornillo, ver figura 59.

Figura 55. Foto Mecanizado del tornillo de empuje

Figura 56. Taladrados de las platinas y medialuna

Figura 57. Platinas para acoplar el tornillo a la medialuna.

Figura 58. Varillas de acero inoxidable (guías).

Figura 59. Cromado – niquelado de las platinas y el tornillo.

6.2.2 Etapas del montaje:

- Roscado del tornillo sobre la platina que tiene la tuerca, ver figura 60.
- Alojamiento del extremo del tornillo (cilindro sin rosca) en el agujero central de la medialuna que se encuentra en su parte inferior posterior.
- Acople del tornillo a la medialuna mediante platinas y tornillos, verificando que gire libremente, ver figura 61.
- Colocación de las varillas de 1/2" (guías) dentro de los agujeros pasantes de la medialuna y de las dos platinas, ver figura 62.
- fijación de las varillas a cada platina mediante tornillos prisioneros, ver figura 63.

Figura 60. Roscado del tornillo.

Figura 61. Acople del tornillo a la medialuna.

Figura 62. Colocación de las varillas o guías.

Figura 63. Fijación de las varillas mediante prisioneros**.**

6.2.3 Modificaciones del mecanismo de desplazamiento:

En la figura 64, se muestra el primer mecanismo utilizado para el desplazamiento de la medialuna, constituido por dos guías rectangulares en forma de C (ver figura 65), por donde se desplazaría la pieza mediante el empuje de un tornillo – tuerca. Mecanismo que se modifico debido a problemas de inexactitud del mecanizado de las guías, lo que ocasionaba agarrotamiento y desviación excesiva en el desplazamiento de la pieza, hecho que se atribuye a errores de mecanizado (herramienta de corte defectuosa) y por la falta de precisión de la maquina, ver figura 66. Inconveniente que se supero con el nuevo mecanismo que se vio anteriormente, el cual ofrece un desplazamiento mas suave, uniforme y con una menor área de fricción, con la ventaja adicional de requerir un mecanizado menos complicado.

Figura 64. Primer mecanismo de desplazamiento de la medialuna.

Figura 65. Guías rectangulares en forma de C.

Figura 66. Ranuras defectuosas mecanizadas sobre la medialuna.

6.3 ROTOR

6.3.1 Etapas del proceso de mecanizado:

- Cilindrado y acabado en los extremos del eje principal para fijación de sus respectivos rodamientos, ver figura 67.
- Cilindrado y acabado en los extremos de los cuatro ejes de los rodillos, para fijación de sus respectivos rodamientos, ver figura 68.
- Mandrinado y acabado de los extremos de cuatro tubos para alojar sus respectivos rodamientos, ver figura 69.

- Corte por plasma de dos platinas circulares de 1/4" de espesor a un diámetro mayor de 10 cm.
- Taladrado de un agujero central en cada platina para montaje en el torno.
- Cilindrado del diámetro exterior de las platinas a las dimensiones finales y rectificación del agujero central.
- Taladrado de 4 agujeros pasantes a 90 grados uno del otro sobre cada platina, para alojar el eje de cada rodillo, realizado en un taladro de árbol.
- Corte por plasma de dos platinas de 1/4" en forma triangular (soportes) y taladrado en su parte superior para alojamiento de los rodamientos del rotor, ver figura 70.

Figura 67. Eje principal.

Figura 68. Eje del rodillo.

Figura 69. Tubo del rodillo.

Figura 70. Mecanizado del soporte.

6.3.2 Etapas del montaje:

- Montaje de un rodamiento sobre un extremo del eje del rodillo y colocación del tubo mandrinado sobre este y montaje del segundó rodamiento sobre el otro extremo del eje y sobre el tubo, todos los montajes con ajuste forzado, operación realizada con prensa hidráulica, procedimiento que se repitió para los otros rodillos, ver figura 71.
- Montaje de las dos platinas circulares sobre el eje principal dejando una separación suficiente para acomodar los rodillos sobre sus alojamientos, una vez ubicado el conjunto, se procedió a acoplar todas las piezas con ajuste forzado mediante prensa hidráulica con la ayuda de utilajes que garantizaran un correcto montaje, ver figura 72.
- Verificación general de la alineación de todas las partes del rotor, con el uso de instrumentos de medición y corrección de algunas desviaciones mediante prensas manuales y palancas.
- Montaje de los rodamientos sobre el eje principal y ubicación de los mismos sobre sus respectivos soportes, con el uso de prensa, ver figura 73.

Figura 71. Rodillos.

Figura 72. Rotor.

Figura 73. Montaje del rotor sobre los soportes.

6.4 PORTACONECTORES

6.4.1 Etapas del proceso de mecanizado:

- Corte con caladora de una lamina de polietileno de 1/2" de espesor a las dimensiones de 16 cm x 17 cm.
- Taladrado de doce agujeros pasantes de 1 cm de diámetro sobre la lámina de polietileno, realizados con un taladro de árbol.
- Doblado a 90 grados de una platina de acero inoxidable de 3/16”, con dimensiones de 7 cm x 16 cm, en una dobladora de lámina industrial.

- Taladrado de seis agujeros pasantes de 1/4" de diámetro sobre la platina, tres a cada lado del dobles, ver figura 74.

Figura 74. Portaconectores.

6.5 CONECTORES

6.5.1 Etapas del proceso de mecanizado:

- Cilindrado de una barrilla cuadrada de polietileno hasta un diámetro de 3/4”
- Taladrado de un agujero axial de 3/16”, en la barrilla circular de polietileno, realizada en el torno.
- Mecanizado varios en el torno para darle la forma final de la pieza, ver figura 75.

Figura 75. Conectores de polietileno.

6.6 ESTRUCTURA

6.6.1 Etapas del proceso de mecanizado:

- Elaboración de un marco soldado en perfiles en ángulo de 1″x 1″x 1/8″de acero cold rolled.
- Corte con plasma y unión soldada por arco eléctrico de una lamina de 1/4" de acero 1020 de 40 cm x 45 cm sobre el marco soldado
- Elaboración de agujeros varios sobre la estructura para fijación de las piezas, realizado con taladro de árbol y manual.
- Pintado de la estructura con anticorrosivo y esmalte negro, ver figura 76.

Figura 76. Estructura soldada.

6.7 GUARDAS

6.7.1 Etapas del proceso de mecanizado:

- Corte con cizalla de lámina de acero inoxidable de 1 mm de espesor según forma especificada en los planos.
- Corte con cizalla de malla galvanizada de 14 cm x 40 cm.
- Doblado de la lámina cortada según la forma requerida, en dobladora industrial.
- Unión soldada (método MIG) de las aristas.
- Remachado de la malla a la guarda
- Taladrado de agujeros varios para fijación ala estructura, ver figura 77.

Figura 77. Guardas para la base y el moto-reductor.

6.8 MONTAJE GENERAL

- Fijación de la cubierta base de acero inoxidable (guarda) sobre la estructura con tornillos
- Fijación del motor- reductor sobre la estructura con tornillos.
- Ubicación de los conjuntos sobre la estructura, para el marcado y elaboración de agujeros
- Fijación del mecanismo de desplazamiento de la medialuna sobre la estructura con tornillos.
- Montaje del acople relacionando eje reductor y eje rotor
- Fijación de los soportes del rotor a la estructura con tornillos
- Fijación del porta conectores y cubierta del motor a la estructura con tornillos.
- Verificación de concentricidad del rotor con la superficie cóncava (medialuna).

- Instalación de las seis mangueras con sus respectivos conectores (longitud recomendada para las mangueras de la bomba 35 cm) y conexión del variador electrónico al motor, ver figura 78.
- Anclaje de la estructura.

Figura 78. Instalación de las mangueras y el variador.

7 MEDICIONES Y PRUEBAS DE LA BOMBA PERISTALTICA

7.1 DETERMINACION DEL (NPSH)r DE LA BOMBA PERISTALTICA

El procedimiento para la determinación del (NPSH)r fue el siguiente:
Se coloco la bomba en la parte superior de una estructura, se midió la altura del nivel del tanque de alimentación hasta la entrada de la bomba (Z), a esa altura se midió el caudal durante un minuto por un solo canal y se empezó a disminuir la altura hasta que se obtuvo una variación del 3% en los dos últimos caudales medidos, obteniendo en ese punto la altura de succión critica de la bomba, este procedimiento se repitió con cada frecuencia, ver figura 79.

Figura 79. Determinación de la máxima altura de succión.

Es necesario distinguir entre carga neta positiva de succión disponible (NPSH)d y la requerida (NPSH)r, la primera es una característica del sistema en que se usa la bomba peristáltica y la segunda es función del diseño de la bomba. Es conveniente que el (NPSH)r sea menor que el (NPSH)d, cuanto más pequeño sea el (NPSH)r, hay menos posibilidades de cavitación.

$$(NPSH)d > (NPSH)r$$

Los datos medidos se tabularon en la tabla 7.

Tabla 7. Altura de succión critica de la bomba (Z CRITICO).

Frecuencia de 60 Hz – Caudal de 980 (ml/min)		Frecuencia de 40 Hz – Caudal de 710 (ml/min)	
CAUDAL (ml/min)	Z CRITICO (m)	CAUDAL (ml/min)	Z CRITICO (m)
820	2,5	670	1,35
900	1,75	680	1,3
945	1,5	685	1,25
955 (3%)	1,4	690 (3%)	1,2
980	1,3	710	1,1
980	1,2	710	1
Frecuencia de 55 Hz – Caudal de 930 (ml/min)		Frecuencia de 35 Hz – Caudal de 620 (ml/min)	
CAUDAL (ml/min)	Z CRITICO (m)	CAUDAL (ml/min)	Z CRITICO (m)
880	1,5	570	1,3
885	1,45	580	1,2
900	1,4	600	1,15
905 (3%)	1,35	605 (3%)	1
930	1,3	620	0,9
930	1,2	620	0,8
Frecuencia de 50 Hz – Caudal de 880 (ml/min)		Frecuencia de 30 Hz – Caudal de 530 (ml/min)	
CAUDAL (ml/min)	Z CRITICO (m)	CAUDAL (ml/min)	Z CRITICO (m)
830	1,45	470	1,2
840	1,40	480	1,15
850	1,35	500	1
855 (3%)	1,3	514 (3%)	0,9
880	1,2	530	0,8
880	1,1	530	0,7
830	1,45		
Frecuencia de 45 Hz – Caudal de 780 (ml/min)		Frecuencia de 25 Hz – Caudal de 450 (ml/min)	
CAUDAL (ml/min)	Z CRITICO (m)	CAUDAL (ml/min)	Z CRITICO (m)
740	1,4	420	1,15
750	1,35	430	1
755	1,30	435	0,9
760 (3%)	1,25	440 (3%)	0,85
780	1,2	450	0,8
780	1,1	450	0,7

Frecuencia de 20 Hz – Caudal de 370 (ml/min)		Frecuencia de 10 Hz – Caudal de 200 (ml/min)	
CAUDAL (ml/min)	Z CRITICO (m)	CAUDAL (ml/min)	Z CRITICO (m)
340	1	175	0,85
350	0,9	180	0,8
355	0,85	190	0,75
360 (3%)	0,8	195 (3%)	0,7
370	0,7	200	0,6
370	0,6	200	0,5
Frecuencia de 15 Hz – Caudal de 280 (ml/min)		Frecuencia de 5 Hz – Caudal de 120 (ml/min)	
CAUDAL (ml/min)	Z CRITICO (m)	CAUDAL (ml/min)	Z CRITICO (m)
250	0,9	100	0,8
260	0,85	110	0,75
265	0,8	115	0,7
272 (3%)	0,75	118 (3%)	0,65
280	0,6	120	0,5
280	0,5	120	0,4

7.2 CALCULO DEL (NPSH)r DE LA BOMBA PERISTÁLTICA

Para la prueba de (NPSH)r en la bomba peristáltica se utlizo como fluido agua fría, la presión de vapor Pv del agua se determino a una temperatura de 25˚ y con la altura de succión critica (Z) establecida anteriormente se determino el (NPSH)r con la siguiente ecuación:

$$(\text{NPSH})\text{r} = \frac{\text{Patm - Pv}}{\gamma} - Z - hl$$

hl = Es despreciable, por ser una tubería lisa muy corta.

Z = Altura de succión critica medida

P atm de Bucaramanga = 690 mm Hg = 91992.43 Pa

Pv del agua a una temperatura de 25˚ = 3300 Pa.

Los resultados se tabularon en la tabla 8.

Tabla 8. (NPSH)r de la bomba peristáltica.

FRECUENCIA (Hz) VARIADOR	CAUDAL (ml/min)	(NPSH)r (m)	Z CRITICO (m)
60	980	7,64	1,4
55	930	7,69	1,35
50	880	7.74	1,3
45	780	7.79	1,25
40	710	7,84	1,2
35	620	8,04	1
30	530	8,14	0,9
25	450	8,19	0,85
20	370	8,24	0,8
15	280	8,29	0,75
10	200	8,34	0,7
5	120	8,39	0,65

7.3 CALCULO DEL (NPSH)d DE LA BOMBA PERISTÁLTICA

La bomba peristáltica operara en el laboratorio en un circuito de recirculación donde el tanque de alimentación se encuentra por encima de la succión a una altura fija de 1 metro, por tanto el (NPSH)d será igual para todos los casos. Como sabemos el fluido bombeado es ácido sulfúrico + agua, con una concentración máxima del 10%, por ser una concentración muy baja se tomo para el calculo las propiedades del agua, la presión de vapor Pv del agua se determino a una temperatura de 25˚ y con la altura (Z) de 1 metro se determino el (NPSH)d con la siguiente ecuación:

$$(\text{NPSH})\text{d} = \frac{\text{Patm - Pv}}{\gamma} + Z - hl$$

hl = Es despreciable, por ser una tubería lisa muy corta.

Z = Altura de succión = 1 metro

P atm de Bucaramanga = 690 mm Hg = 91992.43 Pa

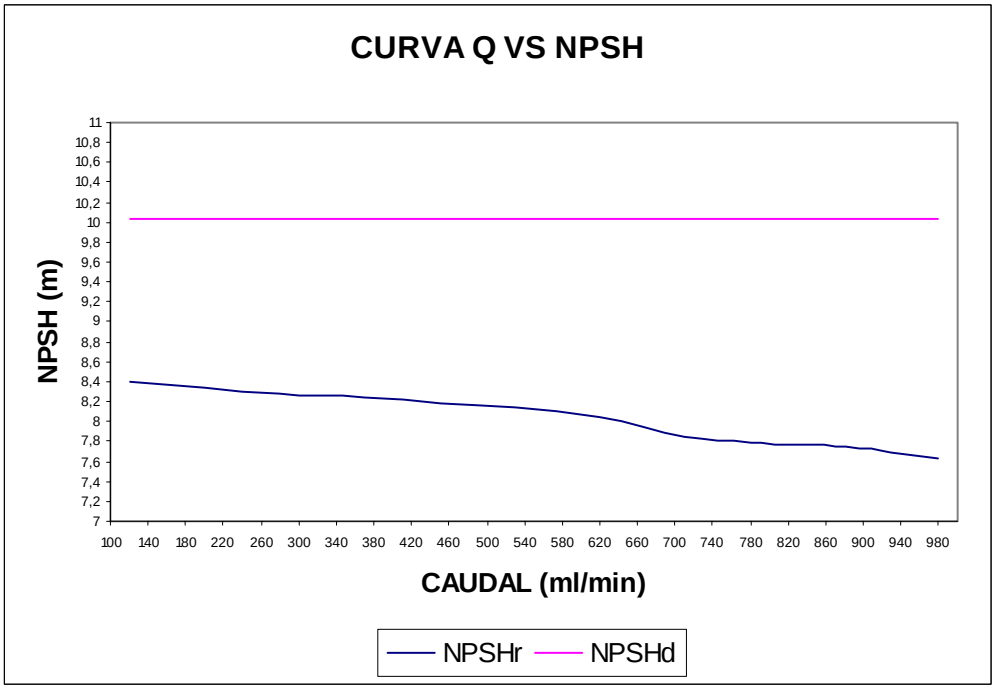
Pv del agua a una temperatura de 25˚ = 3300 Pa.

$$(\text{NPSH})\text{d} = 10{,}041 \text{ m}$$

7.3.1 CURVAS DEL NPSH Vs CAUDAL

Con los valores de la tabla 8, el (NPSH)d y el CAUDAL se graficaron las curvas para la bomba peristáltica, ver figura 80.

Figura 80. Curva Q vs. NPSH



Nota: como podemos observar en la figura 125, el (NPSH)d es mayor en todos los casos al (NPSH)r, lo cual garantiza que la bomba funcionara correctamente sin problemas de cavitacion.

7.4 MEDICION DE LOS CAUDALES DE LA BOMBA POR CADA CANAL

Conocido la altura de succión crítica (z) de la bomba para cada uno de sus caudales se decidió medir la repetitividad de entrega de flujo de la bomba por cada canal. Para todas las mediciones se utilizo una altura de succión de 60 cm para evitar el fenómeno de cavitación y una altura de descarga de 1 metro según los requerimientos del sistema, como la bomba tiene seis canales las mediciones se hicieron solamente a los canales 1, 3 y 5, suficientes para determinar la variación de caudal de los demás canales de la bomba, los datos se registraron en las tablas 9, 10 y 11.

Tabla 9. Caudales promedio del canal 1 a las diferentes frecuencias.

CANAL 1			
FRECUENCIA (Hz) VARIADOR	ØINTERNO MANGUERA (Cm)	CAUDALES MEDIDOS (ml/min)	CAUDAL PROMEDIO
60	0,63	980 - 975 - 985	980
55	0,63	925 – 930 -940	931
50	0,63	880 - 870 - 890	880
45	0,63	780 -775 - 780	778
40	0,63	700 - 710 - 720	710
35	0,63	620 - 615 -620	620
30	0,63	530 - 530 -530	530
25	0,63	450 - 455 -450	451
20	0,63	370 - 370 - 370	370
15	0,63	280 - 280 - 280	280
10	0,63	200 - 200 -200	200
5	0,63	120 -120 -120	120

Tabla 10. Caudales promedio del canal 3 a las diferentes frecuencias.

CANAL 3			
FRECUENCIA (Hz) VARIADOR	ØINTERNO MANGUERA (Cm)	CAUDALES MEDIDOS (ml/min)	CAUDAL PROMEDIO
60	0,63	980 - 980 - 985	981
55	0,63	925 - 930 - 935	930
50	0,63	880 - 875 - 880	878
45	0,63	775 -775 - 780	777
40	0,63	700 - 725 - 720	715
35	0,63	610 - 625 -625	620
30	0,63	530 - 530 -530	530
25	0,63	450 - 450 -450	450
20	0,63	370 - 370 - 370	370
15	0,63	280 - 280 - 280	280
10	0,63	200 - 200 -200	200
5	0,63	120 -120 -120	120

Tabla 11. Caudales promedio del canal 5 a las diferentes frecuencias.

CANAL 5			
FRECUENCIA (Hz) VARIADOR	ØINTERNO MANGUERA (Cm)	CAUDALES MEDIDOS (ml/min)	CAUDAL PROMEDIO
60	0,63	980 - 980 - 980	980
55	0,63	930 – 930 -930	930
50	0,63	885 - 885 - 880	883
45	0,63	780 -780 - 780	780
40	0,63	710 - 715 - 710	710
35	0,63	620 - 620 -620	620
30	0,63	530 - 530 -530	530
25	0,63	450 - 450 -450	450
20	0,63	370 - 370 - 370	370
15	0,63	280 - 280 - 280	280
10	0,63	200 - 200 -200	200
5	0,63	120 -120 -120	120

Nota: Como los caudales medidos en los tres canales son muy parecidos se puede concluir que la bomba presenta una buena repetitividad de flujo, lo cual confirma que la obstrucción u aplastamiento es igual para todas las mangueras logrando un desplazamiento de volumen igual por cada canal.

Se promediaron los tres caudales medidos y se tabularon en la tabla 12 que me permite definir que frecuencia debo programar en el variador para obtener un caudal deseado.

Tabla 12. Caudales promedio vs. Frecuencia.

RPM EN EL ROTOR	FRECUENCIA (Hz) VARIADOR	CAUDAL PROMEDIO (ml/min)
160	60	980
147	55	930
133	50	880
120	45	780
107	40	710
93	35	620
80	30	530
67	25	450
53	20	370
40	15	280
27	10	200
15	5	120

Nota: En la tabla se puede observar que la bomba peristáltica cumple satisfactoriamente con los objetivos del proyecto en cuanto a que maneja un rango mayor de caudales con respecto al rango de caudales planteado (0,75 Lt/min – 0,25 Lt/min).

7.5 Calculo de eficiencia volumétrica de la bomba

La eficiencia volumétrica de una bomba es igual al caudal real de la bomba dividido sobre el caudal teórico.

$$\text{Eficiencia Volumétrica} = \text{Caudal Real} / \text{Caudal Teórico},\ \eta v = \frac{Qb}{Qnb}$$

Utilizando la ecuación para el cálculo del caudal teórico de la bomba peristáltica visto anteriormente y con el caudal real medido, determinamos la eficiencia volumétrica (ηv) para cada caudal de la bomba, ver tabla 13.

CAUDAL TEORICO DE LA BOMBA (Q) = (Cb) X (RPM)

Cb = (π/4xD2) x (L) x (4)

L (longitud del paquete de fluido) = 6 cm

D (diámetro interno de la tubería de tygon) = 0,63 cm.

Cb = 7,48 cm3/rev.

Tabla 13. Eficiencia volumétrica de la bomba.

RPM EN EL ROTOR	FRECUENCIA (Hz) VARIADOR	CAUDAL REAL MEDIDO (ml/min)	CAUDAL TEORICO CALCULADO (ml/min)	EFICIENCIA VOLUMETRICA
160	60	980	1197	0,82
147	55	930	1100	0,85
133	50	880	995	0,88
120	45	780	898	0,87
107	40	710	800	0,88
93	35	620	696	0,89
80	30	530	599	0,88
67	25	450	501	0,89
53	20	370	397	0,93
40	15	280	300	0,93
27	10	200	202	0,99
17	5	120	128	0,93

7.6 CURVA DE CAUDAL Vs PRESION

En teoría una bomba de desplazamiento positivo, suministra un caudal nominal (Qnb) constante en (litros / min o Gpm), pero en realidad puede bombear mas caudal en ausencia de carga y menos a su presión de

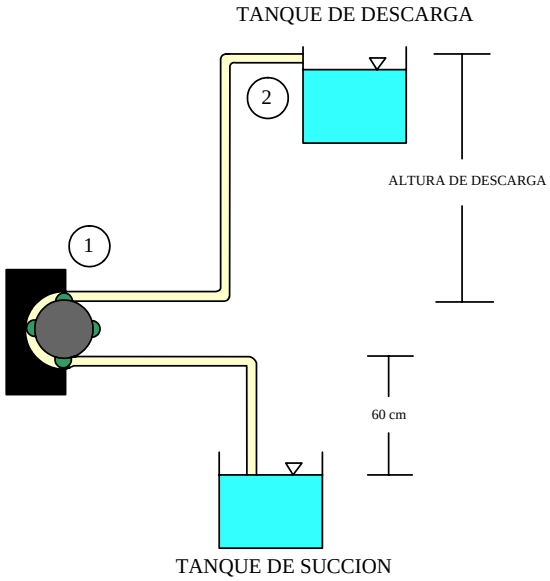
funcionamiento nominal, esto es debido a que a medida que aumenta la presión, las fugas también aumentan y la eficiencia volumétrica disminuye.
Conociendo esto se procedió a medir los caudales de la bomba peristáltica para cada frecuencia, generando una mayor presión que la requerida por el sistema para así poder graficar la variación de caudal en función de la presión.La presión se genero aumentando la altura de descarga de la bomba mediante el aumento de la tubería plástica lisa a la salida, método que se empleo debido que la bomba maneja presiones muy pequeñas, por lo cual no era recomendado utilizar accesorios como válvulas, reguladoras de presión, contracciones, etc, que generaran una mayor resistencia en el sistema ya que esto generarían demasiada obstrucción generando altas presiones que producirían el rompimiento de la manguera durante la prueba.Las mediciones de caudal empezaron a una altura de descarga de 5mts hasta una altura de 0,5 metros, utilizando una altura de succión constante para la bomba de 60 cm.

Para la prueba se utilizaron los siguientes elementos:

- Un tanque abierto para la succión
- Un tanque abierto para la descarga
- Manguera plástica lisa
- Bomba peristáltica
- Cronometro

Para determinar la presión del sistema se utilizo la ecuación de Bernulli aplicándola desde la salida de la bomba hasta la altura de descarga, como se observa en la figura 81.

Figura 81. Circuito de de bombeo



Utilizando la ecuación de Bernulli:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z + hL$$

hl = Despreciable por ser tubería lisa y con una longitud corta

V1 = V2 .

P2 = Presión atmosférica = 101300Pa

P1 = Presión del sistema

Z = Altura de descarga

γ = Peso especifico 9810 N/m3.

Sustituyendo todo lo anterior nos queda que la presión del sistema esta dada por l siguiente ecuación:

$$P_1 = P_2 + Z(\gamma)$$

Teniendo establecidas las alturas de descarga de la bomba se calculó la presión del sistema ver tabla 14.

Tabla 14. Presión del sistema.

ALTURA DE DESCARGA Z (m)	PRESION DEL SISTEMA P1 (Pa)	PRESION DELSISTEMA P1 (PSI)
5	151151	22
4	140540	20
3	130730	18,6
2	120920	17,5
1	111110	16
0,5	106205	15,4

Con las alturas de descarga establecidas se realizo el montaje y se procedió a medir los caudales de la bomba por cada frecuencia, tabulando los datos en la tabla 15.

Tabla 15. Variación del caudal vs. Presión del sistema

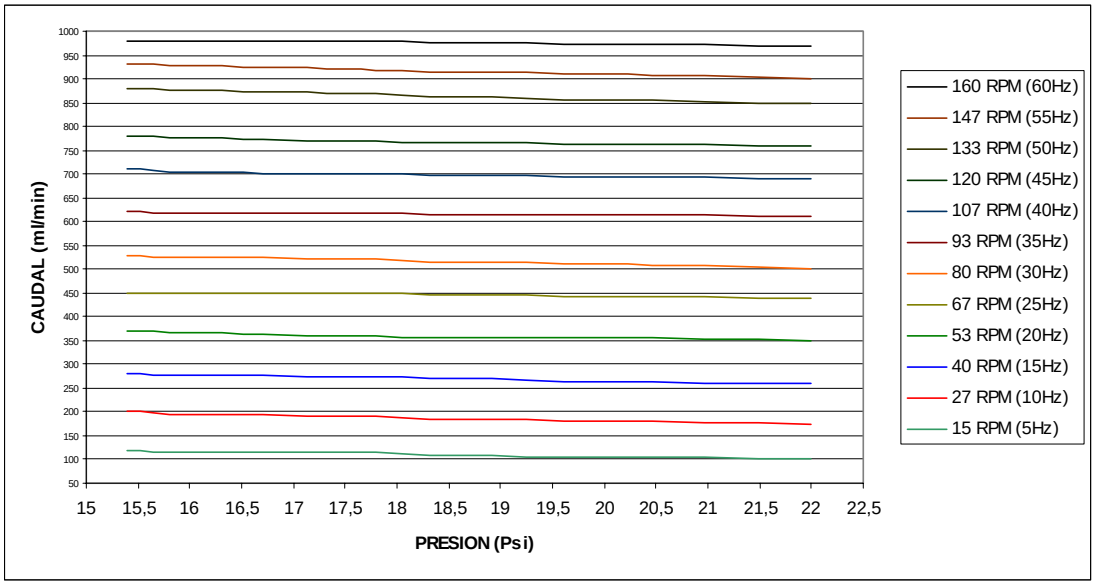
PRESION (PSI)	CAUDAL (ml/min) A 160 RPM (60Hz)	CAUDAL (ml/min) A 147 RPM (55Hz)	CAUDAL (ml/min) A 133 RPM (50Hz)	CAUDAL (ml/min) A 120 RPM (45Hz)
22	970	900	850	760
20	974	910	855	764
18,6	976	915	862	767
17,5	978	920	868	770
16	980	927	875	775
15,4	981	932	880	780

PRESION (PSI)	CAUDAL (ml/min) A 107 RPM (40Hz)	CAUDAL (ml/min) A 93 RPM (35Hz)	CAUDAL (ml/min) A 80 RPM (30Hz)	CAUDAL (ml/min) A 67 RPM (25Hz)
22	690	610	550	440
20	695	613	510	443
18,6	697	615	515	445
17,5	700	617	520	448
16	705	619	525	449
15,4	710	620	530	450

PRESION (PSI)	CAUDAL (ml/min) A 53 RPM (20Hz)	CAUDAL (ml/min) A 40 RPM (15Hz)	CAUDAL (ml/min) A 27 RPM (10Hz)	CAUDAL (ml/min) A 15 RPM (5Hz)
22	350	260	175	100
20	355	265	180	105
18,6	358	270	185	110
17,5	360	273	190	115
16	365	276	195	117
15,4	370	280	200	120

Con los valores de la tabla 15 se graficaron la curvas de PRESION Vs CAUDAL de la bomba peristáltica, para cada RPM, ver figura 82.

Figura 82. Curva Caudal vs. Presión del sistema



Nota: según los requerimientos del sistema la altura máxima de descarga que utilizara la bomba en el circuito de recirculación será un metro, con la prueba realizada anteriormente se garantiza que la bomba podrá entregar a esa altura el rango de caudales especificados en los objetivos del proyecto (0,75 Lt/min – 0,25 Lt/min).

7.7 PUESTA A PUNTO DE LA BOMBA PERISTALTICA

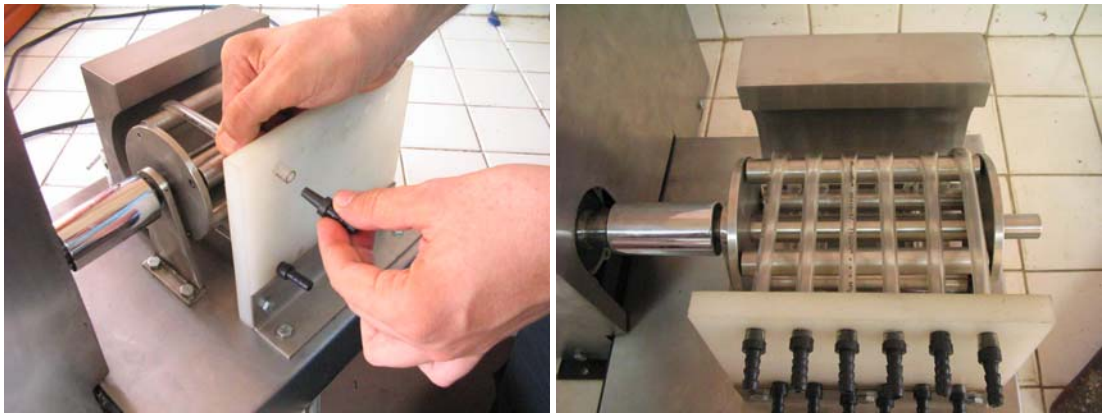
Para un correcto funcionamiento y operación de la bomba peristáltica es recomendado seguir los siguientes pasos:

Paso 1: Desenergizar por completo el equipo, retirando el enchufe de alimentación de la toma de corriente, ver figura 83.

Figura 83. Desenergizacion del sistema.

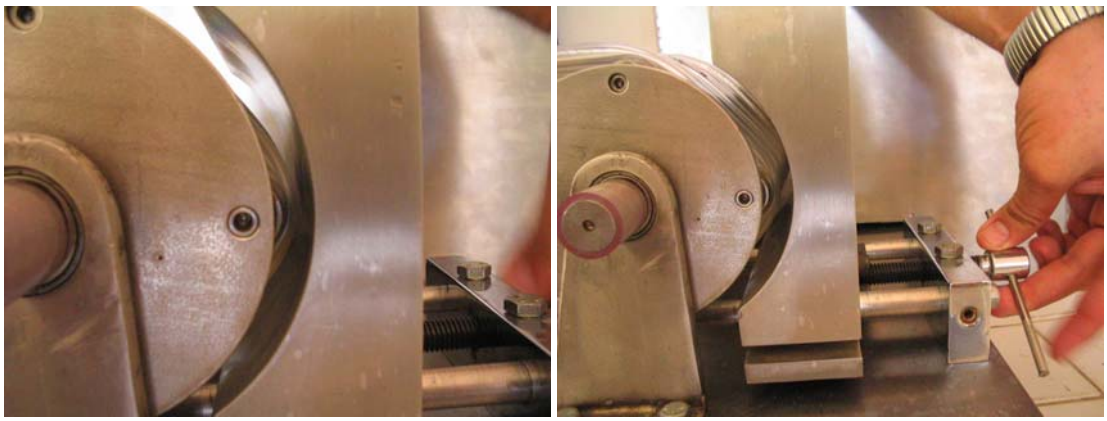
Paso 2: Colocar las mangueras de Tygon a través del rotor si no hay ninguna y verificar que no queden torcidas en el montaje, para después asegurarlas con los conectores al portaconectores, ver figura 84.

Figura 84. Montaje y ajuste de las mangueras



Paso 3: Ajustar el grado de obstrucción o aplastamiento de la manguera haciendo girar el tornillo el cual desplazara la medialuna contra las mangueras, hasta que considere que se ha logrado el sello, se recomienda que este aplastamiento se haga cuando se encuentre un rodillo aproximadamente en la mitad de la superficie cóncava de la medialuna, ver figura 85.

Figura 85. Ajuste del grado de aplastamiento de las mangueras.



Paso 4: Acoplar las salidas y entradas de la bomba con sus respectivos tanques mediante mangueras plásticas y conectores, ver figura 86.

Figura 86. Acople de las mangueras plásticas.

Paso 5: Colocar el papel filtrante en el fondo de los tanques y fijarlo humedeciéndolo con agua.

Paso 6: Depositar el mineral de prueba en el tanque, distribuyéndolo uniformemente.

Paso 7: Vaciar la solución lixiviante sobre el mineral de prueba que se encuentra en el tanque.

Paso 8: Energizar el equipo

Paso 9: Programar en el variador electrónico la frecuencia de operación correspondiente para obtener el caudal necesario en la prueba, ver tabla 16.

Tabla 16. Frecuencia del variador vs. Caudal.

FRECUENCIA (Hz) VARIADOR	CAUDAL PROMEDIO (ml/min)
60	980
55	930
50	880
45	780
40	710
35	620
30	530
25	450
20	370
15	280
10	200
5	120

Paso 10: pulsar el botón verde del variador para colocar en funcionamiento la bomba, si desea cambiar de giro pulse el botón de cambio de giro y el automáticamente lo a hará.

Paso 11: Para verificar la estanqueidad de la bomba, apáguela y observe si hay un retroceso o reflujo en las mangueras que se encuentran en la zona de

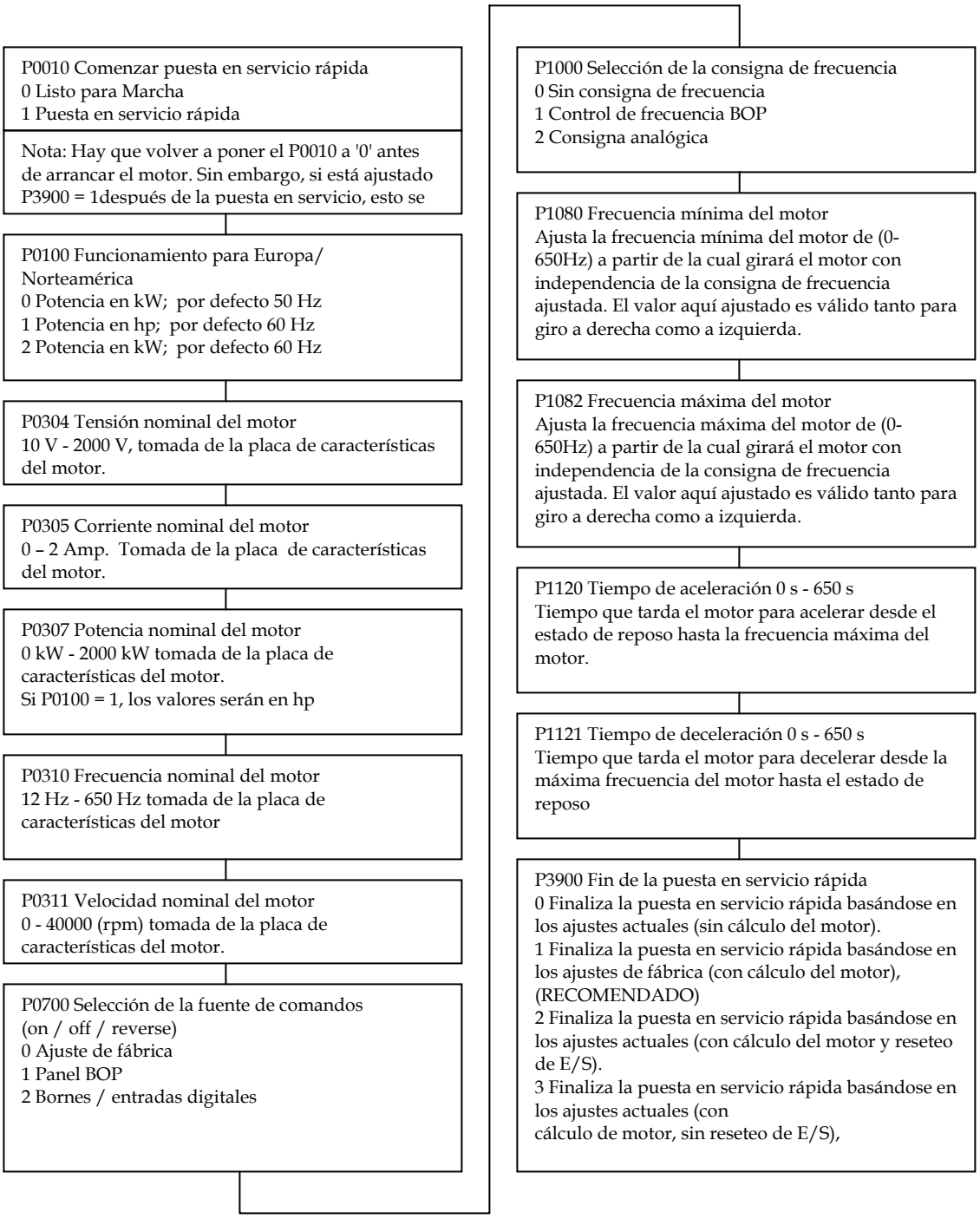
descarga y succión de la bomba, si presenta reflujo aumente el grado de de obstrucción o aplastamiento de la manguera como se dijo anteriormente (Paso 3), encienda la bomba por unos segundos y apáguela de nuevo, repita de nuevo lo anterior hasta que desaparezca el reflujo, ver figura 87.

Figura 87. Estanqueidad de la bomba.

Paso 12: Terminada la prueba, apague la bomba pulsando el botón rojo del variador, aleje la medialuna de las mangueras girando en sentido contrario el tornillo para eliminar el sello, desocupe toda la solución lixiviante de la bomba, de todas las mangueras, de los tanques, desconecte las mangueras plásticas de los tanques y de la bomba y por ultimo desacople las mangueras de tygon.

Paso 13: Desenergizar por completo el equipo, retirando el enchufe de alimentación de la toma de corriente.

7.8 PROGRAMACION PARA PUESTA EN SERVICO DEL VARIADOR



7.9 PRUEBA DE LIXIVIACION DE COBRE

La prueba de lixiviación se realizo en un circuito cerrado (bomba, mangueras platicas y tanque), recirculando la solución lixiviante, con el objetivo de evaluar el funcionamiento general del equipo, el comportamiento de la manguera de tygon con la solución y con los esfuerzos propios del bombeo peristáltico, ver figura 88.

Figura 88. Montaje del circuito de recirculación

La solución lixiviante se preparo teniendo en cuenta las siguientes proporciones, por cada 970 ml de agua 30 ml de ácido sulfúrico (H2SO4), para un total de 1000 ml de solución lixiviante, para la prueba se utilizo un litro y medio de esta solución, ver figura 89.

Figura 89. Solución lixiviante.

Se utilizo papel filtrante dentro de los tanques para evitar que alguna partícula sólida entre a las mangueras y las deteriore prematuramente, el papel filtrante se humedeció con agua para fijarlo al fondo del tanque, ver figuras 90.

Figura 90. Papel filtrante dentro de los tanques.

Para la prueba se utilizo 500 gramos de carbonato, mineral que contiene óxidos de cobre, el cual se distribuyo uniformemente en todo el fondo del tanque, ver figura 91.

Figura 91. Mineral de prueba

Se midió el volumen requerido de solución lixiviante para la prueba, en nuestro caso un litro y medio, el cual se vació sobre el mineral de prueba que se encuentra en el tanque, ver figura 92.

Figura 92. Vaciado de la solución lixiviante sobre el mineral.

Para la prueba se determino que el caudal necesario seria de unos 0,25 Lt/min aproximadamente, con lo cual se programo la frecuencia del variador en 15Hz, la prueba se realizo durante 5 días seguidos, ver figura 93.

Figura 93. Recirculación de la solución lixiviante.

7.10 CONCLUSIONES DE LA PRUEBA DE LIXIVIACION

Terminada la prueba se realizo una inspección general de todas las partes del equipo para detectar posibles fallas de funcionamiento, el procedimiento de dicha inspección fue el siguiente:

- Se desmontaron las mangueras de tygon y se realizo una inspección visual, en busca de marcas puntuales en la superficie de las mangueras, lo cual arrojo como resultado la inexistencia de dichas marcas o desgastes excesivos, garantizando con esto que la bomba presenta un optimo funcionamiento.

- Se llevo a cabo una inspección sobre todos los rodamientos para detectar algún posible corrimiento de los mismos, donde no se percibió ninguna anomalía.

- Se evaluó durante toda la prueba el sistema de conexión de las mangueras (conectores), en busca de posibles fugas, dando como resultado un comportamiento eficiente.

- Se observo que el mecanismo utilizado por la medialuna para aplastar las mangueras funciono de una forma adecuada, ya que impidió el desplazamiento de esta pieza durante toda la prueba, manteniendo una obstrucción constante en todas las mangueras.

8 CONCLUSIONES

- Se logro diseñar y construir una máquina para la realización de pruebas hidrometalurgicas, especialmente para la lixiviación de cobre, lo cual requirió de sus autores un gran trabajo de diseño, fabricación y montaje, para obtener un proyecto que cumpliera con todos sus objetivos propuestos.

- El diseño y la construcción de la bomba peristáltica demuestra la disposición y la colaboración sustentada en acuerdos interdisciplinarios de las Escuelas de Ingeniería Mecánica e Ingeniería Metalúrgica para contribuir con el proceso de implementación y actualización de equipos de laboratorio, para mejorar la investigación y realización de pruebas hidrometalurgicas.

- La bomba peristáltica se diseño y construyo para que tuviese un número fijo de 6 canales por cada cabeza y la posibilidad de acoplar otra cabeza, para una futura expansión de los bancos de prueba en el laboratorio.

- Los materiales utilizados para la construcción de la bomba peristáltica se seleccionaron teniendo en cuenta su resistencia a la corrosión y la abrasión del fluido de trabajo, asegurando así un fluido lixiviante libre de trazas que sean propias de los materiales de la bomba.

- las pruebas realizadas a la bomba peristáltica demuestran que el equipo cumple satisfactoriamente con el rango de caudales propuestos en los objetivos del proyecto (0,75 Lt/min – 0,25 Lt/min).

- La bomba peristáltica utilizo un variador de velocidad electrónico (Micromaster 420) y un moto reductor ambos de la marca SIEMENS, para lograr velocidades de operación de 17 a 160 RPM, indispensables para cumplir con el rango de caudales necesario para las pruebas de lixiviación (0,75 Lt/min – 0,25 Lt/min).

- durante todas las pruebas realizadas con la bomba peristáltica se pudo observar que las mangueras no presentan ningún deterioro o desgaste excesivo, que pueda disminuir su vida útil, lo cual garantiza un correcto funcionamiento del equipo.

- Debido al motor- reductor adoptado la bomba peristáltica puede funcionar continuamente sin ningún problema durante períodos de hasta máximo 7 días.

- El montaje permite un fácil mantenimiento por los pocos componentes desmontables y por la poca herramienta a utilizar.

- Su costo total de fabricación, incluyendo la mano de obra, es aún menor al costo de otras máquinas similares de venta en el mercado.

9 RECOMENDACIONES

- Utilizar siempre para la bomba peristáltica el mismo material y dimensiones de la manguera propuesta en el proyecto.

- Al instalar las mangueras de tygon revisar que no queden giradas o torcidas.

- Controlar el grado de obstrucción o aplastamiento de las mangueras, para evitar un deterioro y desgate prematuro de estas.

- Es indispensable la utilización de papel filtrante, para evitar el paso de partículas sólidas a la bomba, que puedan destruir la manguera.

- Realizar el cambio del aceite del reductor, teniendo en cuenta las horas de operación recomendadas por el fabricante y que se encuentran impresas en la placa del reductor.

- Tener cuidado con todas las parte móviles de la bomba, para evitar lesiones físicas.

- Evitar el contacto con la piel y los ojos cuando se maneje la solución lixiviante antes, durante y después de las pruebas

BIBLIOGRAFÍA

MANRIQUE Milton, División de Investigaciones, Universidad Industrial de Santander, Lixiviación in situ de minerales de cobre de bajo grado, enero 1980.

PINZON Martha Lucia, RAMÍREZ Mercedes Esperanza, Departamento de operaciones y procesos químicos, Universidad Industrial de Santander, Facultad de ciencias físico – químicas, , Lixiviación de concentrados de calcopirita en medio ácido, Bucaramanga 1981.

MCCORMICK José David, RODRÍGUEZ Sonia, Departamento de ingeniería química, Universidad Industrial de Santander, Lixiviación de cobre de minerales mixtos: Óxidos y Sulfuros, Bucaramanga 1981.

DÍAZ José Yebrail, Conferencia sobre Economía de la industria del cobre, Aspectos geológicos de yacimientos cupríferos colombianos, Simposio internacional sobre la actual tecnología del cobre, Noviembre 29 de diciembre 1982.

MAYORGA Raúl, CADENA Elsa Victoria, Facultad de ingeniería química, Universidad Industrial de Santander, Lixiviación de calcopirita en medio ácido con inyección de oxigeno a condiciones ambientes Bucaramanga 1983.

COOPER, Charles W. Department of metallurgical engineering queen´´s university Kingston, Ontario, Canada. Seminario Latino Americano de metalurgia extractiva de cobre, Hydrometallurgy vs. pyrometallurgy in the extraction de copper.

BALBERYSZSKI, Theodore, Hidrometalurgia de cobre procesos recientes, Boletín Técnico N.90.CTE 10901. pp 1-10.

AVELLA Jorge Obtención de cobre por hidrometalurgia de sulfuros, Revista ION, Publicaciones UIS Agosto 1980.

BEER, Ferdinand P., JOHNSTON, E .Rusell Jr. Mecánica vectorial para ingenieros. Quinta edición. McGrawHill. Impreso en España. 1990.

McGILL, David J, KING, Wilton W. Estática, Mecánica para Ingeniería y sus Aplicaciones. Grupo Editorial Ibero América. Impreso en México 1995.

HIBBELER, R.C. Mecánica de Materiales. Editorial Prentice may. Tercera Edición. Impreso en México 1997.

FAIRES, Virgil Moring. Diseño de Elementos de Máquina. Editorial Montaner y Simón S.A. Impreso en España 1970.

PARADA, Alfredo. El Proceso de Diseño en Ingeniería. Publicaciones UIS-2000.

CAPUZ, Salvador. Introducción al Proceso de Producción, Ingeniería Concurrente para el Diseño de Productos. Editorial Alfa-Omega. Impreso en México 2001.

Roldán, José. Formulas y Datos Prácticos para Mecánicos. Editorial Paraninfo. España 1984.

MAURY RAMIREZ, Heriberto. Fundamentos Generales para la Sistematización del Diseño Conceptual de Sistemas Complejos. Memorias Congreso Internacional de Ingeniería Mecánica. Barranquilla 4-7 de Junio de 2002.

VILA PASTOR, Carlos. Diseño para Fabricación y Ensamblaje. Memorias Congreso Internacional de Ingeniería Mecánica. Barranquilla 4-7 de Junio de 2002.

http://www.watson-marlow.com.
http://www. Barnant Technical Library.com.
http://www .ismatec.com/int_e/index.htm.
http://www.apema-srl.com.ar/.
http://www.codelco.cl/educa/divisiones/ norte/info/procesos3.html.
http://www.coleparmer.com.
http://www.eilidicon.com.
http://www.goodfellow.com.
http://www.masterflex.com.
http://www.instechlabs.com.
http://www.ragazzini.it/spa/pompe_pe.html.
http://www.siemensandina.com.
http:// www.watson.com.

ANEXO A.
BOMBAS PERISTALTICAS

JUSTIFICACION

Según las pruebas de lixiviación a realizar en el laboratorio se determino que el equipo mas apropiado a utilizar para este proceso hidrometalúrgico es una bomba peristáltica, equipo que cumple con los objetivos propuestos dentro del proyecto puesto que son ideales para trabajar con fluidos corrosivos o abrasivos (soluciones lixiviantes), ya que el fluido lixiviante solo está en contacto con la tubería "manguera" asegurando un bombeo libre de trazas que sean propias de los materiales de la bomba, mejorando la calidad de las muestras a tomar., lo cual no ocurre con otros tipos de bombas (diafragma, engranajes, pistones, tornillo, paletas, etc.) donde el fluido de trabajo atacaría las partes mecánicas, derivando en costos excesivos y en el peor de los casos la destrucción total de la bomba.

PRINCIPIO PERISTÁLTICO

El principio peristáltico se basa en la presión de dos, tres o más rodillos impulsores que giran y aplastan progresivamente un elemento tubular "Manguera". La alternancia entre el aplastamiento y el restablecimiento del elemento tubular genera un vació y por consiguiente una aspiración continua del fluido y un flujo constante durante la impulsión. Las etapas del principio peristáltico se muestran a continuación.

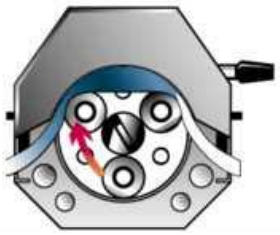
Primera etapa: Mientras que un rodillo pasa sobre la tubería esta es aplastada obligando al líquido a moverse detrás de este, debido a que la tubería aplastada recupera su forma, creando un vacío, y provocando que el líquido detrás de ella llene la manguera. Mientras que el rodillo se mueve más rápidamente, los bolsillos de vacío se crean más rápidamente y el líquido que se mueve a través del sistema toma velocidad. Los rodillos actúan como válvulas de cheque para evitar la pérdida de fluido ver figura 94.

Figura 94 . Primera etapa del principio peristáltico

Fuente http://www.coleparmer.com

Segunda etapa: La distancia entre los rodillos crea una "almohadilla" de líquido. Este volumen es proporcional al diámetro de la tubería y a la geometría del rotor. El caudal es determinado multiplicando la velocidad principal de la bomba (RPM), por el volumen de la almohadilla por el número de almohadillas por revolución. Este volumen de la almohadilla es constante excepto con los líquidos altamente viscosos ver figura 95.

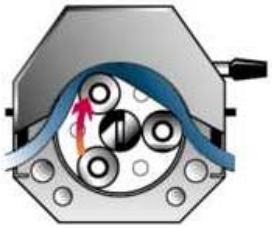
Figura 95. Segunda etapa del principio peristáltico



Fuente http://www.coleparmer.com

Tercera etapa: Después de haber entregado el paquete de fluido atrapado entre dos rodillos, otro nuevo paquete es formado, esta entrega continua de paquetes crea un flujo pulsante propio de esta clases bombas (desplazamiento positivo) ver figura 96.

Figura 96. Tercera etapa del principio peristáltico



Fuente http://www.coleparmer.com

CLASIFICACIÓN DE LAS BOMBAS PERISTÁLTICAS

Las bombas peristálticas se clasifican teniendo en cuenta las siguientes características:

- Según su funcionamiento
- según número de canales
- según la clase de obstrucción
- según el número de rodillos o levas

Tipos de bombas peristálticas según su funcionamiento

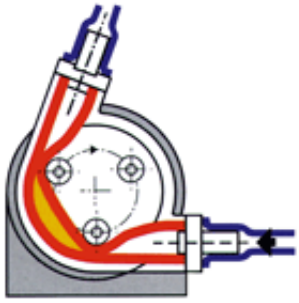
De acuerdo a su funcionamiento existen dos clases:

- Funcionamiento en seco
- Funcionamiento en baño Lubricado

Funcionamiento en seco

Es llamado funcionamiento en seco porque los rodillos no funcionan en un baño lubricado para ocluir la manguera, utilizan el principio de rodadura para minimizar la fricción entre los rodillos y la manguera. ver figura 97.

Figura 97. Funcionamiento en seco.

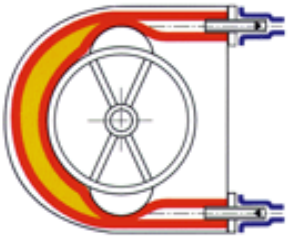


Fuente http://www.coleparmer.com

Funcionamiento en baño Lubricado

Este diseño utiliza dos levas en el rotor que se deslizan para ocluir la manguera. El rotor y la manguera funcionan en un baño lubricado que reduce la fricción en la manguera proporcionándole una vida útil más prolongada, ventaja importante en este tipo de diseño de bomba peristáltica ver figura 98.

Figura 98. Funcionamiento en baño lubricado.



Fuente http://www.coleparmer.com

Tipos de bombas peristálticas según número de canales

Las cabezas de las bombas peristálticas pueden ser de un canal en adelante, cuando la cabeza de la bomba tiene mas de una canal es conocida como bomba con cabeza de múltiples canales, esta es una clase de diseño existente, ya que hay otra forma de conseguir varios canales, es mediante el acople de varias cabezas de un solo canal , estas bombas son conocidas como bombas de múltiples cabezas desacoplables, aunque actualmente ha aparecido un nuevo diseño de bombas peristálticas que conjuga las características de las dos bombas mencionadas anteriormente, y son conocidas como bombas peristálticas de múltiples cabezas desacoplables con múltiples canales.

Bombas peristálticas de múltiples cabezas desacoplables

La ventaja de estas bombas es la de poder desacoplar cualquiera de sus cabezas, reduciendo los canales de operación, lo cual es útil en casos en donde no se necesiten todos canales, a demás por tener cabezas independientes pueden manejar entre cabezas diámetros de tuberías diferentes, cada bomba tiene su propio rotor y además puede presentar obstrucción fija o variables, ver figura 99.

Figura 99. Bombas peristálticas de cabezas múltiples con un solo canal por cabeza.

Fuente http://www.barnant.com

Bombas peristálticas con cabeza de múltiples canales

Estas bombas tiene la capacidad de tener un determinado número de canales fijos por cabeza, según el diseño que presenten utilizan un único rotor para todos los canales, en caso de no necesitar la totalidad de los canales se pueden desacoplar las mangueras que no se necesiten o dejarlas trabajando normalmente pero no se alimentan con el fluido de trabajo, pueden presentar obstrucción fija o variable, ver figura 100.

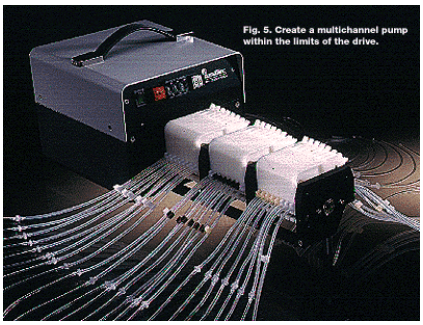
Figura 100. Bombas peristálticas de una cabeza con múltiples canales.

Fuente http://www.barnant.com

Bombas peristálticas de múltiples cabezas desacoplables con múltiples canales

Este diseño tiene la ventaja de tener las características de las bombas anteriores, presenta un numero fijo de canales por cada cabeza y la opción de desacoplar cualquiera de sus cabezas, presenta un solo rotor para todos los canales, y en caso de no necesitar la totalidad de los canales, se pueden quitar las mangueras o las cabezas dependiendo el numero de canales que no se utilicen, ver figura 101.

Figura 101. Bomba peristáltica de tres cabezas de múltiples canales



Fuente http://www.barnant.com

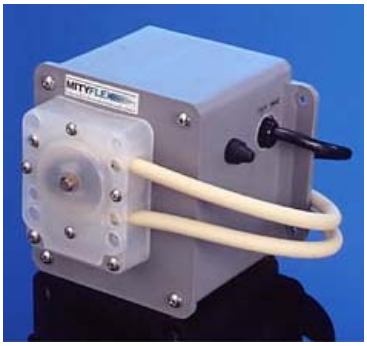
Tipos de bombas según clase de obstrucción

Cuando hablamos de obstrucción nos estamos refiriendo a cuánto control de la obstrucción o plastamiento es el necesario para adaptar la bomba a un correcto funcionamiento, ya que es un parámetro que se relaciona directamente con el caudal de la bomba, de allí que existen dos clases de obstrucción:

- Obstrucción fija.
- Obstrucción variable.

Bombas de obstrucción fija
(Obstrucción única) optimizan el funcionamiento para las aplicaciones repetidas y reducen la posibilidad de error del operador, ellas entrega servicio repetible excelente, ver figura 102.

Figura 102. Bombas peristálticas de obstrucción fija



Fuente http://www.barnant.com

Bombas ajustables

(Obstrucción variable) permiten que la tubería tenga la facilidad de aumentar o reducir las obstrucciones o aplastamientos para mejorar la vida de servicio de la tubería. Los ajustes de menor importancia en caudales son posibles. Esto es provechoso al sincronizar caudales en la bomba de varios canales, existen dos clases de bombas de obstrucción variable:

- Bombas con rotor ajustable.
- Bombas con tensores ajustables.

Bombas con rotor ajustable

Son bombas peristálticas, las cuales su rotor es un mecanismo regulable que permite diferentes rangos de aplastamiento de la manguera contra la superficie circular o medialuna, permitiendo además con este mecanismo la utilización de diferentes diámetros de manguera ver figura 103.

Figura 103. Bombas peristálticas de rotor ajustable

Fuente http://www.barnant.com

Bombas de tensor ajustable

Es otra manera de obstrucción variable, a diferencia de las anteriores su rotor no es ajustable, sino que presentan unos tensores que ajustan la media luna contra las mangueras y ellas a su vez contra el rotor, estos tensores tiene un amplio rango de ajuste, pueden tener un solo tensor en cuyo caso la media luna seria una sola para todas las mangueras ver figura 105, o varios tensores los cuales ajustarían una medialuna para cada manguera ver figura 104.

Figura 104. Bombas peristálticas de varios

Fuente http://www.coleparmer.com

Figura 105. Bombas peristálticas de un tensor

Fuente http://www.coleparmer.com

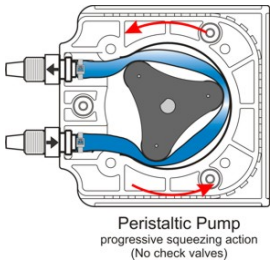
Tipos de bombas según el número de rodillos o levas

Las bombas peristálticas según si diseño y capacidad pueden venir con diferentes configuraciones en cuantos a el numero de rodillos o levas que tendrá el rotor, pocos rodillos o levas en un rotor de tamaño dado, permiten una transferencia fluida más rápida, pero con mayor pulsación, el máximo de levas recomendado es tres. Más rodillos reducen la pulsación y mejoran la exactitud, pero disminuyen caudal y la vida de la tubería. El vacío y la presión de una bomba mejoran mientras que el número de los rodillos que ocluyen la tubería aumenta, ver figura 106 dos rodillos o levas, ver figura 107 tres rodillos o levas y ver figura 108 múltiples rodillos.

Figura 106. Bombas peristálticas de dos rodillos o levas

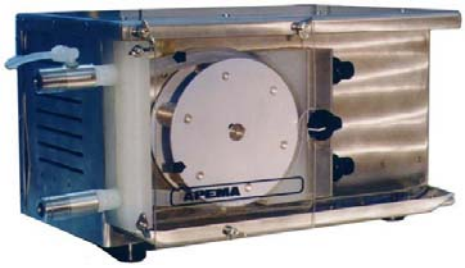
Fuente http://www.coleparmer.com

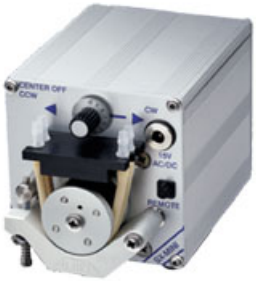
Figura 107. Bombas peristálticas de tres rodillos o levas



Fuente **http://www.coleparmer.com**

Figura 108. Bombas de múltiples rodillos





Fuente http://www.coleparmer.com

VENTAJAS DE LAS BOMBAS PERISTALTICAS

El diseño de las bombas peristálticas da lugar a un sin número de ventajas, haciendo las bombas peristálticas convenientes para una gran variedad de usos. Entre estas ventajas las más importantes son:

- Fluido libre de contaminaciones.
- Manejo de líquidos corrosivos.
- Saneamiento de la tubería.
- Mantenimiento fácil, rápido y económico.

- Capacidades autocebantes.
- Servicio repetible.
- Manejo de productos con cuerpos sólidos en suspensión.
- Buena estanqueidad.
- Múltiples canales.
- Funcionamiento en seco o lubricado.
- Manejo de diferente gama de caudales.
- Reversibilidad del flujo.

Fluido libre de contaminaciones

En la bomba peristáltica el fluido lixiviante solo está en contacto con la tubería "manguera" ya que según su diseño mantiene siempre el líquido bombeado dentro de esta. Esto es importante por dos razones: El líquido no puede contaminar la bomba, y la bomba no puede contaminar el líquido. Esto es una gran ventaja en el transporte de líquidos químicamente agresivos o de gran pureza. Porque el líquido o fluido lixiviante no entra en contacto con empaquetaduras, válvulas, pistones, retenes ni ninguna otra parte mecánica u otras piezas móviles asegurando un bombeo libre de trazas que sean propias de los materiales de la bomba, mejorando la calidad de las muestras a tomar.

La bomba proporciona transferencia fluida apacible; y es capaz de manejar una variedad amplia de líquidos incluyendo los gases, los líquidos viscosos, y los líquidos mezclados con diferentes fases tales como combinaciones de gas/liquido y de sólido /liquido.

Manejo de líquidos corrosivos

Las bombas peristálticas son ideales para trabajar con fluidos corrosivos o abrasivos, ya que la única parte que entra en contacto con el fluido es la tubería, no hay necesidad de preocuparse de la corrosión o desgaste de las piezas de la bomba. Esto también hace que las bombas peristálticas sean la solución ideal para bombear líquidos abrasivos, los cuales desgastarían las partes mecánicas de otros tipos de bombas, dando por resultado la necesidad de reemplazar frecuentemente las piezas o en otros casos la misma bomba.

Saneamiento de la tubería

Las bombas peristálticas también son muy populares en los usos de procesos donde es importante mantener un buen saneamiento de sus mangueras de trabajo para evitar la contaminación de los fluidos. La mayoría de los tipos de tubería de la bomba se pueden esterilizar repetida y fácilmente usando métodos comunes tales como las técnicas del vapor-en-lugar (SIP) y del limpio-en-lugar (CIP). Esto asegura la esterilidad completa del sistema entero de bombeo y hace de las bombas peristálticas un alternativa atractiva en los procesos dependientes de la esterilización ya que es un trabajo de limpieza rápida.

Mantenimiento fácil, rápido y económico

La mayoría de las bombas peristálticas requieren poco mantenimiento para mantener el sistema en la condición de máximo funcionamiento. La tubería se debe sustituir regularmente "vida útil de la manguera" para prevenir derramamientos del fluido de trabajo. Este procedimiento toma típicamente unos pocos segundos, que puede ser una ventaja cuando se utilizan diversos

productos químicos con la misma bomba, ya que cuando se cambian las soluciones, sólo la tubería necesita ser cambiada, y la bomba puede entrar en servicio dentro de pocos minutos. Esto ahorra tiempo y trabajo, y permite que la misma bomba sea utilizada en una variedad de procesos, potencialmente contribuyendo a un significativo ahorro.

En las bombas peristálticas más allá del reemplazo de la tubería, el desgaste y deterioro de las piezas móviles consideradas comúnmente en otras bombas no ocurre. Esto elimina el costo de mantenimiento asociado al frecuente reemplazo y reparación de piezas, y el costo de tiempo muerto resultando del no funcionamiento de la bomba por la pieza que falta.

Capacidades Autocebantes

Las bombas peristálticas generan la suficiente succión para que el líquido o fluido a transportar que se encuentra en el tanque o fuente entre a través de la tubería a la bomba "Auto aspiración en profundidad" , eliminando la necesidad de una succión inundada lo cual es situando la bomba debajo del nivel del tanque o fuente "cebado", proporcionando así flexibilidad en la instalación de la bomba, además la bomba peristáltica permite el trabajo en vació, ya que al comenzar su operación hay aire dentro de las mangueras el cual será reemplazado por liquido o fluido de trabajo ocupando estos espacios de aire y llenando las mangueras.

Servicio repetible

Las bombas peristálticas fijas (obstrucción única) optimizan el funcionamiento para entregar servicio repetible excelente, buena precisión en la dosificación del fluido de trabajo reduciendo errores del operador, son las

más populares para los usos donde es crítica la exactitud de canal a canal, lo cual no se cumple con las bombas ajustables (obstrucción variable) las cuales permiten que la tubería tenga la facilidad de aumentar o reducir las obstrucciones obteniendo caudales variables, Esto es provechoso al sincronizar caudales en la bomba de varios canales.

Manejo de productos con cuerpos sólidos en suspensión

El diseño peristáltico crea una acción que presiona apaciblemente la manguera para mover el líquido a través de la bomba, el líquido bombeado no es sometido a acciones bruscas ni a contactos con materiales de la bomba permaneciendo intacto, la manguera es la única parte de la bomba peristáltica que esta contacto con el fluido y es la encargada de resistir la abrasión de los fluidos o líquidos con componentes sólidos en suspensión o mezclas, los cuales disminuyen la vida útil de la tubería de cualquier bomba, ya que si hay partículas muy grandes o especialmente partículas duras, presionaran la pared de la tubería causando una gran cantidad de desgaste pero con la ventaja de que la tubería se substituye rápida y económicamente, las bombas con obstrucción variable permite que se reduzca la cantidad de la tubería que será aplastada, logrando como resultado menos desgaste en la tubería.

Buena estanqueidad

El sistema peristáltico presenta una buena estanqueidad debido al sello que se forma cuando los rodillos presionan la manguera contra la medialuna logrando que no haya retroceso del fluido de trabajo, consiguiendo así que el paquete o almohadilla de fluido atrapado entre dos rodillos sea constante,

obteniendo un desplazamiento de caudal fijo para la bomba y manteniendo también el vació necesario para la succión.

Múltiples canales

Es importante en los laboratorios de investigación y plantas de producción tener varios canales simultáneamente. Esto puede ahorrar tiempo y recursos, mejorando la eficacia de proceso. Los canales múltiples pueden proporcionar un sin número de ventajas, ejemplo al variar la velocidad del motor inmediatamente variará el flujo en todos los canales. El uso de un motor puede reducir el costo por canal, puede también reducir las necesidades energéticas totales, el número de piezas móviles, y el tamaño del sistema de bombeo. El resultado combinado será un sistema de transporte de fluido o liquido económico de adquirir, de funcionar, y de mantener. El bombeo de varios canales se puede realiza con una bombas de cabezas desacoplables o por bombas de cabeza de varios canales. Los diseños especiales de la bomba pueden entregar hasta 40 canales simultáneamente. Las bombas peristálticas de varios canales se utilizan con éxito en muchas industrias incluyendo la impresión, el proceso farmacéutico, químico, la agricultura, y el tratamiento de aguas.

Funcionamiento en seco o lubricado

Las bombas peristálticas presenta dos alternativas de funcionamiento que dependen del diseño de la bomba, En el llamado funcionamiento en seco los rodillos no funcionan en un baño lubricado para ocluir la mangueras, lo cual incrementa el desgaste y la fricción disminuyendo la vida útil de las mangueras y los rodillos, en el diseño de baño Lubricado se utiliza dos levas

en el rotor que resbalan para ocluir la manguera. El rotor y la manguera funcionan en un baño lubricado que reduce la fricción en la manguera y proporciona una vida útil más prolongada de la manguera, ventaja importante en este tipo de diseño de bomba peristáltica.

Manejo de diferentes gamas de caudales

El caudal en una bomba de obstrucción variable de uno o varios canales puede ser ajustando cambiando esta obstrucción, los fabricantes de bombas peristálticas proporcionan una variedad de palancas, de tornillos, y de perillas mecánicas para ajustar el nivel de obstrucción. El aumento de la obstrucción reducirá el tamaño de la almohadilla y el caudal en el tubo. Los posibles cambios que se pueden conseguir por este método son de hasta ±5% sobre el caudal de la bomba, mientras que las bombas de obstrucción fija siempre entregan un caudal mas o menos exacto y repetible, según los diseños de la bombas peristálticas estas utilizan un motor eléctrico para dar vuelta a un sistema de rodillos o rotor, los cuales forman una almohadilla del líquido entre los rodillos la cual puede variar según las especificaciones de la manguera y la geometría del rotor. El caudal es determinado multiplicando la velocidad del motor (RPM) por el volumen de la almohadilla, este volumen de la almohadilla es constante, por eso un forma efectiva de obtener varios caudales con la misma bomba es variando las (RPM) del motor o cambiando las especificaciones de las mangueras (diámetro).

Reversibilidad del flujo

Las bombas peristálticas tienen la ventaja de que el puerto de succión y descarga presenta las mismas características ya que es una sola manguera continua hecha de un mismo material y de igual dimensión, con lo cual

permite que el cambio de sentido de giro del rotor no afecte el funcionamiento de la bomba, el único cambio es el cambio de dirección del fluido "reversibilidad del flujo", el cual se logra cambiando la polaridad del motor eléctrico, esto permite una mayor flexibilidad de operación de estas bombas en muchos procesos industriales.

DESVENTAJAS DE LAS BOMBAS PERISTALTICAS

Mueven caudales bajos y medianos

El tamaño de la tubería es directamente proporcional al caudal en todas las bombas peristálticas. Los diámetros de la tubería y los tamaños del rotor tienen una gran influencia en el volumen de la "almohadilla" (fluido atrapado en la tubería entre dos rodillos adyacentes en la cabeza de la bomba). Este volumen y las revoluciones (RPM) del motor están relacionados con el caudal de la bomba, que es conocido también como el desplazamiento de la bomba (volumen desplazado por una revolución). Por eso altos caudales requieren tamaños o diámetros más grandes de la tubería, y bajos caudales requieren tamaños o diámetros más pequeños de la tubería, manteniendo unas (RPM) constantes en el motor, ya que si se varían las (RPM) del motor se puede obtener una gama amplia de caudales, pero esto no compensa ni se comparar con el caudal que proporcionan otros tipos de bombas de desplazamiento positivo (engranajes, pistones, paletas, etc.) que pueden lograr caudales de entre uno a cientos de GPM , lo cual comparado con las bombas peristálticas estas desarrollan caudales que pueden variar entre unos cuantos ml/min hasta unos Lt/min, y en diseños especiales alcanzar hasta unos pocos GPM.

Flujo pulsante

Las bombas peristálticas son bombas rotatorias de desplazamiento positivo que tienen como principio la utilización de una manguera la cual es colocada en una cámara o media luna donde es presionada por unos rodillos o levas que forman una almohadilla de líquido que queda atrapada entre dos rodillos, los cuales a su vez se desplazan a través de la manguera empujando el liquido que se transporta por paquetes o almohadillas de volumen constante produciendo un flujo o caudal pulsante, este caudal es determinado multiplicando la velocidad (RPM) del motor por
el volumen de la almohadilla, a velocidades bajas el flujo pulsante es mas notorio y en algunos procesos estas pulsaciones son indeseables, a medida que aumentan la velocidad de motor los paquetes se transportan mas rápido y se trata de eliminar estas pulsaciones.

El material de la manguera depende de La temperatura de operación.

En las bombas peristálticas la gama de temperaturas que se trabajen es una consideración importante para el material de la tubería, ya que las propiedades de la tubería pude afectarse cuando es sometido a cambios de temperatura, algunos materiales están bien adaptados para soportar procesos de alta y baja temperatura, mientras que otros se diseñan para el uso dentro de una gama de temperaturas más estrecha, por eso al seleccionar un material se deben identificar las temperaturas mínimas y máximas posibles en el sistema, y después seleccionar la tubería que pueda funcionar con seguridad dentro de esa gama.

Desgaste de la manguera y rodillos

Una de las grandes limitaciones que presentan las bombas peristálticas esta dada por el desgaste que se presenta en la mangueras y los rodillos, ya que estas bombas para su principio de funcionamiento utilizan un tubo flexible que es presionado por los rodillos los cuales provocan un aplastamiento del tubo causando desgaste prematuro de las dos piezas en contacto, otra falla que se presenta esta dada generalmente por las capacidades del tubo para soportar la presión, ya que cuando la presión dentro del tubo aumenta, el tubo tiene una tendencia a hincharse, presionando contra los rodillos y provocando un desgaste mas rápido tanto de la manguera como de los rodillos, en muchos casos cuando la manguera es sometida a alta presión puede ocurrir que la tubería estalle, creando peligro para el personal próximo. Sin embargo, los avances recientes en materiales de la tubería y tecnología han dado lugar a una nueva generación de tubería flexible que resiste la tendencia a hincharse bajo presión.

Limitaciones en cuanto a vida útil de la manguera (Material de la manguera).

Por ser la tubería la única pieza de la bomba peristáltica que esta en contacto con el líquido que es bombeado, la determinación de la compatibilidad química del material de la manguera, la presión y la temperatura de trabajo son los parámetros que determina la vida útil de la manguera, factor que me determinara ahorro o gasto en mi sistema de bombeo peristáltico, por eso no todos los materiales para manguera existentes en el mercado me proporcionan un buen comportamiento, la solución es fácil un proveedor de tubería para bombas peristálticas con unas extensas especificaciones técnicas

me puede ayudar a tomar la decisión correcta sobre el material optimo de la tubería para la aplicación que necesito.

USOS DE LAS BOMBAS PERISTALTICAS

- Bombeo de mezclas de productos químicos, incluidos ácidos y sustancias de distintos valores de viscosidad.
- Bombeo de polímeros y resinas.
- Bombeo de barros de efluentes.
- Transferencia y dosificación de tintas.
- Llenado y vaciado de tambores.
- Industrias alimenticias, farmacéuticas, galvanoplastia, lecherías, laboratorios, de cosméticos y muchas otras.
- Bombeo de líquidos abrasivos y corrosivos.
- Filtración y separación.

ANEXO B.

Figura 109. MOTORES TRIFÁSICOS DE 4 POLOS.

Tensión conmutable 220/440V. Arranque directo a 220V o 440V. Arranque estrella-triángulo a partir del tipo 1LA7 130 tanto a 220V como a 440V. Ejecución B3, IP54, totalmente cerrados (TEFC). - IP55 para la serie 1LA7 y tamaños constructivos superiores al 250M. ***Los únicos aptos para ser accionados con Variador de Velocidad sin pérdida de potencia.***

Feb. 1/2003

No. de Depósito	Descripción							Precio Lista Unit. - Col. $(*)
	¡Su motor es muy valioso! Protéjalo únicamente con productos Siemens: MICROMASTER							
	1LA7 112				1LA6 225			
	Tipo	**Tamaño Constructivo**	**Potencia HP**	**KW**	**FS**	**Corriente (A) 220V**	**440V**	
	VELOCIDAD 1.800 RPM (4 polos)							
01108	1LA7 070 - 4YC60	71	0.4	0.29	1.05	1.6	0.80	257.800
01109	1LA7 070 - 4YA60	71	0.5	0.37	1.15	1.9	0.95	279.400
01110	1LA7 071 - 4YA60	71	0.6	0.45	1.05	2.2	1.10	292.700
01111	1LA7 073 - 4YA60	71	0.75	0.56	1.15	2.9	1.45	316.400

ANEXO C.
Figura 110. VARIADORES ELECTRÓNICOS DE VELOCIDAD.

Variadores electrónicos de velocidad MM4, 220V

www.ad.siemens.de/micromaster

Para motores trifásicos de corriente alterna.
Nueva serie con más potencias, más rendimiento y para mayor cantidad de aplicaciones.
Fácilmente integrables a redes de comunicación PROFIBUS

Feb. 1/2003

Especificaciones técnicas

Serie 6SE64 Micromáster 420 / 440

Tensión de Alimentación	2AC/3AC 200-240 V +/- 10% 3AC 380-480 V +/- 10%
Frecuencia de Salida	0-650 Hz, resolución 0.01 Hz
Tipo de Protección	IP20
Temperatura de Operación	Máxima 50 °C
Factor de Sobrecarga	150% durante 60 seg. (MM420 y MM440) 200% durante 3 seg. (MM440)
Par constante	Cargas de torque constante, Ejemplo: bandas transportadoras
Par cuadrático	Cargas de torque cuadrático, Ejemplo: bombas, ventiladores

	Entradas/Salidas Digitales	Entradas/Salidas Análogas
Básico	4/1	1/1
Vector	7/3	2/2

El suministro incluye el Panel Operador Básico BOP.

Equipos para tensión de conexión 220V

No. de Depósito	Tipo	Remplaza a	Pot. del motor (HP)[1] Par cons.	Pot. del motor (HP)[1] Par cuad.	Corriente de Entrada (A) 2AC / 3AC	Corriente de Salida (A) Par cons.	Corriente de Salida (A) Par cuad.	Precio Lista Unit. - Col. $(*)
	Serie Básico MM420							
26741	6SE6420-2UC13-7AA0	6SE9212-1CA40	1/2		5.5 / 2.4	2.3		947.000
26742	6SE6420-2UC17-5AA0	6SE9213-6CA40	1		9.9 / 4.3	3.9		1.041.000
26743	6SE6420-2UC21-5BA0	6SE9216-8CB40	2		19.6 / 8.3	7.4		1.321.000

ANEXO D.
Tabla 17. PROPIEDADES DE LAS MANGUERAS PARA BOMBAS PERISTÁLTICAS

ESPECIFICACION	TYGON STANDARD	PHARMED	SILICONA
Ventajas	Manguera de bajo costo, para aplicación en laboratorio, Transparente, ideal para medios inorgánicos, levemente permeable al gas, recomendada para medios viscosos, buenas propiedades dieléctricas, inodora y no toxica.	Ideal para cultivos de células y tejidos no tóxicos ni hemolíticos, impermeable a la luz normal y a la radiación UV, recomendada para medios viscosos, La manguera puede ser unida, enrollada y cortada. Levemente permeable al gas.	Excelente biocompatibilidad, prácticamente no hay segregación de plastificantes ni aditivos, neutra para sustancias no toxicas y poco toxicas, ideal para bajas temperaturas, impermeable, Resistente al ozono, a la radiación y a la luz solar, no se deforma, peroxido de silicona vulcanizado en caliente.
Restricciones	Es posible la segregación de plastificantes vida útil limitada.	Es posible la segregación de aditivos.	No apropiada para solventes concentrados, aceites, ácidos y soda diluida, relativamente alta permeabilidad al gas
Aplicación			
• Condicional • Lejías • Solventes • Presión • Vació • Medio viscoso • Medio estéril	Apropiada No apropiada Apropiada Apropiada Excelente Limitada / Condicional	Apropiada No apropiada Apropiada Excelente Apropiada Excelente	Condicional Apropiada Apropiada No apropiada Satisfactoria Apropiada
Rango temperatura	-50 a +70 °C	-60 a +130 °C	-50 a +230 °C
Propiedades físicas	PVC- Termoplástico, suave y transparente	Elastómero Termoplástico en una base de polipropileno con plastificantes, opaca, excelente resistencia a la tracción.	Polidimetil siloxano con tierra silicea y aditivos de silicona, blanco translucido, excelente resistencia a la presión inicial.

Cumple con los Standard		USP, clase VI FDA 21 CFR 177.2600 NSF (Standard 51)	USP, clase VI FDA 21 CFR 177.2600
Permeabilidad: **CO_2** **H_2** **O_2** **N_2**	 1,7 – 7,4 97 0,7 – 12 0,2 – 3,0.	 **450** **--** **75** **29**	 20132 6579 7961 2763
Limpieza Esterilización	Puede ser esterilizada con oxido de etileno o en autoclave, cubrir la manguera con una tela o papel libre de hilos o fibras y auto lavar a 121°C, 1 bar por 30 min, (la manguera toma un color lechoso), colocarla en aire seco por 2 a 2 horas y media, máx. 66°C hasta que la manguera nuevamente este transparente.	Puede ser autoclavaza cuando no tiene señales de envejecimiento.	Limpiar con agua caliente y jabón, usar solamente jabón sin aditivos de aceites, no usar detergentes, enjuagar con agua destilada, puede ser esterilizada en autoclave en una atmósfera húmeda o por rayo gamma, no puede ser esterilizada con oxidote etileno

* Unidades de permeabilidad: (cm^3 x mm / 5 x cm^2 x cm Hg) x 10^{-10}.

PROPIEDADES DE LAS MANGUERAS PARA BOMBAS PERISTALTICAS

ESPECIFICACION	TYGON PARA ALIMENTOS	TYGON PARA HIDROCARBUROS	VITON
Ventajas	Especial para alimentos, paredes internas lisas, para pruebas con abrasivos, inodora e incolora, fácil para limpiar y secar, buenas propiedades dieléctricas.	Especial para hidrocarburos, productos de aceite mineral y destilados, ideal para el manejo de petróleo, kerosén, aceite de calentamiento, soluciones de corte y enfriadores en una base de glicol., levemente permeable al gas, buenas propiedades dieléctricas.	Altamente resistente a los químicos, excelente resistencia a los medios corrosivos, solventes, y aceites a altas temperaturas, levemente permeable al gas.
Restricciones	Vida útil limitada	No apropiada para ácidos y bases concentradas, es posible la segregación de plastificantes.	Vida útil limitada.

Aplicación			
• Ácidos • Bases • Solventes • Presión • Medio estéril • Medio viscoso • Vació	Apropiada Apropiada No apropiada Apropiada Apropiada Excelente Apropiada	Apropiada Apropiada No apropiada Apropiada Apropiada Excelente Limitada	Excelente. Excelente. Recomendada para varias pruebas Satisfactoria. Apropiada. Apropiada. Apropiada.
Rango temperatura	-40 a +70 °C	-40 a +70 °C	-30 a +200 °C
Propiedades físicas	PVC- Termoplástico, suave y transparente	Termoplástico suave PVC, amarillo translucido	Caucho de fluoruro carbonado termoformado, viton *B (67% fluorado), opaco.
Cumple con los Standard	FDA 21 CFR 177.2600 BA SPP Y NSF (Standard 51). USDA Standard.		
Permeabilidad: **CO_2** **H_2** **O_2** **N_2**	 1,7 – 7,4. 97. 0,7 – 12. 0,2 – 3,0	 1,7 – 7,4. 97. 0,7 – 12. 0,2 – 3,0	 **76 - 79** **--** **13 – 15** **4,3**
Limpieza Esterilización	Puede ser esterilizada con oxido de etileno o en autoclave, cubrir la manguera con una tela o papel libre de hilos o fibras y auto lavar a 121°C, 1 bar por 30 min, (la manguera toma un color lechoso), colocarla en aire seco por 2 a 2 horas y media, máx. 66°C hasta que la manguera nuevamente este transparente	No es recomendada la esterilización.	Puede ser esterilizada a 249 °C por un periodo de 16 horas en una cámara de circulación de aire caliente.

* Unidades de permeabilidad: (cm^3 x mm / 5 x cm^2 x cm Hg) x 10^{-10}.

OTROS MATERIALES DE MANGUERAS PARA BOMBAS PERISTALTICAS

Tubería de Caucho látex: es una alternativa económica como tubería para bombas peristálticas, pero con la desventaja de que presentan una baja resistencia a los hidrocarburos, ácidos, solventes, etc. como producto es especialmente útil porque puede guardar el aire, evitar la humedad y no conduce la electricidad. Sin embargo, su principal característica es su elasticidad.

Tubería de Norprene: es un elastómero termoplástico es un material de Polipropileno-basado con aceite mineral, es excelente para los usos de vació y presión, Resistente al Calor y al ozono, buena resistencia a los ácidos y a los álcalis, es opaco o negro, presenta alta constante dieléctrica, no es recomendado para solventes orgánicos ni líquidos estériles, excelente comportamiento para líquidos viscosos, ideal para trabajo con altas y bajas temperaturas.

Tubería De Vinilo: la tubería de vinilo tiene el coste más bajo de cualquier tubería para bomba peristáltica. Tiene solamente compatibilidad justa para algunos solventes acuosos y no tiene generalmente una tolerancia para muchos solventes orgánicos. Tiene solamente un tercio de la vida de servicio de la tubería del silicón. La tubería del vinilo no se puede esterilizar y no se debe exponer a temperaturas superiores a 80C.

Tubería De Fluoro elastómero: la tubería de Fluoroelastómero es la tubería peristáltica más químicamente inerte y la de más corta vida. Puede soportar incluso los solventes halogenados por un tiempo corto. Debido a la vida corta,

no se recomienda en bombas peristálticas, la tubería de fluoro elastómero se puede esterilizar por corto tiempo en un ciclo mojado sin una reducción significativa en su vida.

Tubería De Teflón: el Teflón es la tubería más inerte. Puede soportar casi cualquier solvente usado en un laboratorio moderno, desde agua destilada a cloruro de metileno. Tiene características termales excelentes permite que sea esterilizado en varias ocasiones. Sin embargo, no debe ser utilizado para el transporte fluido hasta que se ha refrescado.

Tubería De Polietileno: la tubería de polietileno es una alternativa barata a la tubería de Teflón. Como la tubería de Teflón, el polietileno puede manejar la presión perceptiblemente más arriba que cualquiera de otras tuberías flexibles. El polietileno no tiene la estabilidad termal del Teflón así que no debe ser esterilizado.

Otros: Fluorel, butyl, bioprene, marprene, etc.

ANEXO E.
Tabla 18. DIAMETROS DE MANGUERAS PARA BOMBAS PERISTALTICA

MATERIALES:

- PHARMED
- SILICONA
- VITON
- TYGON STANDARD
- TYGON PARA ALIMENTOS
- TYGON PARA HIDROCARBUROS

MANGUERAS					
Diámetro interno (mm)	0,8	1,7	3,1	4,8	6,3
Diámetro externo (mm	4	4,9	6,3	8	9,5
Espesor de pared (mm)	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
Max presión (bar)	0,7/ 1,7	0,7/1,7	0,7/1,7	0,5/1,5	0,5/1,5
Succión (m.w.g)	8,8	8,8	8,8	8,8	6,7

MANGUERAS			
Diámetro interno (mm)	4,8	6,3	7,9
Diámetro externo (mm	9,8	11,3	12,9
Espesor de pared (mm)	2,5	2,5	2,5
Max presión (bar)	0,8/1,8	0,8/1,8	0,8/1,8
Succión (m.w.g)	8,8	8,8	8,8

ANEXO F.
Tabla 19. PROPIEDADES DE LOS ACEROS INOXIDABLES SAE 304 Y SAE 316 (Cia General de aceros S.A.)

SUSTANCIA	Al Cr-Ni (SAE - 304)	Al-Cr-Ni-Mo (SAE - 316)
Acido butírico 5 %	1	1
Ácido cianhídrico 100 %	2	1
Ácido cítrico 5 %	1	1
Ácido clorhídrico (todas las concentraciones)	3	3
Ácido crómico 5 %	1	1
Ácido esteárico 100% hasta 100º C	1	1
Ácido fluorhídrico (todas las concentraciones)	3	3
Ácido fosforito 5 %	1	1
Ácido láctico 5 %	1	1
Ácido linoleico 100% hasta 100º C	1	1
Ácido málico 10-40 % hasta 50 º C	1	1
Ácido muriático (comercial)	3	3
Ácido nítrico hasta 10 % a 80 º C	1	1
Ácido oleico 100 %	1	1
Ácido oxálico 5 %	1	1
Ácido pícrico (todas las concentraciones)	1	1
Ácido sulfhídrico 100 % húmedo (hidrog. Sulf.)	2	1
Ácido sulfúrico 5 % en ebullición	3	3
Ácido sulfúrico fumante (oleum) 50 º C	1	1
Ácido sulfuroso 100 %	1	1
Ácido tartárico 10 % a 100 º C	1	1

1. Los aceros inoxidables de todos los tipos no presentan normalmente peligro de corrosión en condiciones óptimas de empleo en contacto con las sustancias consideradas.
2. Los aceros inoxidables de los tipos indicados, cuando estén en contacto con las sustancias consideradas, presentan posibilidad más o menos marcada de corrosión y por ello es oportuno verificar de vez en

cuando las condiciones de su empleo, consultando literatura específica o a expertos del sector.

3. Los aceros inoxidables indicados presentan notables fenómenos corrosivos cuando se ponen en contacto con las sustancias consideradas en las condiciones indicadas, y por consiguiente se desaconseja su empleo.

ANEXO G. TABLA 20 PROPIEDADES DELOS PLASTICOS INDUSTRIALES (Cia General de aceros S.A)

	NOMBRE GENERICO	SIGLA GENERICA	PROPIEDADES RELEVANTES	APLICACIONES TIPICAS	PRESENTACION
NYLON	Nylon natural	PA6	Altas propiedades mecánicas tenacidad alta.	Elementos y piezas de maquina que involucran cargas de diseño y trabajo considerables	Barra-Lámina-Tubo
	Nylon Negro	PA66+MoS2	Mayor resistencia térmica Aditivo con Molibdeno	Piezas y elementos de poca exigencia mecánica mejorando su capacidad de carga y lubricidad	Barra
	Nylon Rojo	PA6+ Lubricante	Altas propiedades mecánicas con lubricante sólido	Bujes y casquetes de rotación relativa, reemplazando los bronces, tornillos sinfín en transmisiones Sinfín-corona	Barra-Lámina-Tubo
POLIETILENO	Polietileno Natural	UHMWPE Virgen (Ultra alto peso molecular)	Bajo coeficiente de fricción Excelente resistencia química Resistencia al desgaste e impacto	Revestimientos para ductos o tolvas con materiales abrasivos, piezas de mediana exigencia mecánica, platinas de deslizamiento, juegos de manejo de botellas	Barra-Lámina
	Polietileno Negro	UHMWPE+Aditivo UV (Ultra alto peso molecular)	Bajo coeficiente de fricción Excelente resistencia química Resistencia al desgaste e impacto Resistencia UV para intemperie	Revestimientos para ductos o tolvas con materiales abrasivos, piezas de mediana exigencia mecánica, platinas de deslizamiento, juegos de manejo de botellas, defensas para muelles, aplicaciones a intemperie	Lámina
	Polietileno Amarillo	UHMWPE+ Cerámica (Ultra alto peso molecular)	Bajo coeficiente de fricción Alta resistencia al desgaste por deslizamiento y fricción	Material de empleo especial en la industria papelera para protección de las mallas formadoras de papel. Platinas especiales de desgaste	Lámina
POLIPROPILENO	Polipropileno Natural	PP (Polipropileno Homopolímero)	Excelente resistencia química Muy buena recuperación elástica Resistencia estructural	Maquinas para galvanoplastia, bases para troqueles, perfiles de guillotinas, tanques para productos químicos	Lámina
POLIACETAL	Poliacetal Natural	POM (Poliacetal Homopolímero)	Excelente estabilidad dimensional en ambientes húmedos Aprobado por FDA Rango elástico elevado Alta dureza y rigidez	Fabricación de elementos para embotellado, piezas en ambientes húmedos, levas guías, seguidores; típico en industria de alimentos	Barras-Lámina
TEFLON	Teflón	POM (Poliacetal Homopolímero)	Inercia química Resistencia al calor Excelentes propiedades dieléctricas Resistencia y flexibilidad Bajo coeficiente de fricción naturaleza antiadhesiva Resistencia a la humedad Resistencia al clima	Componentes de válvula, componentes de bombas, mecánicos, aplicaciones antiadhesivas, bandas transportadoras, entre otras	Barra- Tubo

ANEXO H.

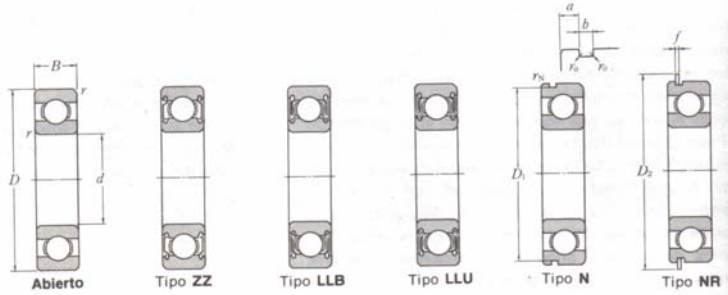
TABLA AT 4. PROPIEDADES TIPICAS DE LOS ACEROS INOXIDABLES (Elementos de maquinas, Faires)

MATERIAL N. AISI	LIMITE DE FLUENCIA A TRACCION (SY)	
	Kg/ cm²	**ksi**
301, ¼ duro	5273(h)	75(h)
302, recocido	2601(h)	37(h)
302, ¼ duro	5273(h)	75(h)
303, recocido	2640(h)	35(h)
304, recocido	2640(h)	35(h)
316 trabajado en frio	4218(h)	60(h)
321, recocido	2640(h)	35(h)

ANEXO I.

TABLA DE SELECCIÓN DE RODAMIENTOS DE BOLAS.

Rodamientos Rigidos de Bolas

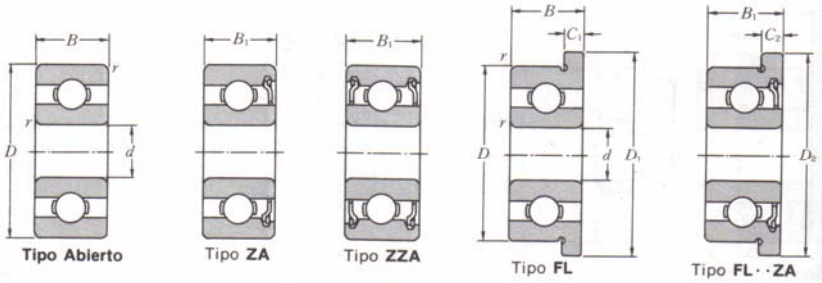


Abierto | Tipo **ZZ** | Tipo **LLB** | Tipo **LLU** | Tipo **N** | Tipo **NR**

d 10—20 mm

Dimensiones principales (mm)				Capacidad básica de carga N		Velocidad límite r.p.m.			Numeros de rodamientos Tipo					
				dinámica	estática	grasa	aceite							
d	D	B	$r_{s\,min}$	C_r	C_{or}	Z,ZZ LB,LLB	Z,LB	LU,LLU	abierto	ZZ	LLB	LLU	N	NR
	15	3	0.1	1 010	555	36 000	42 000	—	6700	—	—	—	—	—
	19	5	0.3	1 830	925	32 000	38 000	24 000	6800	ZZ	LLB	LLU	—	—
	22	6	0.3	2 700	1 270	30 000	36 000	21 000	6900	ZZ	LLB	LLU	N	NR
10	26	8	0.3	4 550	1 960	29 000	34 000	21 000	6000	ZZ	LLB	LLU	—	—
	30	9	0.6	5 100	2 390	25 000	30 000	18 000	6200	ZZ	LLB	LLU	N	NR
	35	11	0.6	8 200	3 500	23 000	27 000	16 000	6300	ZZ	LLB	LLU	N	NR
	18	4	0.2	1 070	655	32 000	38 000	—	6701	—	—	—	—	—
	21	5	0.3	1 920	1 040	29 000	35 000	20 000	6801	ZZ	LLB	LLU	—	—
	24	6	0.3	2 890	1 460	27 000	32 000	19 000	6901	ZZ	LLB	LLU	N	NR
12	28	7	0.3	5 100	2 390	26 000	30 000	—	16001	—	—	—	—	—
	28	8	0.3	5 100	2 390	26 000	30 000	18 000	6001	ZZ	LLB	LLU	—	—
	32	10	0.6	6 100	2 750	22 000	26 000	16 000	6201	ZZ	LLB	LLU	N	NR
	37	12	1	9 700	4 200	20 000	24 000	15 000	6301	ZZ	LLB	LLU	N	NR
	21	4	0.2	1 150	790	29 000	34 000	—	6702	—	—	—	—	—
	24	5	0.3	2 080	1 260	26 000	31 000	17 000	6802	ZZ	LLB	LLU	—	—
	28	7	0.3	4 100	2 060	24 000	28 000	16 000	6902B	ZZ	LLB	LLU	N	NR
15	32	8	0.3	5 600	2 840	22 000	26 000	—	16002	—	—	—	—	—
	32	9	0.3	5 600	2 840	22 000	26 000	15 000	6002	ZZ	LLB	LLU	N	NR
	35	11	0.6	7 750	3 600	19 000	23 000	15 000	6202	ZZ	LLB	LLU	N	NR
	42	13	1	11 400	5 450	17 000	21 000	12 000	6302	ZZ	LLB	LLU	N	NR
	23	4	0.2	1 200	865	26 000	31 000	—	6703	—	—	—	—	—
	26	5	0.3	2 810	1 720	24 000	28 000	15 000	6803A	ZZ	LLB	LLU	—	—
	30	7	0.3	4 650	2 580	22 000	26 000	14 000	6903	ZZ	LLB	LLU	N	NR
	35	8	0.3	6 800	3 350	20 000	24 000	—	16003	—	—	—	—	—
17	35	10	0.3	6 800	3 350	20 000	24 000	14 000	6003	ZZ	LLB	LLU	N	NR
	40	12	0.6	9 600	4 600	18 000	21 000	12 000	6203	ZZ	LLB	LLU	N	NR
	47	14	1	13 500	6 550	16 000	19 000	11 000	6303	ZZ	LLB	LLU	N	NR
	62	17	1.1	22 700	10 800	14 000	16 000	9 500	6403	—	—	—	—	—
	27	4	0.2	1 790	1 320	23 000	28 000	—	6704	—	—	—	—	—
	32	7	0.3	4 000	2 470	21 000	25 000	13 000	6804	ZZ	LLB	LLU	N	NR
	37	9	0.3	6 400	3 700	19 000	23 000	12 000	6904	ZZ	LLB	LLU	N	NR
20	42	8	0.3	7 900	4 500	18 000	21 000	—	16004	—	—	—	—	—
	42	12	0.6	9 400	5 050	18 000	21 000	11 000	6004	ZZ	LLB	LLU	N	NR
	47	14	1	12 800	6 650	16 000	18 000	10 000	6204	ZZ	LLB	LLU	N	NR
	52	15	1.1	15 900	7 900	14 000	17 000	10 000	6304	ZZ	LLB	LLU	N	NR

B-8



Tipo Abierto | Tipo **ZA** | Tipo **ZZA** | Tipo **FL** | Tipo **FL··ZA**

d 5～9 mm

Dimensiones principales mm								Capacidad básica de carga N		Velocidad límite r.p.m.	
d	D	B	B_1	D_1	D_2	C_1	C_2	$r_{s\,min}$	dinámica C_r	estática C_{or}	grasa	aceite
5	8	2	2.5	9.2	9.2	0.6	0.6	0.08	292	142	49 000	57 000
	9	2.5	3	10.2	10.2	0.6	0.6	0.15	500	211	46 000	55 000
	10	3	4	11.2	11.6	0.6	0.8	0.15	715	276	45 000	52 000
	11	—	4	—	12.6	—	0.8	0.15	715	282	43 000	51 000
	11	3	5	12.5	12.5	0.8	1	0.15	715	282	43 000	51 000
	13	4	4	15	15	1	1	0.2	1 080	430	40 000	47 000
	13	—	5	—	15	—	1	0.2	1 080	430	40 000	47 000
	14	5	5	16	16	1	1	0.2	1 330	505	39 000	46 000
	16	5	5	18	18	1	1	0.3	1 760	680	37 000	44 000
	19	6	6	—	—	—	—	0.3	2 340	885	34 000	40 000
6	10	2.5	3	11.2	11.2	0.6	0.6	0.1	530	240	43 000	51 000
	12	3	4	13.2	13.6	0.6	0.8	0.15	830	365	40 000	47 000
	13	3.5	5	15	15	1	1.1	0.15	1 080	440	39 000	46 000
	15	5	5	17	17	1.2	1.2	0.2	1 350	530	37 000	44 000
	16	6	6	—	—	—	—	0.2	2 170	845	36 000	42 000
	17	6	6	19	19	1.2	1.2	0.3	2 190	865	35 000	42 000
	19	6	6	22	22	1.5	1.5	0.3	2 340	885	34 000	40 000
7	11	2.5	3	12.2	12.2	0.6	0.6	0.1	555	269	40 000	47 000
	13	3	4	14.2	14.6	0.6	0.8	0.15	825	375	38 000	45 000
	14	3.5	5	16	16	1	1.1	0.15	1 170	510	37 000	44 000
	17	5	5	19	19	1.2	1.2	0.3	1 610	715	35 000	41 000
	19	6	6	—	—	—	—	0.3	2 240	910	34 000	40 000
	22	7	7	—	—	—	—	0.3	3 350	1 400	32 000	37 000
8	12	2.5	3.5	13.2	13.6	0.6	0.8	0.1	575	298	38 000	45 000
	14	3.5	4	15.6	15.6	0.8	0.8	0.15	820	385	36 000	43 000
	16	4	5	18	18	1	1.1	0.2	1 260	585	35 000	41 000
	19	6	6	22	22	1.5	1.5	0.3	1 990	865	33 000	39 000
	22	7	7	25	25	1.5	1.5	0.3	3 350	1 400	32 000	37 000
	24	8	8	—	—	—	—	0.3	4 000	1 590	31 000	36 000
9	14	3	4.5	—	—	—	—	0.1	920	465	36 000	42 000
	17	4	5	19	19	1	1.1	0.2	1 720	820	33 000	39 000
	20	6	6	—	—	—	—	0.3	2 480	1 090	32 000	38 000
	24	7	7	—	—	—	—	0.3	3 400	1 450	31 000	36 000
	26	8	8	—	—	—	—	0.3	4 550	1 960	30 000	35 000

ANEXO J.
PARAMETROS A TENER EN CUENTA EN LA SELECCIÓN DE UN SISTEMA DE BOMBEO PERISTALTICO

PARÁMETROS AL SELECCIONAR UNA BOMBA PERISTÁLTICA

La selección de una bomba peristáltica para cualquier uso es un paso crítico. El uso de una bomba apropiada elimina los problemas innecesarios que pueden aparecer durante la operación. Las siguientes son características a considerar en la selección de una bomba peristáltica:

Gama de flujo

los requisitos de la gama del flujo dictan el tamaño de la tubería y en última instancia del tipo de cabeza de la bomba para un uso específico.

Materiales de construcción

Los materiales apropiados utilizados en la construcción de las bombas ayudan a soportan la exposición a los líquidos agresivos o a los ambientes corrosivos. Las cabezas de las bombas con cuerpos plásticos de alto rendimiento proporcionan un peso ligero además de ser un producto químicamente resistente, ver figura 111.

Figura 111. Materiales de construcción

Fuente http://www.coleparmer.com

Número de rodillos

Pocos rodillos en un rotor de tamaño dado, permiten una transferencia fluida más rápida, pero con mayor pulsación. Más rodillos reducen la pulsación y mejoran la exactitud, pero disminuyen caudal y vida de la tubería. El vacío y la presión de una bomba mejora mientras que el número de los rodillos que ocluyen la tubería aumenta, ver figura 112.

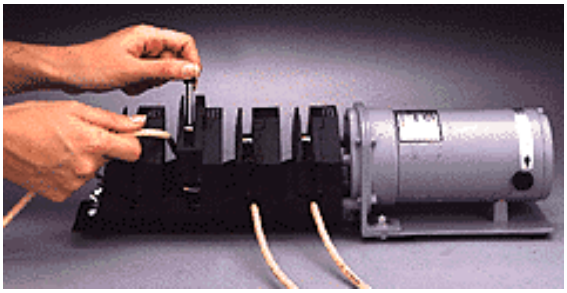
Figura 112. Número de rodillos.

Fuente http://www.coleparmer.com

Facilidad de cambio de la tubería

El método para el cambio de la tubería afecta grandemente la satisfacción del usuario con la bomba. El servicio farmacéutico, alimenticio, y demás usos requieren con frecuencia varios cambios de la tubería sobre el curso de un día. En vista del tiempo ahorrado durante limpieza general o cambios, las bombas de fácil cambio traducen ahorros de trabajo y dinero, ver figura113.

Figura 113. Facilidad de cambio de la tubería



Fuente http:// www.masterflex.com.

Diámetro de la tubería

El diseño de una bomba peristáltica que acepta solamente un tamaño de tubería puede maximizar el funcionamiento (vida de la tubería, presión y vacío). Una bomba diseñada para manejar una gama de tamaños de tubería tiene algunas características de diseño hechas en promedio. Esto da al usuario mayor flexibilidad en la gama de caudales a manejar con una sola cabeza de la bomba pero no con un máximo funcionamiento.

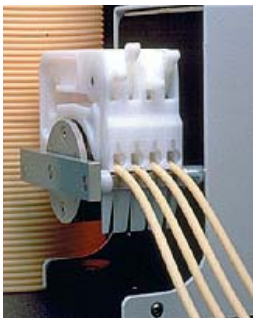
Obstrucción fija o variable

¿Cuánto control de la obstrucción es bastante para adaptar la bomba? Las bombas fijas (obstrucción única) optimizan el funcionamiento para las aplicaciones repetidas y reducen la ocasión del error del operador, ellas entrega servicio repetible excelente.Las bombas ajustables (obstrucción variable) permiten que la tubería tenga la facilidad de aumentar o reducir las obstrucciones para mejorar la vida de servicio de la tubería. Los ajustes de menor importancia en caudales son posibles. Esto es provechoso al sincronizar caudales en bombas de varios canales.

Numero de canales

Un factor importante en la selección de las bombas peristálticas es determinar si necesito un solo canal o varios canales simultáneamente, esto depende fundamentalmente del proceso o aplicación de la bomba, lo cual puede ahorrar tiempo y recursos, mejorando la eficacia del proceso, ver figura 114.

Figura 114. Número de canales.



Fuente http:// www.masterflex.com.

Numero de cabezas

En las bombas peristálticas el numero de cabezas dependen en gran parte de la cantidad de canales que se necesiten en el proceso, el usuario puede seleccionar que clase de cabeza es la mas conveniente, si necesita una bomba fija o variable de una o varias cabezas, o una bomba fija o variable de una cabeza con múltiples canales, buscando siempre obtener que configuración se acomoda mejor a la aplicación que necesita, ver figura 115.

Figura 115. Número de cabezas.

Fuente http:// www.masterflex.com.

PARÁMETROS AL SELECCIONAR LA TUBERÍA DE LA BOMBA PERISTÁLTICA

Las bombas peristálticas, ofrecen un bombeo libre de contaminación y el mantenimiento relativamente bajo, sin embargo, al diseñar o comprar sistemas de bomba peristálticos, muchos ingenieros pasan por alto un componente importante "la tubería de la bomba peristáltica". La tubería es una pieza esencial de una bomba peristáltica; sin embargo, los usuarios finales frecuentemente no seleccionan adecuadamente la tubería para sus usos. Algunos usuarios incluso substituyen la tubería de uso general por la tubería peristáltica de la bomba, a menudo con resultados desastrosos.

Compatibilidad Química

El material de la tubería debe ser compatible con el líquido bombeado proporcionando un buen funcionamiento, así como seguridad. Con una gran gama de materiales de tubería peristáltica, los usuarios pueden encontrar una formulación conveniente para casi cualquier producto químico, ver figura 116.

Figura 116. Compatibilidad química.

Fuente http:// www.masterflex.com.

Muchos distribuidores de tubería proporcionan cartas de compatibilidad química. Sin embargo, es importante que los ingenieros utilicen una carta diseñada específicamente para la tubería de la bomba en vez de una carta de una tubería de uso general. Una tubería de uso general que consigue un grado aceptable para el contacto con un producto químico dado no pude soportar la exposición a este producto químico cuando esta sujeta a las tensiones físicas del bombeo peristáltico. Por esta razón, los usuarios deben asegurar los grados de compatibilidad para la tubería de la bomba en vez de una tubería de uso general. La selección errónea podría dar lugar a la falla del tubo, que podrían estropear la bomba o crear una situación peligrosa.

Al usar cartas químicas de compatibilidad como guía, los usuarios deben comprobar cada componente de la solución, no solo el ingrediente principal contra el material que se utilizará. Incluso los rastros de algunos ácidos o solventes pueden ser suficientes para destruir la tubería de la bomba cuando la tubería se expone a los materiales por horas o días. Los usuarios deben comprobar cada producto químico que abarque una solución para asegurar que la tubería puede manejarla sin sufrir danos.

Es también importante recordar que la resistencia química disminuye mientras que la temperatura aumenta. Los productos químicos que no tienen ningún efecto en la tubería a temperatura ambiente podrían atacar la tubería a temperaturas elevadas. La carta química de compatibilidad debe indicar qué condiciones, particularmente temperatura, fueron utilizadas para determinar la compatibilidad.

Si un producto químico no se enumera dentro de la carta de compatibilidad, o si las condiciones de funcionamiento de una planta son perceptiblemente diferentes de ésas usadas para determinar los grados de producto-resistencia,

una prueba de inmersión puede proporcionar una información más útil. Este método puede ayudar a determinar compatibilidad química cuando no existe ninguna otra información.

En una prueba de inmersión, un pedazo pequeño de tubería se pesa, y se miden su diámetro y longitud. La tubería entonces se sumerge en un recipiente cerrado con el producto químico en un mínimo de 48 horas. Luego, el pedazo de la prueba de tubería se saca, se seca, se pesa y se mide, y se registra cualquier cambio. La tubería también se debe examinar para las muestras de ablandamiento o fragilidad, que indican que el producto químico ha atacado la tubería.

Una vez que un material se haya identificado, una prueba en la bomba debe ser realizada bajo las condiciones del proceso real. Si sobrevive la tubería a la prueba sin la decoloración, hinchazón, agrietamiento, pérdida de flujo u otras muestras de deterioro, entonces es compatible con el líquido.

La compatibilidad química varía extensamente entre los diversos materiales y soluciones, pero algunos materiales tienen resistencia química total excelente. La tubería de Viton, por ejemplo, es resistente a muchos productos químicos inorgánicos y uniforme a algunos solventes orgánicos, y el polytetrafluoroethylene (PTFE) es compatible con casi todas las sustancias. Sin embargo el PTFE es una tubería rígida, requiere un bombeo especial cuando es utilizado en bombas peristálticas. Un material de tubería con amplia resistencia química puede ser la mejor opción, especialmente si la bomba es utilizada con más de un producto químico agresivo.

Presión

Los usos de las bombas peristálticas han sido limitados típicamente por la capacidad de presión que soporta la tubería. Los materiales típicos de la tubería de la bomba tienen grados de presión de funcionamiento que están cerca de 10 libras por pulgada cuadrada (PSI) a 40 PSI, con materiales suaves tales como el silicón en el extremo inferior de la gama y materiales más firmes tales como Norprene® en el extremo mas alto de la gama. Sin embargo, los recientes avances han producido materiales de alta presión, ampliando la gama de presiones para los materiales utilizados en las tuberías, tales como PharMed® de alta presión hasta 125 PSI.

Antes de seleccionar un material de tubería, los usuarios primero deben estar seguros que han identificado todas las fuentes de presión en el sistema y tener una lectura exacta de la presión de sistema total. Al seleccionar un material de la tubería para el uso en una bomba peristáltica, los usuarios deben asegurarse siempre que la presión en el sistema no excede la presión de funcionamiento recomendada en la tubería. Si la presión es demasiado alta, la tubería podría hincharse, dando por resultado un ajuste incorrecto durante el bombeo, causando excesivo desgaste de la tubería. Si la presión de sistema se excede considerablemente podría incluso estallar la tubería creando situaciones de peligro para el operario. Una vez que se seleccione un material, es importante que se use dentro de las recomendaciones hechas por el fabricante. Si el sistema excede la presión de funcionamiento máxima, una válvula de presión o un interruptor de presión simple se puede instalar para prevenir la acumulación excesiva de la presión, permitiendo que la presión de sistema caiga a un nivel más seguro. Un interruptor de presión más

sofisticado utiliza un rele eléctrico para apagar el equipo o para sonar un alarma cuando la presión del sistema excede el punto critico. Cualquier método es una buena medida de seguridad cuando la presión de sistema alcanza niveles excesivos.

Temperatura

La gama de temperaturas de trabajo del material de la tubería es otra consideración importante. Algunos materiales tales como silicón tienen una gama de temperaturas relativamente amplia y están bien adaptados a los procesos que combinan alta y baja temperatura, mientras que otros tales como Tygon® y C-Flex® se diseñan para el uso dentro de una gama de temperaturas más estrecha. Antes de seleccionar un material, los usuarios deben identificar las temperaturas mínimas y máximas posibles en el sistema, y después seleccionar la tubería que pueda funcionar con seguridad dentro de esa gama.

Si un proceso funciona con temperaturas elevadas, los usuarios finales deben considerar el efecto de la temperatura en las capacidades químicas, la resistencia y la presión. Mientras que la temperatura aumenta, la presión de funcionamiento para un tubo dado disminuye.

Dimensiones de la tubería

Las bombas peristálticas entregan cantidades fijas de líquido con cada paso de un rodillo sobre el tubo, el tamaño del tubo tiene un efecto directo en la cantidad de líquido entregado. Así, las dimensiones de la tubería tienen un gran impacto en la operación del sistema de desplazamiento del fluido.

La tubería de la bomba es una parte esencial del diseño de una bomba peristáltica de buena calidad. Las bombas bien diseñadas se dirigen para trabajar con un tamaño de tubería o una gama de tamaños de tubería, considerando el grosor del tubo o la pared. El diámetro interior determina la cantidad de líquido entregada con cada vuelta del rotor. El grueso de pared afecta la capacidad de la tubería de reestablecer su forma original después de cada compresión, lo cual tiene una gran influencia en la vida total de la tubería.

Los rodillos de la bomba deben comprimir la tubería suficientemente para producir un sello perfecto, ya que si no se logra esta condición se conduciría un flujo escaso. Por otra parte, si la tubería de la bomba es demasiado grande, el exceso de material puede pellizcarse en los rodillos, en la cubierta o medialuna o con el sistema de obstrucción de la bomba, causando desgaste excesivo y falla prematura. Al elegir el tamaño de la tubería, los usuarios deben seguir siempre las recomendaciones del fabricante de la bomba asegurando así un buen funcionamiento del sistema.

Si la exactitud es imprescindible en un proceso, entonces las dimensiones de la tubería juegan un papel importante. Incluso las variaciones pequeñas en las dimensiones pueden causar desviaciones inaceptables en el caudal o la cantidad de líquido insuficiente. La tubería para bombas peristálticas de dimensiones cercanas a los tamaños recomendados por el fabricante de la bomba no es a menudo adecuado para un funcionamiento óptimo y exacto, los usuarios deben siempre utilizar el tamaño exacto de la tubería recomendado para la bomba.

Tolerancias

La tolerancia mide cuánta variación existe en las dimensiones de la tubería. Cuando las tolerancias varían grandemente, la bomba puede ser impredecible. Por eso es aconsejable que en lo posible se respeten las tolerancias y todas las especificaciones dadas, y utilizar siempre la tubería recomendada por el fabricante, ya que haciendo caso a esas recomendaciones se obtendrá un bombeo mas controlado y exacto, vale la pena el gasto extra, ver figura 117.

Figura 117. Tolerancias.

Fuente http://www.barnant.com

Vida útil de la tubería

Algunos materiales son inherentemente buenos en resistir los rigores del bombeo peristáltico y típicamente duran mucho mas tiempo que los materiales menos elásticos. Un material con una vida útil larga proporciona un funcionamiento más barato. La tubería necesita frecuentemente ser reemplazada, y el mantenimiento cuesta y el tiempo fuera de servicio mucho más, una tubería con una vida útil larga reduce los costos totales de la bomba. Los fabricantes de tuberías para bombas deben proporcionar los datos de prueba que garantizan la vida útil de la tubería. De cualquier modo, es

importante para los ingenieros conocer la vida útil de un material para diseñar un sistema eficaz. El conocimiento de la vida útil también ayudará a los usuarios a desarrollar un mantenimiento preventivo que planea reemplazar la tubería antes de que falle. Un proveedor de tuberías para bombas con una extensa especificación técnica puede ayudar a los usuarios a tomar una decisión acertada sobre el material de la tubería correcto para una aplicación.

Resistencia a la abrasión en el bombeo

Las bombas peristálticas son excelentes para bombear mezclas abrasivas por varias razones, la acción de bombeo peristáltico produce un movimiento apacible del líquido reduciendo el desgaste de la tubería, la única pieza de la bomba que tiene contacto con el líquido es un pedazo liso de tubería no hay guarniciones o válvulas que las partículas puedan obstruir. Los materiales abrasivos pueden reducir la vida útil de la tubería de cualquier bomba, pero la tubería se substituye rápida y económicamente. Es bueno tener en cuenta las siguientes sugerencias para conseguir el funcionamiento máximo de su bomba peristáltica:

- **Elija la tubería resistente a la abrasión.**

  Norprene® y PharMed® tienen buena resistencia a la abrasión, mientras que el Tygon® , silicón y Viton® son moderadamente resistentes al desgaste de los materiales abrasivos.

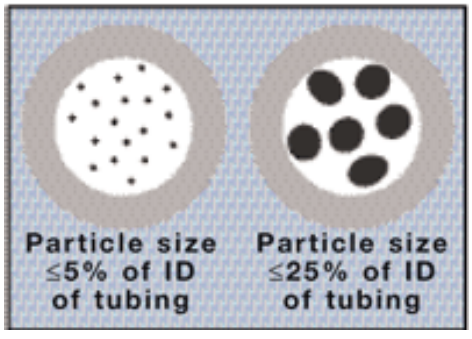
- **Utilice una bomba ajustable para lograr diferentes obstrucciones.**

Las bombas con obstrucción fija provocan que cuando hay partículas muy grandes o especialmente partículas duras, se presionen contra la pared de la tubería y puede causar una gran cantidad de desgaste. Usando una bomba con obstrucción variable usted puede reducir la cantidad de la tubería que será aplastada reduciendo la obstrucción para proteger la tubería y después aumentándola, logrando así conseguir el funcionamiento máximo de su bomba con la menor cantidad de desgaste en la tubería.

- **Seleccione un diámetro mayor para la tubería**

Esto reducirá el contacto de las partículas con la pared de la tubería. Las partículas suaves deben tener máximo un 25% de tamaño con respecto al diámetro interno de la tubería. Las partículas duras deben ser incluso más pequeñas (menos del 5%). Respetar estas indicaciones reducirá el daño en el interior de la tubería, ver figura 118.

Figura 118. Relación tamaño de la partícula, con diámetro de la manguera.



Fuente http://www.barnant.com

- **Disminución de la velocidad de impulsión**

La velocidad de operación es un factor que puede aumentar o disminuir la vida útil de la manguera, con velocidades bajas la abrasión en el bombeo es más apacible aumentando la vida útil de la tubería, a velocidades mas altas el bombeo es mas brusco causando que la abrasión desgaste mas rápido la manguera reduciendo su vida útil, a bajas velocidades de impulsión la eficacia de la bomba aumentará.

TRANSPARENCIA

Para determinar si debe usarse tubería transparente, los usuarios deben decidir si los operadores necesitan ver lo que está pasando dentro de la tubería y si el fluido es sensible a la luz. Si los operadores necesitan identificar la presencia o ausencia de flujo al instante o rápidamente, descubrir burbujas, partículas contaminantes en la tubería, entonces un material transparente como Tygon o el silicón es una opción buena. Alternadamente, si la solución acuosa es afectada por la exposición de la luz, un material de tubería opaco es una buena opción.

PERMEABILIDAD A LOS GASES

Para los fluidos sensibles a los gases, particularmente soluciones que necesitan ser protegidas de la oxidación, los usuarios deben considerar la permeabilidad de la tubería. La Silicona generalmente es el material más permeable a los gases, y los materiales termoplásticos tienden a ser relativamente impermeables. Un buen material impermeable previene problemas asociados con exponer el fluido a medios gaseosos que alteren su composición y produzcan reacciones.

COSTO

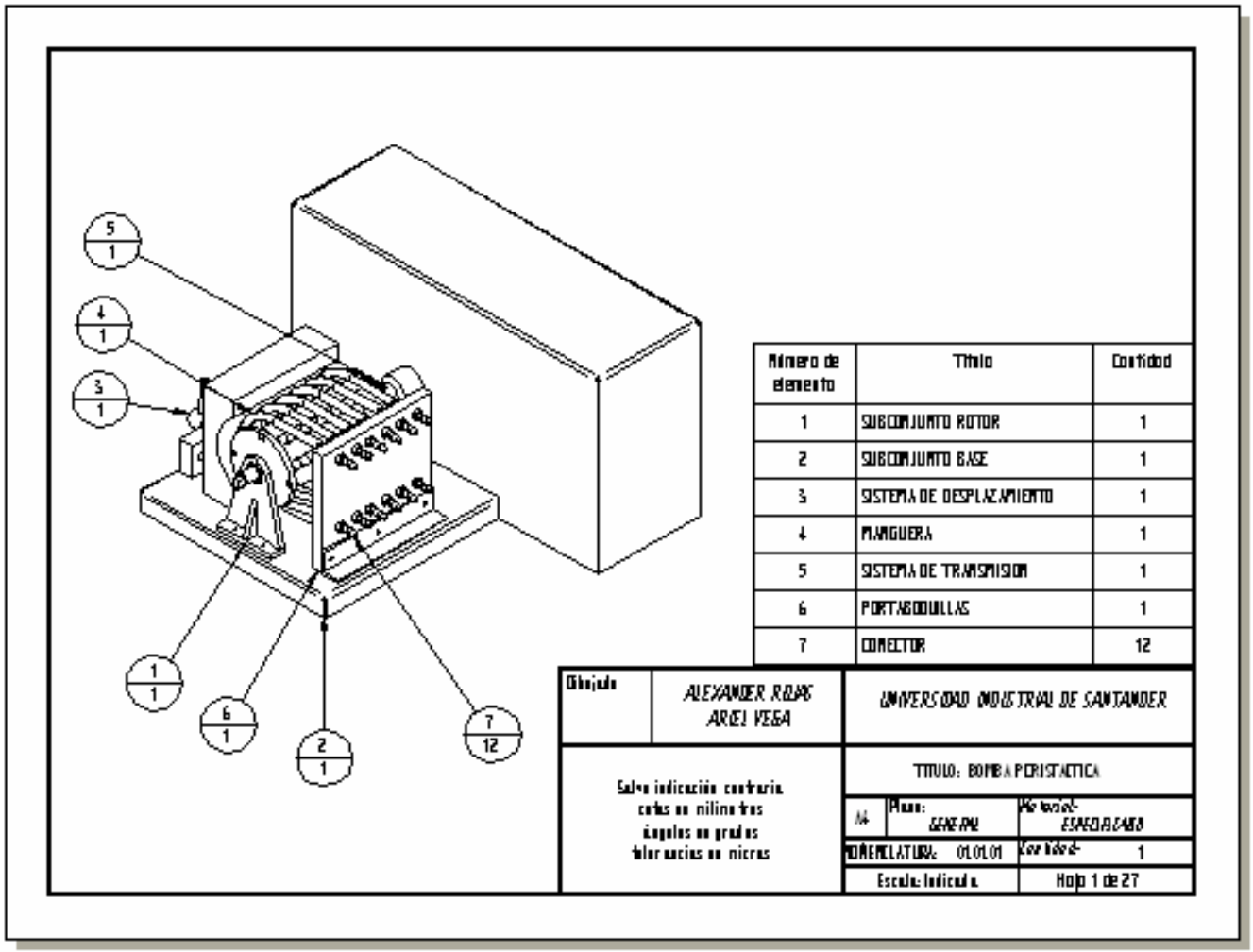
El costo es un factor importante en cada proyecto. Sin embargo, los usuarios deben evaluar los costos operacionales totales para cualquier formulación de la tubería potencial. Por ejemplo, un material de tubería que cuesta $2. 00 por pie y necesita ser reemplazado cada 500 horas es más rentable que una tubería que cuesta $1. 00 por pie pero requiere el reemplazo cada 100 horas. La pobre calidad de la tubería puede traer gastos grandes a largo plazo y causa el daño prematuro a la bomba, aparte del tiempo fuera de servicio que es costoso y produciendo reparaciones extensas o incluso el reemplazo de la bomba por completo. Por consiguiente, la tubería barata no siempre es la opción más fiable.

ANEXO K
LISTADO DE PLANOS

Pág

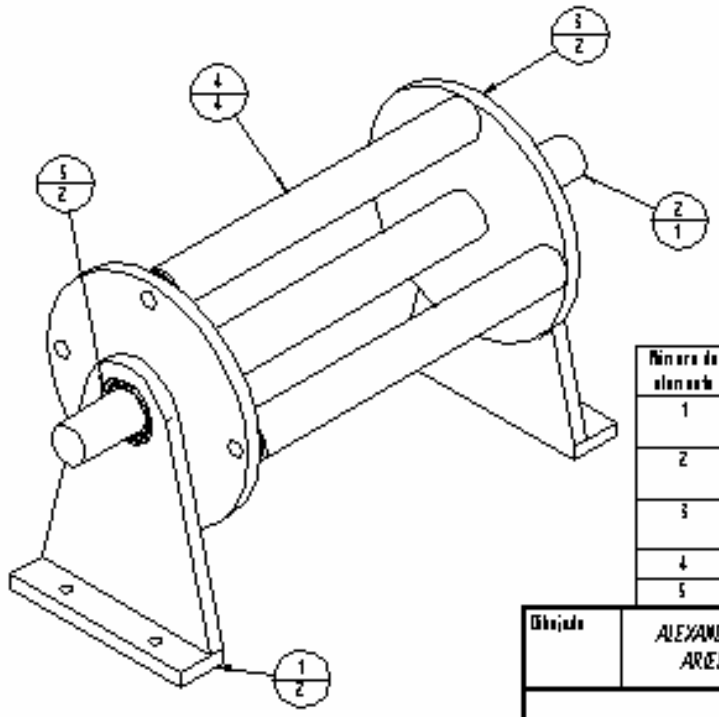
01.01.01 PLANO GENERAL…….....1
01.01.02 BSISTEMA ROTOR…….…….....2
01.01.03 EXPLOSION ROTOR…….....…..3
01.01.04 CORTE ROTOR…….....…4
01.01.05 EXPLOSON RODILLO…….....…..…5
01.01.06 CORTE RODILLO…….....…6
01.01.07 EJE RODILLO…….....…7
01.01.08 TUBO RODILLO……..…….....……8
01.01.09 PLATINA CIRCULAR…….....…9
01.01.10 EJE ROTOR…….....10
01.01.11 SOPORTE…….....…..11
01.02.01 ENSAMBLE BASE BOMBA…….…….....…..12
01.02.02 BASE BOMBA…….…….....……13
01.02.03 GUARDA BASE……..…….....14
01.02.04 PLATINA…….....……..15
01.02.05 BASE MOTOR…….....……..16
01.03.01 SISTEMA DESPLAZAMIENTO…….....…...17
01.03.02 EXPLOSION…….....18
01.03.03 TUERCA PLATINA…….....…19
01.03.04 VARILLA……...…….....…….20
01.03.05 PLATINA 2…….....…….…...21
01.03.06 TORNILLO…….....…….……...22
01.03.07 MEDIA LUNA…….....……..…...23

01.03.08 PLATINA MEDIA LUNA…….....……..24
01.06.01 ENSAMBLE PORTABOQUILLAS…….....……25
01.06.02 PORTABOQUILLAS…….....……...26
01.07.01 CONECTOR…….....…….27



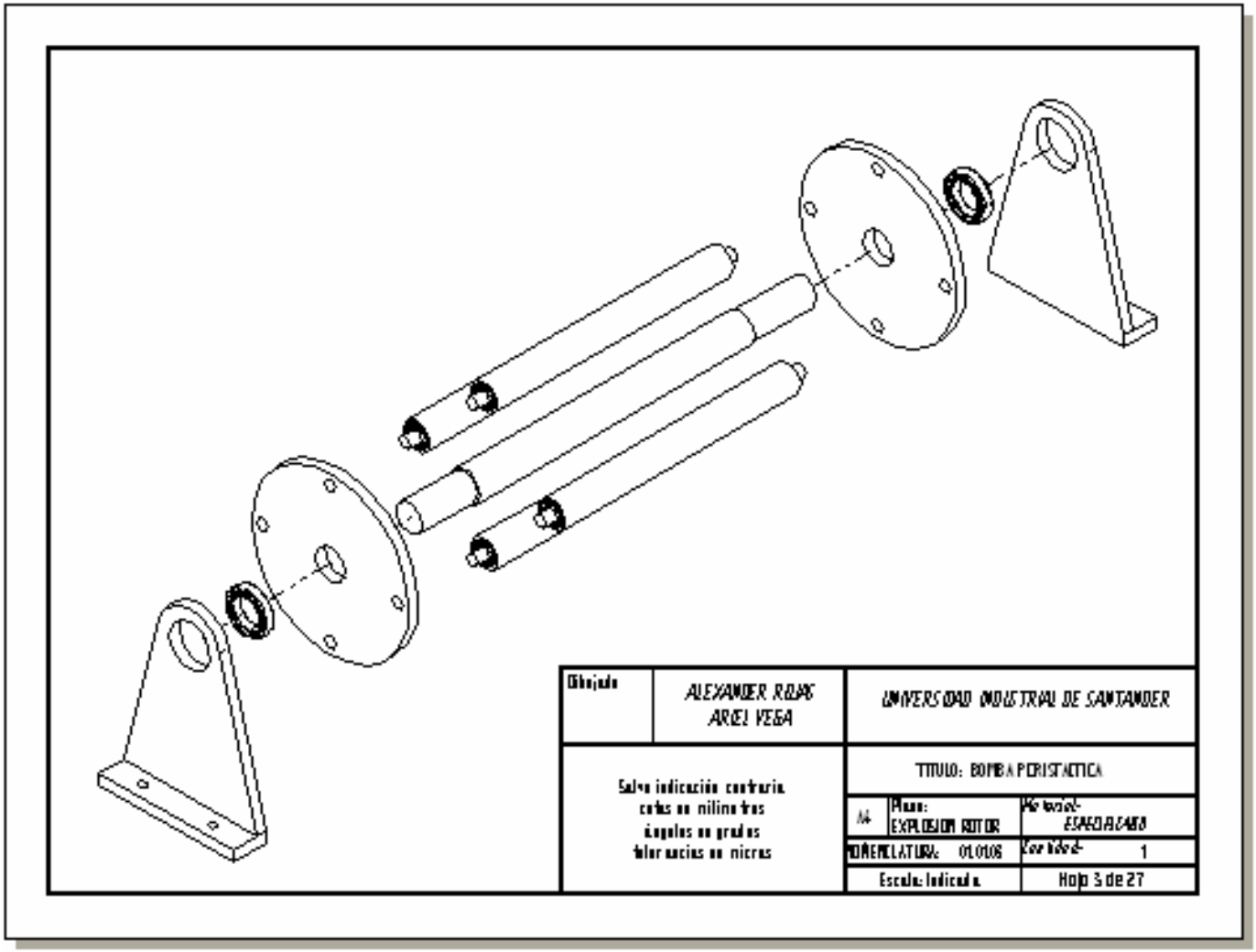
Número de elemento	Título	Cantidad
1	SUBCONJUNTO ROTOR	1
2	SUBCONJUNTO BASE	1
3	SISTEMA DE DESPLAZAMIENTO	1
4	MANGUERA	1
5	SISTEMA DE TRANSMISION	1
6	PORTABOQUILLAS	1
7	CONECTOR	12

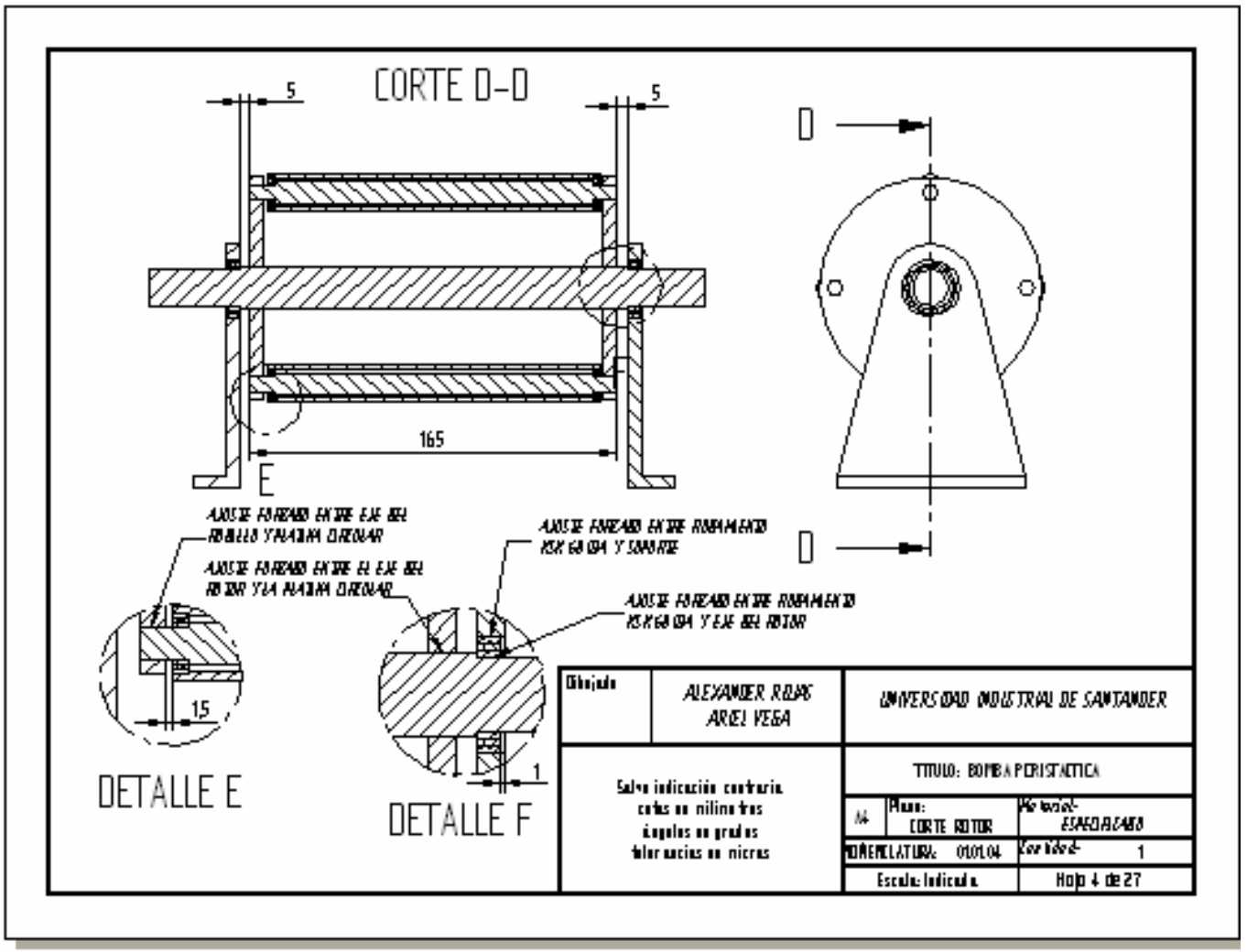
Dibujado	ALEXANDER ROJAS ARIEL VEGA	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias en micras		TITULO: BOMBA PERISTALTICA
	M4 Plano: GENERAL	Material: ESPECIFICADO
	NOMENCLATURA: 01.01.01	Cantidad: 1
	Escala: Indicada	Hoja 1 de 27

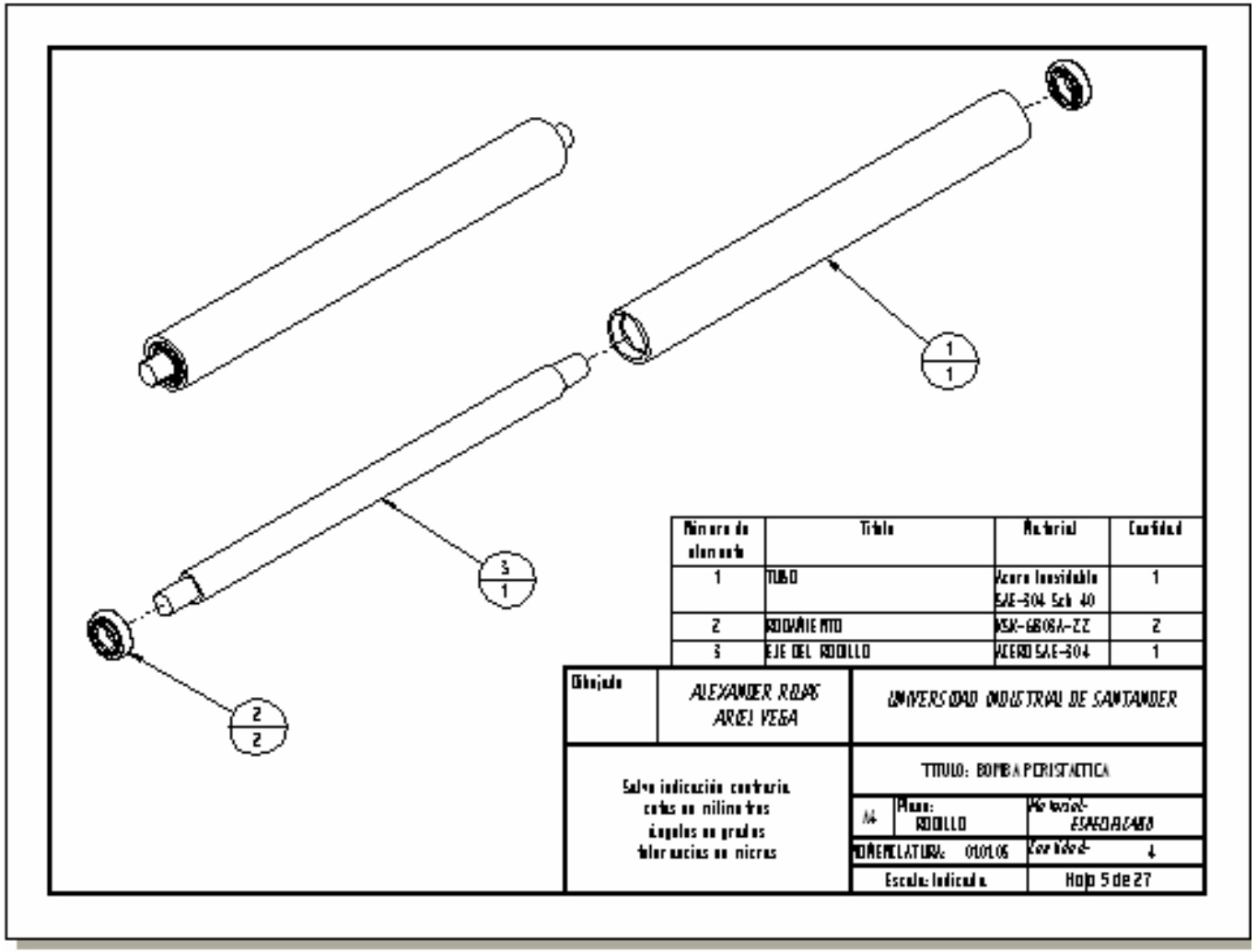


Número de plano de	Título	Material	Cantidad
1	SOPORTE	Acero Inoxidable SAE-304	2
2	EJE ROTOR	Acero Inoxidable SAE-304	1
3	PLATINA CIRCULAR	Acero Inoxidable SAE-304	2
4	RODILLO	Ver Hoja 5	4
5	RODAMIENTO	NSK-6817-ZZA	2

Dibujado: ALEXANDER ROJAS ARIEL VEGA	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	
Salvo indicación contraria: cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias en micras	TITULO: BOMBA PERISTALTICA	
	M4 Plano: SUBSISTEMA ROTOR	Material: ESPECIFICADO
	NOMENCLATURA: 010102	Cantidad: 1
	Escala: Indicada	Hoja 2 de 27

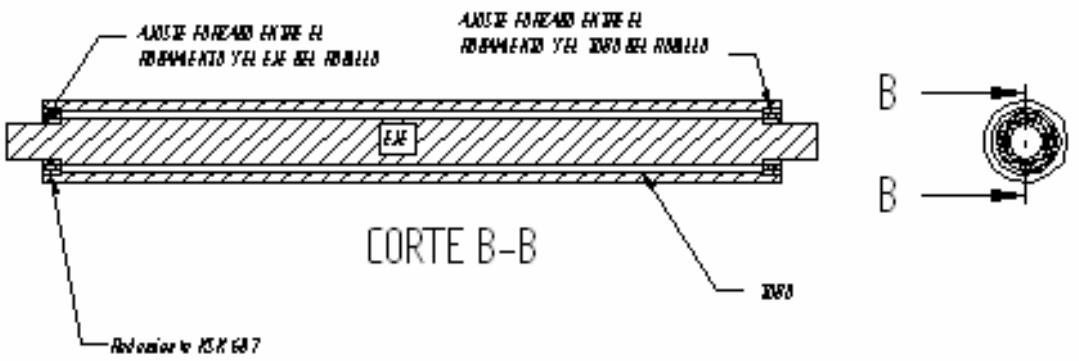

Dibujado
ALEXANDER ROJAS
ARIEL VEGA
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
Salvo indicación contraria
cotas en milímetros
ángulos en grados
tolerancias en micras
TITULO: BOMBA PERISTALTICA
M4
Plano:
EXPLOSION ROTOR
Material:
ESPECIFICADO
NOMENCLATURA: 01.0108
Cantidad: 1
Escala: Indicada
Hoja 3 de 27


CORTE D-D
5
5
165
E
D
D
AJUSTE FORZADO ENTRE EJE DEL RODILLO Y PLATINA CIRCULAR
AJUSTE FORZADO ENTRE EL EJE DEL ROTOR Y LA PLATINA CIRCULAR
AJUSTE FORZADO ENTRE RODAMIENTO RÍGIDO DE BOLA Y SOPORTE
AJUSTE FORZADO ENTRE RODAMIENTO RÍGIDO DE BOLA Y EJE DEL ROTOR
15
1
DETALLE E
DETALLE F
Dibujado
ALEXANDER ROJAS
ARIEL VEGA
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
Salvo indicación contraria
cotas en milímetros
ángulos en grados
tolerancias en micras
TITULO: BOMBA PERISTALTICA
A4
Plano:
CORTE ROTOR
Material:
ESPECIFICADO
NOMENCLATURA: 0101.04
Cantidad:
1
Escala: Indicada
Hoja 4 de 27

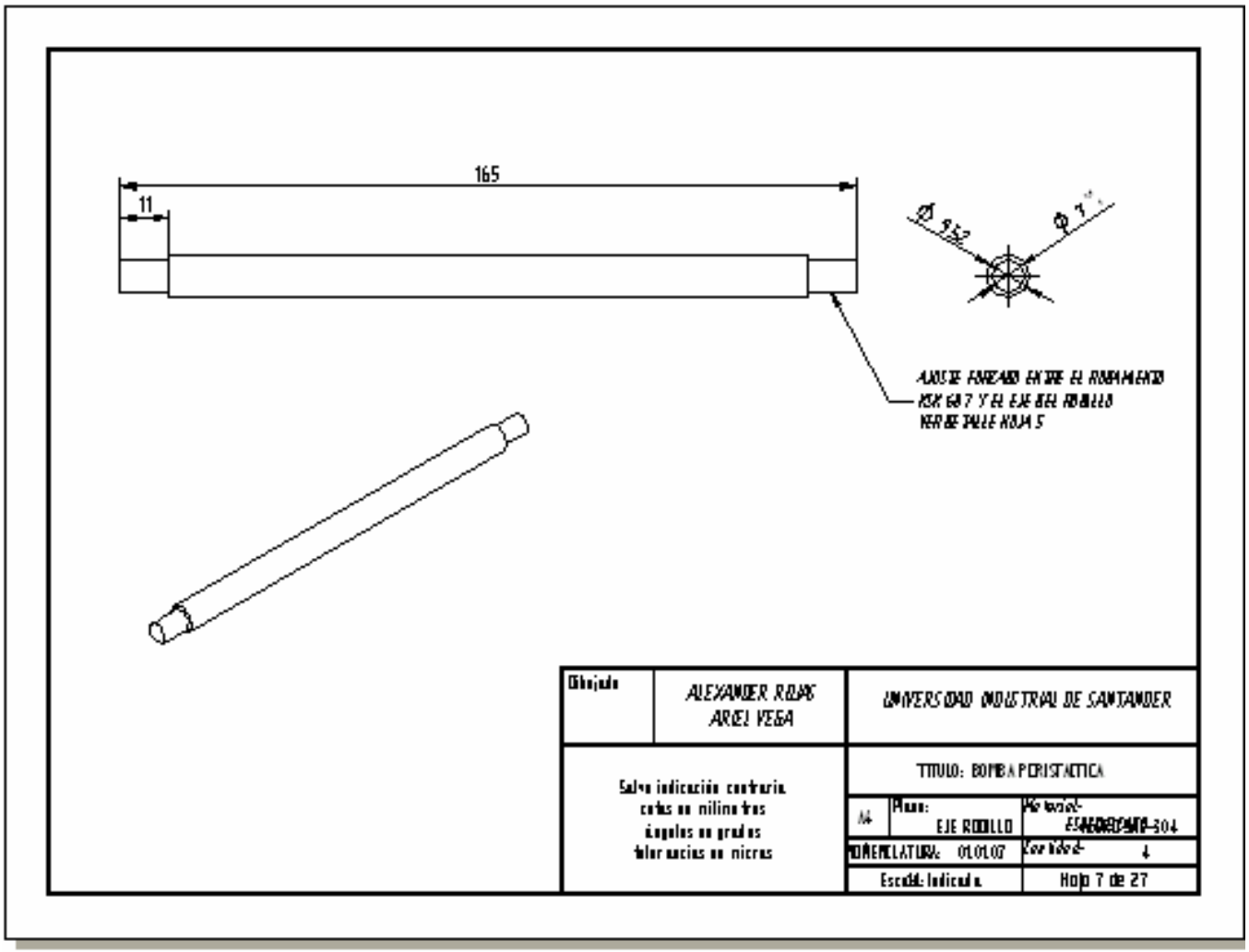


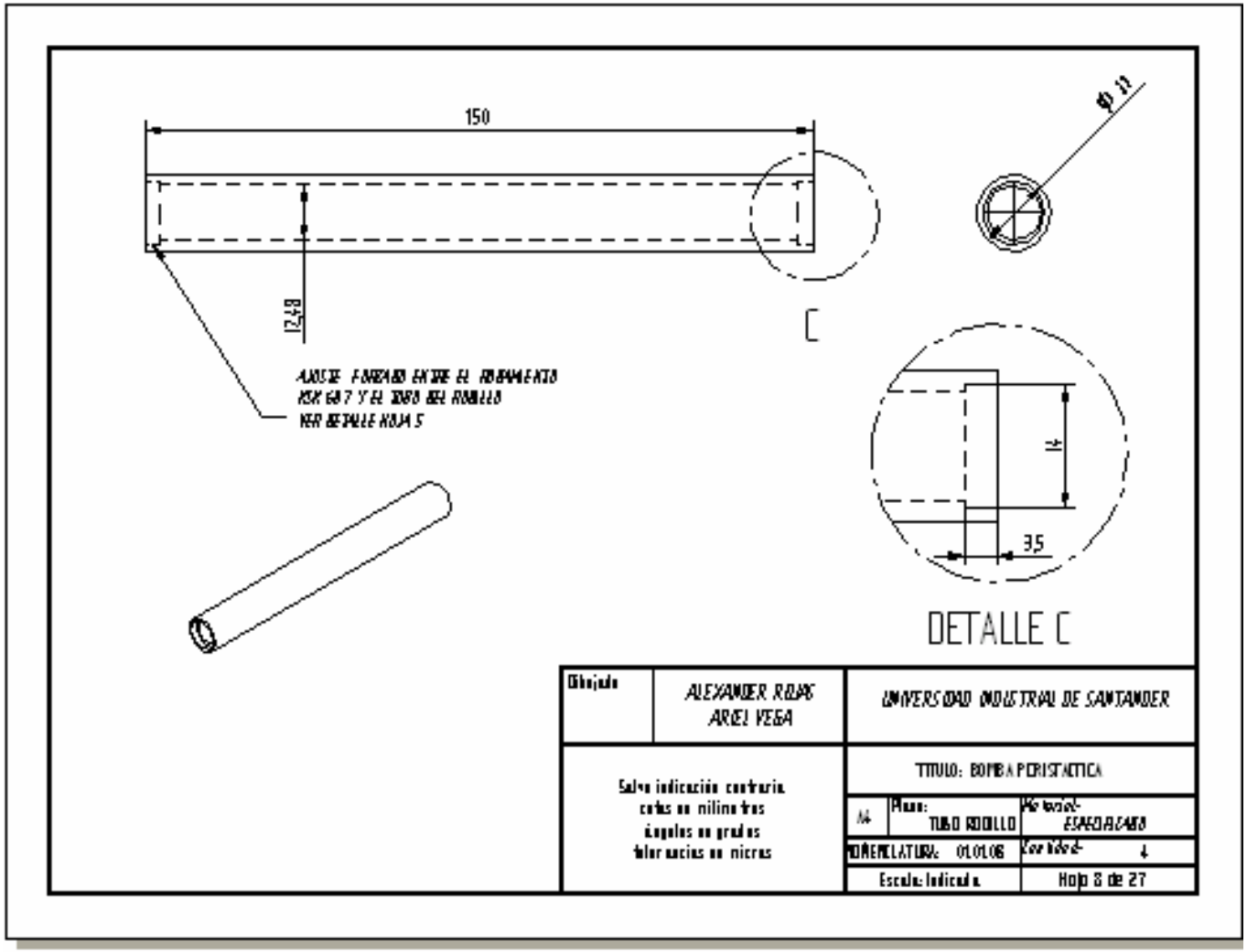
Número de elemento	Título	Material	Cantidad
1	TUBO	Acero Inoxidable SAE-304 Sch 40	1
2	RODAMIENTO	NSK-6806A-ZZ	2
3	EJE DEL RODILLO	ACERO SAE-304	1

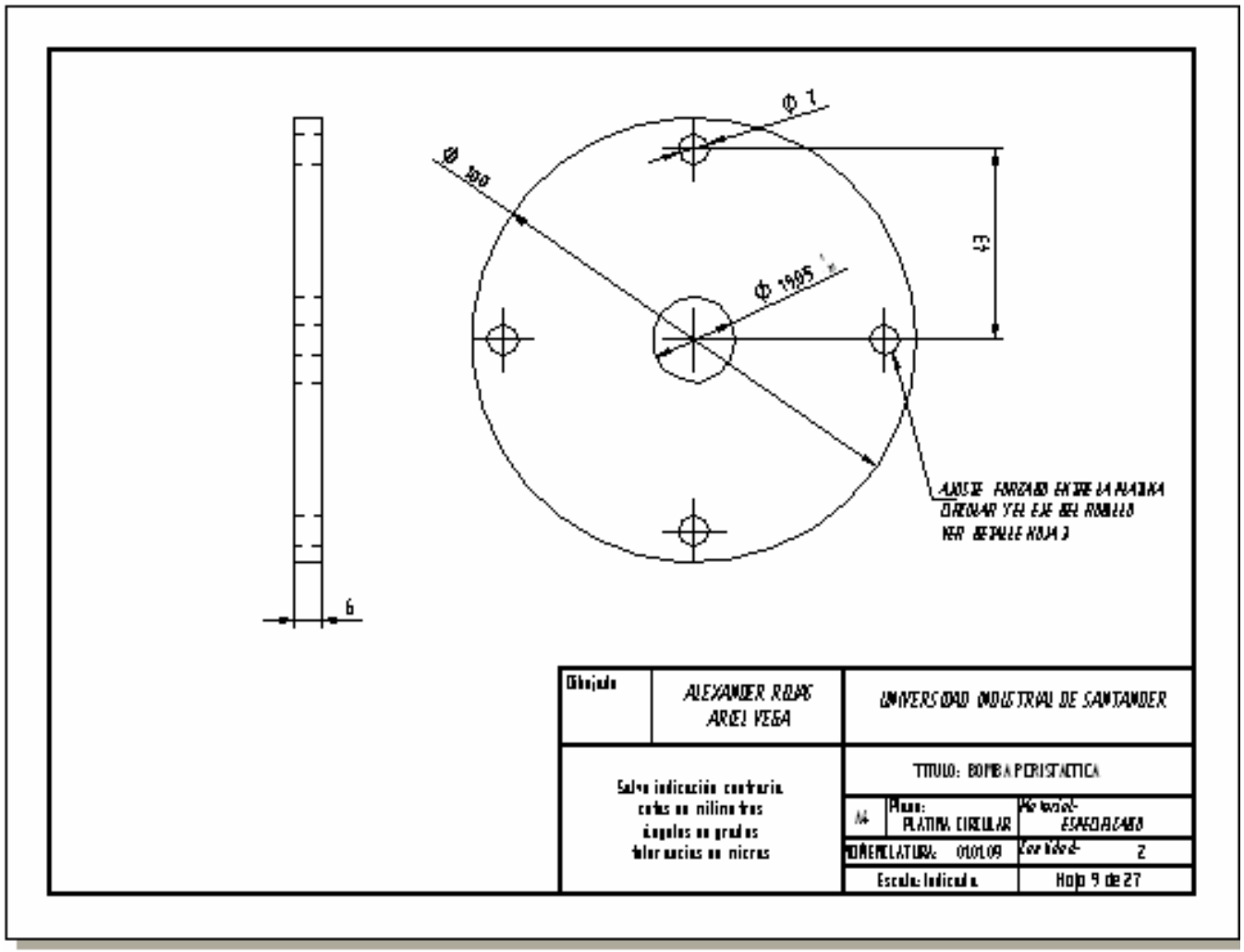
Dibujado	ALEXANDER ROJAS ARIEL VEGA	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias en micras		TITULO: BOMBA PERISTALTICA
	A4 Plano: RODILLO	Material: ESPECIFICADO
	NOMENCLATURA: 010106	Cantidad: 4
	Escala: Indicada	Hoja 5 de 27

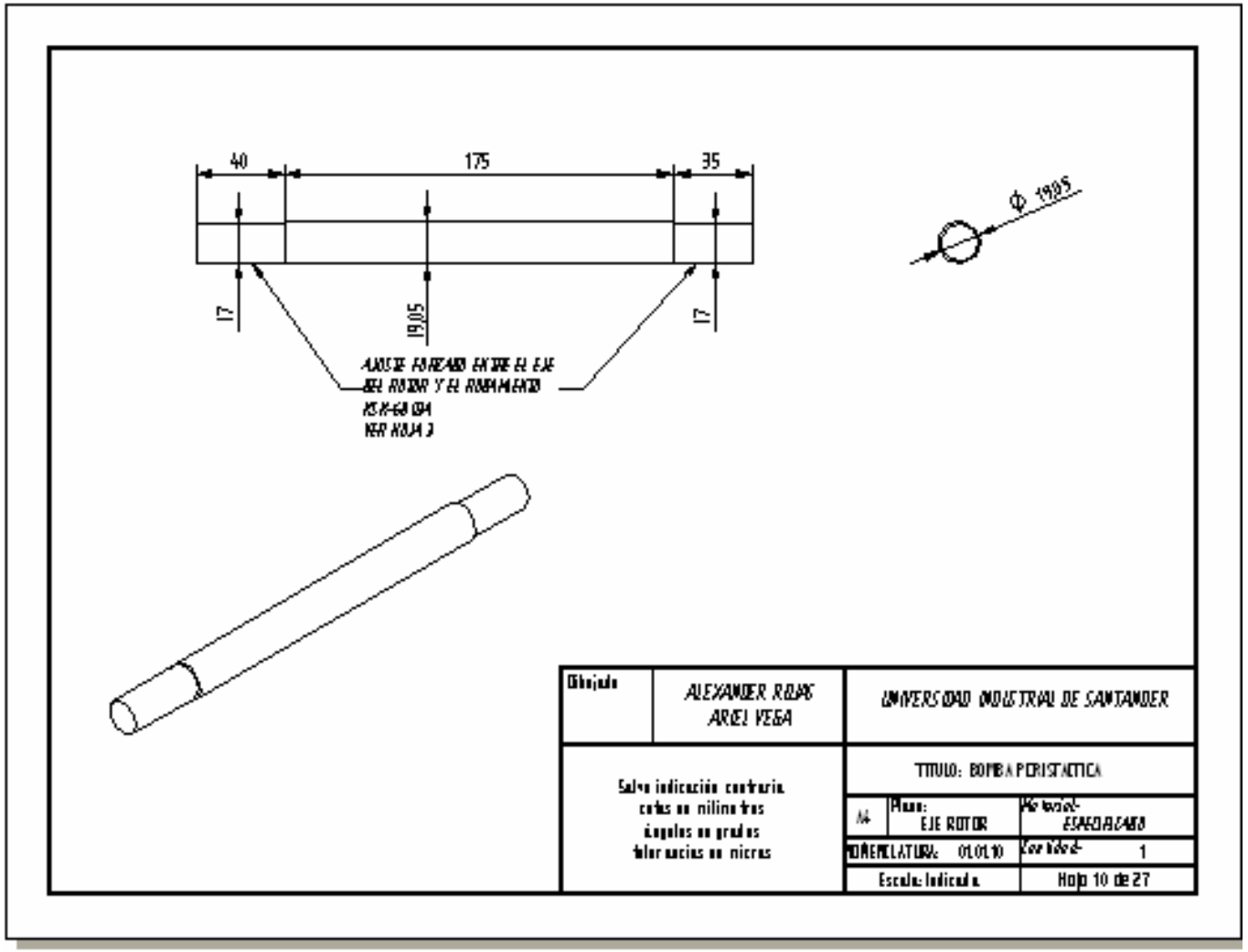


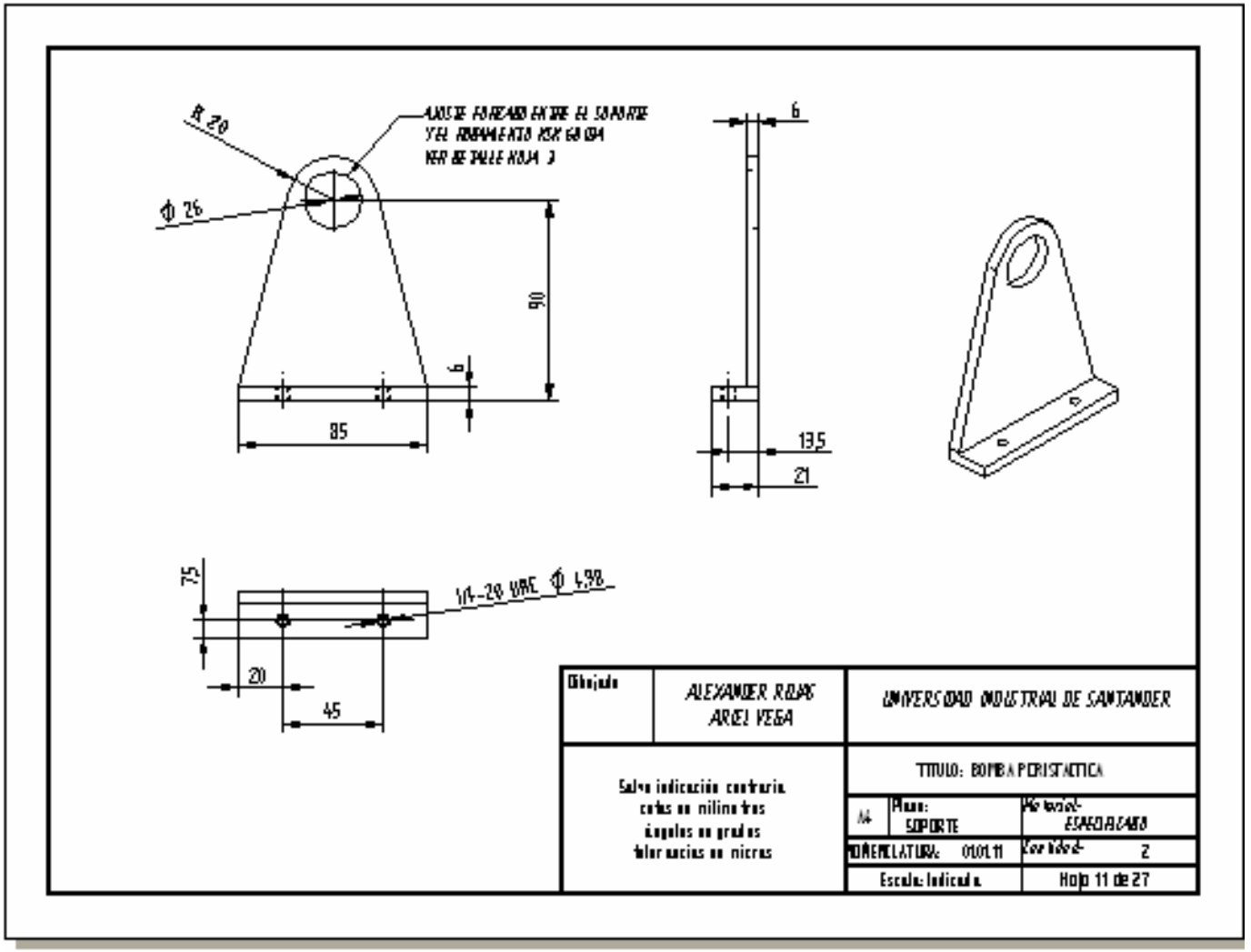
Dibujado	ALEXANDER ROJAS ARIEL VEGA	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias en micras		TITULO: BOMBA PERISTALTICA
	M. Plano: CORTE RODILLO	Material: ESPECIFICADO
	NOMENCLATURA: 010106	Cantidad: 1
	Escala: Indicada	Hoja 6 de 27

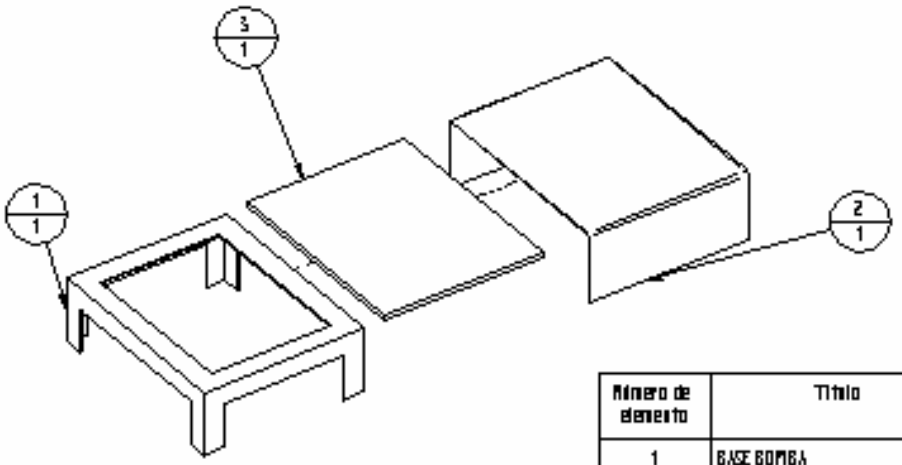

165
11
AJUSTE FORZADO ENTRE EL RODAMIENTO
RSK 607 Y EL EJE DEL RODILLO
VER DE TABLE HOJA 5
Dibujado
ALEXANDER ROJAS
ARIEL VEGA
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
Salvo indicación contraria
cotas en milímetros
ángulos en grados
tolerancias en micras
TITULO: BOMBA PERISTALTICA
A4
Plano:
EJE RODILLO
Material-
NOMENCLATURA: 01.01.07
Escala: Indicada
Hoja 7 de 27


150
Ø 11
12,48
AJUSTE FORZADO ENTRE EL RODAMIENTO
608 Z Y EL DIÁMETRO DEL RODILLO
VER DETALLE HOJA 5
C
14
35
DETALLE C
Dibujado
ALEXANDER ROJAS
ARIEL VEGA
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
Salvo indicación contraria
cotas en milímetros
ángulos en grados
tolerancias en micras
TITULO: BOMBA PERISTALTICA
A4
Plano:
TUBO RODILLO
Material:
ESPECIFICADO
NOMENCLATURA: 01.01.06
Escala: Indicada
Hoja 8 de 27


Φ 7
Ø 190
Φ 1985
43
6
AJUSTE FORZADO ENTRE LA PLATINA
CIRCULAR Y EL EJE DEL RODILLO
VER DETALLE HOJA 3
Dibujado
ALEXANDER ROJAS
ARIEL VEGA
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
Salvo indicación contraria
cotas en milimetros
ángulos en grados
tolerancias en micras
TITULO: BOMBA PERISTALTICA
A4
Plano:
PLATINA CIRCULAR
Material:
ESTRUCTURAS
NOMENCLATURA: 0101.09
Cantidad: 2
Escala: Indicada
Hoja 9 de 27

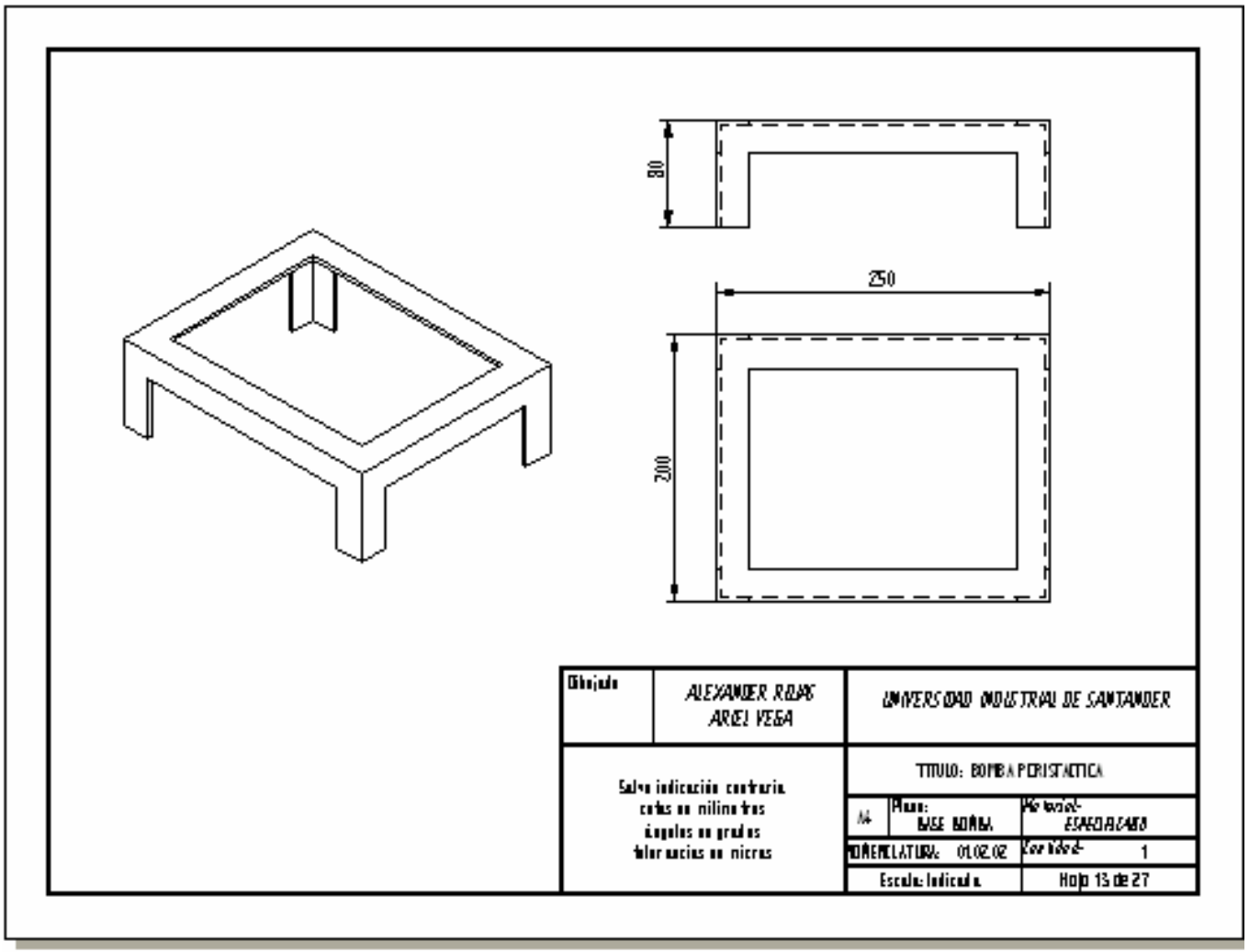

40
175
35
17
19.05
17
AJUSTE ROSCADO ENTRE EL EJE
DEL ROTOR Y EL RODAMIENTO
Φ 19.05
Dibujado
ALEXANDER ROJAS
ARIEL VEGA
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
Salvo indicación contraria
cotas en milímetros
ángulos en grados
tolerancias en micras
TITULO: BOMBA PERISTALTICA
Plano:
EJE ROTOR
Material:
ESPECIFICADO
NOMENCLATURA: 01.01.10
Escala: Indicada
Hoja 10 de 27

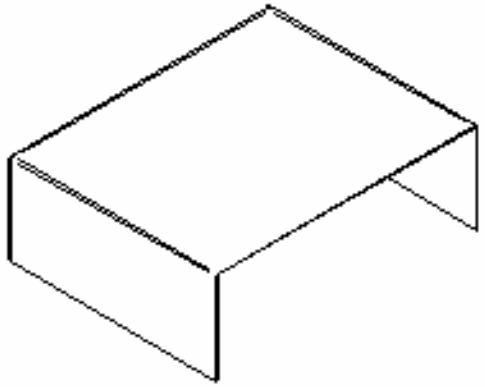

R 20
AJUSTE FORZADO ENTRE EL SOPORTE
Y EL RODAMIENTO RSR 68 ISK
VER DE PALLE HOJA 3
Φ 26
90
6
85
6
135
21
75
1/4-28 UNF Φ 4.96
20
45
Dibujado
ALEXANDER ROJAS
ARIEL VEGA
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
Salvo indicación contraria
cotas en milímetros
ángulos en grados
tolerancias en micras
TITULO: BOMBA PERISTALTICA
M
Plano:
SOPORTE
Material:
ESPECIFICADO
NOMENCLATURA: 0101.11
Cantidad: 2
Escala: Indicada
Hoja 11 de 27

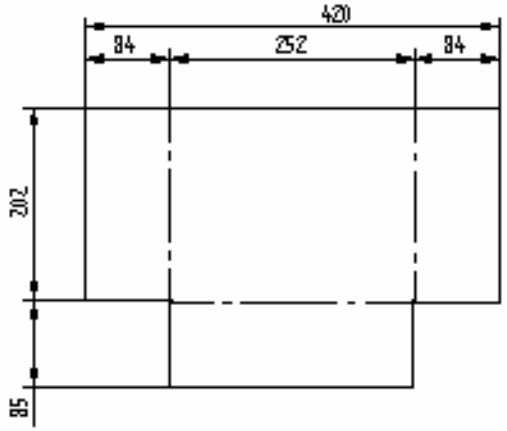


Número de elemento	Título	Material	Cantidad
1	BASE BOMBA	ANGULO 1" X 1" X 1/8	1
2	GUARDA BASE	LAMINA DE ACERO SAE 316	1
3	PLATINA	ACERO 1020	1

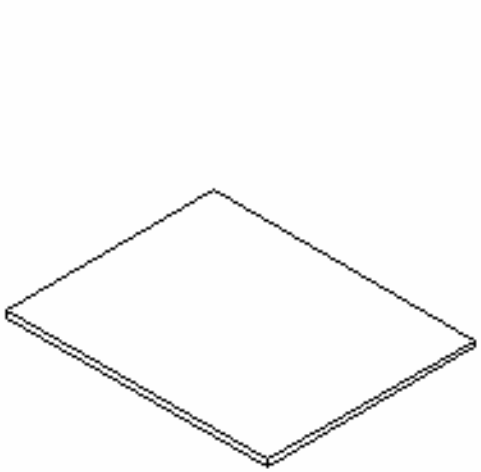
Dibujado: ALEXANDER ROJAS ARIEL VEGA	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias en micras	TITULO: BOMBA PERISTALTICA	
	A4 Plano: BASE BOMBA	Material: ESPECIFICADO
	NOMENCLATURA: 0102.01	Cantidad: 1
	Escala: Indicada	Hoja 12 de 27

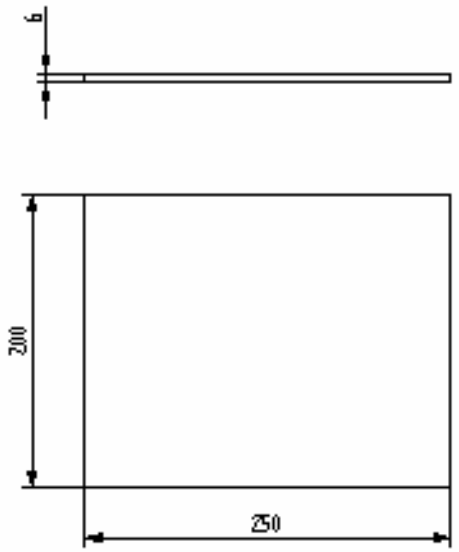

80
250
200
Dibujado
ALEXANDER ROJAS
ARIEL VEGA
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
Salvo indicación contraria
cotas en milímetros
ángulos en grados
tolerancias en micras
TITULO: BOMBA PERISTALTICA
A4
Plano:
BASE BOMBA
Material:
ESPECIFICADO
NOMENCLATURA: 01.02.02
Cantidad:
1
Escala: Indicada
Hoja 13 de 27



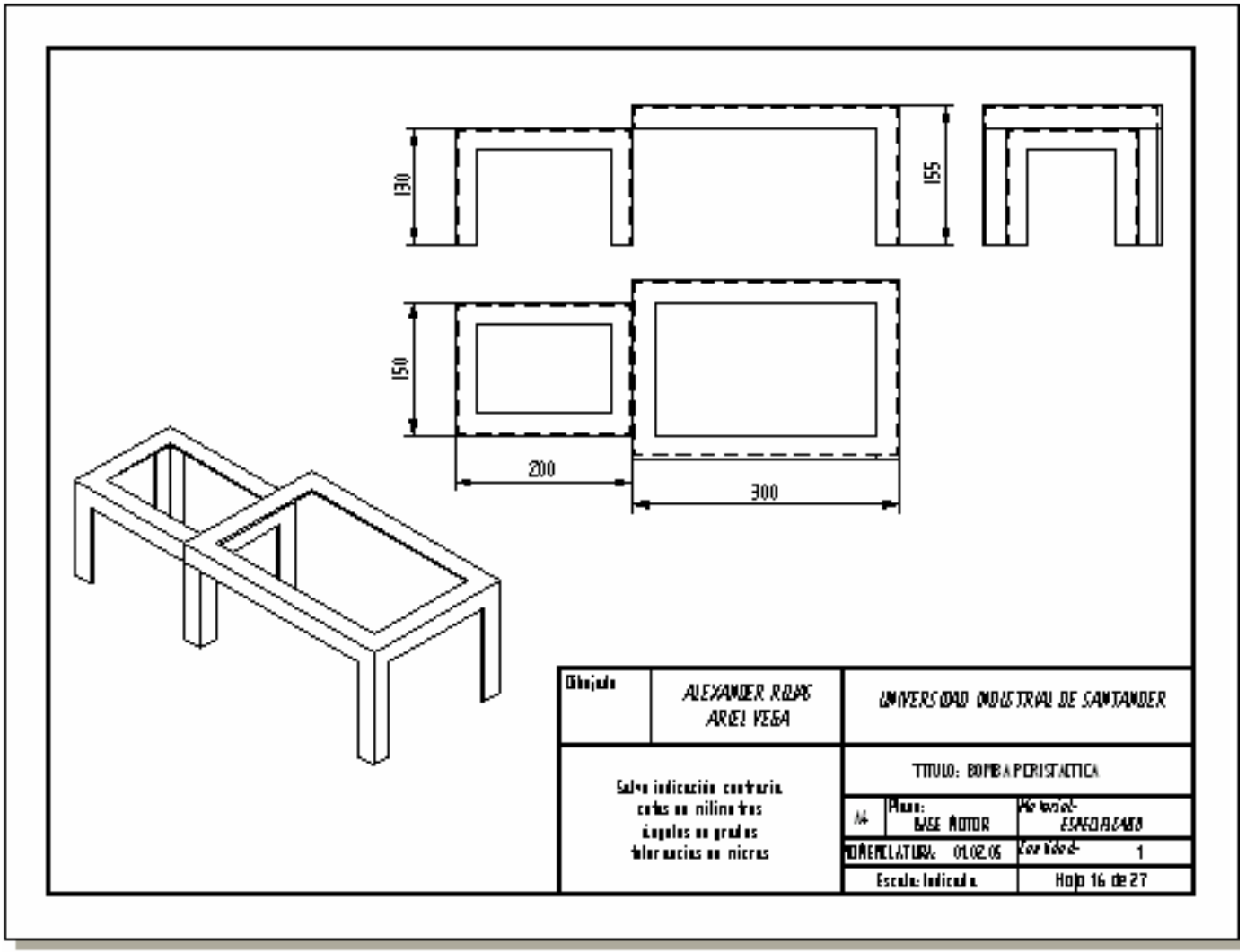


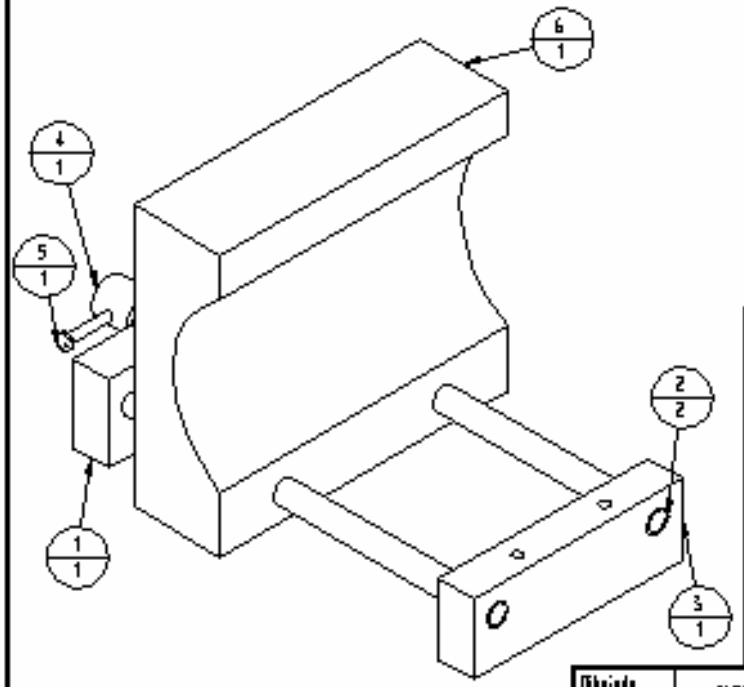
Dibujado	ALEXANDER ROJAS ARIEL VEGA	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias en micras		TITULO: BOMBA PERISTALTICA
	A4 Plano: GUIARDA BASE	Material: ESPECIFICADO
	NOMENCLATURA: 01.02.06	Cantidad: 1
	Escala: Indicada	Hoja 14 de 27





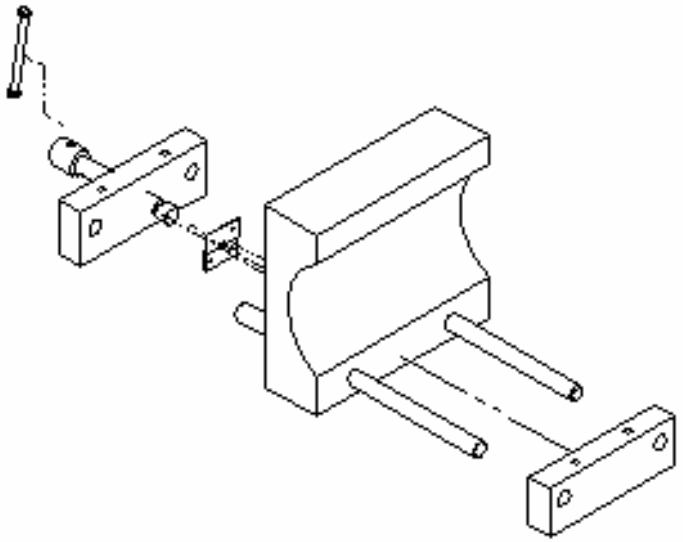
Dibujado	ALEXANDER ROJAS ARIEL VEGA	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias en micras		TITULO: BOMBA PERISTALTICA
	A4 Plano: PLATINA	Material: ESPECIFICADO
	NOMENCLATURA: 01.02.04	Cantidad: 1
	Escala: Indicada	Hoja 15 de 27


130
155
150
200
300
Dibujado
ALEXANDER ROJAS
ARIEL VEGA
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
Salvo indicación contraria
cotas en milímetros
ángulos en grados
tolerancias en micras
TITULO: BOMBA PERISTALTICA
M
Plano:
BASE MOTOR
Material:
ESTRUCTURA
NOMENCLATURA: 01.02.06
Cantidad: 1
Escala: Indicada
Hoja 16 de 27

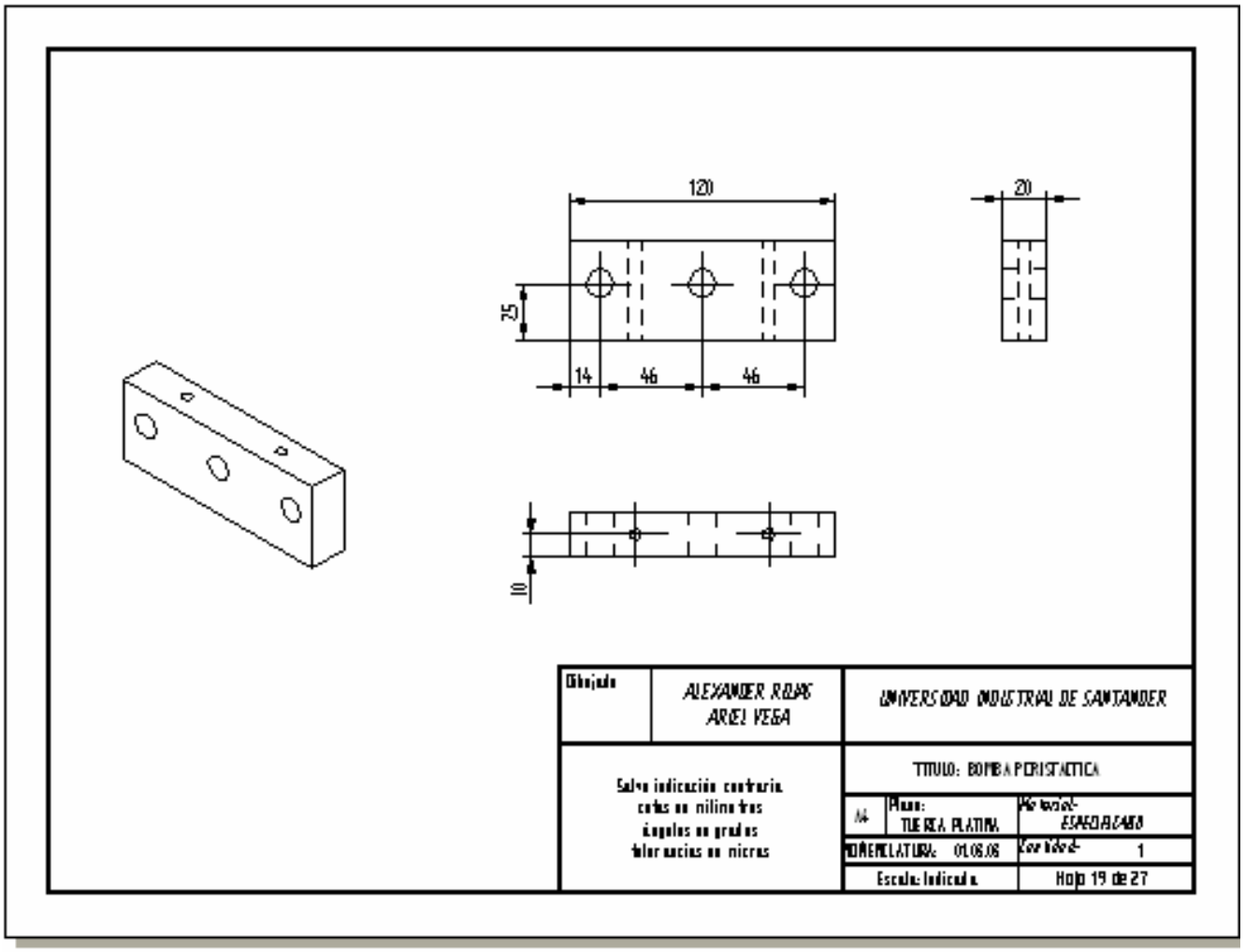


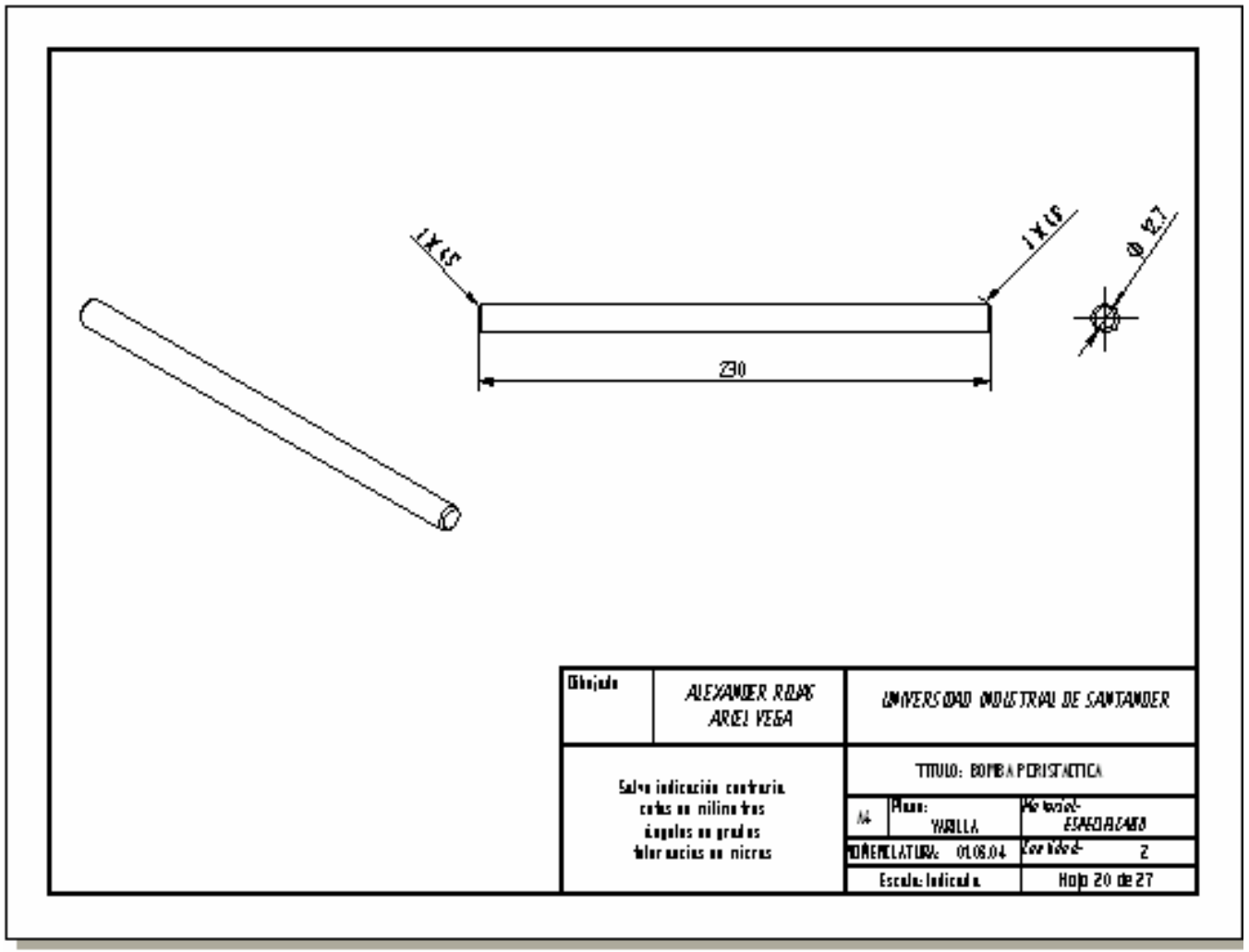
Número de elemento	Título	Material	Cantidad
1	TUERCA PLATINA	ACERO 1020	1
2	VARILLAS	ACERO SAE 304	2
3	PLATINA 2	ACERO 1020	1
4	TORNILLO	Acero 1020	1
5	PALANCA	ACERO 1020	1
6	MEDIA LUNA	ACERO SAE 304	1
7`	PLATINA MEDIALUNA	ACERO SAE-304	2

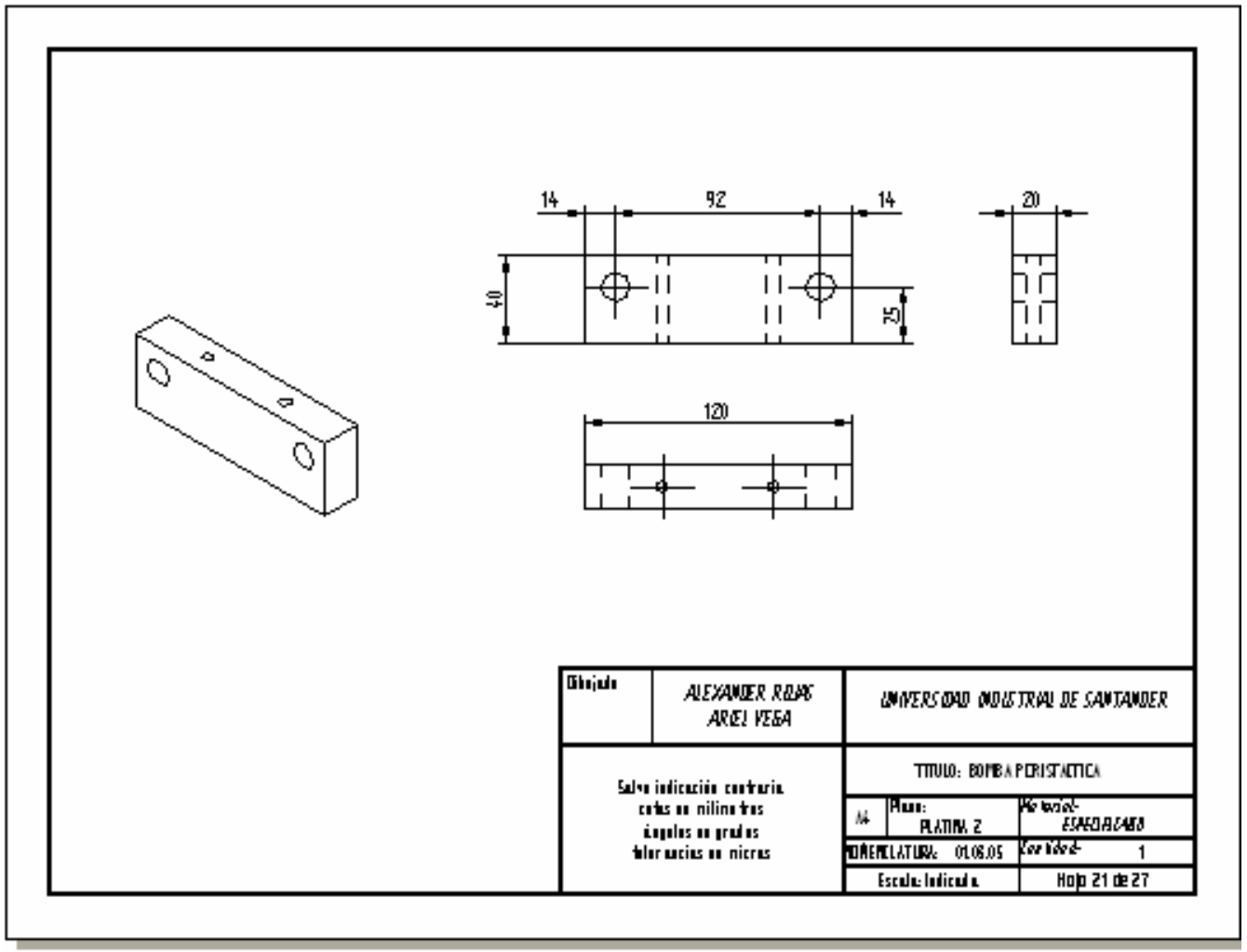
Dibujado: ALEXANDER REAL ARIEL VEGA		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias en micras	TITULO: BOMBA PERISTALTICA	
	A4 Plano: SISTEMA DESPLAZAMIENTO	Material: ESPECIFICADO
	NOMENCLATURA: 01.06.01	Cantidad: 1
	Escala: Indicada	Hoja 17 de 27

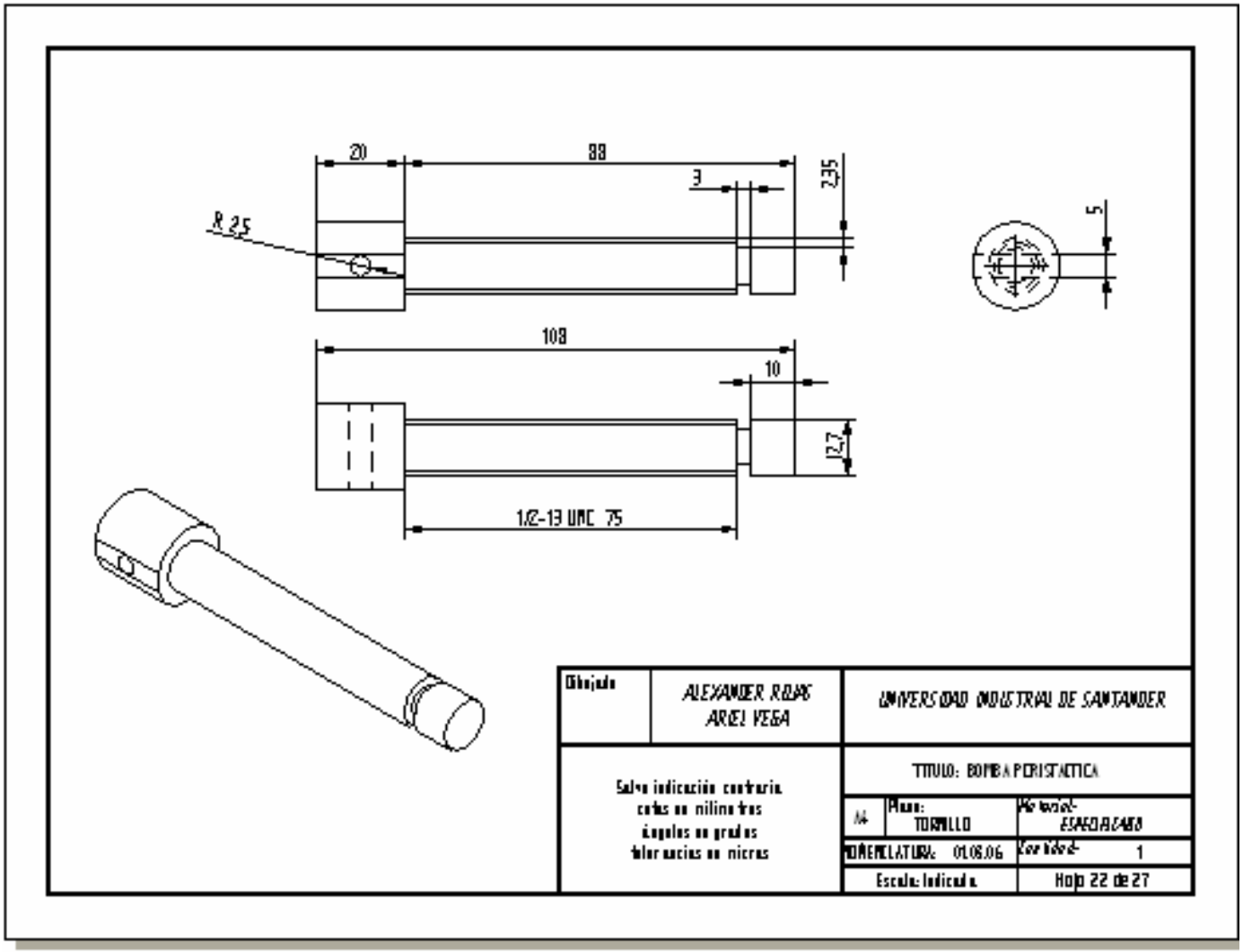


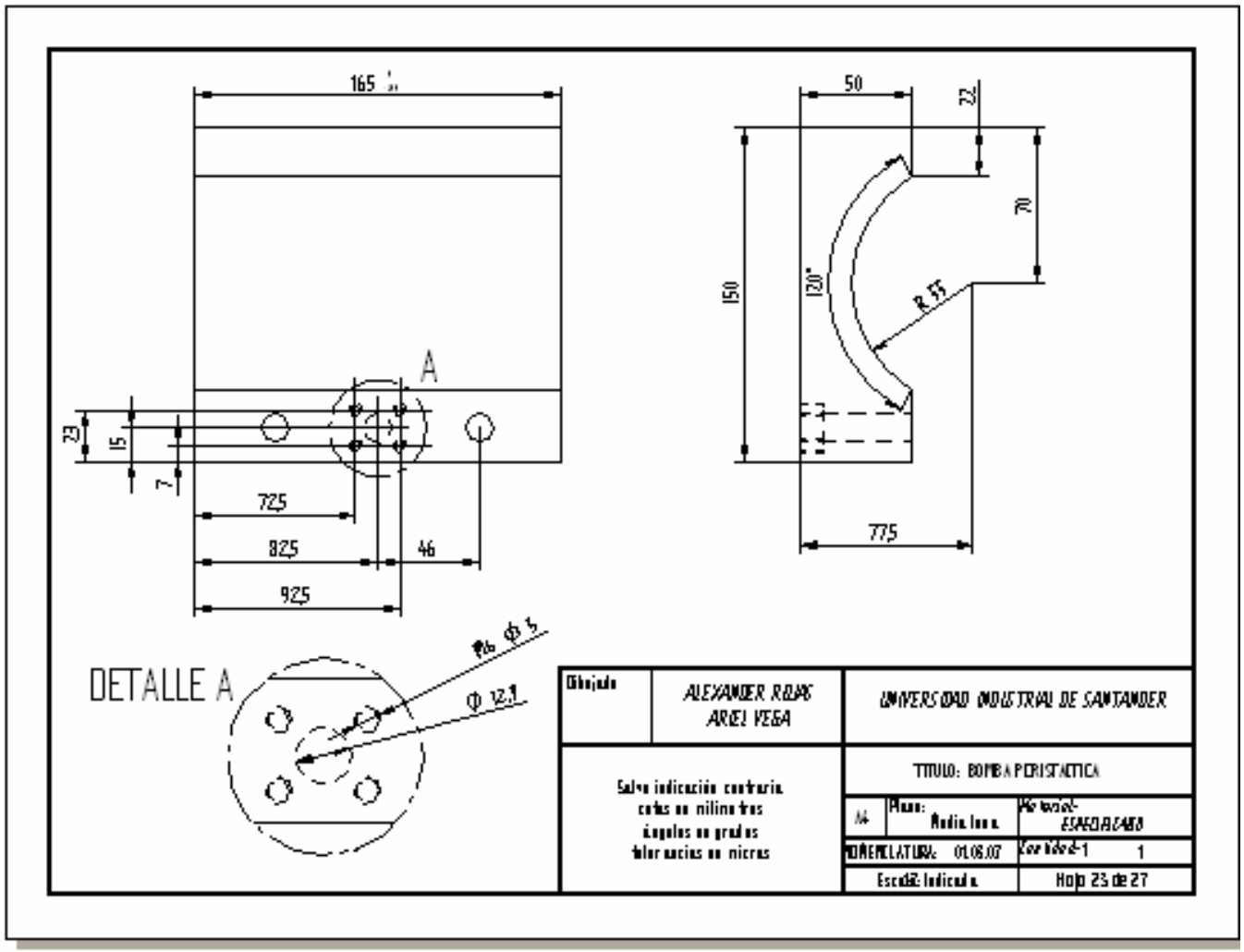
Dibujado	ALEXANDER ROJAS ARIEL VEGA	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias en micras		TITULO: BOMBA PERISTALTICA
	M — Plano: EXPLOSION	Material: ESPECIFICADO
	NOMENCLATURA: 01.08.02	Cantidad: 1
	Escala: Indicada	Hoja 18 de 27

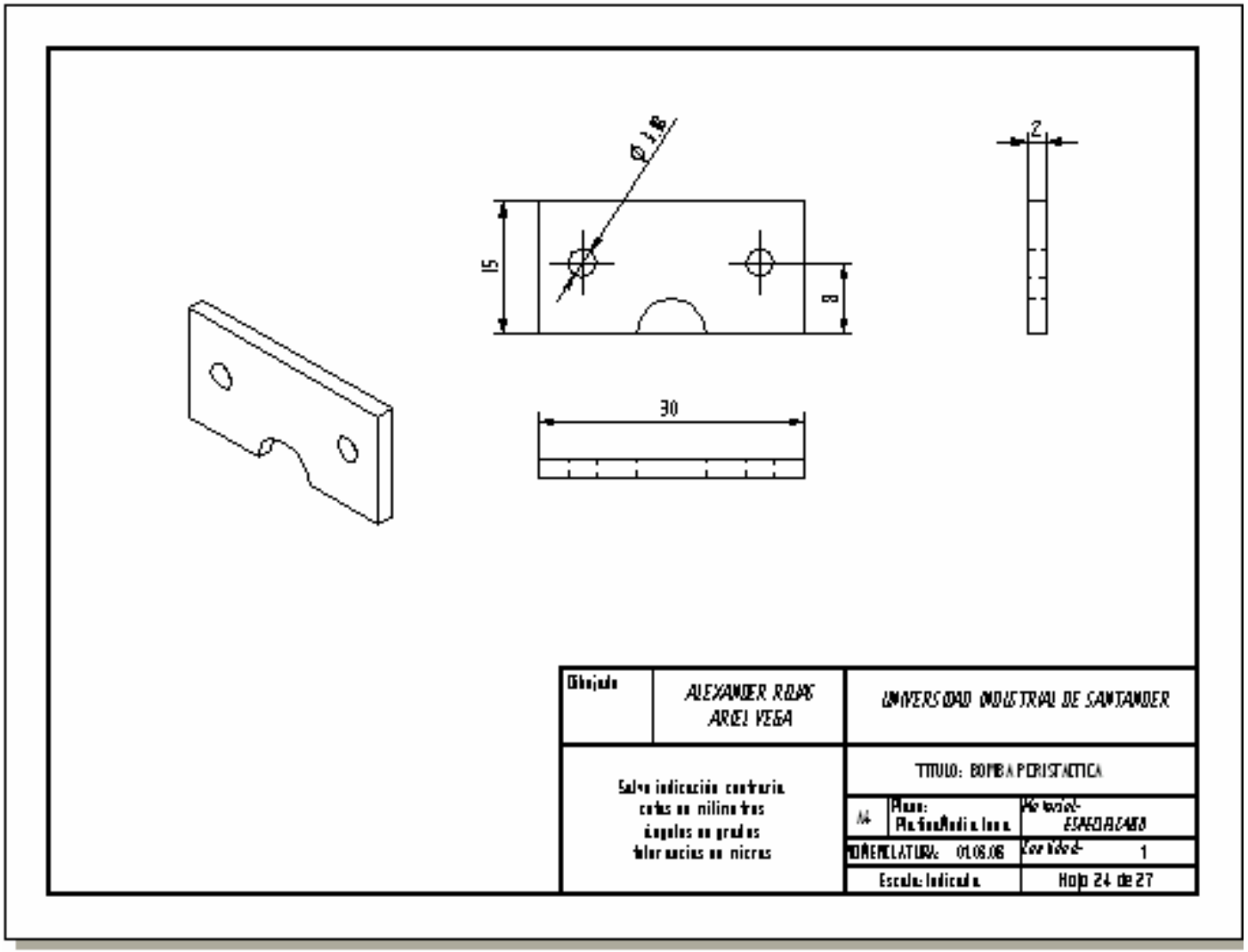

120
20
25
14
46
46
10
Dibujado
ALEXANDER ROJAS
ARIEL VEGA
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
Salvo indicación contraria
cotas en milímetros
ángulos en grados
tolerancias en micras
TITULO: BOMBA PERISTALTICA
M
Plano:
TUERCA PLATINA
Material:
ESPECIFICADO
NOMENCLATURA: 01.06.06
Cantidad:
1
Escala: Indicada
Hoja 19 de 27

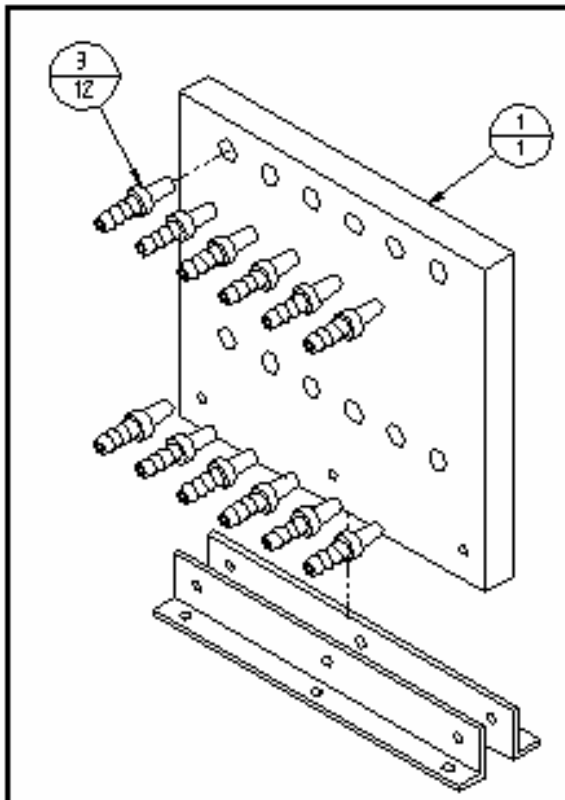

1X45
1X45
Ø 12.7
230
Dibujado
ALEXANDER ROJAS
ARIEL VEGA
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
Salvo indicación contraria
cotas en milímetros
ángulos en grados
tolerancias en micras
TITULO: BOMBA PERISTALTICA
A4
Plano:
VARILLA
Material:
ESTAÑO BRONCE
NOMENCLATURA: 01.08.04
Cantidad:
2
Escala: Indicada
Hoja 20 de 27

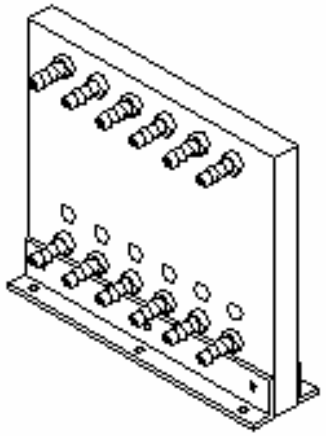

14
92
14
20
40
25
120
Dibujado
ALEXANDER ROJAS
ARIEL VEGA
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
Salvo indicación contraria
cotas en milímetros
ángulos en grados
tolerancias en micras
TITULO: BOMBA PERISTALTICA
A4
Plano:
PLATINA 2
ESPECIFICADO
NOMENCLATURA: 01.06.05
1
Escala: Indicada
Hoja 21 de 27


20
88
3
2.35
R 25
5
108
10
12.7
1/2-13 UNC 75
Dibujado
ALEXANDER ROJAS
ARIEL VEGA
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
Salvo indicación contraria
cotas en milímetros
ángulos en grados
tolerancias en micras
TITULO: BOMBA PERISTALTICA
M
Plano:
TORNILLO
Material:
ESTANDARIZADO
NOMENCLATURA: 01.08.06
Cantidad:
1
Escala: Indicada
Hoja 22 de 27


165
50
22
70
150
120°
R 55
A
23
15
7
725
825
46
925
775
DETALLE A
Φ 12,1
Dibujado
ALEXANDER ROJAS
ARIEL VEGA
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
Salvo indicación contraria
cotas en milímetros
ángulos en grados
tolerancias en micras
TITULO: BOMBA PERISTALTICA
A4
Plano:
Modelo base
Material:
ESTRUCTURA
NOMENCLATURA: 01.06.07
Cantidad: 1
1
Escala: Indicada
Hoja 23 de 27

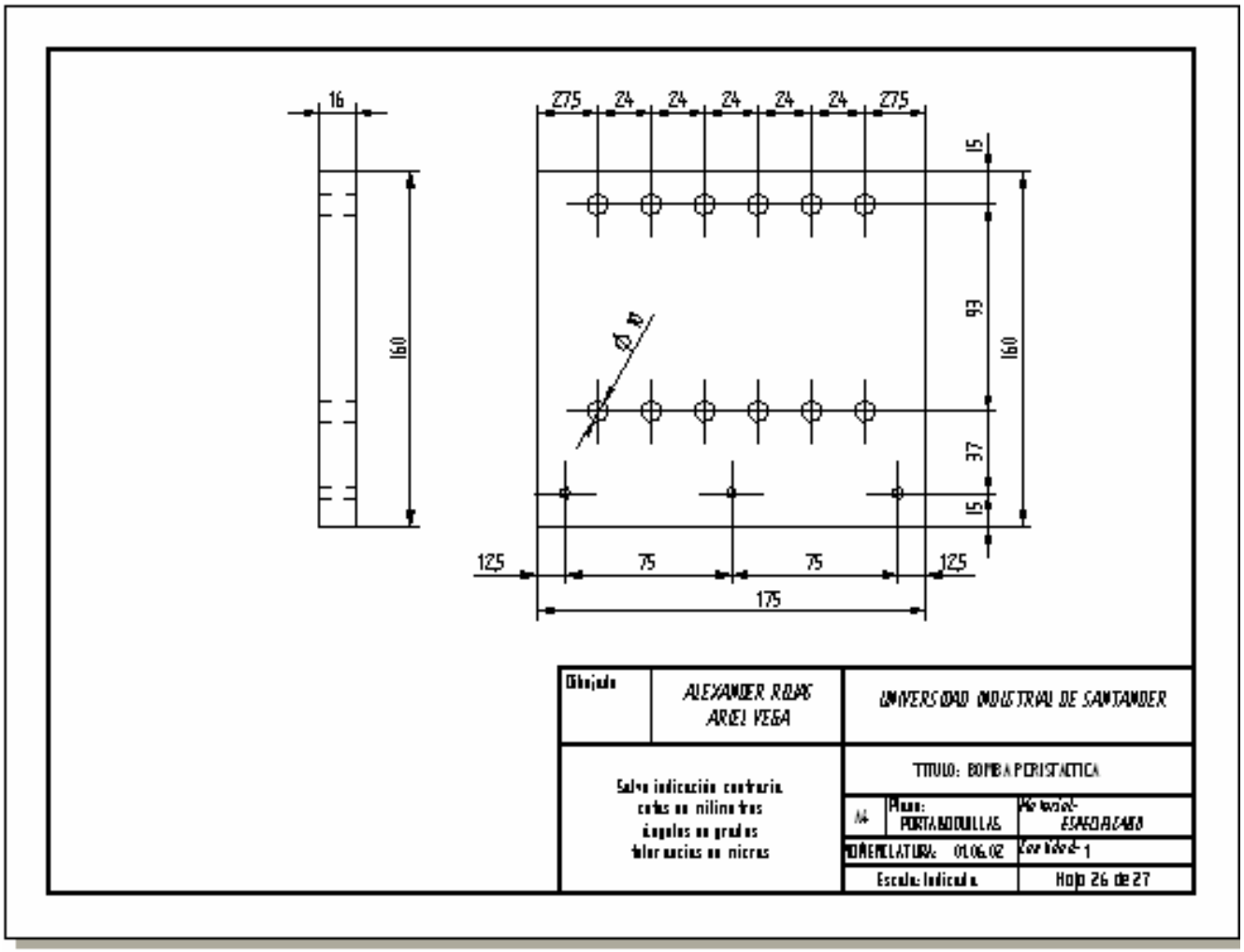

Ø 1.6
15
8
2
30
Dibujado
ALEXANDER ROJAS
ARIEL VEGA
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
Salvo indicación contraria
cotas en milímetros
ángulos en grados
tolerancias en micras
TITULO: BOMBA PERISTALTICA
Plano:
Material:
ESPECIFICADO
NOMENCLATURA: 01.08.06
Escala: Indicada
Hoja 24 de 27

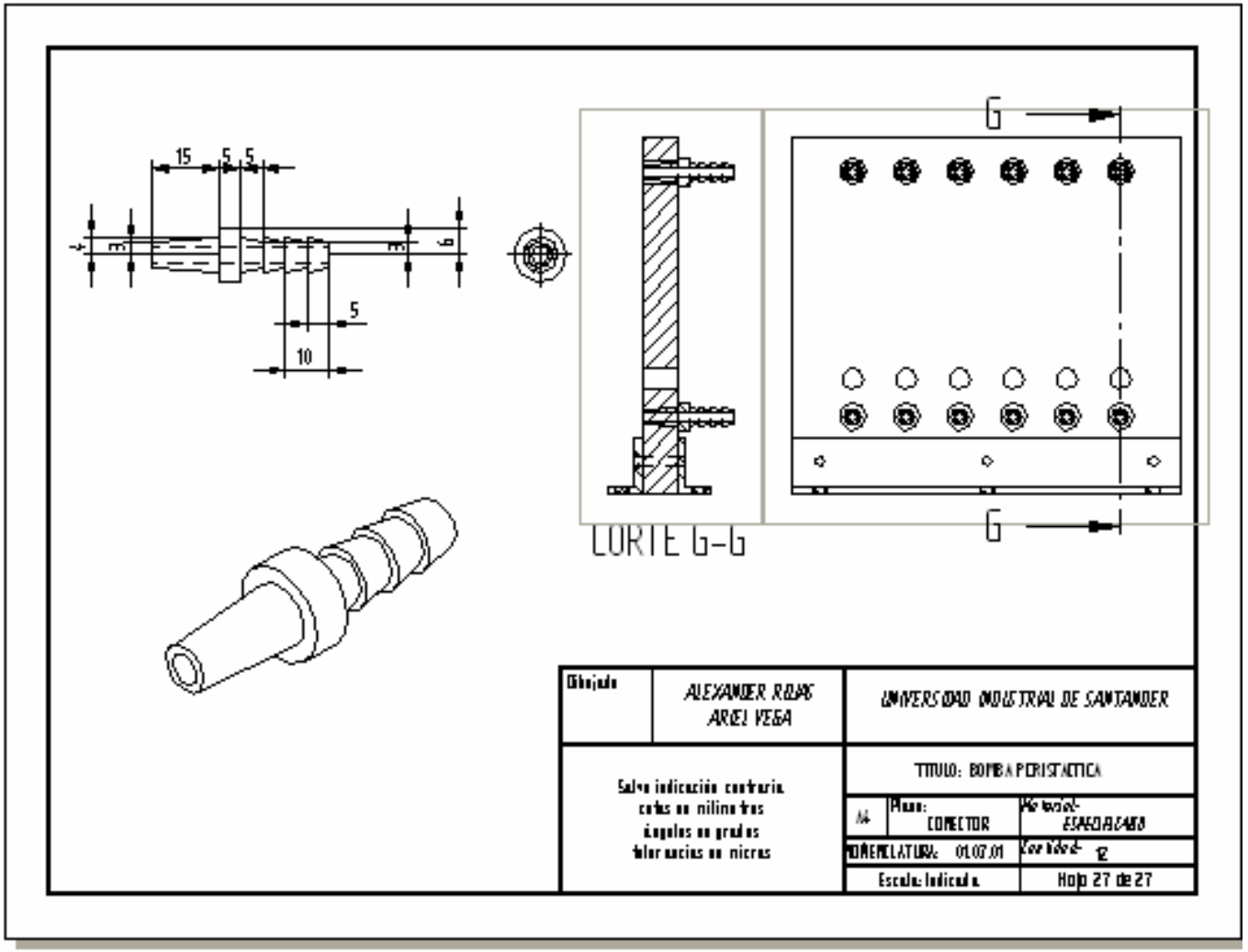




Número de plano parte	Título	Material	Cantidad
1	PORTABOQUILLAS	POLIETILENO	1
2	REFUERZO	LÁMINA DE ACERO INOXIDABLE	1
3	CONECTOR	POLIETILENO	12

Dibujado	ALEXANDER ROJAS ARIEL VEGA	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias en micras	TITULO: BOMBA PERISTALTICA	
	M — Plano: PORTABOQUILLAS	Material: ESTRUCTURAS
	NOMENCLATURA: 0106.01	Cantidad: 1
	Escala: Indicada	Hoja 25 de 27


16
160
Z75
24
24
24
24
24
Z75
15
93
160
Ø 10
37
15
125
75
75
125
175
Dibujado
ALEXANDER ROJAS
ARIEL VEGA
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
Salvo indicación contraria
cotas en milímetros
ángulos en grados
tolerancias en micras
TITULO: BOMBA PERISTALTICA
Plano:
PORTABOQUILLAS
Material:
ESPECIFICADO
NOMENCLATURA: 01.06.02
Cantidad: 1
Escala: Indicada
Hoja 26 de 27


15
5
5
3
3
6
5
10
G
G
CORTE G-G
Dibujado
ALEXANDER ROJAS
ARIEL VEGA
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
Salvo indicación contraria
cotas en milímetros
ángulos en grados
tolerancias en micras
TITULO: BOMBA PERISTALTICA
A4
Plano:
CONECTOR
Material:
ESMERILADO
NOMENCLATURA: 01.07.01
Cantidad: 12
Escala: Indicada
Hoja 27 de 27