

Universidad Católica de Santa María
Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica
Eléctrica y Mecatrónica



DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL Y SUPERVISIÓN DE NIVEL DE UN PROTOTIPO DE SILO PARA EL ALMACENAMIENTO DE CEMENTO A GRANEL PARA UNA EMPRESA DE AGREGADOS DE AREQUIPA

Tesis presentada por la Bachiller:
Infantas Segovia, Josué Edgardo
para optar el Título Profesional de
Ingeniero Mecatrónico

Asesor:
Dr. Siles Nates Fernando David

Arequipa- Perú

2021

DICTAMEN APROBATORIO

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA
INGENIERIA MECANICA, MECANICA-ELECTRICA Y MECATRONICA
TITULACIÓN CON TESIS
DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 25 de Enero del 2021

Dictamen: 002442-C-EPIMMEM-2021

Visto el borrador de tesis del expediente 002442, presentado por:

2013400131 - INFANTAS SEGOVIA JOSUE EDGARDO

Titulado:

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL Y SUPERVISIÓN DE NIVEL DE UN
PROTOTIPO DE SILO PARA EL ALMACENAMIENTO DE CEMENTO A GRANEL PARA UNA
EMPRESA DE AGREGADOS DE AREQUIPA.**

Nuestro dictamen es:

APROBADO

**1734 - ALVAREZ FLOREZ DARWIN REYNALDO
DICTAMINADOR**



**2213 - QUISPE CCACHUCO MARCELO JAIME
DICTAMINADOR**



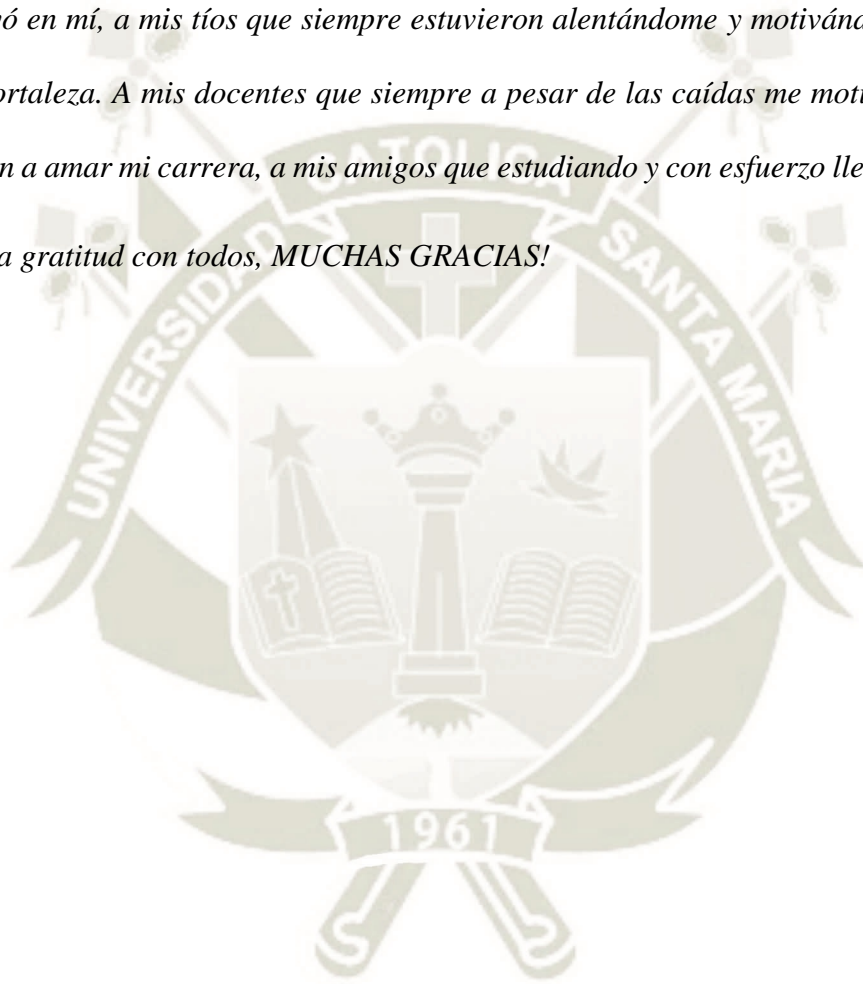
**2776 - COLLADO OPORTO CHRISTIAM GUILLERMO
DICTAMINADOR**



Dedicatoria

Dedico esta tesis a Dios todo poderoso que me acompañó en todo momento, agradezco también a mis padres Franklin y María, los quiero mucho, que siempre me apoyaron en todo momento y siempre estuvieron para mí, a mi hermana Gabriela que compartimos muchos momentos juntos y siempre creyó en mí, a mis tíos que siempre estuvieron alentándome y motivándome, siempre me dieron esa fortaleza. A mis docentes que siempre a pesar de las caídas me motivaban a seguir y me enseñaron a amar mi carrera, a mis amigos que estudiando y con esfuerzo llegamos hasta acá.

¡Mi eterna gratitud con todos, MUCHAS GRACIAS!



RESUMEN

En la actualidad todas las industrias son automatizadas y las pocas que no lo son, quedan obsoletas, el almacén de la materia prima de las empresas de producción y su medición es indispensable, tanto para contabilidad como para la producción propiamente dicha.

La presente investigación está enfocada en la optimizando del almacenaje y el proceso final.

El almacenamiento de cemento a granel para su luego uso en el proceso de mezclado con otros elementos y agregados, es la parte crucial y crítica de la empresa a trabajar. El almacenaje se realiza en silos contenedores de 120 toneladas y 15 metros de altura, transportando el material desde un contenedor secundario, bombona. Se emplea el transporte neumático positivo con una presión de 15 psi y disponiendo de una manguera de transporte de material de 4 pulgadas. Todo el proceso antes mencionado carece de un sistema automatizado, esto origina rebalses en el silo en el instante del llenado.

La presente investigación de tesis busca solucionar lo antes descrito con la selección adecuada de componentes, sensores y actuadores, ya que el ambiente a automatizar es bastante hostil. De esa misma forma minimizar los rebalses, pérdida de material y contaminación ambiental en forma de polución.

Para realizar las experiencias sin modificar los contenedores principales (silos), se desarrolló un prototipo, probando los mismos los principios y objetivos de uno real.

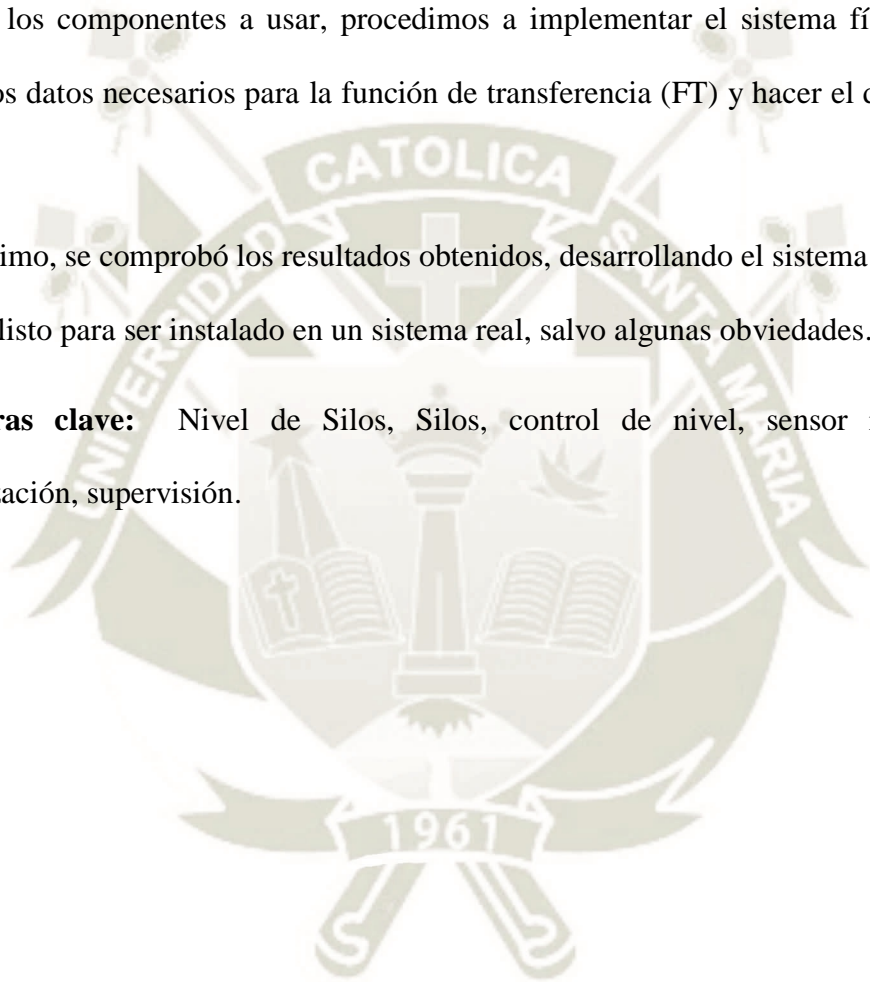
Al inicio de la investigación se planteó el problema, buscando antecedentes relacionados con el tema propuesto, de esa manera se pudo definir los objetivos y alcances del proyecto a desarrollar.

Para el desarrollo de forma correcta el proceso de investigación se obtuvo la bibliografía requerida y necesaria logrando el objetivo.

Una vez conocida la información necesaria se procedió a realizar el diseño conceptual del sistema, con la selección idónea de los componentes necesarios para el control y supervisión, definidos los componentes a usar, procedimos a implementar el sistema físico y así poder obtener los datos necesarios para la función de transferencia (FT) y hacer el diseño de control general.

Por último, se comprobó los resultados obtenidos, desarrollando el sistema de supervisión y control y listo para ser instalado en un sistema real, salvo algunas obviedades.

Palabras clave: Nivel de Silos, Silos, control de nivel, sensor radar, polución, automatización, supervisión.



ABSTRACT

At present all industries are automated and the few that are not, become obsolete, the warehouse of raw material of production companies and its measurement is essential, both for accounting and for production itself.

The present research is focused on optimizing storage and the final process.

The storage of bulk cement for its later use in the mixing process with other elements and aggregates, is the crucial and critical part of the company to work with. Storage is carried out in container silos of 120 tons and 15 meters high, transporting the material from a secondary container, a cylinder. Positive pneumatic transport is used with a pressure of 15 psi and a 4-inch material transport hose is available. All the aforementioned process lacks an automated system, this causes overflows in the silo at the moment of filling.

The present thesis research seeks to solve the aforementioned with the appropriate selection of components, sensors and actuators, since the environment to be automated is quite hostile. In the same way, minimize overflows, loss of material and environmental contamination in the form of pollution.

To carry out the experiments without modifying the main containers (silos), a prototype was developed, testing the principles and objectives of a real one.

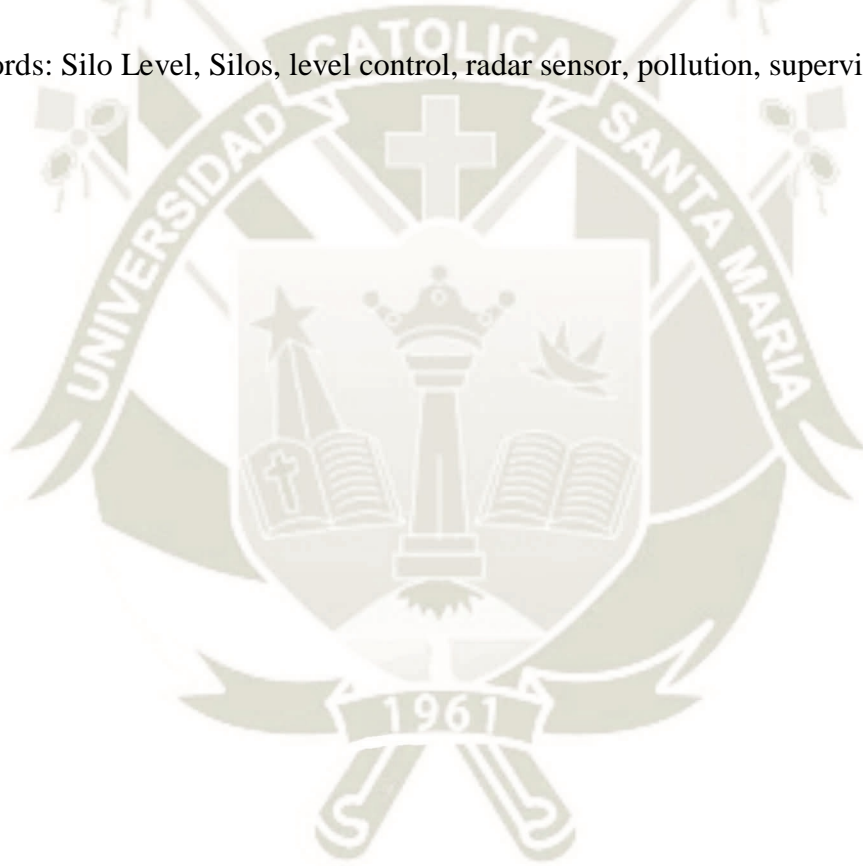
At the beginning of the investigation, the problem was raised, looking for information related to the proposed topic, in this way it was possible to define the objectives and scope of the project to be developed.

For the correct development of the research process, the required and necessary bibliography was obtained, achieving the objective.

Once the necessary information was known, the conceptual design of the system was carried out, with the ideal selection of the necessary components for control and supervision, the components to be used defined, we proceeded to implement the physical system and thus be able to obtain the necessary data to the transfer function (FT) and do the general control design.

Finally, the results obtained were verified, developing the supervision and control system and ready to be installed in a real system, except for some obvious points.

Keywords: Silo Level, Silos, level control, radar sensor, pollution, supervision automation.



INTRODUCCIÓN

La medición de nivel en el interior de los silos, siempre han sido complicada y más aun con elementos sólidos que generen en polución o un ambiente hostil, lo cual puede conllevar a una pérdida de energía en el uso continuo de compresor y de material por rebaleses, debido a un bajo o nulo control.

Actualmente la medición de nivel de un silo de almacenamiento de cemento a granel se desarrolla en forma manual usando un plato en el interior sujeto por cuerdas y un sistema de poleas simple, el operario hace uso de este mecanismo, dependiendo de cuanto recorre la cuerda sujeta al plato en el interior del silo, puede determinar de manera aproximada el nivel en el que encuentra el llenado en ese momento. Esta metodología además de ser demorosa e inexacta, no permite un control continuo del proceso.

En la presente investigación se busca, analizar y seleccionar los componentes e instrumentos imprescindibles para la implementación y puesta en marcha del prototipo para la medición del nivel de almacenamiento en el interior del silo. Tomando especial consideración en la elección de componentes a utilizar, puesto que estos instrumentos deben funcionar en una atmosfera hostil, así como los requerimientos estipulados por la empresa (costos, pérdida de materiales, control e interfaz).

ÍNDICE

DICTAMEN APROBATORIO	ii
DEDICATORIA	iii
RESUMEN	iv
ABSTRACT	vi
INTRODUCCIÓN	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiv
ÍNDICE DE TABLAS	xx
CAPÍTULO I	1
1. PLANEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN	1
1.1. Enunciado del problema	1
1.2. Identificación del problema	1
1.3. Descripción del problema	2
1.3.1. Área de conocimiento	3
1.4. Estado del arte	4
1.5. Justificación	6
1.5.1. Justificación académica	6
1.5.2. Justificación económica	6
1.5.3. Justificación ambiental	6
1.5.4. Justificación social	7
1.6. Objetivos	7
1.6.1. Objetivo general	7
1.6.2. Objetivos específicos	7
1.7. Interrogantes	7
1.7.1. Interrogante principal	7
1.7.2. Interrogantes específicas	8
1.8. Alcances y limitaciones	8

1.8.1. Alcances	8
1.8.2. Limitaciones	8
1.9. Hipótesis	9
1.10. Variables de investigación	9
1.10.1. Variable Independiente	9
1.10.2. Variable dependiente.....	9
CAPÍTULO II.....	10
2. MARCO TEÓRICO.....	10
2.1. Introducción.....	10
2.2. Silos.....	11
2.2.1. Definición de silo	11
2.2.2. Tipos de silos.....	12
2.2.3. Formas de silos.....	17
2.3. Compresores	19
2.3.1. Definición de compresor	20
2.3.2. Tipos de compresores.....	20
2.4. Cemento y su transporte.....	26
2.4.1. Definición de cemento	26
2.4.2. Transporte de cemento	27
2.4.3. Descripción de proceso de transporte de cemento	29
2.4.4. Transporte neumático.....	29
2.5. Medición de nivel	35
2.5.1. Definición.....	36
2.5.2. Medidores de nivel de líquidos	36
2.5.3. Medidores de nivel de sólidos.....	39
2.6. Mini PLC LOGO!	53
2.6.1. Definición mini PLC LOGO!.....	53

2.6.2. Descripción y conexionado	53
2.6.3. Módulos de expansión LOGO!	55
2.7. Lenguajes de programación de controladores lógicos programables	58
2.7.1. Lenguaje tipo conceptual	58
2.7.2. Lenguaje tipo grafico	59
2.8. Fundamentos de sistemas de control.....	60
2.8.1. Sistemas de control.	60
2.8.2. Control en lazo cerrado en comparación con control en lazo abierto	61
2.8.3. Elementos de un sistema de control	62
2.8.4. Modelamiento matemático de sistemas de control	63
2.8.5. Función de transferencia	63
2.8.6. Diseño del sistema de control	64
2.8.7. Modos de control.....	65
2.8.8. Métodos de sintonización de controladores PID.....	68
2.8.9. Control por modulación de ancho de pulsos	72
2.9. Válvulas de control	75
2.9.1. Definición.....	75
2.9.2. Tipos de válvulas.....	75
2.10. Norma de diseño	86
2.10.1. Norma VDI 2221.....	86
CAPÍTULO III.....	89
3. DISEÑO CONCEPTUAL DE PROTOTIPO DE LA PLANTA DE CONTROL DE NIVEL DE ALMACENAMIENTO	89
3.1. Esquema del sistema a diseñar.....	90
3.2. Lista de exigencias.....	90
3.3. Determinación de estructura de funciones.....	92
3.3.1. Procesos manuales	94
3.3.2. Procesos mecánicos.....	94

3.3.3. Procesos automáticos	94
3.3.4. Funciones globales	94
3.4. Conceptos de solución	99
3.4.1. Transformar (fuerza)	101
3.4.2. Dosificar	101
3.4.3. Almacén primario y secundario	102
3.4.4. Estructura y soporte	102
3.4.5. Medición de nivel y volumen	103
3.4.6. Procesamiento de información	103
3.4.7. Programación y adquisición de datos	104
3.4.8. Matriz morfológica	104
3.4.9. Descripción de propuestas	107
3.4.10. Selección de la propuesta	113
3.5. Circuitos del sistema	117
3.5.1. Circuito de control	118
3.5.2. Circuito de fuerza	118
3.6. Descripción de componentes y conjunto de los circuitos	119
3.6.1. Componentes del circuito de control	119
3.6.2. Componentes del circuito de potencia	137
CAPÍTULO IV	143
4. MODELAMIENTO DE PLANTA Y OBTENCIÓN DE DATOS	143
4.1. Modelamiento de la planta	143
4.1.1. Adquisición de datos de planta	147
4.1.2. Modelamiento de planta	164
4.2. Obtención de la función de transferencia general	169
4.2.1. Obtención de la función de transferencia por software	169
4.2.2. Obtención de la función de transferencia por método curva de primer orden con retardo (aproximando)	171

4.3. Configuración de bloques de control	172
4.3.1. Obtención de datos para el controlador PI	172
4.3.2. Cambio de controlador analógico a controlador digital.....	175
4.4. Configuración de pantalla LOGO! TDE.....	179
4.4.1. Comunicación entre LOGO! Siemens y pantalla LOGO! TDE.....	179
4.4.2. Configuración de datos a mostrar de la pantalla LOGO! TDE	180
CAPÍTULO V	183
5. EXPERIMENTACIÓN, COSTOS Y RESULTADOS	183
5.1. Resultado por medio de vista de tendencias	183
5.2. Costos del desarrollo del diseño e implementación de la planta	186
CONCLUSIONES	189
RECOMENDACIONES.....	191
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	192
ANEXOS	197

Índice de figuras

Figura 1. Silos ibéricos en la ciudad ibérica de Ullastret.....	10
Figura 2. Silos metálicos de torre de agricultura	13
Figura 3. Silos de bunker para almacenaje de materiales varios	14
Figura 4. Silos de bolsa de poliéster y otros polímeros	15
Figura 5. Tipos de silos usando plano de ruptura, método usado para definir si es bunker o silo	17
Figura 6. Silos metálicos en forma circular	18
Figura 7. Celdas de silos de poliéster en forma circular.....	18
Figura 8. Silos metálicos en forma poligonal	19
Figura 9. Tipos de compresores.....	20
Figura 10. Compresor de pistones Atlas Copco	21
Figura 11. Mecanismo de un compresor de pistón	22
Figura 12. Compresor de tornillos	23
Figura 13. Compresor de paletas	24
Figura 14. Esquema de funcionamiento	24
Figura 15. Compresor lóbulos y partes fundamentales.....	25
Figura 16. Compresor transportable Atlas Copco	26
Figura 17. Bombona de cemento de capacidad de 30 m ³	28
Figura 18. Bombona de cemento Argo	29
Figura 19. Esquema de transporte neumático de materiales a granel de material diluido.....	30
Figura 20. Partículas diluidas.....	32
Figura 21. Partículas densas.....	32
Figura 22. Detector de nivel diafragma	41
Figura 23. Detector de nivel por interruptor	41
Figura 24. Detector de nivel por paletas rotativas	43
Figura 25. Detector de nivel continuo electromecánico	44
Figura 26. Detector de nivel continuo por báscula	45
Figura 27. Medidor de nivel continuo capacitivo, usado para la detección de líquidos y sólidos.....	46
Figura 28. Medidor de nivel continuo por radar para detección de sólidos.....	48

Figura 29. Medidor de nivel por láser de sólidos y elementos en estado líquido	51
Figura 30. Mini PLC Siemens LOGO!	54
Figura 31. Modo de conexión del LOGO! a la fuente de alimentación, entradas y salidas	55
Figura 32. Conexión de entradas analógicas a 2 y 4 hilos (módulo AM2).....	56
Figura 33. Fuente de poder LOGO!.....	57
Figura 34. MiniPLC Siemens LOGO! y pantalla TDE LOGO!	58
Figura 35. Lenguaje de programación GRAFCET	59
Figura 36. Lenguaje de programación bloques de funciones	59
Figura 37. Lenguaje de programación diagrama de contactos	60
Figura 38. Respuesta a un escalón unitario de una planta	69
Figura 39. Curva de respuesta en forma de S	70
Figura 40. Regla de sintonización Ziegler-Nichols basada en la respuesta escalón de la planta	71
Figura 41. Sistema en lazo cerrado con un controlador proporcional	71
Figura 42. Oscilaciones sostenidas con periodo P_{cr}	72
Figura 43. Regla de sintonización de Ziegler-Nichols basada en ganancia crítica K_{cr} y Periodo P_{cr}	72
Figura 44. Formas de onda de voltaje para un inversor trifásico PWM.....	73
Figura 45. Formas de onda de voltaje dependiendo el voltaje de salida	74
Figura 46. Válvula tipo globo	76
Figura 47. Válvula en ángulo.....	77
Figura 48. Válvula de jaula.....	77
Figura 49. Válvula de compuerta con volantes manual externa	78
Figura 50. Válvula de mariposa accionada manualmente	80
Figura 51. Válvula de bola accionada por un servomotor exterior.....	81
Figura 52. Válvula de solenoide	83
Figura 53. Configuración esquemática de la válvula de solenoide.....	84
Figura 54. Configuración esquemática de la válvula de solenoide.....	84
Figura 55. Válvula de solenoide de tres vías vista real.....	85
Figura 56. Esquema electromecánico de la válvula solenoide de tres vías	85
Figura 57. Esquema de control requerido en lazo cerrado	90
Figura 58. Representación de caja negra como el sistema de control a diseñar	93

Figura 59. Estructura de funciones globales	95
Figura 60. Estructura de funciones mecánicas.....	97
Figura 61. Estructura de funciones electrónica y de control.....	99
Figura 62. Sistemas neumáticos de transporte.....	101
Figura 63. Sistemas de elementos dosificantes.....	101
Figura 64. Almacenamiento de cemento primario y secundario	102
Figura 65. Perfiles a seleccionar	102
Figura 66. Medidores de nivel	103
Figura 67. Controladores seleccionables	103
Figura 68. Softwares a usar.....	104
Figura 69. Matriz morfológica según norma VDI 2221	106
Figura 70. Selección de propuesta	117
Figura 71. Caja de control eléctrico.....	119
Figura 72. Diagrama eléctrico de arranque.....	120
Figura 73. Interruptor termomagnético a 10 A.....	121
Figura 74. Símbolo de interruptor termomagnético.....	122
Figura 75 Pulsador NO	122
Figura 76. Pulsador abierto con retorno automático.....	123
Figura 77. Pulsador NC	123
Figura 78. Pulsador cerrado con retorno automático.....	124
Figura 79. Botón paro de emergencia NC	125
Figura 80. Pulsador con cabeza de hongo sin retorno automático.....	125
Figura 81. Contactor magnético trifásico	126
Figura 82. Contactor eléctrico trifásico con 1 NO.....	127
Figura 83. Circuito de inicio con paro prioritario.....	127
Figura 84. Alimentación de fuente de voltaje Siemens	128
Figura 85. Fuente de alimentación de 24 voltios y 1.3 A	129
Figura 86. Símbolo de fuente de alimentación	129
Figura 87. Diagrama de alimentación de pantalla LOGO! TDE a 24 V.	130
Figura 88. Pantalla LOGO! TDE.....	130
Figura 89. Diagrama de alimentación de LOGO! y módulo de expansión AM2.....	131

Figura 90. LOGO! 12/24 RCE.....	132
Figura 91. LOGO! módulo de expansión AM2.....	133
Figura 92. Diagrama de conexión y lectura de datos del sensor de radar.....	134
Figura 93. Sensor radar de nivel	135
Figura 94. Diagrama de conexión de válvula solenoide de control.....	136
Figura 95. Válvula solenoide AST a 24 V.....	136
Figura 96. Símbolo de válvula solenoide unidireccional.....	137
Figura 97. Diagrama del circuito de potencia principal.....	138
Figura 98. Compresor semi-industrial marca pitbull	138
Figura 99. Símbolo de compresor.....	139
Figura 100. Manómetro del sistema	140
Figura 101. Símbolo del manómetro	140
Figura 102. Contenedor de material secundario	141
Figura 103. Almacén de material primario.....	142
Figura 104. Conexión general para control y adquisición de datos	145
Figura 105. Conexión general real de la planta a controlar	146
Figura 106. Esquema de conexión.....	146
Figura 107. Vista inicial al encendido del sensor a 24 voltios	148
Figura 108. Configuración de valor mínimo	148
Figura 109. Configuración de valor mínimo	149
Figura 110. Configuración de fluido a medir	149
Figura 111. Configuración de fluido solido.....	150
Figura 112. Configuración de ángulo de reposo.....	150
Figura 113. Configuración de ambiente hostil.....	151
Figura 114. Configuración tiempo de eco	151
Figura 115. Configuración escala de unidades	152
Figura 116. Distancia a configurar	152
Figura 117. Corriente dada por el sensor de radar.....	153
Figura 118. Bloque de adquisición de datos	155
Figura 119. Configuración de adquisición de datos con impulsos	156
Figura 129. Selección de datos a leer	157

Figura 121. Diagrama de flujo de control ON-OFF	158
Figura 122. Bloques de control ON-OFF	159
Figura 123. Bloque amplificador	160
Figura 124. Bloque comparador	161
Figura 125. Ingreso a registro de datos.....	162
Figura 126. Registro de datos	163
Figura 127. Texto generado con datos.....	163
Figura 128. Tabla de datos Excel.....	164
Figura 129. Datos en Matlab.....	165
Figura 130. Datos en Matlab.....	165
Figura 131. Bloque de IDENT.....	166
Figura 132. Grafica de time plot.....	167
Figura 133. Opciones de valores a estimar	167
Figura 134. Aproximación de función de transferencia	168
Figura 135. Gráfica realizada por LTI Viewer	168
Figura 136. Traslado de la mejor aproximación a workspace	169
Figura 137. Programa interno para la obtención de FT	170
Figura 138. Programa interno para la obtención de FT	170
Figura 139. Configuración de bloque PI.....	174
Figura 140. Sistema de salida PWM.....	175
Figura 141. Configuración de bloque PWM.....	176
Figura 142. Diagrama de flujo de controlador PI	177
Figura 143. Programa por diagrama de bloques de control PI con PWM	179
Figura 144. Pantalla y configuración de inicio	180
Figura 145. Bloque de mensaje en pantalla	180
Figura 146. Pantalla de configuración de pantalla.....	181
Figura 147. Pantalla de TDE simulada	182
Figura 148. Pantalla de TDE real.....	182
Figura 149. Gráfica de tendencias estándar	183
Figura 150. Gráfica de tendencias de la planta.....	184
Figura 151. Gráfica de tendencias de datos	185

Figura 152. Error en estado estable 186

Figura 153. Tabla de costos generales 188



Índice de tablas

Tabla 1. Productos de fase densa y fase diluida.....	33
Tabla 2. Sensores medidores de nivel de líquidos más usados en la industria	37
Tabla 3. Sensores medidores de nivel de sólidos usados en la industria	52
Tabla 4. Tipo de válvulas usadas en la industria.....	82
Tabla 5. Lista de exigencias.....	91
Tabla 6. Funciones parciales.....	100
Tabla 7. Valoración técnica	114
Tabla 8. Valoración económica	115
Tabla 9. Matriz de selección	117
Tabla 10. Datos técnicos de caja de control eléctrica	120
Tabla 11. Datos técnicos de interruptor	121
Tabla 12. Datos técnicos de pulsador NO.....	122
Tabla 13. Datos técnicos del pulsador NC.....	124
Tabla 14. Datos técnicos de botón de parada de emergencia.....	125
Tabla 15. Datos técnicos de contactor eléctrico trifásico.....	126
Tabla 16. Datos técnicos de fuente de alimentación eléctrica	129
Tabla 17. Datos principales de pantalla LOGO! TDE	131
Tabla 18. Datos técnicos de LOGO!.....	132
Tabla 19. Datos de módulo de expansión de lectura analógica	133
Tabla 21. Datos técnicos del sensor seleccionado	135
Tabla 21. Datos técnicos de válvula solenoide	137
Tabla 22. Datos técnicos de compresora semi-industrial.....	139
Tabla 23. Datos técnicos del manómetro	140
Tabla 24. Datos técnicos de alancen secundario.....	141
Tabla 25. Datos técnicos de almacén primario	142
Tabla 26. Datos para ingresar al controlador PI.....	173
Tabla 27. Métodos empíricos de diseño y arquitecturas de control.....	173
Tabla 28. Datos para ingresar al controlador PI.....	174

CAPÍTULO I

1. Planeamiento de la investigación

1.1. Enunciado del problema

“Diseño e implementación de un sistema de control y supervisión de nivel de un prototipo de silo para el almacenamiento de cemento a granel para una empresa de agregados de Arequipa.”

1.2. Identificación del problema

Actualmente en el proceso de llenado de silos con cemento a granel en la empresa de agregados, se encuentran presentes compresores móviles empleados para el transporte del material sin un sistema de control definido, esto ha ocasionado desperdicio de la materia prima al momento de un fallo humano.

Existe el desperdicio por rebalse de recurso a almacenar, y con el paso del tiempo se presenta como gasto mayor por pérdida de material, lo anterior descrito se ve reflejado en costos y contaminación ambiental.

Un operador hace la medición de los silos, con ayuda de un instrumento manual en forma de plato sujeto por cuerdas y poleas, un mecanismo sencillo y útil en el método empírico de medición de nivel. El operador evalúa el nivel de almacenamiento periódicamente, de no hacerlo pueden suceder incidentes como: en caso del olvido del instrumento manual en el interior del silo, el elemento de medición ingresa al sistema de salida por tornillo sinfín generando problemas como ruptura del elemento de salida sinfín lo que generaría un gasto adicional.

En caso de no hacer la medición en el llenado, el proceso proseguirá y desembocará en el desborde de material, rebalses y contaminación ambiental, y posteriormente enfermedades ocupacionales a los operarios y trabajadores.

1.3. Descripción del problema

En la actualidad en la planta de agregados en la ciudad Arequipa donde se desarrolla el acopio de cemento a granel, cuenta con tres silos de almacenamiento, uno de 120 toneladas y 15 metros de altura, el principal, y los otros dos de 60 toneladas de capacidad. Este material es acarreado mediante transporte neumático y confinado en los silos gracias a la gravedad. Para este método de transporte neumático positivo, se usa una maquina compresora Atlas Copco alimentado por un motor diésel.

Medible:

El operario encargado de la supervisión del acopio del cemento a granel, es el responsable de determinar el nivel en que se encuentra en todo momento, para realizar dicha actividad utiliza un mecanismo simple conformada por un sistema de poleas, un plato y cuerdas, ensambladas de tal manera que se puede hacer una medición manual del nivel de acopio y almacenamiento.

En toda industria manual existen fallos humanos en la medición, generando inconvenientes al no hacer medición correcta y medición periódica. El proceso de almacenaje de cemento no escapa de este problema, cuando no se hace la medición de nivel de manera continua, y se encuentra en proceso de llenado, el silo de almacenamiento se satura y el material se desborda, generando perdida del producto, contaminación ambiental en forma de polución y consumo extra de energía, por el uso continuo del compresor; el proceso continúa hasta que un operario

mitigue el funcionamiento del sistema. En caso opuesto, cuando el sistema se encuentra en descarga y no se realiza la medición periódica, el mecanismo usado para el sondeo de nivel ingresa al proceso de salida, generando daños considerables en el tornillo sinfín, ocasionando gastos de mantenimiento y parar el proceso hasta cambiar el sistema dañado o restaurarlo. En ambos casos se originan pérdidas económicas, ambientales y de salud.

Solucionable:

El problema se origina por ausencia de sondeo continuo o control de nivel interno en el silo, el cual se puede solucionar con el diseño y selección adecuada de los instrumentos, accesorios y componentes para de esa forma crear un proceso automatizado del sistema.

Flexible:

Todos los elementos necesarios para la implementación del diseño son adquiribles en el mercado.

1.3.1. Área de conocimiento

El área de conocimiento a desarrollar se enfoca en el diseño mecatrónico de sistemas mecánicos y electrónicos, precisando en el método de automatización de procesos.

- **ÁREA:** Ingeniería mecatrónica
- **SUB ÁREA:** Automatización industrial de procesos
- **LÍNEA:** Control de procesos industriales

1.4. Estado del arte

Los procesos de automatización y control se han vuelto necesarios e indispensables para el funcionamiento óptimo de sistemas industriales, y los procedimientos que no poseen esta tecnología, exhiben fallos y son ineficientes.

El proceso de control y supervisión en un procedimiento tradicional exige la presencia humana para energizar y desenergizar el sistema, para verificar su adecuado funcionamiento y para evaluar magnitudes como la temperatura, presión, posición, distancia, velocidad, etc. Las mediciones realizadas por este modo son inexactas e imprecisas por errores humanos.

Por esta causa se desarrolló los sistemas de control y supervisión que usan: sensores electrónicos, que ayudan con el sondeo de magnitudes físicas con mucha precisión, y los actuadores que son componentes que conmutan modificando la respuesta del sistema. Estos dos elementos juntos son usados para realizar un control.

En antecedentes locales encontrados a Pacha Flores, D. F., & Rivas Rolando, J. (2015). Diseño e implementación de un sistema para supervisión, monitoreo y control de un dosificador-mezclador industrial de líquidos de viscosidad intermedia basado en dispositivos para automatización. (*Tesis de pregrado*). Universidad Católica de Santa María, Arequipa. En esta investigación, se usa sensores de ultrasónicos empleados para la medición de nivel de líquidos para su posterior mezcla, usando tres variadores de frecuencia conectados a motores DC y controlados por un PLC S7-1200 de la marca Siemens.

También de Choque Cuevas, J. A. (2016). Optimización y control de calidad en la construcción de silo de almacenamiento para material puzolánico. (*Tesis de pregrado*). Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa. En esta tesis nos indica los niveles máximos

adecuados y recomendados en los silos de almacenamiento de cemento, también la presencia de materiales puzolánicos que es el cemento portland y el trato que debe resistir.

En antecedentes nacionales encontramos a Limo Huamán, R. E. (2017). Implementación de un sistema de control semiautomático en silos y tolvas de almacenamiento para mejora de la productividad en el procesamiento de alimento balanceado en una planta del sector avícola. (*Tesis de pregrado*). Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Chiclayo. nos habla que mediante el correcto almacenaje de productos se puede optimizar la técnica en el proceso final.

El antecedente internacional tenemos a Bogantes Hidalgo, J. A. (2016). Medidor de la masa neta del café de un silo en el beneficio CoopeVictoria. (*Tesis de pregrado*). Instituto Tecnológico de Costa Rica, San José. En este trabajo de investigación, nos da una idea de cómo hacer la medición del volumen y el nivel de un material sólido como los granos de café, usando un sistema de transmisión de nivel útil para estos procesos.

También a Torres Capuz, J. L., & Chanoluisa Martínez, S. X. (2015). Diseño e implementación de un sistema de control de una planta de llenado de tanques a escala usando un transmisor de nivel y algoritmo PID para pruebas en el laboratorio de automatización industrial. (*Tesis de pregrado*). Universidad Politécnica Salesiana, Guayaquil. La investigación se basa en la creación de un módulo didáctico para el uso de los alumnos de su escuela utilizando instrumentos transmisores de nivel, útil para la selección de elemento de medición.

Por ultimo tenemos a Benítez Mejía, D. S. (1994). Diseño y construcción de un sistema de control de nivel de líquidos. (*Tesis de pregrado*). Escuela Politécnica Nacional, Quito. En esta investigación nos indica la justificación del uso de controlador PI, dadas las características

dinámicas del sistema para el sistema de llenado de material, ya que el sistema es de primer orden.

1.5. Justificación

1.5.1. Justificación académica

La presente investigación busca dejar un precedente académico que ayude a posteriores investigaciones de temas similares, ya que la información encontrada fue escasa y desfasada con las nuevas tecnologías, nuevos elementos de control y accesorios.

1.5.2. Justificación económica

Esta investigación de pregrado busca aplicarse a la industria, creando una línea de control y supervisión que ayudara a la reducción del consumo de recursos y perdidas del cemento a granel, y a su vez creando una automatización del proceso. Realizando el control pueden reducirse los desbordes y rebales de material, como también el mantenimiento en caso de ruptura de elemento de salida, tornillo sinfín. Lo anterior descrito se refleja en costos.

1.5.3. Justificación ambiental

En la descripción del problema concluimos que los rebales de material generan contaminación medioambiental en forma de polución, originado cambios considerables del medio ambiente al momento del asentamiento del polvo, incomodando al sistema biodiverso en el alrededor del contenedor silo, la investigación realizada, disminuirá considerablemente el problema ambiental lo que justifica su desarrollo.

1.5.4. Justificación social

Los trabajadores y operadores presentes en la planta y cerca del acopio de cemento, sufren enfermedades producto de los rebalses de material, debido a que respiran esta polución, a pesar del uso de los equipos de protección personal, al desarrollar el control de la investigación se reduce las enfermedades ocupacionales que puede originar este efecto de nube de polvo.

1.6. Objetivos

1.6.1. Objetivo general

Diseñar e implementar un sistema de control y supervisión de nivel de un prototipo de silo de almacenamiento de cemento a granel para una empresa de agregados de Arequipa.

1.6.2. Objetivos específicos

Definir y seleccionar los implementos de control que más se adapte al sistema de llenado de los silos de almacenamiento de cemento a granel.

Diseñar el circuito de comunicación y adquisición de datos para realizar el control correspondiente.

Seleccionar e implementar el sistema de control que más se adapte a los requerimientos de la planta y la empresa.

1.7. Interrogantes

1.7.1. Interrogante principal

¿Es posible diseñar e implementar un sistema de control y supervisión de nivel de un prototipo de silo para el almacenamiento de cemento a granel?

1.7.2. Interrogantes específicas

¿Es posible seleccionar los implementos de control que más se adapten al sistema de llenado de los silos de almacenamiento de cemento a granel?

¿Se puede diseñar un circuito de comunicación y adquisición de datos para realizar el control correspondiente?

¿Es posible la correcta selección de sistema de control que más de adapte a los requerimientos de la empresa?

1.8. Alcances y limitaciones

1.8.1. Alcances

Los alcances del proyecto son el diseño e implementación de un sistema de control, realizando cálculos necesarios, planos P&ID en normas ISA 5.1, detallando procesos de elaboración y ensamble, planos del prototipo a desarrollar y detalle de los mismos.

La investigación está proyectada en el uso de sensores de nivel que no se vean afectado por las nubes de polvo, polución, ocasionadas por la deposito del material, cemento a granel.

Como el control está dirigido a verificar únicamente los niveles de silos se usará un mini controlador lógico programable (Mini PLC) o relés programables de lógica simple como el LOGO! Siemens, ideales para control exclusivo del proceso.

1.8.2. Limitaciones

Se realizará solo con un presupuesto limitado a los costos de los productos locales con algunas excepciones como el sensor, tomando en cuenta los costos del MiniPLC LOGO!

Siemens con ampliación de entradas analógicas y una pantalla de interfaz para realizar la supervisión, y sobre todo el costo del sensor y los actuadores necesarios.

Se realizará la configuración de control más óptima, que se adapte al sistema y a los componentes conseguidos, como el Mini PLC.

1.9. Hipótesis

Dado que, en la línea de almacenaje de cemento a granel carece de un sistema automático de control y por consecuencia presenta ineficiencias en el instante de la medición de nivel desembocando en pérdida de material por rebalse.

Es probable reducir los inconvenientes con el diseño e implementación de supervisión y control del proceso.

1.10. Variables de investigación

Definiendo las variables necesarias para el desarrollo de la investigación tenemos.

1.10.1. Variable Independiente

Factores estimados de control y supervisión de nivel en base a un prototipo de silo de almacenamiento de cemento.

1.10.2. Variable dependiente

Diseño e implementación de un sistema de control y supervisión de nivel de altura de almacenaje, dependiendo de la lectura inicial del almacenaje.

CAPÍTULO II

2. Marco teórico

2.1. Introducción

Desde tiempos inmemorables, el hombre busco el modo solucionar el problema de almacenaje de distintos productos, en su mayoría comestibles, sin que estos se malogren o ensucien, esto origino la búsqueda de distintas formas de almacenaje, se realizaron hoyos cubiertos de arcilla (Shorleft & Aoyagi, 2015).

Estos primeros silos de almacenamiento fueron muy usados en el imperio de romano y el territorio ibérico. En la **Figura 1** se muestra los primeros silos de almacenamiento a bajo nivel del piso.



Figura 1. Silos ibéricos en la ciudad ibérica de Ullastret

Fuente: Bestiasonica (2008)

Según Shotleft & Aoyagi (2015) refiere que, la necesidad y la demanda de almacenaje de productos de distinta índole, fueron creciendo y evolucionando, también creció y evoluciono el estilo de acopio, aumentando capacidades y tamaños del contenedor; creando de esa manera y bajo las mismas necesidades los silos verticales de piedra, útiles para el almacén de granos, y otros, el caso particular de la fuente de citada, Soya. De esa manera creciendo y optimizando los sistemas.

En pocas palabras estas acciones conllevaron a que, mientras más se progresa en la mejora de los contenedores, se encontraran más inconvenientes y problemas a solucionar, como el problema planteado en la presente investigación, controles de nivel de almacenaje.

Se empezó a desarrollar distintos métodos de medición de nivel, en un principio, mecánicos y manuales como globos o válvulas de flotación, pero estos eran de exclusividad para fluidos líquidos y bajo ciertas condiciones, no trabajaban con líquidos espumosos, calientes o corrosivos (Benitez, 1994, pág. 66).

2.2. Silos

2.2.1. Definición de silo

En la presente investigación, es indispensable conocer el concepto claro de silo de almacenamiento o acopio, para proceder a al diseño del prototipo y su control respectivamente.

Un silo es un contenedor vertical en el cual se acumula materiales sólidos, granulares o polvorosos a granel, primero se permita la admisión del material que se acarrear por medio de un sistema mecánico hacia la parte superior de las celdas de almacenaje, una vez llenas o en proceso de llenado, se realiza la descarga del material en un transportador de salida

como un tornillo sin fin o una faja transportadora o de manera directa a los camiones o vagones de los ferrocarriles. Cada material necesita un proceso distinto de acopio, por ello, las características de los silos pueden variar según la capacidad, el número de celdas de almacenaje, geometría y materiales estructurales que lo componen, se tiene esta variedad para satisfacer cada necesidad en cada caso particular (Chavez & Arturo, 2001).

El silo está definido como una estructura o almacén no convencional, en otras palabras, tiene un comportamiento y configuración que no son nada habituales que se presenten en un edificio, si no que se necesita un estudio y conocimiento mayor de sus requerimientos especiales para su análisis y diseño estructural (Chavez & Arturo, 2001).

Los silos se crearon y desarrollaron con la finalidad principal de almacenar objetos y materiales, tales como granos, semillas o polvos de forma sedentaria, aprovechando su facilidad y verticalidad para ocupar poca área de terreno; sin embargo, en la actualidad se utilizan también para la distribución y manufactura de materiales, siendo necesarios en los procesos de mezclado, homogeneización y distribución, lo cual se observa sobre todo en plantas cementeras (Barriga Falcon & Centeno Tasaico, 2018).

Por este motivo, se están demandando y requiriendo silos con una capacidad de extracción de materiales más rápida y eficiente, en las que se requieren más de una abertura para su descarga, así como diámetros y alturas más grandes para aumentar el volumen y capacidad de almacenamiento (Chavez & Arturo, 2001).

2.2.2. Tipos de silos

2.2.2.1. Tipos de silos según materiales a almacenar

Existen diferentes tipos de silos debidamente orientados para el almacenaje de materiales, dentro de los más comunes tenemos los siguientes.

- Silo de torre

El silo de torre es una estructura de aproximadamente, 4 a 8 m de diámetro y 10 a 25 m de altura. El diseño que presenta, es gracias al ingeniero estadounidense Franklin Hiram King (Duarte, Pelaez, & Cadena, 1985).

Puede construirse de materiales tales como vigas de madera, hormigón, vigas de hormigón, y chapa galvanizada ondulada. Un silo de torre debe cumplir condiciones mínimas, por esta razón es la estructura seleccionada para el posterior desarrollo del diseño (Duarte, Pelaez, & Cadena, 1985).

En la **Figura 2** podemos observar de manera clara la organización que lleva este tipo de silos de acopio general con una descarga de material constante a cada uno de los contenedores de almacenamiento.



Figura 2. Silos metálicos de torre de agricultura

Fuente: PXHERE (2017)

En este tipo de silos únicamente se puede hacer la recolección del material por la parte superior, por lo general es trasladada por sistema mecánico de cangilones, fajas transportadoras, o sistema de transporte neumático. Dejando caer el material transportado por ayuda de la gravedad, la descarga de los materiales almacenados se realiza por la parte inferior, ya sea por, también, faja transportadora o sistema mecánico de tornillo sin fin (Wilkinson, Bolsen , & Lin, 2003).

- Silos de bunker

Los silos de búnker son trincheras hechas habitualmente de hormigón que se cargan y estrujan con tractores y máquinas de carga. El costo bajo, hace que sean ventajosos para operaciones muy grandes. La trinchera rellena se recubre con una carpa para sellarlo herméticamente. Normalmente, estos silos se descargan usando tractores y cargadores. (Duarte, Pelaez, & Cadena, 1985, pág. 8)

En la **Figura 3** vemos los silos separados por bloques de hormigón armado, este tipo de silos son más económicos, pero inservibles para la presente investigación.



Figura 3. Silos de bunker para almacenaje de materiales varios

Fuente: Crest precast, INC. (2017)

- Silos de bolsa

Son bolsas plásticas con gran tamaño, de 2 a 2½ m. de diámetro, con un largo que varía acorde al volumen del material que se almacena. Se compactan empleando una máquina especial para ese fin, y ambos finales se sellan. Las bolsas se descargan utilizando un tractor y cargador, o un cargador con palanca. (Duarte, Pelaez, & Cadena, 1985, pág. 9)

Los silos de bolsa también son usados en medio de las celdas de silos poligonales para que en caso de rebalse no se pierda nada de materiales o productos, en la **Figura 4** se muestra claramente el deposito del material, por lo general son productos orgánicos.



Figura 4. Silos de bolsa de poliéster y otros polímeros

Fuente: Pregon agropecuario (2009)

2.2.2.2. Tipos de silos seleccionados por la estructura geométrica

El comportamiento de los materiales almacenados influye en la forma del silo, tanto en reposo como en el proceso de descarga elementos almacenados. La configuración del silo puede ser de diferente en altura, diámetro y estructura, según el proceso industrial en el que se utilice para el manejo y transporte de los materiales. Se muestra una primera clasificación de los silos conforme a su geometría y forma global, en la que si se satisface alguna de las

condiciones que se presentan a continuación se trataría de un silo de almacenamiento profundo y, por el contrario, si no se satisfacen estas condiciones, se trataría de un bunker o almacenamiento de poca altura:

a) Aproximaciones empíricas:

$$H > 1.5D \text{ para silos circulares}$$

$$H > 1.5A \text{ para silos rectangulares}$$

Donde H es la altura del silo, D es el diámetro y A es la dimensión menor de un silo rectangular (Chavez & Arturo, 2001).

b) Aplicación basada en el plano de ruptura

El plano de ruptura se determina por la teoría de Coulomb. Esta información solo es necesaria conocer los tipos de silos. Sin tomar la fricción de las paredes, para el caso de superficies verticales y la superficie horizontal superior, el plano de ruptura de Coulomb se encuentra en la línea central entre el ángulo de reposo y las paredes verticales. El ángulo de ruptura debería ser igual a $\pi/4 - \phi/3$. En cualquiera de los dos casos, si la línea de ruptura interseca la línea superior del material almacenado se trataría de un bunker, de lo contrario sería un silo (Chavez & Arturo, 2001).

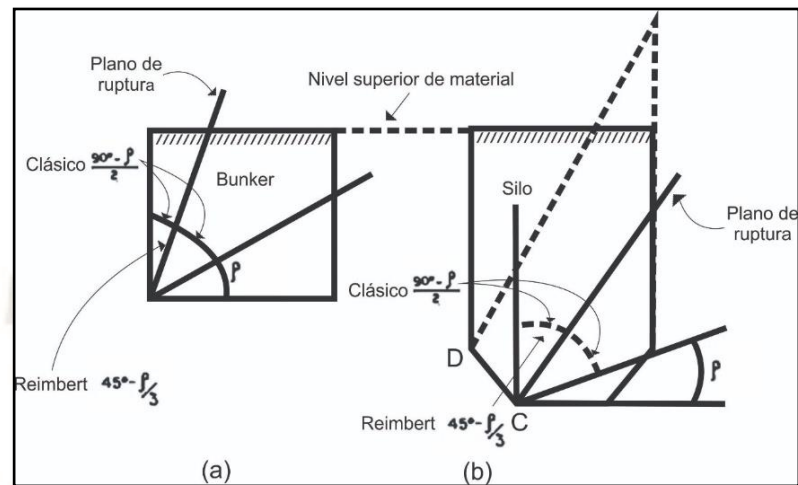


Figura 5. Tipos de silos usando plano de ruptura, método usado para definir si es bunker o silo

Fuente: Tres métodos para el análisis estructural de silos de concreto reforzado (2008)

2.2.3. Formas de silos

Los silos pueden ser únicos o individuales o formar conjuntos, batería de silos.

2.2.3.1. Silos en forma circular

La forma estructural más corriente y común es de geometría circular; en este caso, el silo está expuesto a una presión uniforme alrededor de su circunferencia y sus paredes se comportan como una membrana de tensión constante, sin momentos flexionantes que afecten el diseño ensamblado, a lo largo de gran parte de su altura.

Por ese motivo, los silos circulares se construyen y diseñan con diámetros que sobrepasan las dimensiones prácticas o útiles de silos rectangulares (Chavez & Arturo, 2001). En la **Figura 6** tenemos ejemplos claro de silos circulares ensamblados.



Figura 6. Silos metálicos en forma circular

Fuente: Productos TIGSA (2019)

También, existen silos circulares que forman grupos o baterías de silos como se muestra en la **Figura 7**. Cuando se utilizan dos o más silos, el espacio que termina entre silos también es aprovechado para el almacenamiento y acopio de los productos. En muchos casos, se agregan más formas de almacenamiento por el exterior de las baterías o celdas de silos llamadas “bolsas de silos” para obtener la máxima capacidad (Chavez & Arturo, 2001).



Figura 7. Celdas de silos de poliéster en forma circular

Fuente: Polyester Silos (2016)

2.2.3.2. Silos en forma poligonal

Este tipo de silos, tienen las mismas ventajas que los de forma rectangular, sin embargo, por su mayor número de lados se acerca más a la forma o geometría circular y a sus ventajas estructurales y diseño.

Estas geometrías de silos se pueden adecuar a la edificación con estructura de acero, concreto reforzado o también a la construcción con poliéster (Chavez & Arturo, 2001). En la **Figura 8** observamos el diseño implementado del silo antes mencionado, con una capacidad de 35 toneladas y 14 paneles.



Figura 8. Silos metálicos en forma poligonal

Fuente: FORDAQ (2011)

2.3. Compresores

Para el transporte neumático del producto a almacenar, cemento, se requiere un sistema para la obtención de aire comprimido, para aprovechar la presión y el caudal, por consiguiente, los compresores son ideales para este trabajo.

2.3.1. Definición de compresor

Es una máquina que tiene como función principal hacer incrementar y crecer la presión de un fluido gaseoso, en su mayoría la compresión de aire atmosférico. Todos los compresores extienden la presión de gases, pero al tener varios diseños no lo realizan de la misma manera. Existen varios tipos de máquinas de compresión (Linares & Widman, 2011).

2.3.2. Tipos de compresores

La **Figura 9** nos explica de manera rápida, práctica y sencilla los tipos de compresores.

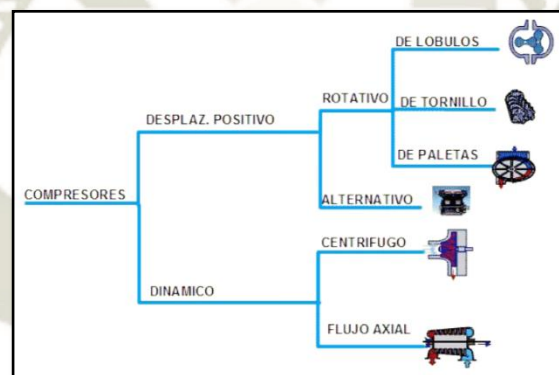


Figura 9. Tipos de compresores

Fuente: Compresores su funcionamiento y mantenimiento (2011)

2.3.2.1. Por desplazamiento positivo:

- Compresores de pistón

En la **Figura 10** se distingue un compresor convencional por pistones.



Figura 10. Compresor de pistones Atlas Copco

Fuente: Atlas Copco (2019)

El compresor de pistón es el primero, el más antiguo y frecuente de todos los compresores industriales. Se encuentra generalmente con acción individual o doble, lubricado con aceite o sin de aceite, y con varios cilindros en varias y diferentes configuraciones, a diferencia de los compresores más pequeños, que tienen cilindros verticales, la configuración y diseño en V es la más habitual para los compresores pequeños. En los compresores de mayor tamaño de doble acción, la configuración es en L con un cilindro vertical de baja presión y un cilindro horizontal de alta presión que da grandes beneficios convirtiéndose en el diseño y estructura más habitual (ATLAS COPCO , 2019).

Los compresores que se lubrican con aceite, generalmente, trabajan con lubricación por salpicadura o a presión. Gran cantidad de los compresores poseen válvulas de acción automática. Una válvula de acción automática se abre y se cierra como consecuencia de las diferencias y variación de presión en las dos partes del disco de válvula (ATLAS COPCO , 2019).

Los compresores de pistón sin aceite poseen fragmentos de pistón de PTFE (politetrafluoroetileno o mejor conocido como teflón) o carbón, el pistón y la pared del cilindro se pueden perfeccionar como en los compresores laberinto. Las máquinas de mayor tamaño contienen una cruceta y retenes en los bulones de los pistones, y una pieza en el medio ventilada para impedir que el aceite pase del cárter, al interior de la cámara de compresión. Los compresores más pequeños tienen un cárter con rodamientos sellados permanentemente (ATLAS COPCO, 2019).

En la **Figura 11**, se detalla claramente el funcionamiento del compresor por mecanismo de pistón, indicando el desplazamiento, puntos muertos y volúmenes.

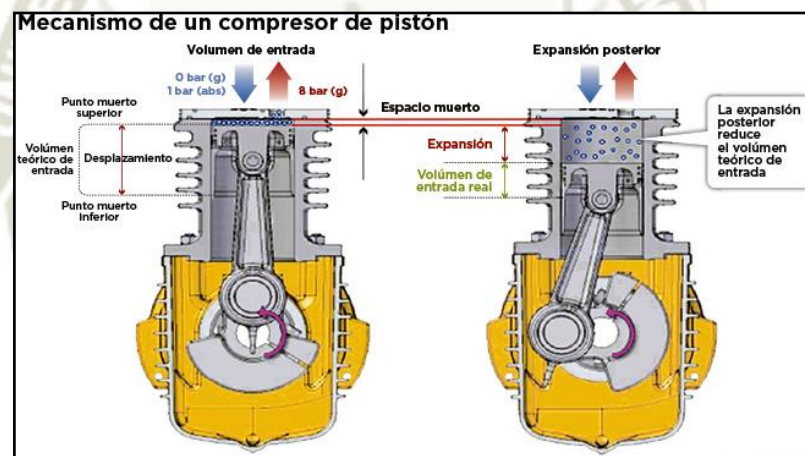


Figura 11. Mecanismo de un compresor de pistón

Fuente: El Heraldo (2016)

- Compresor de tornillo

Este compresor es el más simple, el compresor de tornillo también es impulsado por motores eléctricos o diésel. La diferencia principal es que este compresor, usa dos tornillos largos para comprimir el fluido dentro de una cámara también larga. Para evitar y reducir el daño de los mismos tornillos ingresa aceite para conservar todo el sistema mecánico

lubricado. El lubricante sintético se incorpora al aire en la entrada de la cámara y es trasladado al área entre los dos tornillos rotatorios. Al salir de la cámara, el aire y el aceite atraviesan un largo separador de aceite donde el aire ya pasa listo y limpio a través de un minúsculo orificio filtrador. Se enfría y reutiliza el aceite y el aire se va al tanque de reserva para ser utilizado en su trabajo (Araujo & Guanoluisa, 2011). En la **Figura 12** se muestra el esquema de funcionamiento del compresor por tornillo.

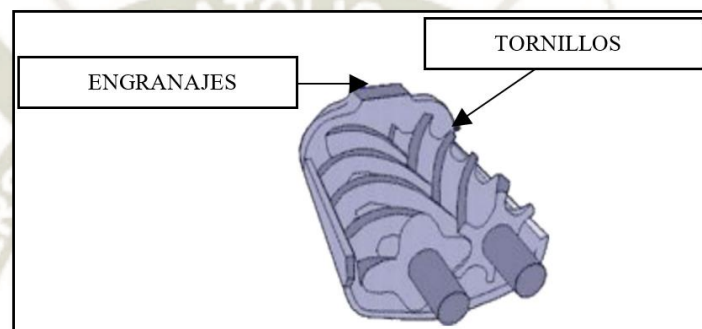


Figura 12. Compresor de tornillos

Fuente: Compresores su funcionamiento y mantenimiento (2011)

- Compresores de paletas

Es un compresor silencioso, versátil y corto. En el compresor de paletas el eje gira a alta velocidad mientras la fuerza centrífuga lleva las paletas hacia la carcasa exterior. Por la carcasa ovalada, continuamente entran y salen por canales en su rotor. Este sistema es similar a una bomba hidráulica. (Linares & Widman, 2011, pág. 4)

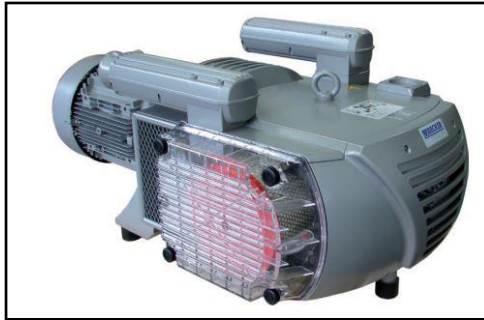


Figura 13. Compresor de paletas

Fuente: Becker (2019)

Por la excentricidad de la cámara, los compartimientos llenos de aire entre paletas se achican entre el orificio de entrada y el de salida, comprimiendo el aire. El lubricante sella las paletas en el rotor y contra el anillo de la carcasa. (Linares & Widman, 2011, pág. 4)

“Los cojinetes del rotor trabajan en un régimen de lubricación hidrodinámica mientras las paletas frotan sobre el anillo de la carcasa en lubricación hidrodinámica y límite” (Linares & Widman, 2011, pág. 4). En las **Figuras 13 y 14** se muestra los compresores por paletas el esquema y funcionamiento.

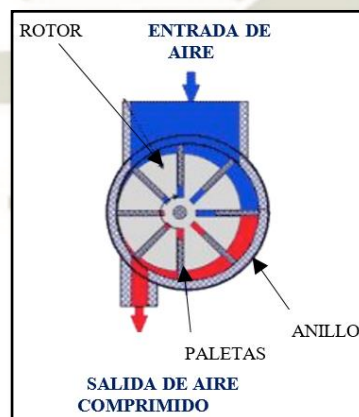


Figura 14. Esquema de funcionamiento

Fuente: Compresores Su Funcionamiento y Mantenimiento (2011)

- Compresores de lóbulos o émbolos rotativos

El principio de funcional está en base al giro de dos rotores de lóbulos en el interior de la carcasa. Los rotores se mueven circularmente de forma sincronizada y en el sentido opuesto, creando entre ellos unas cámaras o bolsas en las que entra el aire. De esta forma, los lóbulos transportan el aire, logrando acrecentar y sumar la presión en función de la contrapresión con la que coinciden en la salida del módulo de compresión de aire. Esta contrapresión es recibida por las pérdidas por rozamiento o fricción y los requerimientos de presión de la planta con el que trabaja (Linares & Widman, 2011). En la **Figura 15** podemos ver el esquema de un compresor por lóbulos

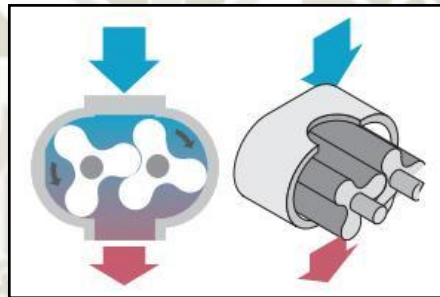


Figura 15. Compresor lóbulos y partes fundamentales

Fuente: Mundocompresor (2018)

2.3.2.2. Compresores de aire transportables

Este tipo de compresores son los más usados para requerimientos de aire comprimido en plantas o sistemas de difícil acceso o donde se carece de energía eléctrica. Por lo general tienen un motor de combustión interna que permite el efecto la compresión de aire, generalmente tiene un sistema de compresión de pistón (Compresores Móviles , 2019).

Abarcan desde máquinas de compresión de aire pequeños y medianos hasta maquinas compresoras de gran tamaño, puede seleccionarse la maquina compresora que mejor se acople a las necesidades. Esta máquina compresora es imprescindible cuando es necesario

llevar este tipo de herramienta a otro lugar para hacer algún trabajo especializado. Dondequiera que necesite aire comprimido, las maquinas compresoras están optimizadas y diseñadas para facilitar el traslado, transporte, la maniobrabilidad y eficiencia en el trabajo. Las maquinas compresoras de aire se pueden remolcar, trasladar y transportar en casi cualquier vehículo a cualquier parte donde se necesite (Compresores Móviles , 2019). En la **Figura 16** muestra un compresor móvil de la marca Atlas Copco.



Figura 16. Compresor transportable Atlas Copco
Fuente: AtlasCopco (2018)

2.4. Cemento y su transporte

En la investigación es el material fluido a transportar, es clave conocer las características, transporte y tipos de cemento para realizar un buen diseño basándonos en esos datos.

2.4.1. Definición de cemento

Es un material muy usado en construcción compuesto de varias sustancias calcáreas y arcilla en una sustancia en polvo que al momento de ser mezclada con agua u otra sustancia líquida, forma una pasta blanda y viscosa que se solidifica al estar en contacto con el agua o el aire. Al combinar el cemento con agua, arena, piedra chancada y otros, se logra tener

el cemento preparado o el conocido hormigón, mezcla bastante utilizada en la construcción (Pérez Porto & Merino, 2016).

Actualmente, al cemento que armoniza sustancias calcáreas y arcilla se le llama cemento hidráulico. De ese tipo cementos, el más popular es el cemento Pórtland, tiene un color grisáceo muy similar al matiz de las piedras obtenidas de las canteras de la isla de Pórtland en Inglaterra de ahí proviene el nombre (Pérez Porto & Merino, 2016).

2.4.2. Transporte de cemento

Una vez terminado el proceso de mezcla de sustancias calcáreas, arcilla y otros aditivos, en otras palabras, terminado el proceso de creación de cemento, es necesario e indispensable mantener el producto seco y conservar sus propiedades y características químicas y físicas para así lograr que el producto llegue correctamente a ser combinado con agua, arena y piedra chancada (hormigón), ideal para la industria de construcción civil. El transporte de este material es crucial ya que debe mantener las condiciones anteriores (Claros, 2013).

Por mucho tiempo el cemento era distribuido por sacos o bolsas de cartón o papel, esto generaba perdidas en caso de ruptura de alguna de ellas, este tipo de distribución aún sigue siendo usado, especialmente por distribuidores minoristas y venta al prorrato, sin embargo, actualmente se distribuye el cemento a granel, transportándolo a través de contenedores cisterna, graneleras y/o silos móviles en el argot comercial conocido como bombonas de cemento, para ser acopiado en los contenedores (Claros, 2013).

En la **Figura 17** se muestra la bombona de transporte por remolque.



Figura 17. Bombona de cemento de capacidad de 30 m³

Fuente: Compañía peruana de remolques. (2018)

Este sistema de transporte, transporte de cemento a granel tiene varias ventajas sobre el antiguo método de transporte por sacos de papel (Claros, 2013).

- Ventajas
 - Tiene mayor tiempo de conservación de propiedades y características físicas y químicas. Debido a que el ambiente donde se almacena es hermético mantiene las propiedades.
 - Es mucho más económico la compra de cemento, por no tener que usar parihuelas con bolsas de cemento.
 - Es más económico el transporte, la manipulación, almacenamiento y descarga, ya que solo se requiere de poco personal calificado para la carga y descarga.
 - Al contar con el cemento almacenado disponible en cualquier momento, la cantidad necesaria y sin tener pérdidas se incrementa su eficiencia.
 - Se reduce la pérdida del material por descuidos y/o accidentes producidos por el personal.
 - Se reduce el hurto del material, en el argot de construcción “el tubeo”, de las bolsas de cemento, ya que se traslada el producto hermético y pesado.

2.4.3. Descripción de proceso de transporte de cemento

El vehículo que transporta el cemento, es un tanque, silo móvil o cisterna construido y diseñado a presión en acero o aluminio. Es arrastrado o remolcado por un camión, la bombona se carga en los silos de almacenamiento de cemento por gravedad, tienen una capacidad que va desde 18 a 38 toneladas de cemento. Estos vehículos de transporte están provistos de una entrada de aire comprimido esto se usa para descargar el material. El operario regula los controles de admisión de aire comprimido para dar la mezcla adecuada de aire y cemento que lleva el material hasta el silo de obra que también se descarga el cemento por gravedad (Claros, 2013).

En la **Figura 18** se visualiza el ingreso del aire comprimido y la salida de la bombona ya con el cemento como fluido.



Figura 18. Bombona de cemento Argo

Fuente: Transporte de cemento a granel Argos. (2013)

2.4.4. Transporte neumático

Este sistema de transporte de material es usado para trasladar el cemento de la bombona al silo y dejarlo caer por gravedad.

2.4.4.1. Concepto y donde se usa

La existencia de un sistema de transporte neumático es a razón del traslado de materiales sólidos, de un lugar a otro, por medio de un fluido compresible como el aire a presión, ya sea positiva (sobrepresión) o negativamente (aspiración), y a través de canales o tuberías. También se puede transportar materiales con tamaño muy pequeño de partículas desde micrones hasta de 20mm de forma horizontal y/o vertical hasta distancias de hasta máximo 2 kilómetros y con capacidades de hasta 1000T/h a través de tuberías de hasta 500 mm de diámetro (Martinez, 2019).

En la **Figura 19** se muestra esquemáticamente el transporte de material de un silo a otro con el uso de un soplador y un alimentador por tornillo, al final del proceso de transporte se tiene un ciclón separador de aire y el producto. Almacenándose de esa manera el producto.

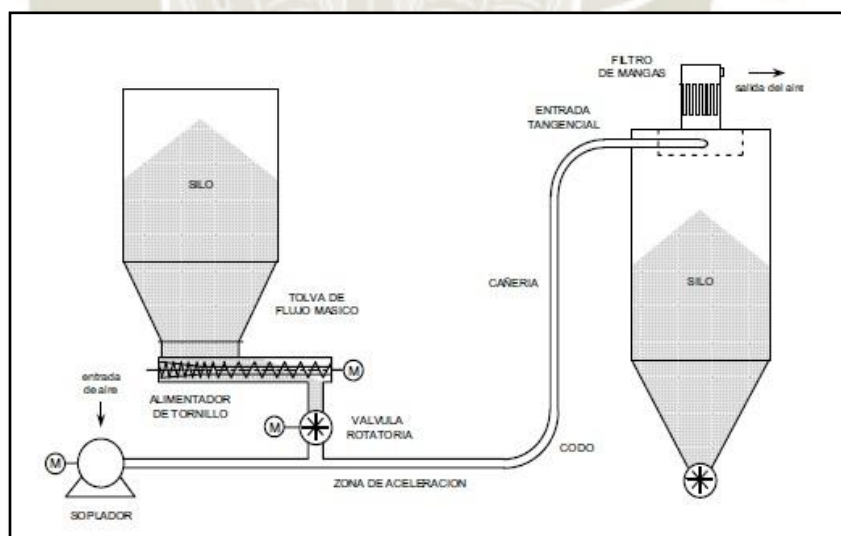


Figura 19. Esquema de transporte neumático de materiales a granel de material diluido

Fuente: Periódico Los Molinos (2015)

- Ventajas y desventajas de transporte neumático

➤ Ventajas

- La ventaja más importante del transporte neumático es el sistema hermético, por esa razón no son contaminados por otros componentes como partículas suspendidas en el aire, rayos UV y vectores. El material o producto trasladado se encierran dentro de un canal o tubería, esto protege al elemento del medio ambiente y también protege al ambiente del elemento (Martinez, 2019).
- El transporte neumático de materiales a granel es un método eficaz para trasladar elementos y polvos finos o gruesos y otros materiales que son fluidizados de forma rápida y fiable, mediante tuberías, basado en aire comprimido (Martinez, 2019).
- Este sistema permite transportar distintos productos desde un punto a otros varios puntos simplificando su ruta y volviendo más eficiente el sistema (Martinez, 2019).
- Aumenta eficiencia y reduce el costo en el correcto empleo del sistema de transporte (Martinez, 2019).

➤ Desventajas

- No todos los materiales se pueden trasladar neumáticamente a causa de su tamaño y composición químico/física, sino aquellos materiales secos, no cohesivos y muy finos. Los productos frágiles suelen sufrir en exceso, los materiales abrasivos, pueden producir deterioro en los equipos, tuberías, canales e instalación (Martinez, 2019).
- Las limitaciones que se presentan, son el tamaño máximo de la partícula por lo general solo se transporta polvos o materiales con partículas muy pequeñas (Martinez, 2019).

- La capacidad máxima de transporte dependiendo del diseño y los diámetros de la tubería (Martinez, 2019).

2.4.4.2. Sistemas de transporte

- Fase diluida:

Este método de traslado es más directo ya que las partículas se trasladan disueltas con el flujo de aire. Para lograr este punto es posible un tratamiento térmico del material tal como: secado, calentado y enfriado (Martinez, 2019).

La **Figura 20** muestra los materiales en fase diluida y fáciles de transportar.

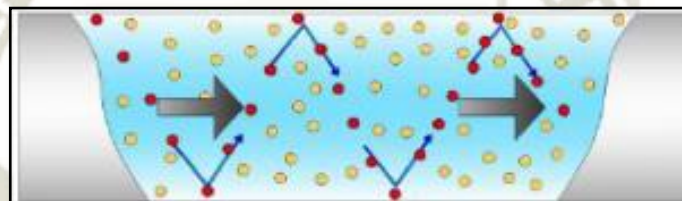


Figura 20. Partículas diluidas

Fuente: transporte neumático para sólidos (2019)

- Fase densa:

Este método que utiliza la fuerza del aire para el transporte. Se emplea para productos fluidificables (más difíciles de fluidizar). Se obtiene como producto que se mezcla homogéneamente con el aire.

En la **Figura 21** se nos muestra materiales más complicados de fluidizar.

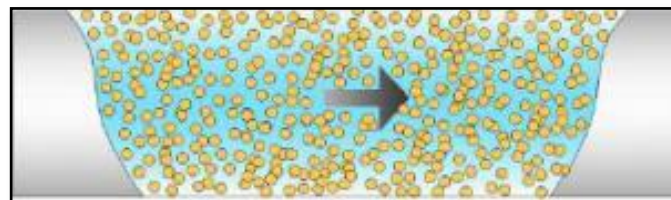


Figura 21. Partículas densas

Fuente: transporte neumático para sólidos (2019)

Tabla 1. Productos de fase densa y fase diluida
Fuente: Sistema de Transporte Neumático para transportar sólidos (2019)

	Fase diluida	Fase densa
Granulometría (mm)	0.0005-20	0.01-2
Productos	Harinas, cereales, polvo en general	Cemento, cenizas, cal viva, hidróxido de calcio
Sobrepresión (bar)	2.5	4
Depresión (bar)	0.5	0.2
Ratio (Kg sólido/Kg gas)	10	15-30
Capacidad transporte (t/h)	<200	<100
Velocidad inicial (m/s)	Aire:15 Sólido:12	Aire:5 Sólido:3
Velocidad final (m/s)	Aire:45 Sólido:36	Aire:20 Sólido:15

En la **Tabla 1** podemos distinguir la diferencia entre materiales fluidizables de fase diluida y fase densa, como podemos ver el material a transportar es cemento y se encuentra en la fase densa.

Uno de los parámetros más significativos y relevantes para el diseño eficiente y correcto de sistemas de transporte neumático en fase diluida es la velocidad de traslado. Como sabemos, los sistemas de transporte que están diseñados para trabajar a mayores

velocidades tienden a requerir un mayor consumo de energía, también es posible degradación del material y deterioro desmedido de las instalaciones. Por otro lado, sistemas diseñados y calculados para trabajar a bajas velocidades o altos caudales de sólidos pueden sufrir acumulación y sedimentación de partículas en las tuberías, flujo inestable e inclusive, lograr colapsar la tubería paralizando por completo el sistema (Martínez, 2019).

La gran variedad de productos a transportar, la composición entre ambas fases (sólido-aire) y la enorme cantidad de variables comprendidas, hacen muy difícil la modelización matemática estándar y teórica de este tipo de flujos. Dado esto, estudios experimentales y empíricos resultan vitales para la elaboración de una base de datos para comprender el funcionamiento y perfeccionar el diseño de sistemas (Martínez, 2019).

Se clasifican en:

2.4.4.2.1. Transporte neumático por aspiración

El transporte neumático por aspiración se utiliza para materiales sensibles, ligeros y baja densidad que tengan y deban ser transportados sin entrar en contacto con el aire ambiente o con el fluido del ambiente hermético (Martínez, 2019).

Los sistemas de transporte neumático por aspiración se emplean fundamentalmente en la industria de alimentos, como harina de pescado, maicena, en la industria química y farmacéutica ya que cualquier cambio por mínimo que fuera en su composición puede generar variaciones en sus resultados (Martínez, 2019).

También es posible mediante sistemas de transporte por aspiración, trasladar materiales que se encuentren húmedos y de gran volumen con baja densidad, como, por ejemplo, en

los procesos de eliminación de residuos húmedos o el transporte de cáscaras o cortezas (Martinez, 2019).

2.4.4.2.2. Transporte neumático por sobrepresión de productos a granel

El transporte neumático por sobrepresión se emplea específicamente para materiales relativamente más pesados, tales como la arena, gravas o cemento.

Los diseños y sistemas de transporte por presión en las líneas de transporte son parecidos a los de vacío, pero funcionan con sobrepresión dada por el aire comprimido de un compresor. Los materiales se impulsan por conductos y tuberías de distintos diámetros (dependiendo del producto) hasta su destino. En este tipo de sistemas es posible encontrar mayores diferencias de presión, por esa razón es posible transportar materiales más pesados, como arena, yeso o cemento (BuschBombas, 2019).

Estos sistemas de transporte por sobrepresión son más eficientes, económicos y fiables, pero los productos y materiales transportados deben ser inertes y sin reacción a la presencia de oxígeno y otros compuestos del aire. Por esta razón, los sistemas de transporte por sobrepresión no suelen utilizarse en la industria alimentaria (BuschBombas, 2019).

2.5. Medición de nivel

La medición de nivel es uno de los objetivos de desarrollo de la presente investigación donde se expone conceptos básicos y necesarios para la selección de instrumento.

2.5.1. Definición

“Los sensores de nivel y proximidad son muy usados en la aplicación como envasado, sistemas de control para monitoreo de llenado, detección de obstáculos en sistemas inteligentes” (Corona, Abarca, & Mares, 2014, pág. 142).

En muchas situaciones los sensores de nivel y proximidad son confundidos con los sensores de posicionamiento, sin embargo, este tipo de sensores se limitan a medir proximidad de un objeto con respecto al instrumento, donde no importa la orientación o definir si el objeto está cerca del sensor para ser detectado, además de determinar el nivel de un contenedor o el porcentaje de los mismos (Corona, Abarca, & Mares, 2014).

El transmisor, instrumento o sensor de nivel hace posible la interpretación del nivel real donde puede eliminar o compensar la influencia de la espuma en flotación del tanque, en la lectura, la eliminación de las falsas alarmas en tanques con olas en la superficie debido al agitador de paletas en movimiento, y la fácil calibración del aparato en cualquier punto de la línea de transmisión. (Creus Solé, 2010, pág. 195)

Los instrumentos o sensores de nivel se dividen en medidores de nivel de líquidos y de sólidos, que son dos mediciones muy distintas.

2.5.2. Medidores de nivel de líquidos

Los indicadores de nivel de líquidos trabajan midiendo directamente la altura de fluido líquido sobre una línea referenciada, bien la presión hidrostática, el desplazamiento influido en un flotador por el propio fluido líquido almacenado en el tanque del proceso, o bien utilizando las características eléctricas del fluido o bien utilizando otros métodos y fenómenos (Hagg & Sandberg, 2017).

Los primeros instrumentos de medida directa usados en la industria son: sonda, cinta y plomada, nivel de cristal, nivel de flotador, magnético, palpador servooperado y magnetoestrictivo (Hagg & Sandberg, 2017).

Estos métodos fueron los primeros implementados para las mediciones tanto en líquidos como en sólidos.

Los instrumentos que cuantifican el nivel, aprovechando la presión hidrostática son: Medidor manométrico, medidor de tipo burbujeo, medidor de presión diferencial de diafragma. La fuerza de empuje producido por el mismo fluido es aprovechada por el medidor de desplazamiento. Los aparatos de medición que utilizan las propiedades y características eléctricas del fluido líquido son: Medidor resistivo/conductivo, medidor capacitivo, medidor ultrasónico, medidor de radar, medidor de radiación, medidor de láser. Y los que se basan en otras características físicas: Medidor óptico, vibratorio, detector de nivel térmico o de dispersión térmica (Creus Solé, 2010).

En la **Tabla 2** podremos ver los sensores más usados en la medición de líquidos en la industria.

Tabla 2. Sensores medidores de nivel de líquidos más usados en la industria

Fuente: Creus, Antonio. Instrumentación Industrial Octava edición (2010)

Instrumento	Campo de medida	Exactitud % de la escala	Pres. Max. Bar	Temo. Max. Fluido, °C	Desventajas	Ventajas
Sonda	Limitado	0.5 mm	Atm	60	Manual, sin olas, tanques abiertos	Barato, exacto
Cristal	Limitado	-	150	300	Sin transmisión, en algunos procesos no se puede utilizar	Seguro, exacto, barato, indicación visual

Flotador	0-10 m	$\pm 1-2\%$	400	250	Posible agarrotamiento, solo utilizarlo en líquidos limpios	Simple, independiente a la naturaleza del líquido, interfaces con flotadores de densidad determinada
Manométrico	Altura tanque	$\pm 1\%$	Atm	60	Tanques abiertos, fluidos líquidos	Barato
Membrana	0-25m	$\pm 1\%$	Atm	60	Tanques abiertos	Barato
Burbujeo	Altura tanque	$\pm 1\%$	400	200	Le afecta la densidad del líquido, mantenimiento importante, contaminación líquido por sustancias extremas	Barato, versátil
Presión diferencial	0-10 m	$\pm 0.1 - 0.5$	150	600	Le afecta la densidad del líquido, posible agarrotamiento membrana y purga con liquido caros	Compensa cambios de presión en la parte superior del tanque
Desplazamiento	0-25 m	$\pm 0.5\%$	100	400	Le afecta la densidad del líquido, expuesto a corrosión, no adecuado para aguas negras	Fácil limpieza, robusto, medida interfaces, muy exacto
Conductivo	Limitado	$\pm 3 \text{ mm}$	80	800	Solo líquidos conductores, medida en un punto, interface solo entre líquidos conductores y no conductores	Barato, versátil, sin partes móviles, no es influido por cambios de temperatura o densidad
Capacitivo	0-6 m	$\pm 1\%$	80 a 250	200 a 800	Le afecta la densidad del líquido, recubrimiento del electrodo, es difícil la medida entre fases y la detección de espuma	Resistencia a la corrosión
Ultrasónico	0-3 m	$\pm 1\%$	400	200	Caro, sensible a densidad, espuma, humedad del vapor	Todo tipo de tanques y líquidos, sin contacto con el líquido

Radar	0-30 m	± 2.5 mm	-	230	Sensible a la constante dieléctrica del líquido, turbulencia excesiva, palas del agitador y al recubrimiento del líquido.	Todo tipo de tanques y líquidos y espuma
Radiación	0-2.5 m	$\pm 0.5\%$	-	150	Fuente de radiación, caro, aprobación de la junta de energía nuclear	Todo tipo tanques(sin contacto con el líquido)
Laser	10mm	$\pm 0.5\%$	-	1500	Líquidos turbios con vapor transparente	Todo tipo tanques(sin contacto con el líquido)
Óptico	Limitado	± 6 mm	-	120	El modelo de refracción solo para líquidos limpios, el de reflexión necesita vapores limpios en la superficie	Barato
Vibratorio	Limitado	± 5 mm	-	150	-	Barato
Dispersión térmica	Limitado	± 10 mm	-	450	La detección de espuma y de interfaces limitada la conductividad térmica	Barato
HTG	0-25 m	$\pm 0.1\%$	Atm	200	-	Masa, nivel, densidad
Hibrido	0-25 m	$\pm 0.1\%$	Atm	200	-	Masa, densidad, inventario mezclas

En la **Tabla 2** se muestra los sensores de nivel de líquidos más usados en la industria, detallando los campos de medida, la exactitud, la resistencia a distintas magnitudes físicas, ventajas de desventajas de su uso.

2.5.3. Medidores de nivel de sólidos

En la presente investigación se requiere la selección correcta de instrumentos de medición de nivel de sólidos, de esta manera es indispensable conocer todas las posibles alternativas a seleccionar.

La industria ha ido desarrollando, para los procesos continuos, instrumentos capaces de medir el nivel de lechos sólidos en puntos fijos y de forma continua, más directamente en silos o en tanques diseñados y destinados a contener y acopiar materias primas y productos finales.

Los instrumentos de nivel de punto fijo nos dan una medida en uno o en varios puntos fijos previamente determinados. Los instrumentos más empleados son el sistema de diafragma, los interruptores de nivel alto con sonda, el sistema capacitivo de punto fijo, el sistema y mecanismos de paletas rotativas y el sistema de vibración (Creus Solé, 2010).

Los instrumentos de medición continua nos dan una medida en forma constante del nivel del tanque y/o silo, desde el punto más alejado hasta la parte más alta. Entre los instrumentos más empleados se encuentran el de método de sondeo electromecánico, el sistema de báscula, el sistema continuo capacitivo, el sistema de emisión de ultrasonidos, el sistema de radar de microondas, el método por radiación y el método empleando láseres (Creus Solé, 2010).

2.5.3.1. Detectores de nivel de punto fijo

2.5.3.1.1. Detector de nivel diafragma

El detector de diafragma consta de una membrana flexible que, al mantener contacto con el producto en el silo, este actúa sobre un interruptor. El material de la membrana puede ser de distintos materiales como de tela, goma, neopreno o fibra de vidrio. El medidor de punto fijo por diafragma tiene la ventaja del bajo costo y trabaja con materiales con diversa densidad y con una exactitud de ± 50 mm (Creus Solé, 2010). En la **Figura 22**

distinguimos los detectores de nivel fijo por diagrama, son robustos y listos para trabajos afectos a distintos tipos de condiciones físicas.



Figura 22. Detector de nivel diafragma

Fuente: altecdust (2008)

2.5.3.1.2. Detectores de nivel por interruptores de nivel

Los interruptores de nivel alto están instalados en la parte más alta y lateral de los tanques, trata de una sonda de tubo, varilla, o paleta flexible que, una vez llegando al nivel determinado, activa un interruptor. Son instrumentos de bajo costo, pero necesitan estar protegidos y de preferencia se utilizan en tanques abierto constan con una precisión de +/- 25mm (Creus Solé, 2010). Como la condición de trabajo nos dicta que el interruptor de nivel debe desempeñarse en tanques abiertos, descartamos la posibilidad de su uso. En la **Figura 23** vemos como se presentan estos interruptores.



Figura 23. Detector de nivel por interruptor

Fuente: termocuplas (2008)

2.5.3.1.3. Medidor de nivel capacitivo de punto fijo

Como se conoce el uso de instrumentos capacitivos podemos decir, “Los detectores capacitivos permiten la detección sin contacto de materiales conductores y no conductores, tienen distintas aplicaciones, control de nivel de depósitos, control de nivel de tolvas o silos” (Piedrafita, 2004, pág. 65).

El medidor capacitivo de punto fijo detecta la proximidad del producto, está dotado de un circuito oscilante RC que esta calibrado a un punto crítico y que entra en oscilación cuando el sólido se encuentra próximo. El instrumento se instala en el silo en forma vertical o inclinada, la sensibilidad se coloca al mínimo para evitar el problema o riesgo de activación del instrumento en caso de que una mínima cantidad del solido pueda depositarse en la superficie del detector, este instrumento de medición tiene una exactitud de +/- 25mm (Creus Solé, 2010).

2.5.3.1.4. Medidor de nivel por paletas rotativas

Las paletas rotativas tienen un eje vertical dotado de paletas en su extremo, esta gira continuamente a baja velocidad accionado por un motor interno síncrono.

Cuando el sólido llega hasta las paletas rotativas, el lecho las inmoviliza, de esta forma el soporte del motor y la caja de engranajes giran en sentido contrario, actuando en ese momento sobre dos interruptores, el primero acciona al equipo de protección emitiendo una señal, y el segundo accionamiento desconecta la alimentación del motor. En el momento en que el nivel desciende y deja al descubierto las paletas, el instrumento vuelve a girar y la señal se desactiva (Creus Solé, 2010).

El eje de las palas puede ser flexible o rígido, dependiendo el material y tipo de instalación a desarrollarse, para adaptarse a diversas condiciones de trabajo dentro del silo o tanque, como a la caída del sólido, desplazamiento de los mismos, etc. Estos instrumentos son los ideales en tanques abiertos a baja presión y tienen una exactitud de unos ± 25 mm y se emplean preferentemente como detectores de nivel de materiales granulares y carbón. Pueden trabajar con materiales de muy diversa densidad y existen modelos a prueba de explosión (Creus Solé, 2010).

La **Figura 24** muestra un detector de nivel descrita, es robusta y lista para este tipo de trabajos a desarrollar.



Figura 24. Detector de nivel por paletas rotativas

Fuente: solucionesfmk (2017)

2.5.3.2. Detectores de nivel continuos

Los medidores de nivel en forma continua nos ayudan a saber en todo momento en donde se encuentra el nivel de lecho sólido, con estos instrumentos se puede hacer control y una supervisión constante, de esa misma forma nos ayuda a extraer los datos de la planta. Este apartado será esencial en la selección del instrumento.

2.5.3.2.1. Medidor de nivel por sondeo electromecánico

El medidor de nivel de sondeo electromecánico tiene un pequeño peso móvil sostenido por un cable, sujetado desde la parte superior del silo por medio de poleas y mecanismos. Un motor y su circuito programado ubicados en el exterior establecen una frecuencia de trabajo del peso (Creus Solé, 2010).

El sistema baja gradualmente en el interior del silo hasta que choca contra el lecho sólido, en ese momento, el cable se afloja y un detector adecuado cambia el sentido del movimiento del peso, de esta forma, asciende hasta la parte superior del silo donde se detiene. Este ciclo se repite nuevamente (Creus Solé, 2010).

Un indicador externo señala el punto donde se encuentra y el punto donde el peso invirtió el giro señalando en ese momento, el nivel. El instrumento se identifica por su sencillez, puede aplicarse para emplearse en el control de nivel, pero debe ser muy robusto mecánicamente para evitar una posible rotura del cable y del conjunto mecánico dentro del silo, tiene una exactitud es del $\pm 1\%$ (Creus Solé, 2010). En la **Figura 25** se muestra un esquema del funcionamiento de instrumento de sondeo electromecánico.

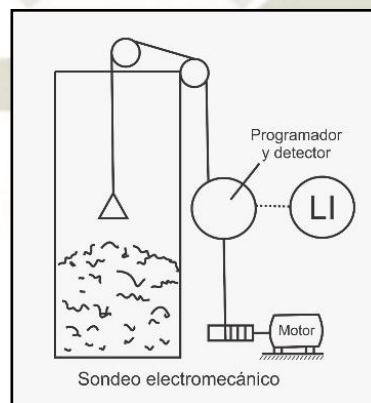


Figura 25. Detector de nivel continuo electromecánico
Fuente: Creus Instrumentación Industrial pág. 231 (2010)

El medidor de nivel por báscula o galga extensiométrica, mide el nivel de sólidos indirectamente a través del peso del conjunto de silo más producto, como ya conocemos el peso del silo, es más sencillo conocer y determinar el peso del producto, también hay que tener en cuenta la densidad del material, de esta forma también se puede conocer el nivel. El silo apoya en una plataforma de carga operando sobre la palanca de la báscula o bien sobre elementos de medida neumática, hidráulica o eléctrica (Creus Solé, 2010). La **Figura 26** también muestra el esquema de funcionamiento de la báscula

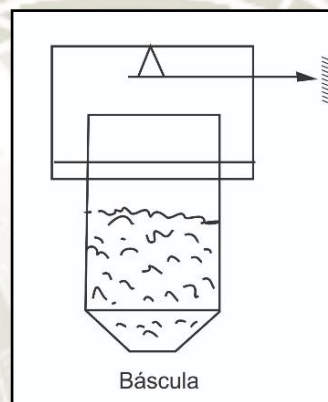


Figura 26. Detector de nivel continuo por báscula

Fuente: Creus Instrumentación Industrial pág. 231 (2010)

2.5.3.2.2. El medidor de nivel continuo capacitivo

El medidor de nivel capacitivo continuo, se diferencia en que tiene más probabilidades de error debido a la mayor adherencia o apelmazamiento, que puede presentar el sólido en la varilla capacitiva. La lectura es influida también por las diversificaciones de densidad del sólido. La varilla del medidor debe estar separada y colocada de manera vertical en el tanque y debe estar bien asegurada mecánicamente para soportar la caída del material sólido y las fuerzas generadas en los desplazamientos internos del sólido.

La medida está limitada por los materiales, de preferencia en forma granular o en polvo, que sean buenos aislantes, la presión y temperatura máximas para que puedan dar un buen servicio es de 50 bar y 150°C, el instrumento debe calibrarse para cada tipo de material, tiene una precisión de +/- 15 mm (Creus Solé, 2010). En la **Figura 27** se muestra el medidor de nivel capacitivo continuo de distintas longitudes.



Figura 27. Medidor de nivel continuo capacitivo, usado para la detección de líquidos y sólidos

Fuente: Feria virtual interempresas (2019)

2.5.3.2.3. El medidor de nivel ultrasónico

El medidor de nivel ultrasónicos emplea ondas ultrasónicas para determinar el nivel, son buenos y útiles para niveles líquidos altamente contaminados o corrosivos, ya que la configuración puede ser de dos tipos, por pulso generados a determinada frecuencia o por medidor del efecto Doppler (Bordons , 2000).

El medidor de nivel ultrasónico consiste en un emisor de ultrasonidos que tiene dos configuraciones principales, uno que remite un haz horizontal a un receptor situado al otro

lado del silo. Se activa en el momento que el lecho sólido cruza al haz interfiriendo con la señal y activando un relé o una señal (esta configuración es la de puntos fijos), la segunda configuración de disponiendo del haz de ultrasonidos en forma vertical, el instrumento puede actuar como indicador de nivel, midiendo el tiempo de tránsito de un impulso ultrasónico entre la fuente emisora, la superficie del producto donde se refleja y el receptor situado junto al emisor (Piedrafita, 2004).

Como la superficie de la mayor parte de los productos sólidos los ultrasonidos (en mayor o menor grado), el sistema es adecuado para la mayor parte de los sólidos con polvo, alta humedad, humos o vibraciones, puede aplicarse tanto en materiales opacos como transparentes u opacos. Si la superficie de los sólidos lo es lo suficientemente nítida, el sistema puede fallar por lecturas erróneas (Creus Solé, 2010).

El uso de una computadora en la recolección de datos permite resolver este problema al almacenar los datos del ultrasónico y el lecho del sólido, e interpretando para obtener el nivel correcto del sólido, la exactitud es de ± 0.15 a $\pm 1\%$, puede considerarse a prueba de explosión, pudiendo trabajar a temperaturas de 150°C (Creus Solé, 2010).

2.5.3.2.4. Medidor de nivel de radar de microondas

El sistema o método de radar de microondas está basado en la emisión continua y permanente de una onda electromagnética, muy similar a los rayos X con una frecuencia de 10 GHz. El sensor debe estar situado en la parte más alta del silo y envía las microondas hacia la superficie del sólido, una pequeña parte de la energía es enviada en la superficie del sólido. El tiempo empleado por las microondas en regresar al emisor representa la función del nivel en el tanque (Creus Solé, 2010).

El sistema es ideal para elementos muy viscosos como el asfalto y muy polvorientos como el cemento. La exactitud es de ± 2 mm y su campo de medida puede llegar a 40 metros (Creus Solé, 2010). En la **Figura 28** se muestra el sensor radar para distintas aplicaciones.



Figura 28. Medidor de nivel continuo por radar para detección de sólidos

Fuente: feria virtual interempresas (2019)

Este método se usa teniendo en cuenta la constante dieléctrica de los gases y vapores, ya que emplean ondas constantes moduladas en alta frecuencia, de esta forma se detecta la diferencia de frecuencias entre la señal dada y el eco de la recepción. Este método de medición es llamado FMCW (Onda continua modulada en frecuencia). La diferencia de las

frecuencias determinadas es directamente proporcional al tiempo empleado por las señales de transmisión y retorno como muestran estas ecuaciones (Creus Solé, 2010).

$$d = \frac{v * dt}{2}$$

$$v = \frac{c}{\sqrt{e}}$$

Donde

d: Distancia del emisor al líquido o sólido

v: Velocidad de la señal

dt: Tiempo recorrido

c: Velocidad de la luz

e: Constante dieléctrica

La fórmula anterior indica que la velocidad de la microonda a través del aire (u otro gas o vapor) es igual a la velocidad de la luz dividida por la raíz cuadrada de la constante dieléctrica del gas o vapor.

Como la constante dieléctrica de los vapores sobre el lecho sólido es casi la unidad, la variación de la velocidad es despreciable, por lo que puede afirmarse que la polución es transparente a la señal de radar y, por lo tanto, deja de ser un problema, tal como ocurría en el medidor de nivel de ultrasonidos.

Otra ventaja de esta técnica es las señales de medida del nivel son en frecuencia modulada en lugar de amplitud modulada, lo que suprime los ruidos parásitos del tanque que se encuentran en la banda de amplitud modulada.

2.5.3.2.5. El medidor de nivel láser

Esta estrategia de medición de nivel se usa en aplicaciones donde las circunstancias son muy duras y de ambiente hostil, y donde los sensores de nivel convencionales fallan. Es el tema de la medición sólido calientes, ya que la temperatura impide la lectura correcta de nivel y donde la medida del nivel debe efectuarse sin contacto con el lecho sólido y a la mayor distancia posible ya que existe condiciones de calor extremas.

Este sistema de nivel toma medidas en forma similar al sistema de nivel de ultrasonidos, se diferencia que se emplea la luz en vez del sonido. Consiste en la emisión de un rayo láser (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation o Amplificación de luz por emisión estimulada de radiación) esta señal es enviada por medio de un tubo de acero y dirigida por reflexión en un espejo sobre la superficie del elemento. La señal puede ser por impulsos o por una onda continua que se encuentra en alta frecuencia. En el primer caso, cada impulso de láser llega hasta el nivel de lecho sólido y regresa al receptor. En forma muy similar a la del nivel por radar, la distancia desde el sensor hasta el nivel se calcula por la fórmula:

$$D = \frac{(C) * (t)}{2}$$

Donde

D: Distancia

C: Velocidad de la luz

t: Tiempo transcurrido

La señal pulsante tiene muy buena penetración y tiene gran fiabilidad en su medida, por esta razón es la aplicación más usada en la industria.

El medidor de nivel por láser envía impulsos desde el sensor hasta el nivel de lecho sólido y capta el impulso reflejado, calculando la distancia por la multiplicación entre la velocidad de la luz y la mitad del tiempo que tarda el haz entre el emisor y el receptor del pulso, después de reflejarse este en la superficie del sólido. La gran ventaja es que no hay dispersión del haz de luz, no existen falsos ecos y el haz de luz llega hasta los 75 metros y espacios muy reducidos como de 25 cm² y tiene una exactitud de +/-1% (Creus Solé, 2010). En la **Figura 29** se muestra el sistema de nivel por láser.



Figura 29. Medidor de nivel por láser de sólidos y elementos en estado líquido

Fuente: Sensovant Smart sensing (2014)

Tabla 3. Sensores medidores de nivel de sólidos usados en la industria
Fuente: Creus, Antonio. Instrumentación Industrial Octava edición (2010)

Tipo	Punto fijo			Temperatura máx. Servicio, °C	Tanques		Desventajas	Ventajas
	Alto	Bajo	Continuo		Abiertos	Cerrados		
Diafragma	Si	Si	No	60	Si	Si	No admite materiales granulares >80 mm. Tanques a baja presión Debe estar protegido solo tanques abiertos	Bajo coste. Trabaja bien con materiales de variada densidad
Sonda	Si	No	No	60	Si	No	Adherencias producto	Bajo coste
Capacitivo (detector de proximidad)	Si	No	No	300	Si	No	Tanques abiertos o a baja presión	Bajo coste
Paletas rotativas	Si	Si	No	60	Si	No	Tanques abiertos o a baja presión	Materiales diversos. A prueba de explosión
Vibración	Si	Si	No	60	Si	Si	Tanques abiertos o a baja presión	Variedad de productos pulverulentos
Radar con haz horizontal	Si	Si	No	150	Si	Si	Coste medio	Productos muy viscosos
Sondeo electromecánico			Si	60	Si	No	Debe ser robusto	Sencillo
Bascula o células de carga			Si	900	Si	Si	Coste elevado	Exacto y seguro. Altas presiones y temperatura
Capacitivo			Si	150	Si	Si	Materiales aislantes precisa una calibración individual. Adherencias. Lectura influida por variaciones de densidad	Bajo coste
Ultrasónico	Si	Si	Si	150	Si	Si	Coste medio. Da señales erróneas si la superficie del sólido no es nítida	Materiales opacos y transparentes. A prueba de explosión
Radar	Si	Si	Si	150	Si	Si	Coste medio	Productos muy viscosos

Radiación	Si	Si	Si	1300	Si	Si	Coste elevado. Supervisión seguridad. Calibración individual.	Tanques sin aberturas, productos corrosivos y peligrosos, altas presiones y temperatura s. Todo tipo de tanques. No hay dispersión del haz de luz. No tiene falsos ecos
Laser	Si	Si	Si	1300	Si	Si	Coste elevado	

En la **Tabla 3** se ve las características de los sensores de nivel de sólidos tanto continuos como de punto fijo, usados para tanques abiertos o cerrados, condiciones físicas máximas soportadas, ventajas y desventajas.

2.6. Mini PLC LOGO!

2.6.1. Definición mini PLC LOGO!

Modulo muy versátil y fácil de usar. “El modulo programable LOGO! es un autómata de baja gama, sencillo y económico, que permite llevar tareas sencillas de automatizaciones el campo industrial” (Ortiz & Espinosa, 2014, pág. 122).

2.6.2. Descripción y conexionado

Entre la lógica cableada y el PLC (controlador lógico programable), la línea siemens desarrollo un dispositivo llamado LOGO!. Este elemento es un controlador lógico. Viene a ser una especie de PLC muy pequeño que, a través de un programa hace actuar las salidas dependiendo del estado de las entradas. No le podemos llamar PLC porque no dispone de

las mismas propiedades a pesar que en la actualidad se asemeja mucho a ellas, es mucho más limitado que un PLC en cuando a prestaciones que brinda (Mengual, 2009).

En la **Figura 30** vemos un Siemens LOGO! V8, que contiene un display para realizar la programación en bloques directamente en el dispositivo. Contiene ocho entradas y cuatro salidas. La programación también puede realizarse desde software “LOGO!Soft Comfort.



Figura 30. Mini PLC Siemens LOGO!

Fuente: Código electrónico (2017)

En el campo es un dispositivo muy versátil con el que se puede hacer operaciones muy sencillas, pero a la vez útiles.

Un equipo aún más sencillo es el modelo LOGO! pure, este equipo es el mismo que un LOGO normal, pero sin display de programación directa, entonces es solo programado por cable. El equipo LOGO! pure, es más económico (Mengual, 2009).

La conexión de LOGO! es sencilla en **Figura 31** se muestra como debe hacer las conexiones de un LOGO! básico de ocho entradas y cuatro salidas. Se muestra la conexión a una entrada de 24 voltios y el negativo correspondiente; en la entrada I1 y I2 se conectan a entradas digitales, los pines de entrada I7 y I8 pueden ser usados como entradas analógicas de 0-10 voltios. Las salidas, dependiendo el modelo del módulo LOGO!, son relés.

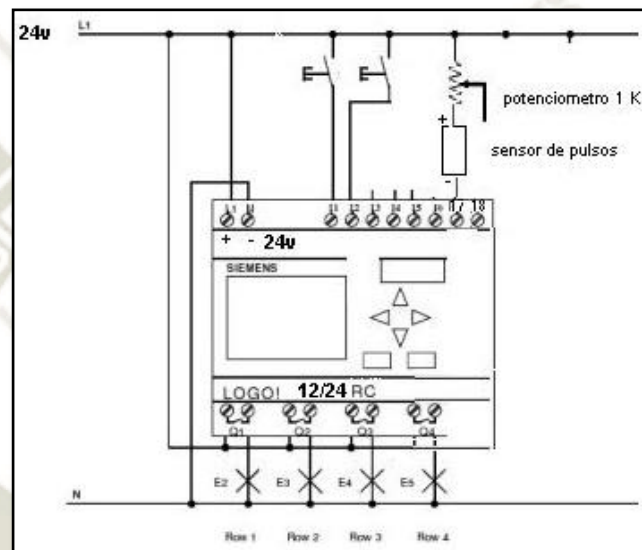


Figura 31. Modo de conexión del LOGO! a la fuente de alimentación, entradas y salidas
Fuente: Siemenslogo (2015)

2.6.3. Módulos de expansión LOGO!

Este dispositivo controlador es modular lo que permite añadir y sumar módulos de expansión. De entradas y salidas digitales, de entradas y salidas analógicas, de módulos especiales de entrada de temperatura TP100 y TP 1000 específicos para la medición de temperatura, también están los módulos para redes como la Red ASI y hacer conexiones más complejas (Mengual, 2009).

2.6.3.1. Modulo de expansión AM2 AI LOGO!

Los módulos de ampliación para entradas analógicas tienen una resolución de 10 bits y permiten señales normalizadas en tensión de 0-10 V y 1-5 V y de corriente de 0-20mA y 4-20 mA, Para conectar el módulo de ampliación AM2 se necesita la conexión a una fuente de 24 V como se muestra en la **Figura 32** (Ortiz & Espinosa, 2014).

Si se requiere conectar un transductor de 2 hilos, se debe conectar la salida del sensor con la conexión U o la conexión I dependiendo a la tensión o intensidad normalizada, como también se muestra en la **Figura 32** (Ortiz & Espinosa, 2014).

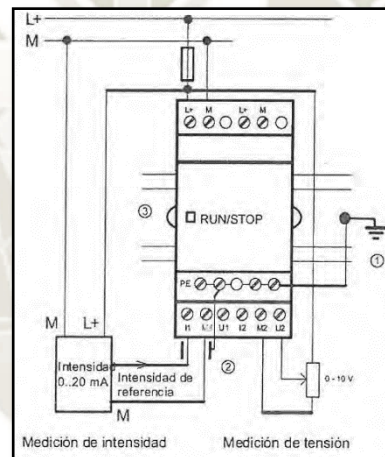


Figura 32. Conexión de entradas analógicas a 2 y 4 hilos (módulo AM2)

Fuente: Sistemas secuenciales programables (2014)

De la **Figura 32**, donde PE es la conexión a tierra y apantallamiento del cable, 1) Tierra, 2) pantalla del cable, 3) Perfil soporte

2.6.3.2. Fuente de alimentación

Otros accesorios son las fuentes de alimentación, generalmente de 24 voltios de hasta 4 amperios especiales para el acople con el módulo LOGO!. En la **Figura 33** apreciamos la fuente de poder LOGO!, compatible con los componentes necesarios para realizar el desarrollo.



Figura 33. Fuente de poder LOGO!

Fuente: infoPLC (2017)

2.6.3.3. Pantalla Logo TDE

Dentro de los elementos más importantes esta la mini pantalla (mini HMI) donde se puede visualizar mensajes y mejorar la funcionalidad. La pantalla cuenta con cuatro teclas de función que podemos programar a través del software del LOGO! (Mengual, 2009). En la **Figura 31** visualizamos la pantalla LOGO! TDE junto a un módulo LOGO!, la conexión y comunicación se realiza mediante cable Ethernet.



Figura 34. MiniPLC Siemens LOGO! y pantalla TDE LOGO!

Fuente siemenslogo (2015)

2.7. Lenguajes de programación de controladores lógicos programables

Dado que en la actualidad existe una gran variedad de fabricantes y cada uno ha definido su propio lenguaje de programación de PLC, se desarrolló y aprobó un estándar internacional con la misión de normalizar todo lo relacionado con esta tecnología, la norma IEC61131 y si apartado especial para lenguajes de programación un documento independiente IEC 61131-3. Los lenguajes del estándar descrito son: GRAFCET (SFC), diagrama de bloque de funciones (FBD), Diagrama tipo escalera (LD o Lader), texto estructurado (ST) y por ultimo lista de instrucciones (IL) (Arias Polanco, 2019).

2.7.1. Lenguaje tipo conceptual

Están conformados por dos lenguajes, lenguaje de texto estructurado (ST) y el lenguaje por lista de instrucción (IL). Texto Estructurado y la lista de instrucciones son lenguajes de programación basados en texto, el lenguaje ST es muy similar a lenguajes como Pascal y el C y utiliza tres tipos de estructuras las cuales son secuencias, instrucción condicional (selección) y repetición condicional (interacción); Por último, cabe mencionar que el lenguaje IL es similar al lenguaje ensamblador. (Arias Polanco, 2019, pág. 8)

2.7.2. Lenguaje tipo grafico

2.7.2.1. Lenguaje diagrama de funciones secuenciales

“Es un lenguaje de programación gráfico el cual consta de etapas y transiciones, una etapa puede estar en estado activa o inactiva, cuando la etapa se encuentra activa, las instrucciones asociadas son ejecutadas hasta que dicha etapa se vuelva inactiva” (Arias Polanco, 2019, pág. 7). En la **Figura 35** tenemos un ejemplo de programación GRAFCET.

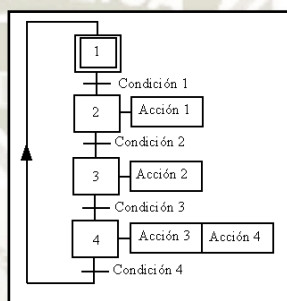


Figura 35. Lenguaje de programación GRAFCET

Fuente: José Luis Gálvez - Dibujo propio (2005)

2.7.2.2. Lenguaje diagrama de bloque de funciones

Es útil cuando no existe ciclos. “Consta de una aritmética gráficamente conectada, booleana y otros tipos de elementos funcionales, una de sus mayores ventajas es que se puede visualizar con mayor facilidad las operaciones en secuencias” (Arias Polanco, 2019, pág. 7).

En la **Figura 36** se muestra un pequeño ejemplo de programación por bloque de funciones.

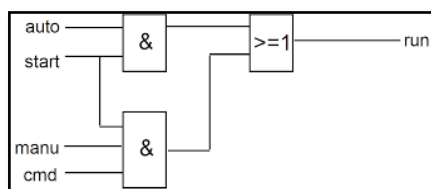


Figura 36. Lenguaje de programación bloques de funciones

Fuente: Control borroso (2008)

2.7.2.3. Lenguaje diagrama de contactos (Lader)

Es el más común para la programación de los PLC. “Este lenguaje se caracteriza por su relación con el diseño de un circuito de lógica cableada, permitiendo incluso, desarrollar la misma lógica en la elaboración de un programa para los controladores lógicos” (Arias Polanco, 2019, pág. 7). En la **Figura 37** vemos un ejemplo de este tipo de programación.

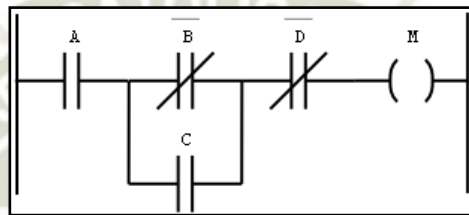


Figura 37. Lenguaje de programación diagrama de contactos

Fuente: José Luis Gálvez - Dibujo propio (2005)

2.8. Fundamentos de sistemas de control

El control automático ha desempeñado un papel muy importante en el progreso de la ingeniería y la ciencia en general, se ha convertido en una parte importante de distintos procesos como vehículos espaciales, sistema robotizados y también en procesos modernos de fabricación y en toda industria que requiera el control, temperatura, presión, humedad y en esta investigación, control de nivel (Ogata, 2010).

2.8.1. Sistemas de control.

“Se puede definir a un sistema como un conjunto de elementos que poseen características comunes, los cuales además de ello, se caracterizan por poseer parámetros que los definen, y ser susceptibles a variaciones con el tiempo” (Espejo & Villena, 2019, pág. 36).

Se puede determinar que los parámetros del sistema, son aquellos que se caracterizan por ser invariables en el tiempo y propios de cada elemento; también, se denominan variables del sistema a aquellos parámetros que son variables en el tiempo, según su configuración en el sistema, estas determinaran las características del mismo (Espejo & Villena, 2019).

2.8.2. Control en lazo cerrado en comparación con control en lazo abierto

Sistemas de control realimentados. Se denominan también sistemas de control en lazo cerrado. Un sistema que mantiene una relación determinada entre la salida y la entrada de referencia, comparándolas y usando la diferencia como medio de control, se denomina sistema de control realimentado. En un sistema de control en lazo cerrado, se alimenta al controlador la señal de error de actuación, que es la diferencia entre la señal de entrada y la señal de realimentación, con el fin de reducir el error y llevar la salida del sistema a un valor deseado. (Quispe Ccachuco, 2019, pág. 18)

Sistemas de control en lazo abierto. Son los sistemas en los cuales la salida no tiene efecto sobre la acción de control se denominan sistemas de control en lazo abierto. En otras palabras, en un sistema de control en lazo abierto no se mide la salida ni se realimenta para compararla con la entrada. (Quispe Ccachuco, 2019, pág. 19)

Sistemas de control en lazo cerrado en comparación con sistemas en lazo abierto. El sistema de control en lazo cerrado tiene la ventaja del uso de la retroalimentación, esta acción vuelve la respuesta del sistema relativamente imperturbable a situaciones externas y distintas variaciones internas en los parámetros del sistema a diferencia de un sistema en lazo abierto (Ogata, 2010).

Desde la vista de la estabilidad, es más fácil de desarrollar un sistema en lazo abierto, debido a que la estabilidad del sistema no es muy relevante, a diferencia que la estabilidad en el sistema de lazo cerrado es un gran problema, al corregir errores que producen oscilaciones de amplitud constante y cambiante (Ogata, 2010).

2.8.3. Elementos de un sistema de control

Definir y describir los elementos del sistema de control es esencial para de esa forma conocer los valores a manipular.

2.8.3.1. Sistema o planta

“Se entiende como planta o sistema al proceso en el cual se controlará una o más variables, la misma se caracteriza por un modelo matemático, y además por una respuesta característica, dependiendo del tipo de entrada que se le dé” (Espejo & Villena, 2019, pág. 40).

De la anterior afirmación definimos nuestra planta como el proceso principal a controlar.

2.8.3.2. Controlador

Es el elemento encargado de controlar, tomar de decisiones y determinar la acción correspondiente al control, basándose en distintos parámetros y en una señal de referencia, en las acciones de entrada y salida del sistema, como la referencia del primer valor medido, o el encendido y apagado del sistema (Espejo & Villena, 2019).

2.8.3.3. Actuador o elemento controlado

Este elemento recibe la señal del controlador, es el encargado de transformar dicha señal por lo general eléctrica a una señal de acción e influye directamente en el sistema y su respuesta (Quispe Ccachuco, 2019).

2.8.3.4. Comparador o elemento de comparación

“El comparador es un elemento característico de los sistemas de control de lazo cerrado, mediante éste es posible realizar la comparación de la señal de retroalimentación y obtener el error, con la señal de referencia, necesaria para realizar el control” (Espejo & Villena, 2019, pág. 41).

2.8.3.5. Sensor o instrumento de medición

Es el elemento encargado de realizar la medición de la variable a controlar, transforma las magnitudes físicas a medir en señales normalizadas tanto de tensión como de intensidad, la señal es captada y enviada al bloque comparador donde se realizará la comparación y así tener los datos necesarios para la elaboración del control (Ogata, 2010).

2.8.4. Modelamiento matemático de sistemas de control

Para el proceso se debe combinar dos sistemas de nivel básicos, como el sistema neumático (para el transporte) y el sistema de control de nivel, tema a tratar en la presente investigación.

2.8.5. Función de transferencia

Definimos función de transferencia de la siguiente forma “En la ingeniería de control, se denomina función de transferencia de un sistema a la función que caracteriza las

relaciones de entrada y de salida del mismo. Nuestra función de transferencia será hallada mediante métodos computacionales” (Espejo & Villena, 2019, pág. 48).

Se define como el cociente de la transformada de Laplace de la salida entre la transformada de Laplace de la entrada. Será indispensable asumir que todas las situaciones iniciales son nulas o iguales a “0” (Ogata, 2010).

Se define la siguiente ecuación:

$$a_0y^{(n)} + a_1y^{(n-1)} + \dots + a_{n-1}\dot{y} + a_ny = b_0x^{(m)} + b_1x^{(m-1)} + \dots + b_{m-1}\dot{x} + b_mx$$

Donde y es la salida, mientras x es la entrada del sistema, entonces podremos interpretar a la función de transferencia como:

$$G(s) = \frac{L[\text{salida}]}{L[\text{entrada}]} \text{ con condici3n inicial 0}$$

Definiendo entonces la función de transferencia general

$$G(s) = \frac{b_0s^{(m)} + b_1s^{(m-1)} + \dots + b_{m-1}\dot{s} + b_m}{a_0s^{(n)} + a_1s^{(n-1)} + \dots + a_{n-1}\dot{s} + a_n}$$

La función de transferencia toma un cargo importante y vital en una representación dinámica de cualquier sistema en modelamiento matemático (Ogata, 2010).

2.8.6. Diseño del sistema de control

Como en toda ingeniería el diseño es parte fundamental, el control no escapa a este tema, se debe seguir una estricta metodología para poder obtener la configuración, especificaciones y la respectiva identificación de parámetros (Espejo & Villena, 2019).

Para hacer el diseño del sistema de control, lo primero que se debe hacer es conocer los objetivos que se pretende, seguidamente se debe identificarse las variables a controlar, una

vez identificadas las variables se debe determinar cuál es nivel de precisión que se pretende lograr con el diseño (Espejo & Villena, 2019).

Después de definir los parámetros deseados, se puede determinar el actuador que se debe usar, dependerá el tipo de proceso a controlar, y la elección del controlador a usar, dependerá nuevamente de la respuesta que se quiere obtener, además de las características de los instrumentos y el actuador (Espejo & Villena, 2019).

Para concluir el proceso de diseño se debe ajustar los parámetros del sistema hasta que se alcance la respuesta deseada para llegar a ese punto se necesita realizar varias pruebas, hasta alcanzar el resultado deseado (Espejo & Villena, 2019).

2.8.7. Modos de control

Los modos de control son el modo de actuación del controlador que determina su salida y se basa en distintas operaciones de control. En la presente investigación se utilizará el método de control proporcional integral.

2.8.7.1. Control proporcional (P)

“El modo proporcional o control proporcional es aquella en que el elemento final de control efectúa, con referencia a una posición inicial correspondiente a una señal de error nula, un movimiento o carrera proporcional a la magnitud de la desviación” (Roca, 2014, pág. 136). Como se expresa en el concepto anterior el control proporcional es el primer paso de la elaboración de un control.

El control proporcional se define:

$$u(t) = k_p e(t)$$

Donde

k_p : Ganancia proporcional

$e(t)$: Señal del error

2.8.7.2. Control integral (I)

Este modo de control se llama también flotante de velocidad proporcional donde Roca (2014) afirma que “El controlador hace que el elemento final de control se mueva a una velocidad que es proporcional a la señal de error” (pág. 144). Eso quiere decir que cuando mayor es el error, es mayor la velocidad de desplazamiento del actuador, se puede configurar el valor de ganancia para modificar la velocidad del actuador, sin variar la señal del error.

$$u(t) = k_i \int_0^t e(t) dt$$

Donde

k_i : Ganancia integral

$e(t)$: Señal de error

2.8.7.3. Control proporcional – integral (PI)

Este método de control concentra las características de los modos de control integral y proporcional, aplicando las ventajas y evitando los errores posibles (Roca, 2014).

El control proporcional-integral se representa en la siguiente ecuación

$$u(t) = k_p e(t) + \frac{k_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt$$

Donde

k_p : Ganancia proporcional

T_i : Tiempo de valor integral

$e(t)$: Variable del error

2.8.7.4. Control proporcional – derivada (PD)

Este método de control, tiene un comportamiento similar a un control PI, al realizar un control proporcional, en lugar de hacer una acción integral realiza la acción derivativa del error (Espejo & Villena, 2019).

$$u(t) = k_p e(t) + k_p T_d \frac{de(t)}{dt}$$

Donde

k_p : Ganancia proporcional

T_d : Tiempo de valor derivativo

$e(t)$: Variable del error

2.8.7.5. Control proporcional – integral – derivada (PID)

Este tipo de control es la combinación de los controles proporcional (P), integral (I), y por ultimo derivativa (D), todo para obtener las ventajas de cada uno y eliminar los defectos (Roca, 2014).

La acción proporcional corrige la posición del actuador, el efecto es instantáneo y energético (Roca, 2014).

La acción integral mueve el actuador a una velocidad proporcional a la señal de error, el efecto es lento y progresivo, pero sigue actuando hasta eliminar la señal de error (Roca, 2014).

La acción derivativa corrige la posición del actuador en una cantidad proporcional a la velocidad de cambio del error, este efecto anticipa, al tener en cuenta la tendencia de la variable de control y es independiente de su valor actual (Roca, 2014).

El control proporcional- integral-derivada (PID) se define de la siguiente manera:

$$u(t) = k_p e(t) + \frac{k_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt + k_p T_d \frac{de(t)}{dt}$$

Donde:

k_p : Ganancia proporcional

T_i : Tiempo de valor integral

T_d : Tiempo de valor derivativo

$e(t)$: Variable del error

2.8.8. Métodos de sintonización de controladores PID

Para los métodos de sintonización de controladores se requiere conocer la planta o sistema (sistema de nivel) en una función de transferencia. Que una opción es elaborar la identificación paramétrica experimental apoyándonos en el software MATLAB, y su herramienta *ident* el sistema de adquisición de datos del sistema (Quispe Ccachuco, 2019).

2.8.8.1. Reglas de Ziegler-Nichols para la sintonización

Estas reglas de sintonización son muy útiles y usadas, estas reglas se pueden usar en plantas dinámicas donde Quispe Ccachuco (2019) comenta “Las reglas de sintonía de Ziegler-Nichols se han usado ampliamente para sintonizar controladores PID en sistemas de control de procesos en los que no se conoce con precisión la dinámica de la planta” (pág. 38).

Se propuso reglas para determinar los valores de ganancia proporcional K_p , el tiempo integral T_i y el tiempo derivativo T_d , se basa en las características de la respuesta transitoria de una planta dada, las determinaciones de los parámetros se pueden probar mediante experimentos sobre la planta (Quispe Ccachuco, 2019).

Existen dos métodos denominados reglas de sintonía de Ziegler-Nichols

Primer método

La respuesta de la planta a una entrada escalón unitario se obtiene de manera experimental (Ogata, 2010). En la **Figura 38** se ve la respuesta a un escalón unitario.

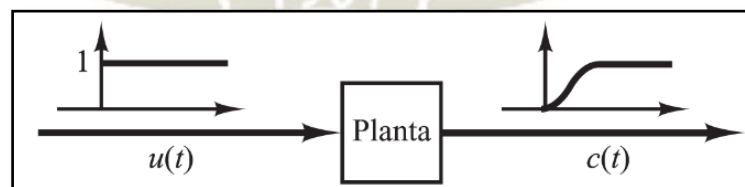


Figura 38. Respuesta a un escalón unitario de una planta

Fuente: Ingeniería de control moderna por K. Ogata, 2010

Si la planta carece de integradores, polos dominantes y complejos conjugados la respuesta al escalón unitario tiene forma de S (Ogata, 2010). En la **Figura 39** se ve la respuesta con respecto al tiempo y la curva en forma de S.

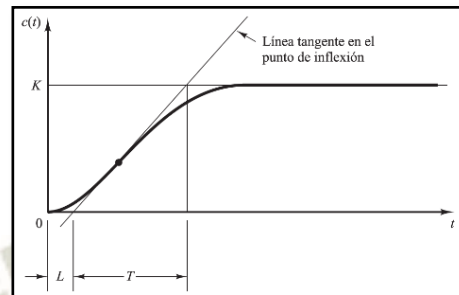


Figura 39. Curva de respuesta en forma de S

Fuente: Ingeniería de control moderna por K. Ogata, 2010

Este método se puede aplicar si la respuesta muestra una curva con esta forma, la curva de la respuesta al escalón se puede generar experimentalmente dinámica de la planta.

La curva se caracteriza por dos parámetros: el tiempo de retardo y la constante del tiempo T, estos datos determinaran una recta tangente en el punto de inflexión conociendo $c(t) = K$ (Quispe Ccachuco, 2019). En la **Figura 39** se muestra la función de transferencia general $C(s)/U(s)$ y se determina mediante un sistema de primer orden con retardo:

$$\frac{C(s)}{U(s)} = \frac{Ke^{-Ls}}{Ts + 1}$$

Ziegler-Nichols propusieron establecer los valores de K_p , T_i y T_d de acuerdo a la siguientes formulas descritas en la **Figura 40**.

Tipo de controlador	K_p	T_i	T_d
P	$\frac{T}{L}$	∞	0
PI	$0.9 \frac{T}{L}$	$\frac{L}{0.3}$	0
PID	$1.2 \frac{T}{L}$	$2L$	$0.5L$

Figura 40. Regla de sintonización Ziegler-Nichols basada en la respuesta escalón de la planta

Fuente: Ingeniería de control moderna por K. Ogata (2010)

Segundo método

Ogata (2010) nos dice “En el segundo método, primero se fija $T_i = \infty$ y $T_d = 0$. Usando la acción de control proporcional, se incrementa K_p desde 0 hasta un valor crítico K_c , en donde la salida presente oscilaciones sostenida” (pág. 570). Se busca una estabilidad del sistema en la oscilación constante, de no lograrse este sistema no se podrá emplear este método de sintonización. En la **Figura 41** se muestra la necesidad de un sistema en lazo cerrado.

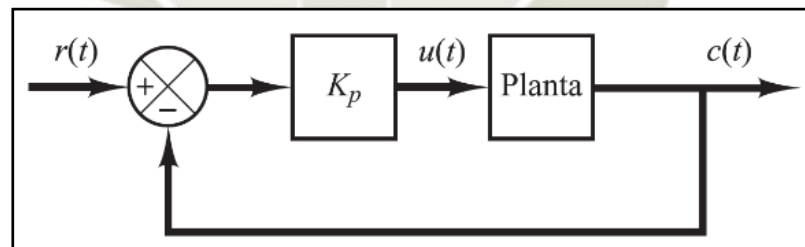


Figura 41. Sistema en lazo cerrado con un controlador proporcional

Fuente: Ingeniería de control moderna por K. Ogata (2010)

Como se muestra en la **Figura 42** se requiere dos datos fundamentales para realizar este método K_c y P_c el valor de ganancia proporcional crítica y el periodo de las oscilaciones estables.

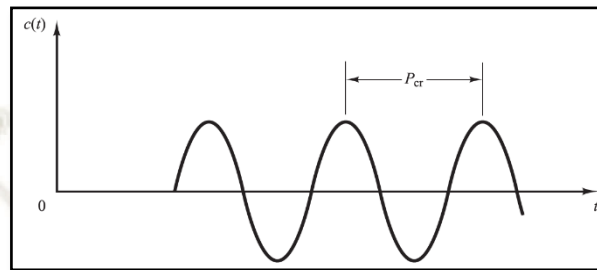


Figura 42. Oscilaciones sostenidas con periodo P_{cr}

Fuente: Ingeniería de control moderna por K. Ogata (2010)

Ziegler-Nichols nos recomienda que se establezca los valores de los parámetros K_p , T_i y T_d de acuerdo a las siguientes formulas en la **Figura 43**.

Tipo de controlador	K_p	T_i	T_d
P	$0.5K_{cr}$	∞	0
PI	$0.45K_{cr}$	$\frac{1}{1.2} P_{cr}$	0
PID	$0.6K_{cr}$	$0.5P_{cr}$	$0.125P_{cr}$

Figura 43. Regla de sintonización de Ziegler-Nichols basada en ganancia crítica K_{cr} y Periodo P_{cr}

Fuente: Ingeniería de control moderna por K. Ogata (2010)

2.8.9. Control por modulación de ancho de pulsos

2.8.9.1. Fundamentos de modulación PWM

La modulación por ancho de pulsos de una señal es una técnica en la que se modifica el ciclo de trabajo de una señal periódica ya sea para transmitir información a través de un canal de comunicaciones o para controlar la cantidad de energía que se envía a una carga.

El ciclo de trabajo de una señal periódica es el ancho relativo de su parte positiva en relación con el período. Expresado matemáticamente:

$$D = \frac{\tau}{T}$$

Donde:

D : Ciclo de trabajo

τ : Tiempo de la función positiva

T : Constante de tiempo

La modulación por ancho de pulsos o simplemente PWM, modifica mediante pulsos la frecuencia, se controla con pulsos positivos durante medio periodo y pulsos negativos durante el otro periodo restante. El circuito de control debe establecer los tiempos de activación y desactivación de los actuadores, de acuerdo a la estrategia utilizada, puede ser puntos de intersección de una tensión sinusoidal. En la Figura 44 se muestra el uso de la modulación PWM para la modulación de frecuencia en un motor trifásico (Diaz & Rios, 2009).

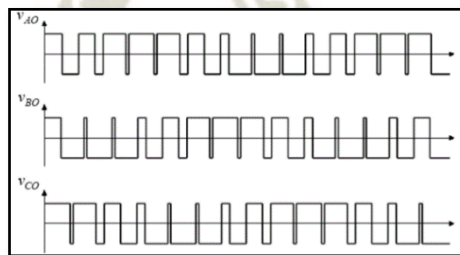


Figura 44. Formas de onda de voltaje para un inversor trifásico PWM

Fuente: Revista colombiana de tecnología avanzada (2010)

2.8.9.2. Tiempos y formas de hallar valores para modulador

Como se muestra en la **Figura 45**, se puede configurar el tiempo de ancho de banda dependiendo la salida a controlar, ya sea cuando se requiere que este apagada o prendida por completo, el encendido o apagado dependiendo del ancho de banda puede considerarse un control analógico-digital.

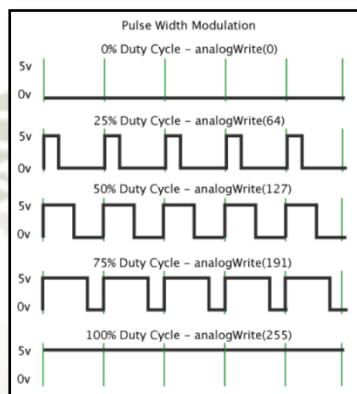


Figura 45. Formas de onda de voltaje dependiendo el voltaje de salida

Fuente: Manual PWM Arduino (2014)

Los valores a obtener son sencillos de encontrar y dependiendo de la variable controlada (CV), a la salida de un controlador, por ejemplo, control proporcional derivativo (PD)

Se considera el valor máximo posible de la variable controlada. Y determinando el tiempo a partir del tiempo de función positiva, de esa forma se puede obtener el tiempo de encendido y apagado correspondiente al sistema. La expresión se puede comprender de la siguiente manera empírica.

$$\frac{\tau}{20} < T < \frac{\tau}{10}$$

$$T_{ON} = \frac{CV * T}{CV_{max}}$$

$$T_{OFF} = T - T_{ON}$$

Donde

τ : Constante de tiempo

CV : Variable controlada

T_{ON} : Tiempo de conducción

T_{OFF} : Tiempo de apagado

T : Periodo del oscilador

2.9. Válvulas de control

2.9.1. Definición

En los procesos industriales, las válvulas juegan un papel muy importante al momento del control en el bucle de regulación. Realiza la función de modificar el caudal de fluido de control que cambia, y a su vez comportándose como un orificio que va variando continuamente. En el bucle de control tiene tanta importancia como de la del elemento actuador, el transmisor y el controlador (Creus Solé, 2010).

2.9.2. Tipos de válvulas

Pueden ser de distintos tipos, según el diseño del cuerpo y el movimiento del obturador, etc. Se clasifican en básicamente dos grupos: Válvulas con obturador de movimiento lineal y válvulas con obturador de movimiento rotativo (Creus Solé, 2010).

2.9.2.1. Válvulas con obturador de movimiento lineal

Este diseño de válvulas de movimiento lineal, el obturador se mueve en dirección al eje, las más representativas son las válvulas de globo, válvulas de ángulo, válvula de jaula,

válvula de compuerta, válvula de cuerpo partido y válvula de compresión (Creus Solé, 2010).

A continuación, se definirá las más importantes y comerciales

Válvula de globo

Se le llama así por disponer de un obturador en forma de globo, su característica más importante es que el flujo de entrada y salida es perpendicular al eje del obturador. Pueden ser de simple asiento, de doble asiento y de obturador equilibrado (Creus Solé, 2010). En la **Figura 46** se observa una representación de la válvula tipo globo



Figura 46. Válvula tipo globo

Fuente: colec eirl (2013)

Válvula de ángulo

La válvula de ángulo se caracteriza por que la salida del fluido es perpendicular al flujo de entrada con un recorrido menos curvilíneo que la válvula de globo, de esta forma se puede tener el control del fluido sin mucha turbulencia, es ideal para reemplazar la válvula de globo más aun cuando se transportan sólidos en suspensión o por excesiva velocidad provocada por una presión muy alta en el trabajo. El diseño es perfecto para el control de fluidos que se vaporizan, que por la presión y la velocidad las condiciones del fluido se

prestan a una evaporación en el transporte (Creus Solé, 2010). En la **Figura 47** se muestra la válvula en ángulo.



Figura 47. Válvula en ángulo

Fuente: potter roemer (2006)

Válvula de jaula

La válvula de jaula recibe este nombre por la forma de jaula que los orificios se encuentren separados del obturador que se denomina válvula de jaula fija o bien los orificios en el mismo obturador que se denomina válvula de jaula móvil (Creus Solé, 2010). En la **Figura 48** se muestra la válvula de jaula.

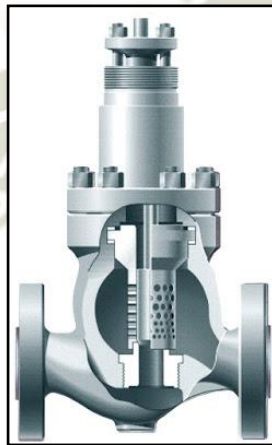


Figura 48. Válvula de jaula

Fuente: Instrumentación y Control (2016)

Válvula de Compuerta

Este modelo de válvula también es nombrado como válvula de tajadera, realiza su cierre con un disco vertical plano, que se mueve verticalmente flujo del lecho. Por si diseño es adecuada para un sistema de control todo-nada, ya que en posiciones intermedias tiende a bloquearse. Su gran ventaja es que presenta muy poca resistencia al flujo del lecho cuando está en posición de apertura total gracias a esto se tiene baja caída de presión (Creus Solé, 2010). La **Figura 49** muestra el esquema de la válvula de compuerta con volantes

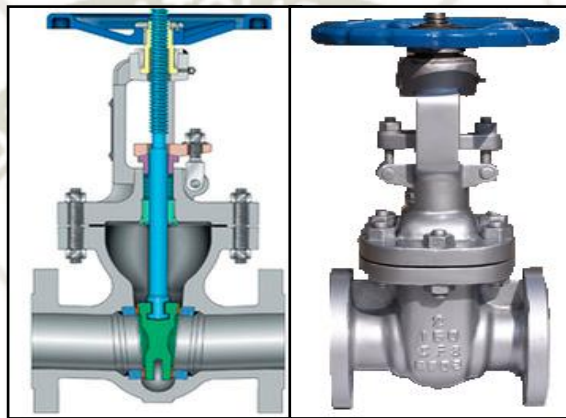


Figura 49. Válvula de compuerta con volantes manual externa

Fuente: directindustry (2013)

Válvula en Y

La válvula en Y tiene el asiento y el obturador inclinados a 45° respecto al flujo del lecho. Es adecuada como válvula de cierre y de control. Se aplica en diseños de control todo-nada y se caracteriza en su baja pérdida de carga y como válvula de control presenta gran capacidad de caudal. Otra característica es la de autodrenaje cuando esta inclinada a un cierto ángulo (Creus Solé, 2010).

Válvula con cuerpo partido

Este diseño de válvula es una modificación de la válvula de globo de simple asiento teniendo el cuerpo partido en dos partes donde está presionado el asiento. Esta forma de diseño permite la salida del flujo suave y sin espacios muertos. Se emplea principalmente para fluidos viscosos y en la industria alimentaria (Creus Solé, 2010).

2.9.2.2. Válvulas con obturador de movimiento lineal

Las válvulas con diseño en las que el obturador tiene un movimiento rotativo las más representativas son: Válvula de disco excéntrico rotativo, válvula de obturador cilíndrico excéntrico, válvula mariposa, válvula de bola y válvula de macho (Creus Solé, 2010).

A continuación, se definirá las más importantes y comerciales

Válvula de disco excéntrico

La válvula de disco excéntrico consiste en un obturador de superficie segmentada esférica que se auto alinea durante el desplazamiento excéntrico, dando de esta forma un cierre estanco y bajas fuerzas dinámicas del fluido. Esto permite el uso de un servomotor de par reducido, también permite un margen amplio de temperaturas (Creus Solé, 2010).

Válvula de obturador cilíndrico excéntrico

Este diseño de válvula tiene un obturador excéntrico que asienta contra un cuerpo cilíndrico. Está cerrado herméticamente por un revestimiento de goma o de teflón. Este modelo de válvula es de bajo costo y adecuada para fluidos corrosivos o con sólidos en suspensión (Creus Solé, 2010).

Válvula mariposa

La válvula de diseño mariposa está formada en su cuerpo por un anillo cilíndrico dentro del cual gira transversalmente un disco circular. Esta válvula puede cerrar herméticamente mediante un anillo de goma encastrado en el cuerpo.

Un servomotor exterior acciona el eje de giro del disco interno y ejerce su par máximo cuando la válvula casi está cerrada, para las aplicaciones en control todo–nada se considera el ángulo de apertura de 90° y para control continuo se recomienda el uso hasta 60° a partir de la posición de cierre ya que la última parte del giro es muy inestable (Creus Solé, 2010). En la **Figura 50** se muestra la válvula mariposa de accionamiento mecánico.



Figura 50. Válvula de mariposa accionada manualmente

Fuente: Industrias especializadas oliva (2008)

Válvula de bola

Este diseño de válvula tiene en el cuerpo una cavidad interna esférica que alberga un obturador en forma esférica o de bola de ahí provienen el nombre. La bola tiene un corte adecuado que se fija una curva característica y gira transversalmente accionando por un servomotor externo.

El cierre total se logra con un aro de teflón incorporado al cuerpo contra el cual asienta la bola cuando la válvula está cerrada por completo, en apertura total la válvula equivale a un 75% de la tubería lo que genera pérdidas, este diseño de válvula se unas para aguas negras o lechos con gran cantidad de sólidos suspendidos (Creus Solé, 2010). En la **Figura 51** se observa una válvula de bola accionada con un servomotor.



Figura 51. Válvula de bola accionada por un servomotor exterior

Fuente: ebay (2014)

Válvula de macho

Este diseño de válvula es similar al de la válvula de bolas típica, consiste en un obturador o macho de forma cilíndrica o troncocónica con un agujero transversal igual al diámetro interior de la tubería. Tiene un movimiento de giro de 90°. Se utiliza en controladores toda-nada de líquidos o gases y en la regulación de caudal (Creus Solé, 2010).

Tabla 4. Tipo de válvulas usadas en la industria

Fuente: Creus, Antonio. Instrumentación Industrial Octava edición (2010)

Obturador movimiento lineal		Obturador movimiento rotativo		
Globo	Jaula	Bola	Camflex	Mariposa
Cierre estancado	Cierre no estancado	Mayor rangeabilidad	Buena rangeabilidad	Lineal
Apertura rápida	Apertura rápida	Cierre estanco	Característica lineal	Económica
Actuador de mayor tamaño	Resistente a la cavitación y poco ruido	Cierre no estanco	Lechadas de liquido	Difícil cerrarla
Menores caudales que la jaula	Mayores caudales que la de globo	No adecuada para cavitación y ruido	Resiste la cavitación	No adecuada para cavitación y ruido
La dinámica del fluido influye	Menor caudal que la rotativa	Uso limitado en fluidos corrosivos		Mínimo espacio de instalación
Adecuada para fluidos corrosivos o erosivos	Más cara	Buena para sólidos en suspensión y lechadas		
	No adecuada para fluidos sucios	Mayor capacidad que la de globo		

En la **Tabla 4** se ve la distribución general de las válvulas, la configuración lineal o rotativa, sus principales características y aplicaciones.

Válvula de solenoide

La válvula de solenoide o electroválvula es un instrumento para realizar control de flujo de un fluido a su paso por una tubería, consiste en dos partes, la parte eléctrica es el solenoide y la parte mecánica es la válvula. El solenoide es una bobina que convierte la energía eléctrica en energía mecánica para accionar, normalmente, las válvulas son de posición cerrada (NC) y pasan a la posición normalmente abierta (NO), en otras palabras, cuando la válvula no se encuentra excitada se encuentra cerrada por un muelle interno, en el momento que es accionada eléctricamente se abre por tracción del embolo unido al obturador. También está la configuración opuesta, esta configuración es usada por la seguridad que brinda, a la falta de energía se corta el flujo as garantizando la seguridad (Creus Solé, 2010). En la **Figura 52** se muestra la válvula solenoide, útil para permitir o no el paso del fluido



Figura 52. Válvula de solenoide

Fuente: grainger (2019)

La bobina puede accionar directamente la válvula o bien puede hacerlo a través de una válvula secundaria, la energía necesaria es suministrada por un elemento secundario. En instalaciones donde se prioriza la seguridad la válvula es ajustable manualmente, esto se usa en caso de fallo se quede enclavada por seguridad, un operario debe ir personalmente a abrir la válvula. De esta forma se previene el arranque inadvertido del proceso (Creus Solé, 2010).

Las válvulas pueden ser de dos o tres vías. Una aplicación típica es de la válvula de tres vías es el enclavamiento de la válvula de control en donde se supone corresponde a fallo del aire. Esta configuración conecta el fluido gaseoso a la atmosfera, de esta forma se pierde aire en la válvula de control (Creus Solé, 2010).

Otra configuración también es la conexión a un manorreductor, de este modo, la válvula de control puede accionarse también de forma manual independientemente al controlador. En la **Figura 53** se muestra la representación esquemática de la válvula solenoide unidireccional.

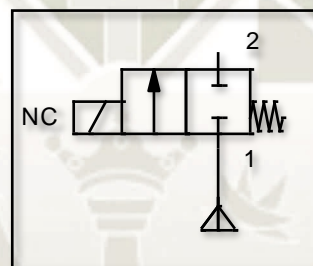


Figura 53. Configuración esquemática de la válvula de solenoide
Fuente: FESTO FLUIDSIM-P (2019)

La **Figura 54** se muestra la segunda configuración de la válvula solenoide tres salidas por dos posiciones donde se conecta la señal de control a la atmosfera.

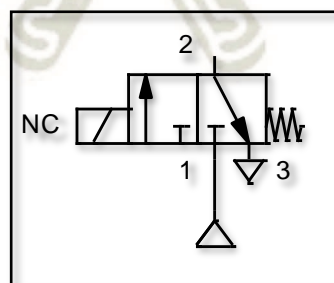


Figura 54. Configuración esquemática de la válvula de solenoide
Fuente: FESTO FLUIDSIM-P (2019)

En la **Figura 55** se visualiza la válvula solenoide de 3 vías de manera física y real



Figura 55. Válvula de solenoide de tres vías vista real

Fuente: COPNA VALVE (2017)

La válvula de solenoide puede realizar control proporcional de tiempo variable mediante una unidad de control electrónico que envía a la bobina impulsos de ancho modulado. En conexión y desconexión rápida de la tensión de alimentación a la bobina en forma de onda cuadrada donde se varía los tiempos de conexión para compensar las variaciones de temperatura (Creus Solé, 2010).

Esta es la manera de cómo se realizará el control de la válvula dependiendo al valor requerido. En la **Figura 56** se muestra el esquema electromecánico de la válvula solenoide de tres vías.

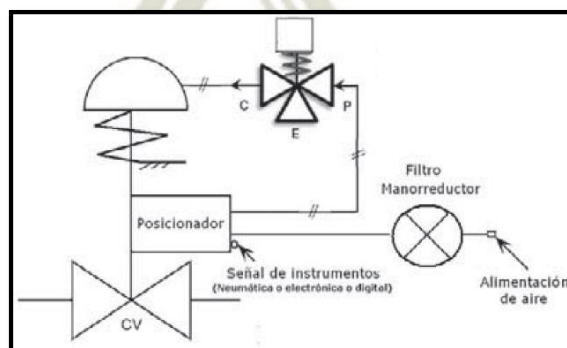


Figura 56. Esquema electromecánico de la válvula solenoide de tres vías

Fuente: Creus Instrumentación Industrial pág. 431 (2010)

La válvula IAC

La válvula IAC o válvula de control de marcha mínima, es una válvula de bypass usada para controlar el ralentí un vehículo automotor, regula la entrada mínima del aire al sistema. Tiene un motor interno y es reversible con 2 embobinados para que el rotor pueda girar en los dos sentidos. El rotor tiene rosca interna y el vástago de la válvula se enrosca en el rotor. Si el rotor gira en un sentido, el vástago saldrá cerrando el flujo del aire y si gira en el otro sentido, el vástago se retraerá aumentando el flujo del aire (pruebaderuta, 2019).

2.10. Norma de diseño

El diseño es parte fundamental de las ciencias e ingenierías, este proceso es de gran importancia en el desarrollo de un producto, y en el que se obtiene una serie de datos e información que se hace importante al momento de la implementar el sistema diseñado, lo cual permite a los ensambladores rediseños, errores y demorar así también como sobre costos.

2.10.1. Norma VDI 2221

Es una norma de diseño alemana. “La Asociación Alemana de Ingenieros propone un modelo de diseño de productos, el cual menciona los requerimientos, los modelos conceptuales y una fase de alistamiento para el producto” (Arias & Sanchez, 2018, pág. 4).

Las fases de este método permiten observar una secuencia de actividades útiles para identificar los reportes necesarios para la elaboración de un producto.

Especificaciones

Esta fase contiene información relevante y precisa para la elaboración del producto, esta información es resultado de la correspondiente investigación de las necesidades que el resultado va a satisfacer (Arias & Sanchez, 2018).

Estructura funcional

Consiste en determinar las operaciones del producto: la función principal del producto y su sub-función que hagan cumplir el producto que se está diseñando. La combinación de las funciones secundarias forman una base para la búsqueda de soluciones para el producto (Arias & Sanchez, 2018).

Solución principal

Se realiza una búsqueda de los principios de solución para todas las funciones y sub-funciones que debe cumplir el producto diseñado. El resultado es una solución principal, que presenta la mejor combinación de los efectos físicos y las características de realización preliminares para poder cumplir con la estructura de la función (Arias & Sanchez, 2018).

Estructura modular

El resultado es una estructura de modulo que junto con la estructura proporciona una indicación preliminar de la descomposición de la solución en los grupos realizables como, por ejemplo: sistema de control, sistema de fuerza en un arranque de motor trifásico (Arias & Sanchez, 2018).

Diseños preliminares

Consiste en impulsar los diseños de los módulos principales. Se verifica el grado de detalles como materiales, geometría y detalles que se encuentren cerca del diseño óptimo para ser seleccionados. Como resultado se tiene un conjunto de diseños preliminares (Arias & Sanchez, 2018).

Diseño definitivo

Los diseños preliminares del producto final se completan adicionado más información más detallada sobre conjuntos y componentes que se obvió anteriormente, terminando de conjuncionar los conjuntos y complementos. El diseño definitivo contiene toda la información de configuración esencial para realizar el producto (Arias & Sanchez, 2018).

CAPÍTULO III

3. Diseño conceptual de prototipo de la planta de control de nivel de almacenamiento

En el este capítulo se mostrará las consideraciones tomadas en cuenta para el diseño e implementación del prototipo a automatizar, así como la descripción de sus características sus funciones. Se consideró conveniente realizar el diseño en base al método en la norma VDI 2221.

Posteriormente, se realizará una cotejo a través cuadros comparativos de las diferentes soluciones halladas de una de ellas se escogerá la que mejor, que cumpla con los parámetros técnicos y económicos pensados y establecidos (Rudas Ramírez, 2015).

El proyecto a diseñar requiere una parte de control dispuesta por un controlador y una parte de fuerza dispuesta por la presión y todo lo que conlleva el transporte del material.

Etapa de Control

Es la etapa encargada de gobernar el sistema de fuerza. El sistema de control debe explicar, determinar y condicionar el cambio de valores en la etapa de fuerza, a esta etapa de señal se le conoce también como variable de control (CV). Está en la señal que llegará a la válvula seleccionada y permitirá el proceso de control.

Etapa de Fuerza

Esta etapa es afectada por la presencia y acción de la etapa del control también se puede decir que es una variable en el proceso (PV). Esta etapa es medida por un instrumento o sensor. En el proyecto se toma en cuenta como fuerzas a la presión del fluido y el caudal del mismo en distintos puntos.

3.1. Esquema del sistema a diseñar

En la **Figura 57** se describe el sistema de almacenamiento a desarrollar en forma clásica de control. Basándonos en lo anterior desarrollaremos el diseño de la planta y su control respectivo.

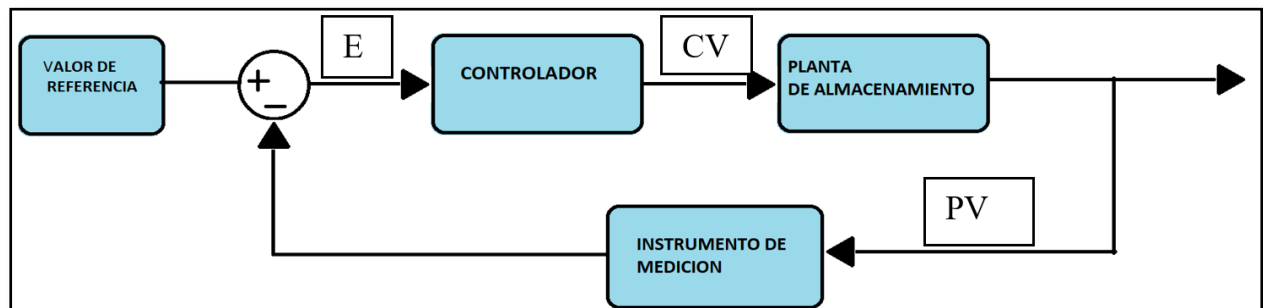


Figura 57. Esquema de control requerido en lazo cerrado

Fuente: Elaboración propia basado en el diagrama de bloques en lazo cerrado

3.2. Lista de exigencias

Por lo general es una pequeña descripción, situación de la problemática o una serie de exigencias a cumplir, la lista de exigencias hace las veces de comunicación entre el diseñador y el cliente, donde se detalla los alcances que tendrá el proyecto. La lista se divide en exigencias, requerimientos a cumplir, y deseos, requerimientos que son dispensables. En la **Tabla 5** se describe la lista de exigencias, reconociendo exigencia y deseos basándonos en la norma VDI 2221 desarrollando cada uno de los puntos.

Tabla 5. Lista de exigencias

Fuente: Elaboración propia basado en la norma VDI 2221

LISTAS DE EXIGENCIAS		
D: DESEO	ITEM	DESCRIPCIÓN
PROYECTO		Diseño e implementación de un sistema de control y supervisión de nivel de un prototipo de silo para el almacenamiento de cemento a granel para una empresa de agregados de Arequipa.
E:EXIGENCIA		
E	FUNCIÓN PRINCIPAL	Controlar y supervisar el nivel de almacenamiento de cemento en un prototipo de silo
E	MATERIAL	Para la estructura de soporte este debe soportar al cuerpo del silo y el peso del máximo del cemento a almacenar. El cuerpo del silo debe soportar un volumen máximo de 0.1 m^3 .
E	CINEMÁTICA	El traslado del cemento debe realizarse por transporte neumático para asemejarse lo más posible al almacenamiento de cemento real.
D	GEOMETRÍA	El ensamble del sistema automático debe ser estético, de preferencia con materiales fáciles de encontrar en el mercado.
E	FUERZA	El sistema de compresión debe tener la suficiente presión para realizar el transporte neumático positivo mínimo de 3 Bares, el circuito de transporte y control debe soportar estas cargas. Por densidad y volumen también el prototipo de silo debe ser robusto para soportar presiones y pesos.
E	ERGONOMÍA	Los resultados de las pruebas de automatización en el prototipo deben ser confiables y adaptables a un silo de almacenamiento real.
E	SEGURIDAD	El diseño de la automatización debe estar dirigida a preservar tanto los activos como suprimir la exposición de polución al personal y evitar enfermedades ocupacionales.

E	ENERGÍA	El diseño y la implementación deben generar menos gastos energéticos, tanto materiales como de apoyo humano.
D	FABRICACIÓN	La fabricación o implementación del prototipo debe ser lo más cómoda posible respetando las condiciones máximas del producto. La parte de la automatización debe robusta.
E	MONTAJE	El armado debe ser fácil esto servirá tanto para el traslado o el mantenimiento.
E	MANTENIMIENTO	Debido a las condiciones a trabajar el mantenimiento solo será en paradas programadas, por lo tanto deberá ser casi libre de mantenimiento.
E	TRANSPORTE	El transporte va de la mano con el montaje, fácil de transportar y montar donde sea necesario.
E	COSTO	El diseño de la automatización y la construcción del prototipo debe ser lo más económica posible, la inversión en un futuro no muy lejano debe compensarse con los gastos generados por consumo de energía, humano y de proceso.
E	CALIDAD	Para la parte de automatización los instrumentos deben ser fiables, robustos (por al ambiente a la que serán sometidos) y buena calidad.
E	SEÑALES	Los controles deben ser entendibles por todo el personal de la planta, de fácil acceso y manipulación. Deberá tener indicadores en el tablero de control.
E	USO	Debe ser útil en cualquier situación climática y altura. El uso no debe ser complejo.

3.3. Determinación de estructura de funciones

Una vez definida la lista de exigencias y sabiendo las necesidades a cubrir y tratar procedemos a iniciar con el proceso de entender el problema en forma general a través de un esquema de funciones de la máquina.

Primero, comenzando el entendimiento del problema en forma general a través de un esquema de caja negra donde se enfocará las entradas y salidas de la misma.

Segundo, se procederá a detallar la secuencia de operaciones necesarias para el funcionamiento correcto de la máquina y su automatización, las cuales abarcaran el transporte y control de nivel deseado del prototipo.

Tercero, la definición de los procesos técnicos, en otras palabras, son la división del problema general en sub-problemas a este periodo denominaremos campos de fase. Son los siguientes: preparación, ejecución, control y fase final. En la **Figura 58** se representa el esquema de lo que se quiere lograr con esta investigación.

Cada campo de fase está en función a cada etapa del proceso.

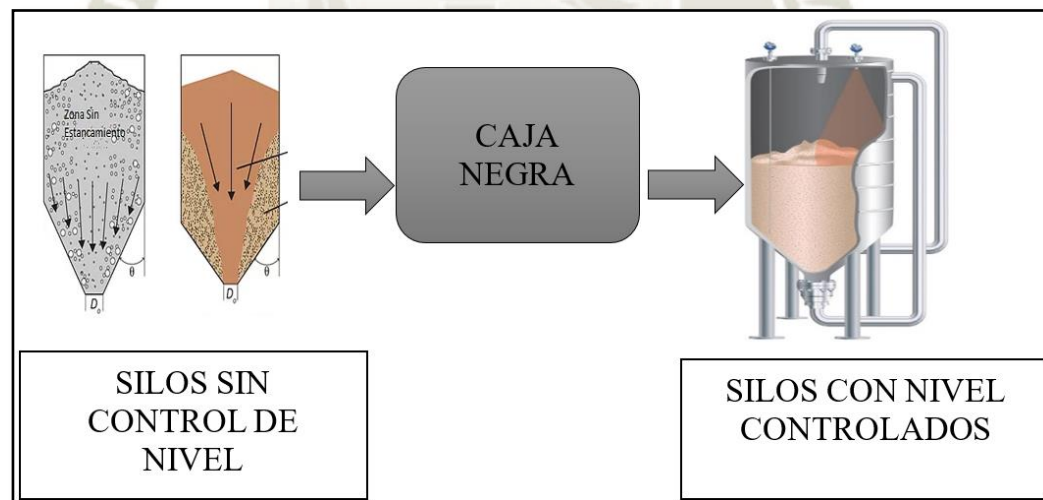


Figura 58. Representación de caja negra como el sistema de control a diseñar

Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta la consideración anterior, se desarrollará la estructura de funciones globales y estructurales de funciones parciales en mecánica de estructuras, electrónica, y control, donde se deberá escribir al detalle los principios tecnológicos donde se basa el diseño.

3.3.1. Procesos manuales

- Descarga del material sólido (Cemento Portland) al prototipo de silo en forma manual.
- Apertura de válvula de salida del compresor, antes de la válvula de control.
- La carga del material sólido (Cemento Portland) a la bombona de transporte.

3.3.2. Procesos mecánicos

- El diseño y construcción de la estructura que soporte el silo prototipo.
- Traslado del material sólido (Cemento Portland) por medio de transporte neumático positivo.
- Apertura o cierre de la válvula de control.
- Cantidad de material sólido (Cemento Portland) en el interior del prototipo del silo.

3.3.3. Procesos automáticos

- Control de apertura o cierre controlado por el controlador previamente programado.
- Elección del sistema de control más óptimo para el pase o cierre del aire.

3.3.4. Funciones globales

Con todo lo propuesto y descrito de puede realizar la estructura de funciones globales donde tomaremos acciones mecánicas, electrónicas y control. En la **Figura 59** Se muestra la elaboración de la estructura global de las funciones, mostrando de forma detallada los sistemas y subsistemas.

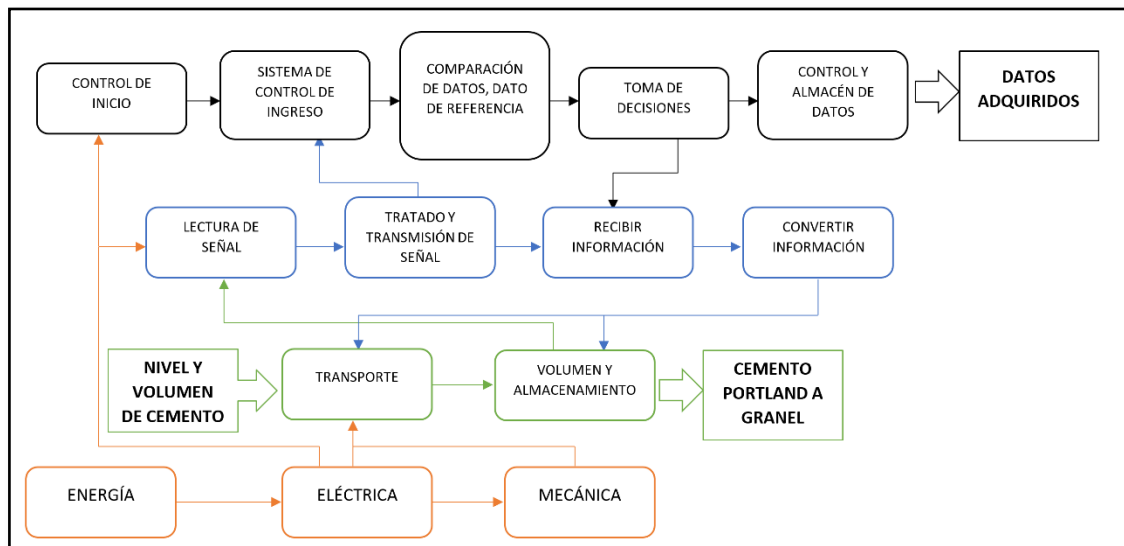


Figura 59. Estructura de funciones globales

Fuente: Elaboración propia

Donde

—> Línea de alimentación y energía

—> Línea de sistema mecánico

—> Línea de sistema electrónico

—> Línea de sistema de control

3.3.4.1. Determinación de estructura mecánica

Para desarrollar la estructura de funciones mecánicas se necesita tomar en cuenta el proceso técnico estableciendo una estructura general basándose en una secuencia de operaciones del proceso.

Preparación

1. Montaje de los empalmes rápidos a la entrada y salida del contenedor de transporte (planta que representa una bombona).

2. Comprobación de cantidad de sólido a almacenar en el interior del contenedor de transporte, planta que representa una bombona).
3. Realización de una prueba para confirmar fluidización del sólido a transportar, cemento portland.
4. Calibración de la correcta presión de entrada entre 3 -6 Bares.

Ejecución

1. Encendido del compresor y apertura de válvula principal con presión calibrada.
2. El fluido comprimido se dirigirá al contenedor de transporte (planta que representa una bombona).
3. Apertura de válvula de paso general.

Control

1. Verificar si el fluido pasa correctamente a través de la tubería y mangueras.
2. Verificar la presión real entregada por el compresor y variar de ser necesario.
3. Controlar la válvula que debe funcionar como intermediario con el actuador.
4. Controlar el pase de fluido comprimido antes de entrar al contenedor de transporte (planta que representa una bombona).
5. Controlar la velocidad del proceso.

Fase final

1. Comprobación del nivel y volumen requeridos.
2. Reducir pérdidas por rebalses.

La definición de estos conceptos de solución del diseño del prototipo de control y supervisión de nivel se tomó en cuenta la **Tabla 5** de listas de exigencias y la estructura de procesos anterior, con esas ambas partes nos dan alternativas de solución que veremos en la matriz morfológica más adelante. En la **Figura 60** se muestra la estructura de las funciones mecánicas.

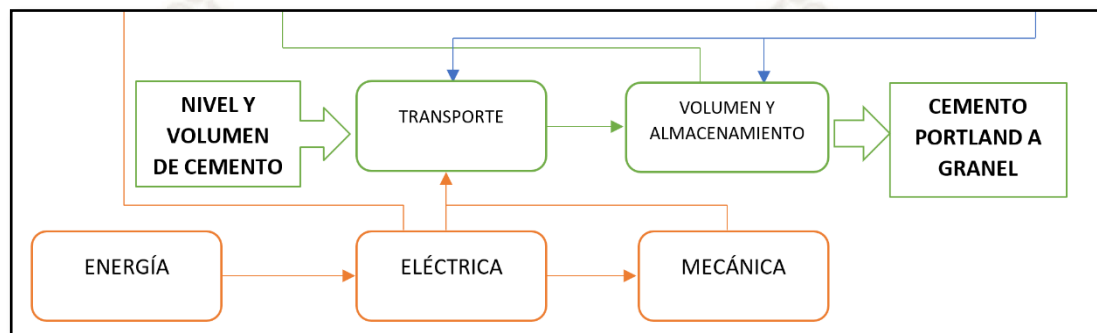


Figura 60. Estructura de funciones mecánicas

Fuente: Elaboración propia

Donde

→ Línea de alimentación y energía

→ Línea de sistema mecánico

3.3.4.2. Determinación de estructura electrónica y de control

De la misma forma que trabajamos la parte mecánica, se desarrollara con el sistema de control y la parte electrónica, en procesos técnicos con las principales fases:

Preparación

1. Hacer pruebas previas del sistema de mando y control electrónico.
2. Comprobar los programas establecidos en el componente electrónico de control.

3. Encendido correcto de los equipos, para que estén listos y disponibles para el uso.
4. Verificación de la interfaz esté lista para ser usada.

Ejecución

1. Probar el paso del fluido en elemento a controlar.
2. Correcto dominio del sistema de control sobre el sistema a controlar.
3. Adquisición de datos para el estudio y contabilidad.

Control

1. Verificar la información recibida por el instrumento de medición.
2. Controlar el paso del fluido compresible por la válvula de control.
3. Controlar la velocidad del proceso.

Fase final

1. Adquisición de datos guardados en una memoria.
2. Enviar pulsos necesarios para el control de la válvula de control.

La **Figura 61** se detalla el esquema de funciones electrónica y de control donde se conjunciona con el sistema mecánico.

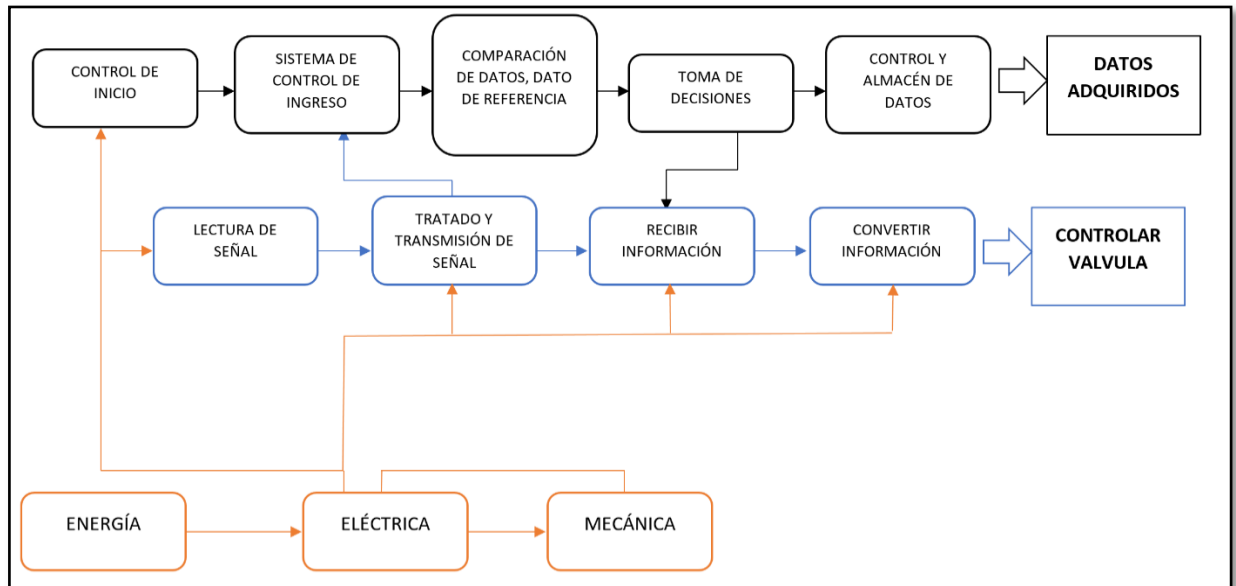


Figura 61. Estructura de funciones electrónica y de control

Fuente: Elaboración propia

Donde

- Línea de alimentación y energía
- Línea de sistema mecánico
- Línea de sistema electrónico

3.4. Conceptos de solución

La solución puede ser de distintas formas y tomar distintos caminos, donde pueden ser intuitivos, discursivos y los más usados los tradicionales, según el modo de diseño implementado por el VDI 2221, se usa la forma discursiva y una de ellas es la de llegar a una solución mediante la matriz morfológica. De esta manera se puede construir un sistema de soluciones para el diseño y supervisión del control (Rudas Ramírez, 2015).

Podemos también subdividir las funciones totales en funciones parciales, y también separarlas en las encomendadas a fuerza y control denominadas en el tipo.

Tabla 6. Funciones parciales

Fuente: Elaboración propia basado división de sub-funciones

Número	Ítem	Especificaciones
1	Transporta	Transporte constante del Cemento Portland a granel
2	Dosificar	Mediante el uso de una válvula controlada, dosificación de la distribución del Cemento Portland en polvo
3	Almacenamiento secundario	El cemento Portland, se debe encontrar almacenado en un recipiente secundario para ser trasladado a la estructura principal
4	Almacenamiento primario	Estructura que debe soportar la carga representativa del Cemento Portland a granel
5	Estructura y Soporte	Estructura que soporta el cuerpo del almacén primario y el sólido que contiene.
6	Medición de nivel y volumen	Tomar medidas constantes para posterior mente ser procesadas
7	Procesar información	Comparar niveles y volúmenes solicitados por con los medidos y tomar decisiones
8	Programación y adquisición de datos	Recolección de datos, tipos de programación y niveles deseados

En la **Tabla 6** se detalla las funciones parciales que van de la mano con la lista de exigencia, resaltando los Ítems y sus especificaciones.

Sabiendo todo lo anterior podemos buscar posibles soluciones que se adapten a nuestros requerimientos, a continuación, pasaremos a mostrarlos y detallarlos. Lista de exigencias

3.4.1. Transformar (fuerza)

Los sistemas que más se apegan a la lista de exigencias son los sistemas neumáticos de transporte. El paso del fluido compresible también se encuentra en campo de la fuerza. En la **Figura 62** se muestra las posibles alternativas para el sistema de transporte neumático.




Máquina compresora de pistón	Soplador de aire industrial de 1.5 hp o 1.1 kW	Ventilador industrial de 30 pulgadas de diámetro y 0.5 HP de potencia
		

Figura 62. Sistemas neumáticos de transporte

Fuente: Atlas Copco (2018), directindustry (2017), nakomsa (2018)

3.4.2. Dosificar

Los sistemas que más se acercan a la lista de exigencia para la dosificación del aire comprimido útil para el transporte del material tenemos lo siguiente detallada en la **Figura 63**.

Válvula IAC	Válvula de control proporcional de la marca FESTO	Válvula de control por solenoide
		

Figura 63. Sistemas de elementos dosificantes

Fuente: prueba deruta (2019), FESTO (2017) hpcontrol (2018)

3.4.3. Almacén primario y secundario

La **Figura 64** se muestra la planta que representa a un módulo de transporte industrial conocido en el argot de la industria como bombona, y el prototipo del almacén primario.

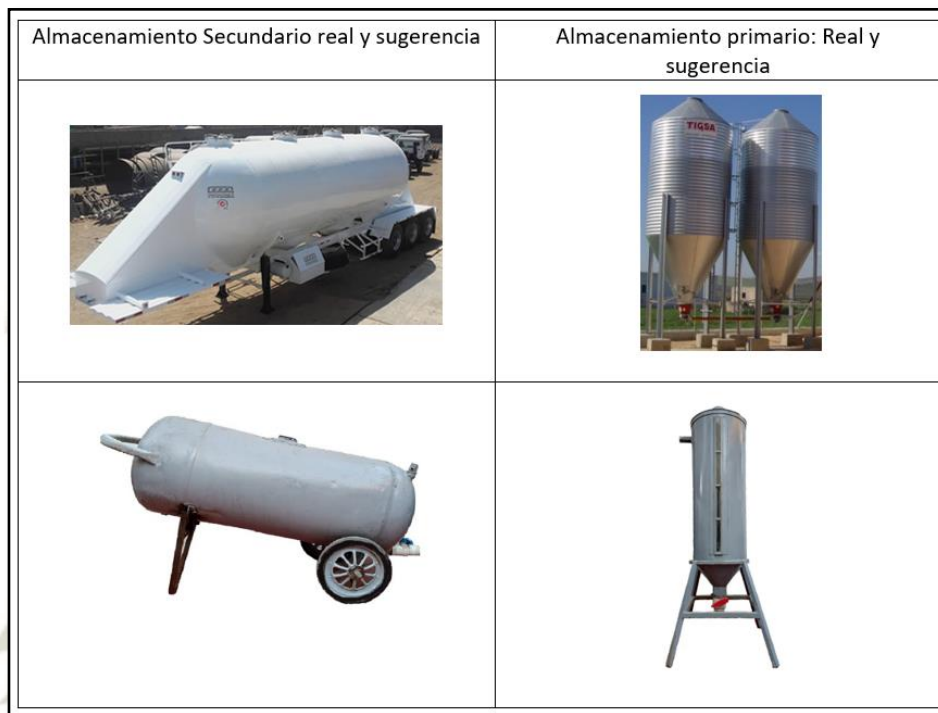


Figura 64. Almacenamiento de cemento primario y secundario

Fuente: Compañía peruana de remolques. (2018), Productos TIGSA (2019)

3.4.4. Estructura y soporte

Soporte y estructura realizada por perfiles mostrados en la **Figura 65**.

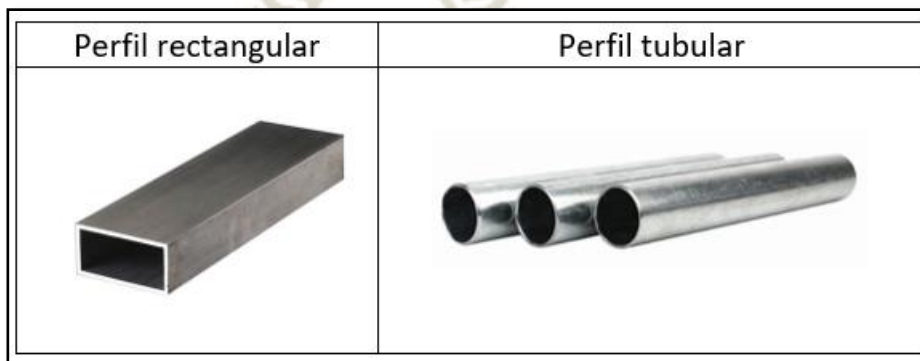


Figura 65. Perfiles a seleccionar

Fuente: LONRACE (2009), metalpanel (2009)

3.4.5. Medición de nivel y volumen

Este Ítem es el más importante en la selección, ya que es el motivo de desarrollo de este proyecto, en la **Figura 66** se muestra los sensores que más se adaptan al sistema.

Medidor de nivel de ultrasónico	Medidor de nivel por láser de sólidos	Medidor de nivel continuo por radar	Medidor de nivel continuo capacitivo	Detector de nivel por paletas rotativas	Detector de nivel diafragma

Figura 66. Medidores de nivel

Fuente: es.rs ventas online (2014), sensovant Smart sensing (2014), feria virtual interempresas (2018), feria virtual interempresas (2019), solucionesfmk (2013), altecdust.com (2013)

3.4.6. Procesamiento de información

Este elemento se encargará de gobernar el sistema y de la toma de decisiones, también del almacenamiento de los datos necesarios. En la **Figura 67** se muestra los posibles elementos seleccionables.

Mini PLC Siemens LOGO	Relé programable Zelio	Arduino Mega 2560	PLC Siemens S7-1200	PLC SieCompact Logix

Figura 67. Controladores seleccionables

Fuente: código electrónica (2017), Zelio Logic (2013), naylampmechatronics (2015), masvoltaje (2017), rockwell automation (2018)

3.4.7. Programación y adquisición de datos

La programación de los módulos de control es vital para gobernar el proceso a diseñar. Podemos usar distintos tipos de softwares de programación dependiendo el controlador. En la Figura 68 representamos los posibles softwares y lenguajes que podemos usar para la programación.




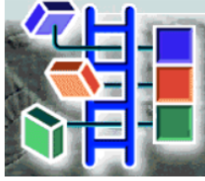
Programación C++	Software gratuito Arduino	Software LOGO!Soft comfort	Programación Ladder
			

Figura 68. Softwares a usar

Fuente: El lenguaje de programación C++ (Wesley,1998), Arduino (2014), Logixpro (2001)

3.4.8. Matriz morfológica

La **Figura 69** describe de forma de la matriz morfológica con las mejores opciones seleccionables, recorriendo las distintas alternativas para definir las propuestas y así seleccionar la mejor.

Tipo	Item	Detalle	Propuestas					
Fuerza	Transporte	Componente	Atlas Copco, Compresor de pistón	Mattei, Soplador Industrial	Nakomsa, Ventilador industrial			
		Imagen						
Fuerza y Control	Dosificación	Componente	Válvula Solenoide	Válvula Proporcional neumática	Válvula Iac			
		Imagen						
Fuerza	Almacenamiento Secundario	Componente	Bombona de Transporte de Material	Propuesta de Bombona de Transporte de Material				
		Imagen						
	Almacenamiento Primario	Componente	Almacén Principal	Propuesta De Almacenamiento Primario				
Imagen								
Estructura y soporte	Componente	Perfil Tubular	Perfil Rectangular					

Control	Medición de nivel y volumen	Imagen						
		Componente	Medidor de nivel Ultrasónico	Medidor de nivel por láser industrial	Medidor de nivel por radar	Medidor de nivel capacitivo continuo	Medidor de nivel por puntos	Medidor de diafragma por puntos
	Imagen							
	Componente	Siemens LOGO!	Zelio Logic	Arduino mega-2560 R3	Siemens S7-1200	PLC Compact Logix		
	Imagen							
	Componente	C++	Arduino	Ladder	Bloques			
Programación y adquisición de data	Imagen							

Figura 69. Matriz morfológica según norma VDI 2221

Fuente: Elaboración propia

Donde

→ Propuesta 1

→ Propuesta 2

→ Propuesta 3

→ Propuesta 4

→ Propuesta 5

→ Todas las propuestas

3.4.9. Descripción de propuestas

3.4.9.1. Propuesta I

La primera propuesta consta del uso del compresor neumático por pistones, para el uso del aire comprimido, útil para el sistema de transporte neumático del material. La selección de la válvula solenoide como actuador de control y fuerza, favorece la fácil instalación y su fácil manipulación, reduciendo otros componentes en el sistema de control. En todas las propuestas se usará el sistema de almacenaje primario y secundario obtenido y adaptado para la presente investigación.

Para esta propuesta se seleccionó los perfiles rectangulares por la facilidad de adquisición y manipulación al momento del ensamble.

La selección del instrumento de medición cayó en sensor radar o microondas, debido a su configuración; este es ideal para ambientes hostiles, en este caso, con demasiada polución, además de ser fiable, se puede calibrar a diferentes alturas y entrega una señal de 4 a 20 mA. La lectura del este instrumento está a cargo del Mini PLC LOGO! y su extensión de lectura analógica AM2. Para la programación y calibración se usa el software especializado LOGO!Soft Comfort, en el lenguaje de evaluación de bloques funcionales.

- Tiempo de entrega de sensor: 4 meses, debido a la fabricación del sensor desde China.
- Tiempo de adquisición de la válvula solenoide: Inmediata.

- Tiempo de adquisición de Mini PLC Siemens LOGO! :1 mes.
- Costo del sensor, controlador y válvula a controlar; alto, medio y bajo respectivamente.
- Tipo de medición: Continua.
- Tipo de control: Proporcional integral (PI) a PWM.
- Precisión en el control: Media.

3.4.9.2. Propuesta II

La segunda propuesta dispone de un soplador industrial, la presión no es suficiente para el tamaño de la planta, pero es compensada con el flujo másico que proporciona esta máquina. Al igual que la propuesta anterior el uso de la válvula solenoide se usará para el desarrollo del control, conociendo las limitantes obvias del actuador.

El perfil usado también recae en el perfil rectangular por la facilidad de adquisición y manipulación en el ensamble.

La selección de un sensor continuo es indispensable, existen tres propuestas y se pondrá a prueba cada una de ellas con ventajas y desventajas.

Sensor ultrasónico, es fiable y ajustable en ambientes hostiles, en ambientes muy polvorientos genera señales erróneas, pero con la data se puede calibrar el instrumento.

Sensor Laser de medición de sólidos, es ideal para este tipo de ambiente a trabajar, se calibra la altura y tiene una medición de hasta de 75 metros, la gran desventaja es el costo de adquisición siendo este demasiado elevado.

Sensor Capacitivo continuo, mide contantemente el nivel de los sólidos en un punto específico, el costo es moderado y accesible, su desventaja es que el sólido se apelmaza y adhiere a él, formando costras que impiden la lectura correcta, esta solución requerirá de un mantenimiento alto.

Concluyendo se definió el uso del sensor ultrasónico, por costo, utilidad y mantenimiento.

Por último, el componente responsable de la lectura emitida por el instrumento de medición sería un PLC modular Siemens S7-1200. Por la facilidad de la programación y adquisición de datos del sistema.

- Tiempo de entrega de sensor Ultrasónico: 2-3 meses, sensor más comercial, pero debe tener una configuración especial.
- Tiempo de entrega de sensor Laser: de 4 a 5 meses, sensor importado desde España.
- Tiempo de entrega de sensor Capacitivo continuo: De 2 a 3 meses, fabricación especial a pedido y por longitudes.
- Tiempo de adquisición de la válvula solenoide: Inmediata
- Tiempo de adquisición de PLC Siemens S7-1200 :1 mes.
- Costo de los sensores y el controlador, alto y medio-alto respectivamente.
- Tipo de medición: Continua.
- Tipo de control proporcional integral derivativa (PID) a PWM
- Precisión en el control: Medio.

3.4.9.3. Propuesta III

La tercera propuesta, consiste en el uso de un compresor para la obtener el aire comprimido. El uso de una válvula proporcionar regularía el paso del fluido comprimido, el tipo de control empleado en esta válvula sería por el controlador PI o PID ya que llegar al punto requerido de toma su tiempo. Con estas válvulas se logrará una buena precisión en el nivel deseado y ahorro de energía y buen uso del fluido.

El perfil seleccionado es el perfil rectangular por la facilidad de adquisición y manipulación en el momento del ensamble.

La selección del instrumento responsable de la medición es la del Sensor Laser, un instrumento muy fiable y amplio rango de mediciones, es ideal y el más preciso en este ambiente de trabajo debido a sus propiedades físicas y modo de tomar datos.

El controlador usado es el PLC debido a su robustez y que ya bien incluidos pines de entrada analógica tanto voltaje de 0-10 v o corriente de 0 o 4 a 20 mA, el seleccionado sería el PLC Compact Logix de la familia Allen Bradley, aprovechamos este PLC debido a que también tiene una salida analógica, de esta forma no tendríamos que hacer la adquisición de módulos de salida analógica, usando el software Studio 5000 donde el programa se realizara con el sistema de programación Ladder.

- Tiempo de entrega de sensor Laser: De 4 a 5 meses, sensor importado desde España bajo pedido.
- Tiempo de entrega de válvula proporcional industrial: 2 meses.
- Tiempo de adquisición de PLC Allen Bradley Compact Logix: 2 mes.

- Costo de los sensores, controlador y válvula; alto, alto y costo medio respectivamente.
- Tipo de medición: Continua.
- Tipo de control proporcional integral o proporcional integral derivativa (PI, PID).
- Precisión en el control: Alta.

3.4.9.4. Propuesta IV

La cuarta propuesta consiste en el uso de un compresor para obtener aire comprimido, la presión compensara el flujo volumétrico. El elemento a controlar sería una válvula Iac, para ello se deberá hacer una modificación y un circuito especial ya que esta válvula es usada como bypass en los automóviles. La construcción de un sistema que pueda emplear este elemento puede ser costoso, pero se compensa con el costo bajo de esta válvula.

El perfil rectangular es el seleccionado por la versatilidad del producto.

El instrumento de medición seleccionado en esta alternativa sería el sensor radar o microondas, ideal para el ambiente con polución al cual será expuesto.

El tipo de controlador usado es esta propuesta sería el PLC Siemens S7-1200, para la lectura de datos se necesitaría un módulo de expansión de entradas y salidas analógicas, usando el software propio de Siemens TIA Portal, se puede usar una programación en el sistema Ladder.

- Tiempo de entrega de sensor de Radar: 4 meses traído desde china.
- Tiempo de adquisición de la válvula Iac: Inmediata.

- Tiempo de adquisición de PLC Siemens S7-1200:1 mes.
- Costo de los sensores, el controlador y la válvula Iac; alto, medio-alto y bajo respectivamente.
- Tipo de medición: Continua.
- Tipo de proporcional integral o proporción integrar derivativa (PI, PID).
- Precisión en el control: Alta.

3.4.9.5. Propuesta V

La quinta y última propuesta consiste en el uso de un soplador industrial para el transporte neumático, la baja presión se compensa con el gran volumen de flujo de aire, la válvula a controlar recae en la válvula Iac, válvula usada en automóviles, se puede controlar el paso del fluido comprimido en una tubería previamente adaptada; esto puede elevar los costos.

La selección del perfil rectangular se basa en la facilidad de adquisición y la manipulación en el momento del ensamble.

Los instrumentos seleccionados en esta propuesta son los sensores de posición fija por paletas o el sistema de diafragma, colocándolos en puntos estratégicos.

Y, por último, la selección de los dispositivos de control serial dos: el relé programable Zelio Logix o el Mini PLC Siemens LOGO!, y su programación será por diagrama de bloques, propios de sus respectivos softwares, Zeliosoft y Logosoft respectivamente.

- Tiempo de entrega de sensor de paletas: 3 meses, sensor comercial, adquisición bajo pedido.

- Tiempo de entrega de sensor por diafragma: de 3 meses, sensor comercial.
- Tiempo de entrega de sensor Capacitivo continuo: De 2 a 3 meses, fabricación especial a pedido y por longitudes.
- Tiempo de adquisición de la válvula solenoide: Inmediata
- Tiempo de adquisición de PLC Siemens LOGO! :1 mes.
- Costo de los sensores y el controlador, alto y medio-alto respectivamente.
- Tipo de medición: Puntos fijos.
- Tipo de control Todo-Nada.
- Precisión en el control: Baja.

3.4.10. Selección de la propuesta

Para la selección de propuesta más óptima se evaluará por una selección cuantitativa todas las posibles soluciones. Se observarán en las valoraciones técnicas y de costos expresadas a continuación.

3.4.10.1. Valoración técnica

Se definirá los siguientes criterios para para hallar el valor técnico.

Funcionabilidad, Compatibilidad de componentes, Diseño, Seguridad, Precisión de medición, Facilidad de montaje y Mantenimiento.

$$X_i = \frac{\sum GxP}{\sum GxG}$$

Donde

X_i : Ponderación de valoración técnica

G: Peso del ponderado técnico

P: Puntaje de valor técnico de 0-4 según norma VDI 2221

Tabla 7. Valoración técnica

Fuente: Elaboración propia basado en tabla de valoración técnica de la norma VDI 2221

VALORACIÓN TÉCNICA												
P: Puntaje de 0 a 4 escala de valores según la norma VDI 2221												
0 = No Satisface, 1 = Aceptable con lo justo, 2 = Suficiente, 3 = Bien, 4 = Ideal												
G: Es el peso ponderado y se da en función de la importancia de los criterios de evaluación												
VARIABLES DEL CONCEPTO		Propuesta 1		Propuesta 2		Propuesta 3		Propuesta 4		Propuesta 5		
Nro.	Criterio de evaluación	G	P	G*P	P	G*P	P	G*P	P	G*P	P	G*P
1	Funcionabilidad	3	3	9	2	6	3	9	2	6	1	3
2	Precisión de medición	4	4	16	3	12	4	16	2	8	2	8
3	Compatibilidad de componentes	4	3	12	3	12	3	12	2	8	3	12
4	Diseño	3	2	6	2	6	2	6	3	9	3	9
5	Seguridad	2	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4
6	Facilidad de montaje	4	3	12	3	12	3	12	2	8	3	12
7	Mantenimiento	3	3	9	1	3	3	9	3	9	3	9
Puntaje máximo G y G*P		23		68		55		68		52		57
VALOR TÉCNICO consideran G=3				0.986		0.797		0.986		0.754		0.826
Posición				1		4		1		5		3

La **Tabla 7** se define y selecciona las propuestas definidas en la matriz morfológica donde se realiza la valoración técnica, evaluando cada propuesta y definiendo el orden de importancia.

3.4.10.2. Valoración económica

Se definirá los siguientes criterios para para hallar el valor técnico.

Facilidad de adquisición, Costo de equipo, Costo de transporte, Garantía, Calidad, Cantidad de piezas y Costo de ensamble

$$Y_i = \frac{\sum GxP}{\sum GxG}$$

Donde

Y_i : Ponderación de valor económico

G : Peso del ponderado económica

P : Puntaje de valor económica de 0-4 según norma VDI 2221

Tabla 8. Valoración económica

Fuente: Elaboración propia basado en tabla de valoración económica de la norma VDI 2221

VALORACION ECONOMICA												
P: Puntaje de 0 a 4 escala de valores según la norma VDI 2221												
0 = No Satisface, 1 = Aceptable con lo justo, 2 = Suficiente, 3 = Bien, 4 = Ideal												
G: Es el peso ponderado y se da en función de la importancia de los criterios de evaluación												
VARIABLE S DEL CONCEPTO		Propuesta 1	Propuesta 2	Propuesta 3	Propuesta 4	Propuesta 5						
Nro.	Criterio de evaluación	G	P	G*P	P	G*P	P	G*P	P	G*P	P	G*P

1	Facilidad de adquisición	4	2	8	2	8	2	8	3	12	3	12
2	Costo de equipo	4	3	12	2	8	1	4	3	12	4	16
3	Costo de transporte	4	2	8	2	8	2	8	3	12	4	16
4	Garantía	3	3	9	3	9	3	9	2	6	3	9
5	Calidad	3	3	9	3	9	3	9	2	6	3	9
6	Cantidad de piezas	2	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4
7	Costo de ensamble	2	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4
Puntaje máximo G y G*P		2		54		50		46		56		70
VALOR TECNICO consideran G=3.36				0.72		0.675		0.621		0.756		0.946
Posición				3		5		4		2		1

La **Tabla 8** se define y selecciona las propuestas definidas en la matriz morfológica donde se realiza la valoración económica, evaluando cada propuesta y definiendo el orden de importancia.

3.4.10.3 Matriz de selección.

Los datos obtenidos de la valoración técnica y económica, serán usados para la selección adecuada de la propuesta. Se pondrá en comparación los resultados en la **Tabla 9** donde se evaluará en la **Figura 70** definiendo X_i como las abscisas y Y_i como las ordenadas, este plano de dispersión de datos nos ayudara visualmente con la selección correcta de la propuesta.

Tabla 9. Matriz de selección

Fuente: Elaboración propia

Criterio	P1	P2	P3	P4	P5
Xi	0.986	0.797	0.986	0.754	0.826
Yi	0.729	0.675	0.621	0.756	0.946

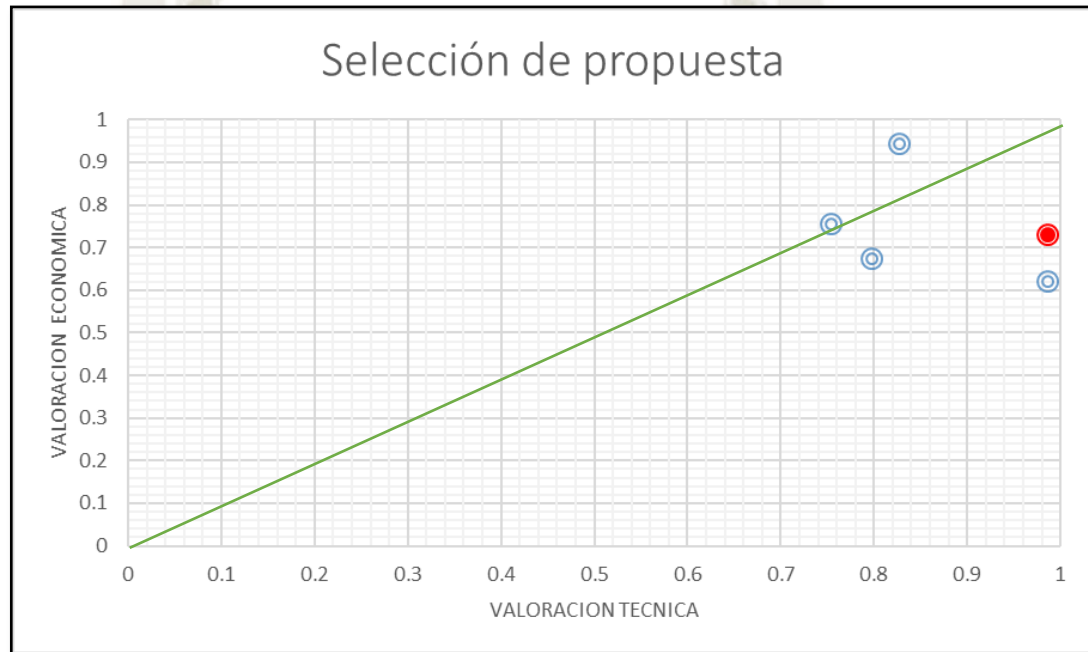


Figura 70. Selección de propuesta

Fuente: Elaboración propia

En la **Figura 70** se resalta la propuesta 1, la propuesta seleccionada, ya que se prioriza las valoraciones técnicas y un costo medio para obtener un sistema de medición precisa y un sistema de control medio.

3.5. Circuitos del sistema

El sistema de control de nivel de almacenamiento de cemento, se basa en dos circuitos fundamentalmente: Control (realizada por un mini PLC) y Fuerza (Sistema de alimentación y válvula), mostrados a continuación.

3.5.1. Circuito de control

Los componentes seleccionados son los siguientes:

- Caja de Control eléctrico (40x30x20 cm).
- Interruptor termomagnético.
- Pulsador normalmente abierto (Inicio).
- Pulsador normalmente cerrado (Paro).
- Pulsador con enclavamiento normalmente cerrado (Paro de emergencia).
- Contactor eléctrico trifásico con contacto NO.
- Fuente de alimentación de 24 V de 500 mA.
- Pantalla Siemens LOGO! TDE
- Mini PLC Siemens LOGO!
- Módulo de expansión de lectura analógica LOGO! AM2
- Sensor radar o microondas de sólidos.
- Válvula de Solenoide de 24 V
- Cables eléctricos.

3.5.2. Circuito de fuerza

Los componentes seleccionados son los siguientes

- Compresor.
- Manómetro.

- Mangueras neumáticas.
- Almacén de Cemento secundario.
- Manguera de transporte de material.
- Prototipo de silo de Almacenamiento de Cemento primario.

3.6. Descripción de componentes y conjunto de los circuitos

3.6.1. Componentes del circuito de control

3.6.1.1. Caja metálica para el control eléctrico

Componente usado como contenedor de distintos circuitos, tienen distintas dimensiones acomodándose a peculiares requerimientos. En **Figura 71** se puede observar un modelo de caja metálica usada para los elementos de control.



Figura 71. Caja de control eléctrico

Fuente: ELECTROCITY (2018)

Características principales

En la **Tabla 10** se definen las características técnicas principales de la caja metálica.

Tabla 10. Datos técnicos de caja de control eléctrica

Fuente: ELECTROCITY (2018)

CARÁCTER	ESPECIFICACIÓN
Alto	400 mm
Largo	300 mm
Profundidad	160 mm
Material	Chapa
Tipo	Exterior superficie

3.6.1.2. Circuito y componentes de inicio con paro prioritario

El diagrama mostrado en la **Figura 72** es circuito eléctrico sencillo de paro prioritario para la alimentación del regulador de voltaje a 24 Voltios.

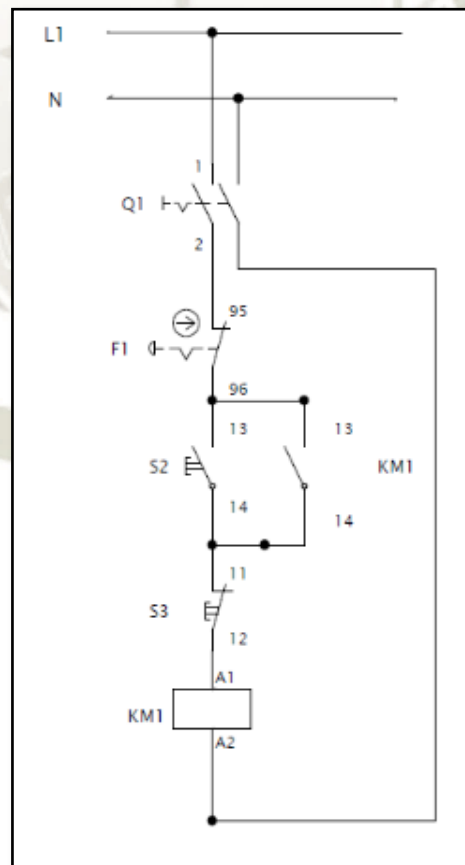


Figura 72. Diagrama eléctrico de arranque

Fuente: Elaboración propia en software profiCAD

Interruptor termomagnético

Es el componente encargado de establecer un puente entre la energía eléctrica de línea y el primer circuito de energía. En la **Figura 73** se aprecia una imagen referencial de un interruptor termomagnético usado en el diagrama eléctrico.



Figura 73. Interruptor termomagnético a 10 A

Fuente: Promart Home Center (2018)

Datos técnicos

En la **Tabla 11** se describe los datos técnicos principales del interruptor termomagnético, indispensables para la selección de componentes del diagrama eléctrico.

Tabla 11. Datos técnicos de interruptor

Fuente: Promart Home Center (2018)

CARÁCTER	ESPECIFICACIÓN
Marca	Bticino
Polos	Monofásico
Voltaje	220 V
Corriente	10 A
Potencia	10 KA

Símbolo

En la **Figura 74** se muestra el símbolo del interruptor termomagnético.

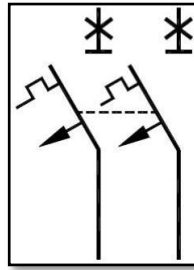


Figura 74. Símbolo de interruptor termomagnético

Fuente: Brainly (2016)

Pulsador normalmente abierto (Inicio)

Es el componente encargado del inicio de la alimentación al sistema por contactos. En la **Figura 75** se muestra una imagen de referencia.



Figura 75 Pulsador NO

Fuente: Vistronica Tienda virtual (2016)

Datos técnicos

En la **Tabla 12** se muestran los datos técnicos principales del pulsador de inicio.

Tabla 12. Datos técnicos de pulsador NO

Fuente: Stronger Center (2018)

CARÁCTER	ESPECIFICACIÓN
Marca	Stronger
Tipo	Normalmente Abierta
Acción	Momentánea
Voltaje	600 V

Corriente	10 A
Material	Plástico
Frecuencia de trabajo	50Hz-60Hz

Símbolo

En la **Figura 76** se muestra en símbolo eléctrico del pulsador de inicio.

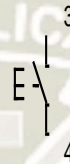


Figura 76. Pulsador abierto con retorno automático

Fuente: simbologia-electronic (2006)

Pulsador normalmente cerrado (Paro)

Es el componente encargado del paro de la alimentación al sistema por contactos.

En la **Figura 77** se muestra la imagen de referencia del pulsador de paro.



Figura 77. Pulsador NC

Fuente: adajusa material eléctrico (2013)

Datos técnicos

En la **Tabla 13** se muestra los datos técnicos importantes a considerados para el diseño.

Tabla 13. Datos técnicos del pulsador NC

Fuente: Stronger Center (2018)

CARÁCTER	ESPECIFICACIÓN
Marca	Stronger
Tipo	Normalmente Cerrada
Acción	Momentánea
Voltaje	600 V
Corriente	10 A
Material	Plástico
Frecuencia de trabajo	50Hz-60Hz

Símbolo

La **Figura 78** muestra el símbolo eléctrico del pulsador de paro.

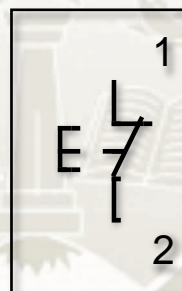


Figura 78. Pulsador cerrado con retorno automático

Fuente: simbologia-electronic (2006)

Conmutador normalmente cerrado (Paro de Emergencia)

Es el componente encargado del paro de emergencia en caso de algún incidente en el sistema de alimentación al sistema por contactos. En la **Figura 79** se muestra la imagen de referencia del paro de emergencia.



Figura 79. Botón paro de emergencia NC

Fuente: grainger (2015)

Datos Técnicos

La **Tabla 14** se muestra los datos técnicos del paro de emergencia, datos útiles en el diseño y ensamble.

Tabla 14. Datos técnicos de botón de parada de emergencia

Fuente: grainger (2015)

CARÁCTER	ESPECIFICACIÓN
Marca	CHNT
Tipo	Normalmente Cerrada
Acción	Enclavamiento
Voltaje	660 V
Corriente	3 A
Material	Plástico

Símbolo

La **Figura 80** se muestra de forma esquemática el símbolo eléctrico del parado de emergencia.

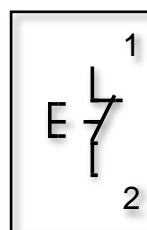


Figura 80. Pulsador con cabeza de hongo sin retorno automático

Fuente: simbologia-electronic (2006)

Contactor Eléctrico

Componente encargado de permitir un enclavamiento y funcionamiento automático del sistema de inicio, gracias a sus propiedades físicas. En la **Figura 81** se muestra la imagen referencial de un contactor magnético trifásico.



Figura 81. Contactor magnético trifásico

Fuente: adajusa material eléctrico (2013)

Datos Técnicos

En la **Tabla 15** se muestra los principales datos técnicos del contactor eléctrico trifásico.

Tabla 15. Datos técnicos de contactor eléctrico trifásico

Fuente: grainger (2015)

CARÁCTER	ESPECIFICACIÓN
Marca	CHNT
Tipo	3 Polos + 1NO
Acción	Bobinado
Voltaje	660 V
Corriente	25 A
Frecuencia de trabajo	50Hz-60Hz

Símbolo

En la **Figura 82** se muestra el símbolo eléctrico del relé y sus respectivos contactos.

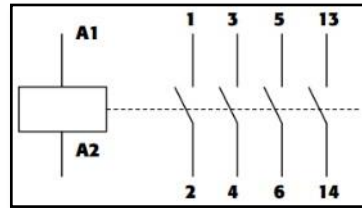


Figura 82. Contactor eléctrico trifásico con 1 NO
Fuente: teoriaesteban.blogspot (2016)

Ensamble del circuito eléctrico

En la **Figura 83** podemos ver el circuito eléctrico ensamblado en caja de control eléctrico de 30x40 cm sobre riel Din (barra de metal normalizada, usada para montajes eléctricos)

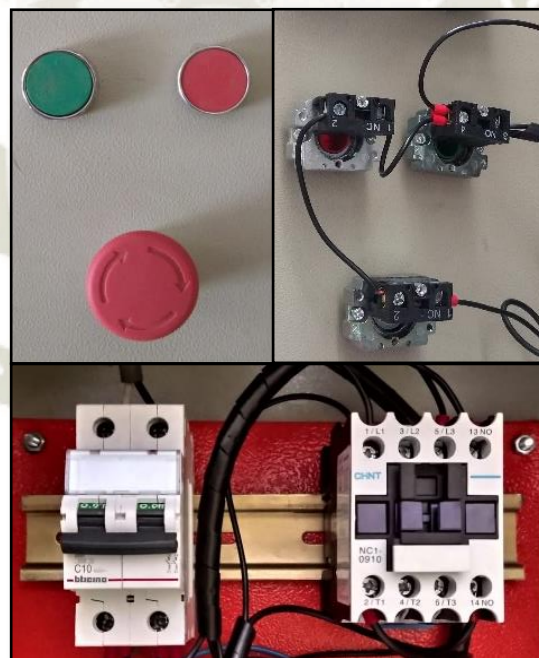


Figura 83. Circuito de inicio con paro prioritario
Fuente: Elaboración propia

3.6.1.3. Circuitos de instalación eléctrica y conexonado

El circuito de energía para la alimentación de la fuente de voltaje Siemens LOGO! Power a 24 voltios se muestra en la **Figura 84**, se necesita conectarlo directamente a la línea de alimentación o en este caso más precisamente la conexión al sistema de pario prioritario.

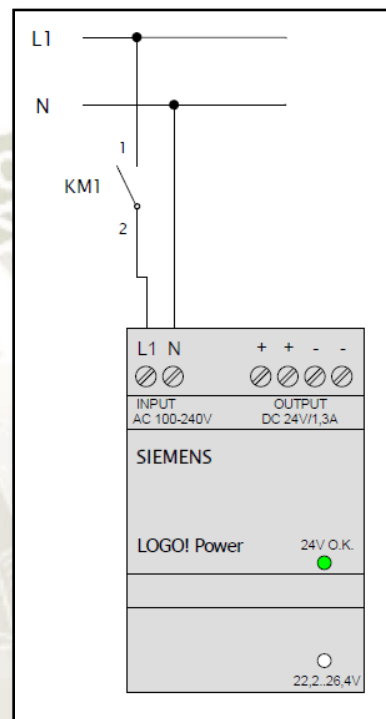


Figura 84. Alimentación de fuente de voltaje Siemens
Fuente: Elaboración propia en software profiCAD

Fuente de alimentación AC/DC LOGO!

Fuente a alimentación se la marca Siemens con código de catálogo 6EP3331-6SB00-0AY0. En la **Figura 85** vemos la imagen de referencia brindada por el proveedor.



Figura 85. Fuente de alimentación de 24 voltios y 1.3 A

Fuente: SIEMENS (2017)

Características principales

En la **Tabla 16** se define los datos técnicos de la fuente de alimentación como los voltajes y la corriente del sistema.

Tabla 16. Datos técnicos de fuente de alimentación eléctrica

Fuente: SIEMENS (2017)

CARÁCTER	ESPECIFICACIÓN
Marca	SIEMENS
Voltaje de entrada	100-240 V
Corriente de entrada	0.35 A
Voltaje de salida	24 V
Corriente de salida	1.3 A
Frecuencia de trabajo	47-63 Hz

Símbolo

La **Figura 86** muestra el símbolo eléctrico de la fuente de alimentación de 220 VAC a 24 VDC.

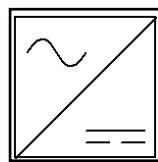


Figura 86. Símbolo de fuente de alimentación

Fuente: Galería de software ProfiCAD (2013)

El circuito de alimentación para pantalla Siemens LOGO! TDE se muestra de manera esquemática en la **Figura 87**, esta pantalla se conecta directamente a la fuente de alimentación de 24 V.

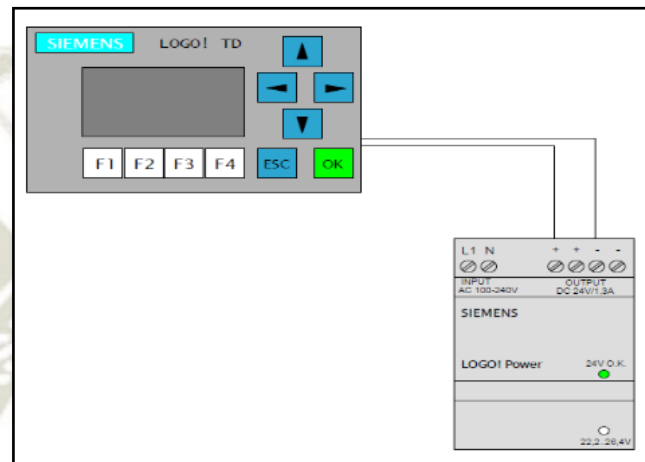


Figura 87. Diagrama de alimentación de pantalla LOGO! TDE a 24 V.

Fuente: Elaboración propia en software profiCAD

Pantalla Siemens LOGO! TDE

La Pantalla LOGO! TDE de la marca Siemens con código de catálogo 6ED1055-4MH08-0BA0, viéndose en la **Figura 88** será usada como interfaz hombre maquinas (HMI), de donde podremos visualizar datos, cuya configuración será preestablecida en el programa principal.



Figura 88. Pantalla LOGO! TDE

Fuente: SIEMENES (2018)

Características principales

En la **Tabla 17** se describe las principales características técnicas de la pantalla LOGO!

TDE.

Tabla 17. Datos principales de pantalla LOGO! TDE

Fuente: SIEMENS (2018)

CARÁCTER	ESPECIFICACIÓN
Marca	SIEMENS
Voltaje de entrada	24 V
Tipo y número de conexión	2 puertos Ethernet
Colores de fondo	3 colores
Texto de Display	6 líneas

Circuito de alimentación para Mini PLC Siemens LOGO! y módulo de expansión lectura analógica LOGO! AM2

En la **Figura 89** se visualiza el conexionado correspondiente al controlador y al módulo de expansión AM2 de entrada analógica.

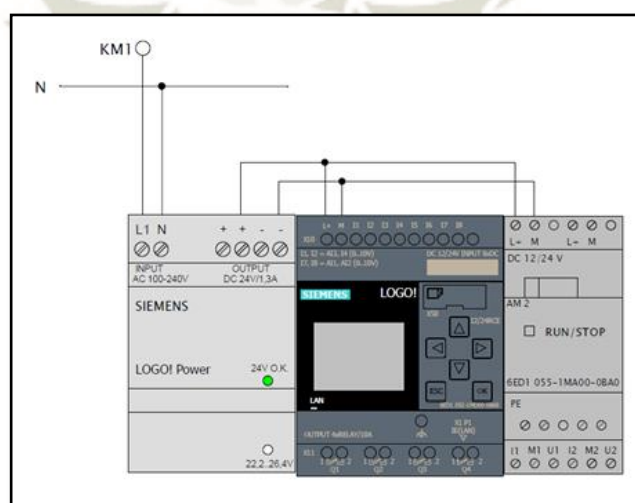


Figura 89. Diagrama de alimentación de LOGO! y módulo de expansión AM2

Fuente: Elaboración propia en software profiCAD

LOGO! 12/24 RCE

Es el Mini PLC con el que se trabajara, también conocido como relé programable, lo usaremos como controlador principal de la operación a realizar. En la **Figura 90** se muestra la representación gráfica referencial del elemento.



Figura 90. LOGO! 12/24 RCE

Fuente: SIEMENS (2018)

Características principales

La **Tabla 18** se describe los principales datos técnicos del elemento.

Tabla 18. Datos técnicos de LOGO!

Fuente: SIEMENS (2018)

CARÁCTER	ESPECIFICACIÓN
Marca	SIEMENS
Voltaje de entrada	12-24 V
Entradas digitales	8
Entradas analógicas	4, 0-10 V
Salidas Relé	4
Tipo de conexión	Ethernet y tarjeta microSD
Bloques de memoria	400

LOGO! módulo de expansión AM2

El módulo de expansión de lectura analógica de la línea LOGO! con código de catálogo 6ED1055-1MA00-0BA2. La **Figura 91** hace la representación gráfica del módulo de expansión analógico, solo compatible con la familia LOGO!



Figura 91. LOGO! módulo de expansión AM2

Fuente: SIEMENS (2020)

Características principales

En la **Tabla 19** se muestra las características técnicas principales útiles para el uso del sistema.

Tabla 19. Datos de módulo de expansión de lectura analógica

Fuente: SIEMENS (2020)

CARÁCTER	ESPECIFICACIÓN
Marca	SIEMENS
Voltaje de entrada	12-24 V
Entradas analógicas	2
Tipo de dato analógico	0-10 V y 4-20 mA

Conexión de sensor de radar de microondas de sólidos

Como vemos en la **Figura 92** la conexión del sensor radar es sencilla de realizar, según la configuración nos da una señal de intensidad de corriente normalizada de 4 a 20 mA.

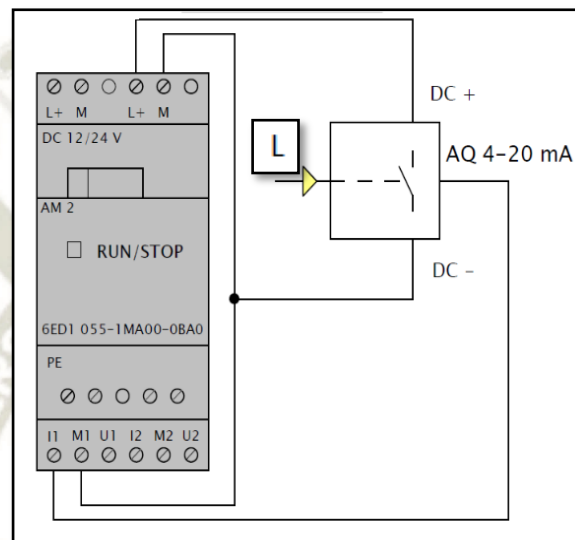


Figura 92. Diagrama de conexión y lectura de datos del sensor de radar
Fuente: Elaboración propia en software profiCAD

Sensor radar de microondas para lechos sólidos

Es el elemento clave de esta investigación, ya que su configuración y fiabilidad que nos entrega en el momento de la medición es necesaria para cumplir todas las exigencias. Sensor radar responsable de la medición de nivel de almacenamiento en el prototipo de silo y en silos reales, capaz de la lectura de sólidos en ambientes hostiles como los de polución extrema. En la **Figura 93** se muestra el sensor radar real usado en esta investigación.



Figura 93. Sensor radar de nivel

Fuente: Elaboración propia

Características principales

La **Tabla 20** muestra los datos técnicos más importantes del sensor radar como temperaturas y presiones máximas a soportar.

Tabla 20. Datos técnicos del sensor seleccionado

Fuente: Placa del instrumento

CARÁCTER	ESPECIFICACIÓN
Marca	ALERTANK SYSTEMS
Voltaje de entrada	24 V
Corriente de salida	4-20 mA
Presión de trabajo	-0.1-2.0 Mpa
Precisión	< 0.1%
Protección	IP67

Conexión de válvula solenoide

En la **Figura 94** se representa de forma esquemática la conexión del relé de la válvula solenoide para realizar el control sobre el actuador.

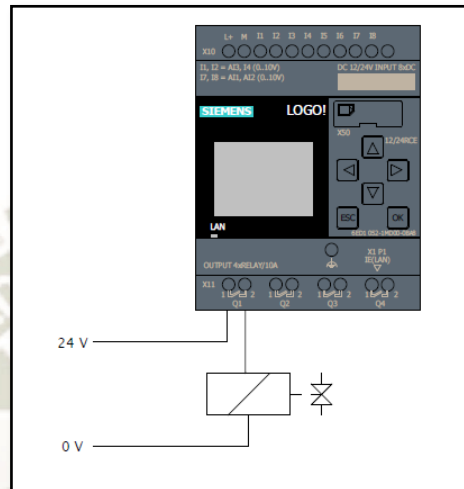


Figura 94. Diagrama de conexión de válvula solenoide de control

Fuente: Elaboración propia

Válvula Solenoide de 24 Voltios

Esta válvula será usada para realizar el control, ya que no se necesita mucha precisión en el control y en el sistema. En la **Figura 95** se muestra la válvula solenoide real de 24V.



Figura 95. Válvula solenoide AST a 24 V

Fuente: Elaboración propia

Características técnicas

En la **Tabla 21** se muestra los datos técnicos necesarios para el ensamble del diseño.

Tabla 21. Datos técnicos de válvula solenoide

Fuente: AST Industrial (2016)

CARÁCTER	ESPECIFICACIÓN
Marca	AST
Voltaje de entrada	24 V
Potencia usada	3 W
Dirección	Unidireccional
Condición inicial	NC

Símbolo

Sabiendo que la válvula es unidireccional en el proceso se representa como una válvula neumática de 2x2 pilotada como mostramos en la **Figura 96**.

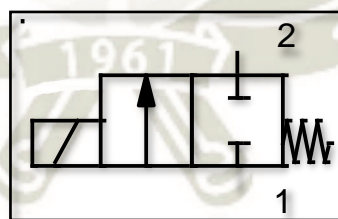


Figura 96. Símbolo de válvula solenoide unidireccional

Fuente: simbologia-electronic (2006)

3.6.2. Componentes del circuito de potencia

En la **Figura 97** se representa de manera esquemática las conexiones de potencia del sistema en cuestión, se expondrá cada una de sus partes.

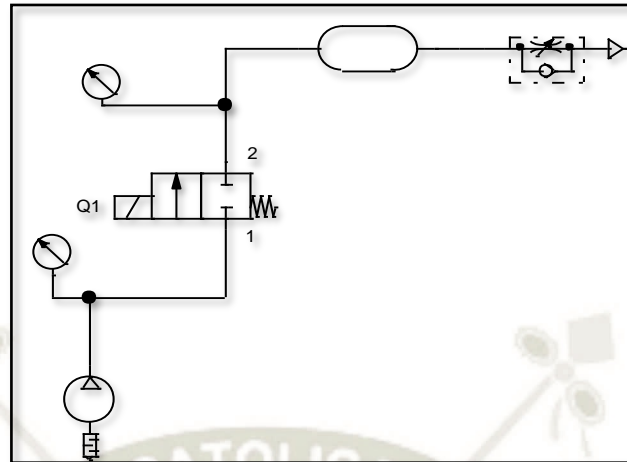


Figura 97. Diagrama del circuito de potencia principal

Fuente: Elaboración propia en software Fluidsim

3.6.2.1. Circuito de potencia principal (Componentes)

Compresor

Componente encargado de proporcionar el aire comprimido indispensable para el funcionamiento del sistema. En la **Figura 98** se muestra el compresor semi-industrial usado en el ensamble del diseño.



Figura 98. Compresor semi-industrial marca pitbull

Fuente: Elaboración propia

Características técnicas

En la **Tabla 22** se muestra las principales características técnicas del compresor usado.

Tabla 22. Datos técnicos de compresora semi-industrial

Fuente: Promart Home Center (2016)

CARÁCTER	ESPECIFICACIÓN
Marca	PITBULL
Voltaje de entrada	220 V
Caudal	7 C.F.M.
Capacidad máx.	24 L
Potencia	2 HP
Presión máx.	115 PSI
Motor	Aluminio
Frecuencia de trabajo	60 Hz

Símbolo

El símbolo del compresor es el que se muestra en la **Figura 99**, este símbolo es esquemático.

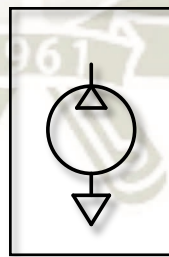


Figura 99. Símbolo de compresor

Fuente: Software Fluidsim (2019)

Manómetro analógico

Es el componente usado para medir la presión a la que se encuentra el contenedor secundario a la salida de la válvula controlada. En la **Figura 100** se observa el manómetro real a usar en el ensamble del diseño.



Figura 100. Manómetro del sistema

Fuente: Elaboración propia

Características técnicas

En la **Tabla 23** se presentan los datos técnicos principales de este elemento de medición.

Tabla 23. Datos técnicos del manómetro

Fuente: Safari Group (2017)

CARÁCTER	ESPECIFICACIÓN
Marca	ENZO-SF
Diámetro	2.5"
Presión	0-60 PSI
Conector	½"

Símbolo

El símbolo del manómetro es representado en la **Figura 101**.

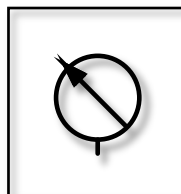


Figura 101. Símbolo del manómetro

Fuente: Software Fluidsim

Almacenamiento Secundario de material

Es un contenedor secundario (de transición del material), representa al remolque (bombona) que traslada el cemento a granel. En la **Figura 102** se muestra el contenedor secundario a usar.



Figura 102. Contenedor de material secundario

Fuente: Elaboración propia

Características técnicas

En la **Tabla 24** se muestra las principales características como el volumen máximo.

Tabla 24. Datos técnicos de alancen secundario

Fuente: Elaboración propia

CARÁCTER	ESPECIFICACIÓN
Diámetro	40 cm
Longitud	90 cm
Volumen Max	100 l

Almacenamiento Primario del material

El almacenamiento primario del material recade en el prototipo de silo, fue fabricado buscando una similitud con el original, para tener los resultados más fidedignos. En la **Figura 103** se muestra el prototipo real del sistema.

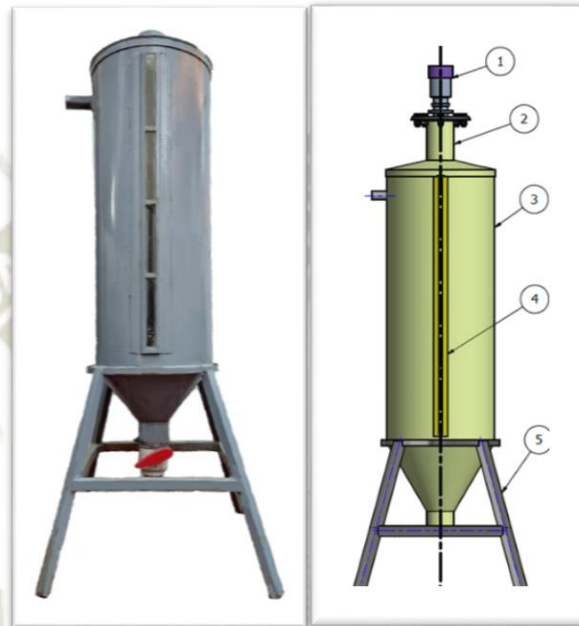


Figura 103. Almacén de material primario
Fuente: Elaboración propia

Características técnicas

En la **Tabla 25** se definen las características técnicas más importantes como los diámetros y volumen.

Tabla 25. Datos técnicos de almacén primario
Fuente: Elaboración propia

CARÁCTER	ESPECIFICACIÓN
Diámetro	40 cm
Longitud	100 cm
Volumen Max	115 l

CAPÍTULO IV

4. Modelamiento de planta y obtención de datos

En este capítulo se mostrará las pruebas realizadas en la planta y en el sistema de control, diseñados en el capítulo anterior, comprobando la hipótesis con la experimentación necesaria. Analizando los resultados y comprobar el funcionamiento y el uso de los componentes para solucionar la problemática planteada y cumplir con los objetivos.

Para realizar las pruebas y experimentación con la planta usaremos, para el control, la programación del PLC LOGO! y los bloques especiales del programa LOGO!soft Comfort V8.2 compatible con el mismo. Dentro de los bloques especiales contamos con el bloque PI (Proporcional Integral) y de esta forma podremos desarrollar un sistema de control acorde a lo establecido y solicitado, usando un segundo bloque PWM para hacer el uso de una salida digital controlada.

4.1. Modelamiento de la planta

Empezando se debe conocer los valores físicos del sistema como la relación de presiones y el caudal del fluido a transportar. Sabiendo por datos recaudados de la planta real, se necesita aproximadamente una presión de 15 psi y una tubería de transporte de 4 pulgadas, en nuestra planta por simetría consideramos una tubería de 1.5 pulgadas reduciendo la presión a 8 psi. Por ende, para poder hacer una relación de presiones y determinar cuánto debe ser la presión de entrada dada por nuestra compresora. Conociendo la ley de pascar afirmamos lo siguiente.

$$F_o = F_1$$

$$F_o = P_o * A_o$$

Donde:

P_o : Presión de salida del almacén secundario 5.6 *psi*

A_o : Área de salida del almacén secundario 1.77 *pulg²*

$F_o = F_1$: Fuerza de salida del almacén secundario 9.912 *Lb*

$$P_1 = \frac{F_1}{A_1}$$

Donde:

A_1 : Área de entrada de almacén secundario 0.19 *pulg²*

P_1 : Presión de entrada del almacén secundario 52.17 *psi*

$$P_1 = 3.6 \text{ BARs}$$

Con ese dato calibramos la salida del compresor para realizar el transporte.

Para poder obtener el modelamiento de la planta debemos conocer las respuestas de la entrada, corriente de 4-20 mA. generada por el sensor radar de nivel, esto nos permitirá definir los valores de Tiempo integrativo (T_i) y ganancia proporcional K_p necesarios para para el bloque PI del programa LOGO!Soft Comfort V8.2.

Se debe desarrollar un programa de control on/off realizando el conexionado expresado en el esquema de la **Figura 104**, para conocer tiempos de respuesta de la planta y llenado del silo. En ingreso de aire comprimido es restringido la válvula controlada, con ayuda del manómetro se verifica la presión, en ese momento se da apertura de la válvula de paso manual, para el transporte del cemento al almacenamiento primario, donde realizaremos la medición.

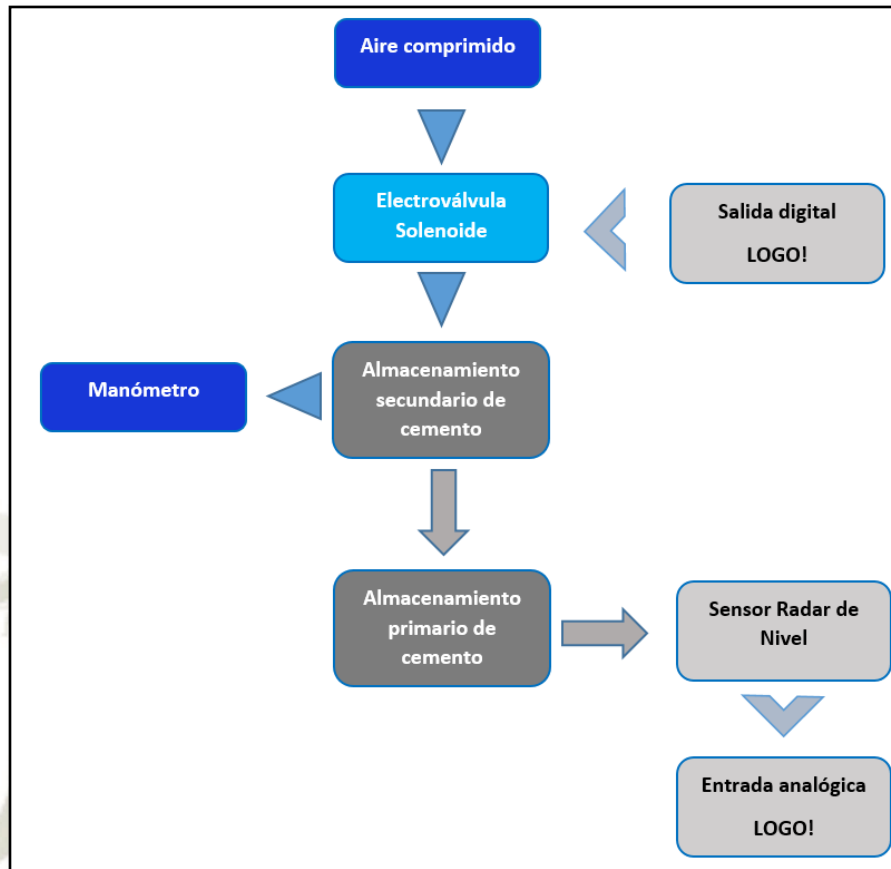


Figura 104. Conexión general para control y adquisición de datos

Fuente: Elaboración propia

En la **Figura 105**, se muestra la representación real del sistema de la planta en implementada para realizar la adquisición de datos y el control final. Se muestra a su vez cada parte de los elementos previamente diseñados.

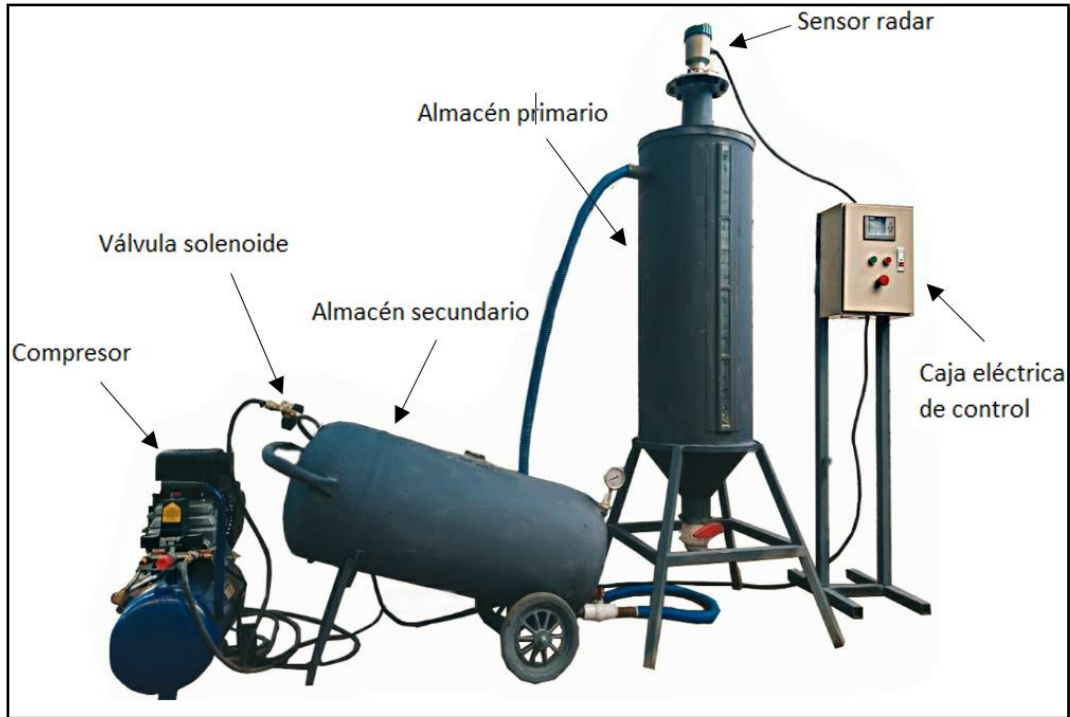


Figura 105. Conexión general real de la planta a controlar
Fuente: Elaboración propia

Se puede esquematizar el sistema de control como vemos en la **Figura 106.**

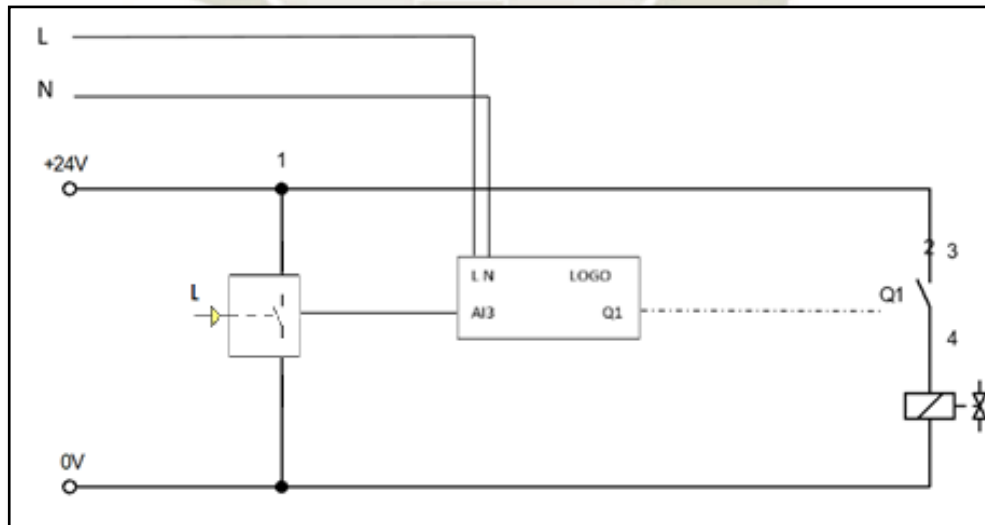


Figura 106. Esquema de conexión
Fuente: Elaboración propia

4.1.1. Adquisición de datos de planta

Para realizar la adquisición de datos de la planta, se procede a activar la válvula de paso de aire con toma de tiempo y datos manuales, debido a la ausencia de una válvula proporcional, instaurando distintos Set Point (Sp). Almacenando datos a través del bloque de adquisición de datos del Software LOGO!Soft Comfort y su posterior transformación a datos en MS Excel y hacer el uso de Matlab para hacer el estudio matemático. El uso de esta herramienta propia y exclusiva de este software, aligerar la carga en el momento de adquisición de datos.

4.1.1.1. Seteo y calibración de sensor de radar medidor de nivel

La calibración del sensor radar a usar es esencial debido a que tiene la facilidad de configuración para distintos niveles de hasta una distancia de 35 metros de medición, como en el prototipo de silo donde se realiza la experiencia solo se cuenta con una distancia máxima de 1 metro de almacenaje, se debe configurar para estos parámetros para obtener una señal analógica de intensidad de corriente correcta e ingresar los puntos máximo y mínimo en el programa.

Cabe señalar que es necesaria la calibración ideal para la correcta toma de datos y su posterior control gracias a la misma. En la **Figura 107** se muestra a la interfaz del sensor con el usuario, y la configuración de inicio.



Figura 107. Vista inicial al encendido del sensor a 24 voltios

Fuente: Elaboración propia

Se selecciona la primera opción de basic settings con la tecla “OK”, de esa forma se accede a configuraciones básicas del sistema, donde encontraremos lo siguiente.

Como se muestra en la **Figura 108**, en el primer apartado, 1-1, se puede configurar el valor mínimo, debido a que el almacenamiento máximo es de un metro y el sensor se encuentra en la parte superior, el valor mínimo de material es de un metro por ende el valor mínimo a ingresar es 1.00 m (d) que ira al 0.00 % de llenado respectivamente.

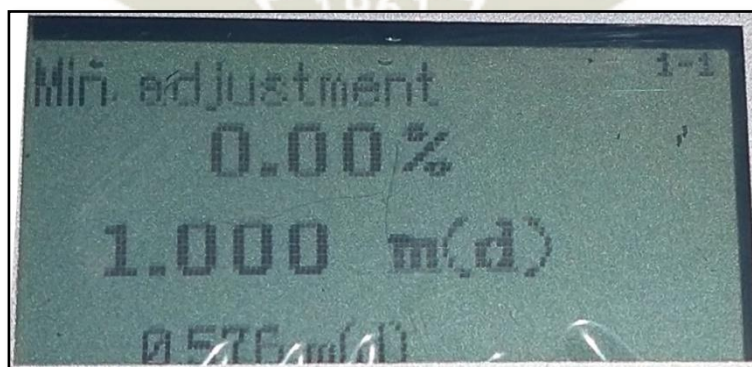


Figura 108. Configuración de valor mínimo

Fuente: Elaboración propia

Utilizando la explicación anterior, en la **Figura 109** y en el apartado 1-2, se debe tener las mismas consideraciones para configurar los datos de valor máximo, siempre dejando un valor, aunque sea, mínimo para garantizar la correcta lectura del sensor radar.

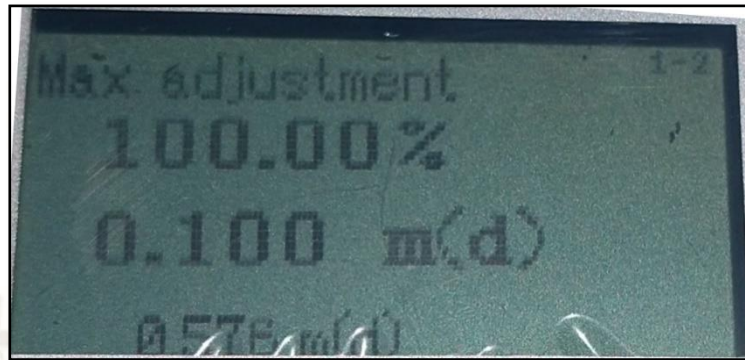


Figura 109. Configuración de valor mínimo

Fuente: Elaboración propia

La facilidad que te da este sensor y su interfaz para configurar el tipo de fluido entre líquidos y sólidos ayuda a en esta investigación como se muestra en la **Figura 110**, la forma de selección la vemos a continuación. Opción seleccionada es sólido como se ve en la **Figura 111**.

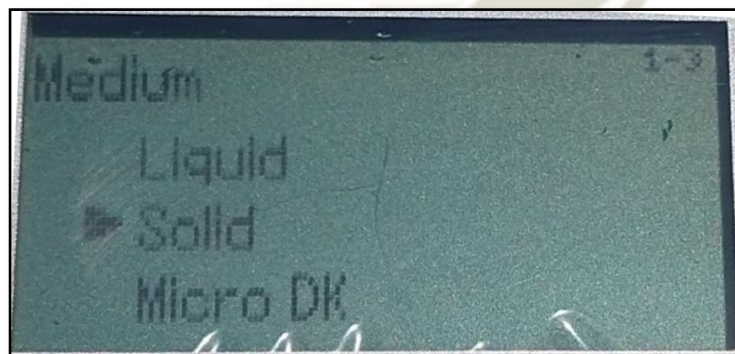


Figura 110. Configuración de fluido a medir

Fuente: Elaboración propia



Figura 111. Configuración de fluido solido

Fuente: Elaboración propia

Como el fluido a medir es material sólido y en su almacenaje genera un ángulo de reposo del material, el sensor radar nos da la opción de seleccionar dicho ángulo, con un si hay ángulo o no hay ángulo, esto se auto calibra y se guarda en la memoria interna del sensor. Lo dicho anterior se muestra en la **Figura 112**.

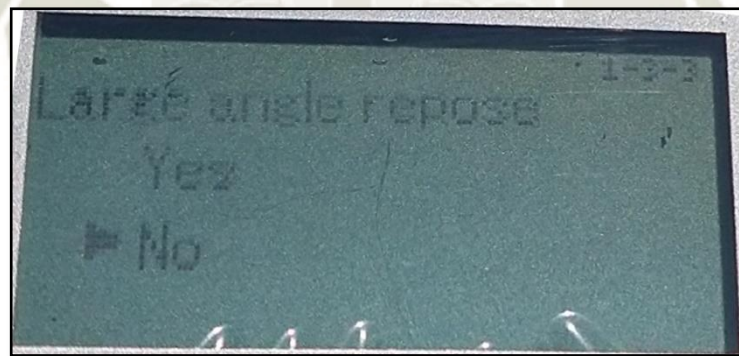


Figura 112. Configuración de ángulo de reposo

Fuente: Elaboración propia

La configuración de habilitar la presencia o ausencia de un ambiente hostil (presencia de polución generada por el traslado de cemento), es la razón principal para la selección de este sensor radar, lo que hace que esta configuración sea ideal y la más importante a utilizar.

Se configura directamente con un positivo o negativo de la presencia de polvo, el sensor calibra automáticamente el tamaño inicial del eco generado por el radar para obviar la capa densa de polvo y hacer la medición correcta del nivel. Como se muestra en la **Figura 113**.

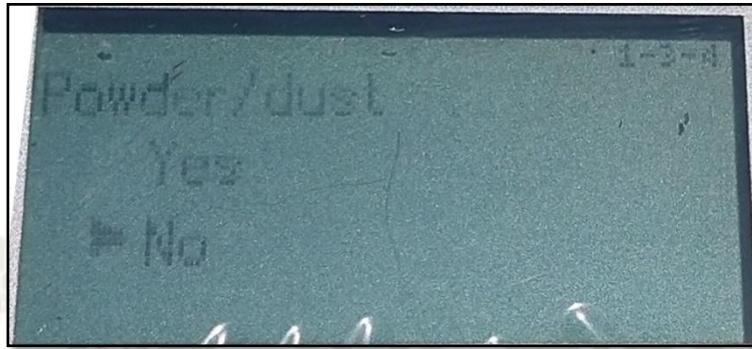


Figura 113. Configuración de ambiente hostil

Fuente: Elaboración propia

Una vez configurado el tipo de fluido, distancias y parámetros iniciales básicos, configuramos de la misma forma el tiempo del eco generado por el sensor radar como se ve en la **Figura 114**, en otras palabras, el tiempo de muestreo, se configura en el apartado 1-4 de la configuración inicial.



Figura 114. Configuración tiempo de eco

Fuente: Elaboración propia

Después de la configuración inicial, ingresando los parámetros necesarios para el correcto funcionamiento, ahora nos toca configurar de dato que deseamos ver en la pantalla de salida, dicha información se refleja en escala de unidades, estos son:

Altura, Masa, Fluido y Volumen mostradas en la **Figura 115**.

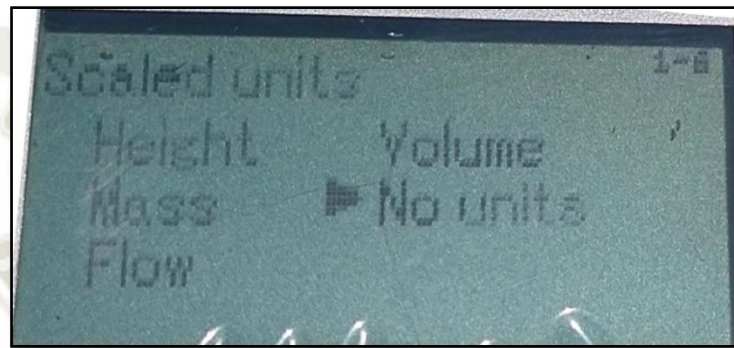


Figura 115. Configuración escala de unidades

Fuente: Elaboración propia

En una configuración sencilla solo seleccionamos dos apartados entre corriente o distancia medida, pero como se muestran en las **Figura 116** y **Figura 117** podemos tener opciones de mostrar los datos, 1. Apagado de pantalla, 2. Distancias, 3. Altura, 4. Porcentaje, 5. Mapa de porcentaje, 6. Escala, 7 Corriente.

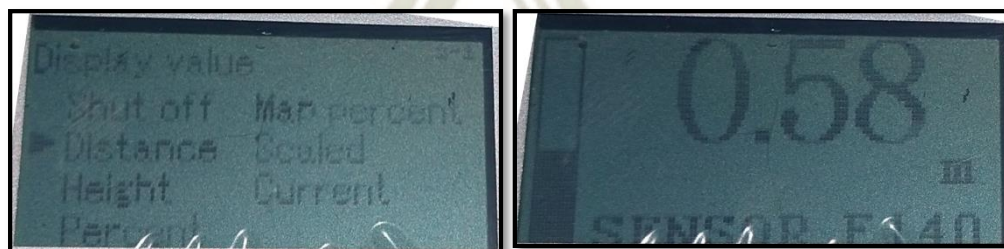


Figura 116. Distancia a configurar

Fuente: Elaboración propia

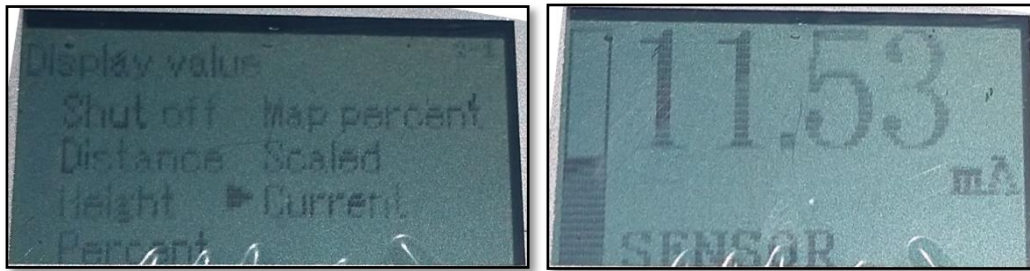


Figura 117. Corriente dada por el sensor de radar

Fuente: Elaboración Propia

Con todos estos datos de configuración ingresados al sensor y sabiendo que la lectura del mismo es lineal, por la configuración, podemos obtener los datos y comprobar que los parámetros ingresados son correctos, el valor mínimo de medida es de 0.1 metros y valor máximo 1 metro (considerando que el valor a evaluar es la distancia y no la altura entonces afirmamos : $h = 1 - d$), por teoría usando el método de linealización:

Consideraremos las abscisas como la distancia configurada y las ordenadas la corriente de salida, tenemos los siguientes puntos cardinales.

$$P0 = (0.1 m , 20 mA)$$

$$P1 = (1m , 4 mA)$$

Con los datos anteriores podemos obtener la ecuación de la recta teórica para identificar el error del sensor. Conociendo la siguiente ecuación general.

$$m = \frac{\Delta y}{\Delta x}$$

$$y - y_0 = m(x - x_0)$$

Donde

m : Pendiente de la recta

Δy : Variación de las ordenadas

Δx : Variación de las abscisas

y_0 : Valor de y en un punto

x_0 : Valor de x en un punto

Como se consideró como $y = I$ y $x = h$, se realizó los cálculos correspondientes y se obtuvo la siguiente ecuación.

$$I = -17.8h + 21.78$$

Con esta ecuación de la recta reemplazamos el valor de la altura de 0.58 m y una corriente que debería ser 11.46 mA , pero tenemos como lectura analógica real del sensor de 11.53 mA . Entonces usando la comparación por error relativo:

$$\frac{11.53 - 11.46}{11.53} * 100\%$$

Calculamos un error relativo:

$$0.6\%$$

Consideramos que el error relativo es insignificante en la medición, lo cual concluimos que la medición y la configuración es correcta.

4.1.1.2. Bloques de programa de adquisición de datos por LOGO!Soft Comfort

En el software de programación LOGO!Soft Comfort encontramos el bloque de adquisición de datos ya configurado y listo para ser usado, solo tenemos que seleccionar el elemento que queremos obtener los datos. En la **Figura 118** se muestra el bloque usado el software, ya configurado para la adquisición de datos.

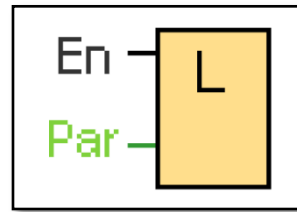


Figura 118. Bloque de adquisición de datos

Fuente: LOGO!Soft Comfort V8.2.1 (2019)

Por programa se puede configurar solo un registro de datos para archivar los valores reales de los bloques de función y de las siguientes áreas de memoria:

I; Q; M; AI; AQ; AM

Dónde: I entradas digitales, Q salidas digitales, M memorias digitales, AI entradas analógicas, AQ salidas analógicas y AM memorias analógicas.

Para las entradas y salidas digitales y también de las de memoria, los datos deben registrarse en sociedad o grupos de ocho bits como: I1 a I8, Q1 a Q8, M33 a M40.

Para los datos analógicos se selecciona un valor para registrar, como: AI1, AQ2 o AM1. Los valores de los bloques de función se configuran en grupos de ocho bits o valores individuales, dependiendo del tipo de valor (digital o no digital). En el registro de datos se pueden registrar como máximo 32 elementos (valores analógicos o grupos digitales de ocho bits) (Siemens AG, 2019).

Para una correcta toma de datos debemos, en la entrada En (Enable), darle un valor de flanco ascendente 1 lógico, pero debido a la naturaleza del dato analógico a medir y evitar sobre cargar la memoria del PLC LOGO!, se usará un generador de pulsos de 10 segundo lo que nos ayudará a reducir la cantidad de datos repetidos y tener mayor espacio de memoria y así mejores resultados. En la **Figura 117** se hace la configuración de bloque de adquisición de datos, y así haciendo el registro de los mismos.

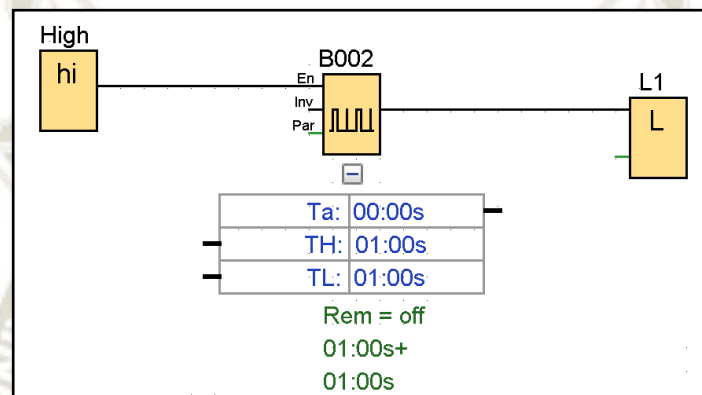


Figura 119. Configuración de adquisición de datos con impulsos

Fuente: Elaboración Propia

La facilidad de nos da el bloque de adquisición de datos nos permite seleccionar los elementos a medir y tomar datos, estos son AI3 (Analog Input), AI4 (Analog Input), Amplificadores de AI3 y AI4 y por último los valores Q1-Q8. La navegación y la selección de los elementos que deseamos medir es sencilla, así como se muestra en la **Figura 118**.

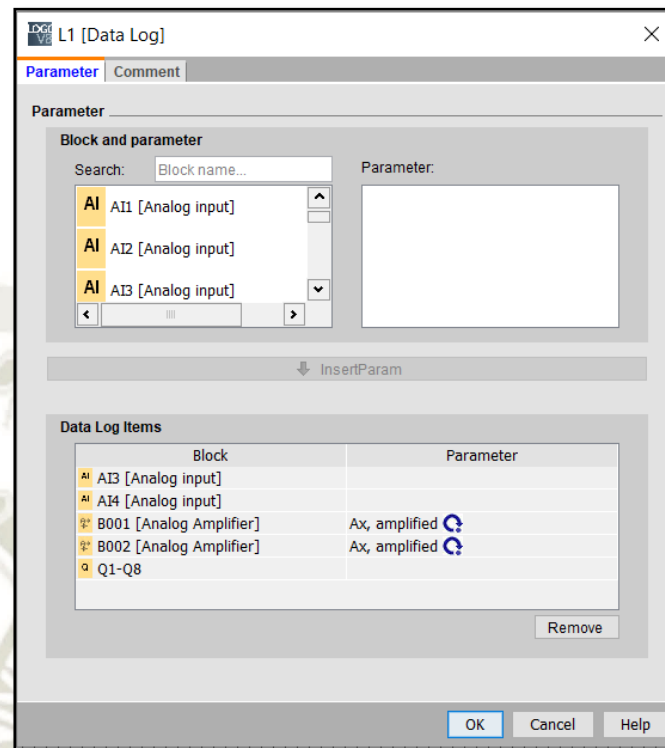


Figura 120. Selección de datos a leer

Fuente: Elaboración propia

El programa realizado para para la adquisición de datos en un programa sencillo, es simplemente es un programa on-off, la facilidad que te da los diagramas de bloques del software, hace automáticamente el escalamiento dependiendo de la entrada analógica, con el uso de un bloque amplificador. En el diagrama de flujo expuesto en la **Figura 121** representa el programa de control on-off, utilizado para obtener la función de transferencia de la planta.

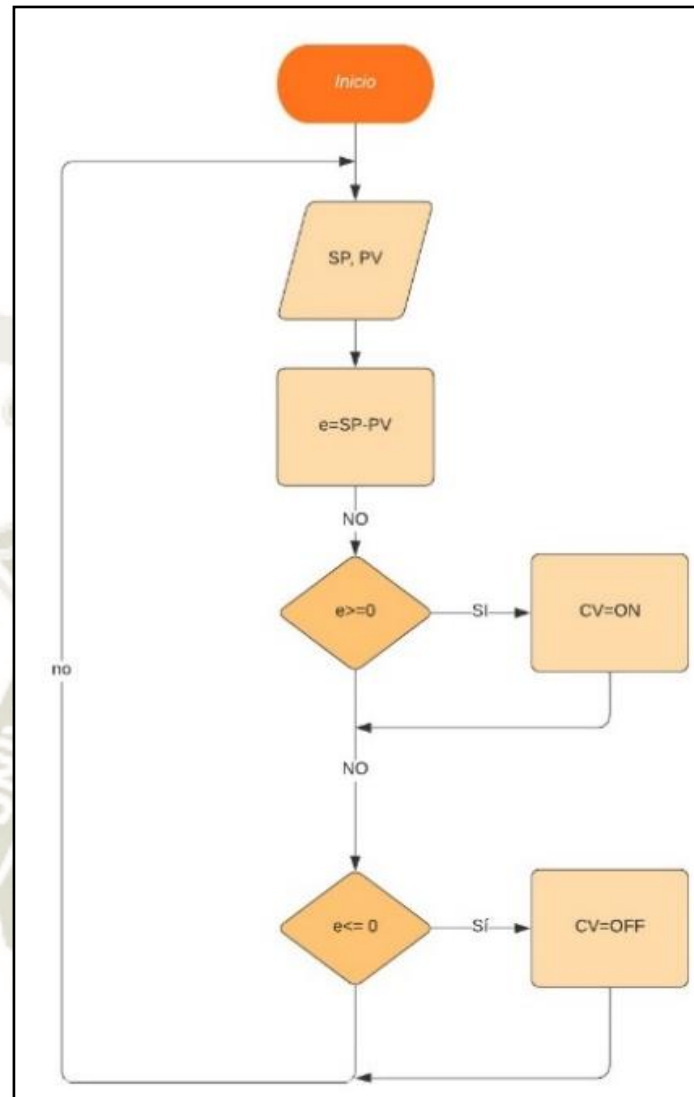


Figura 121. Diagrama de flujo de control ON-OFF

Fuente: Elaboración propia

Con ayuda del diagrama de flujo establecido en la Figura 121, se desarrolló el programa en lenguaje de diagrama de bloques funcionales, en el software LOGO!Soft comfort, este se ve representado en la **Figura 122**.

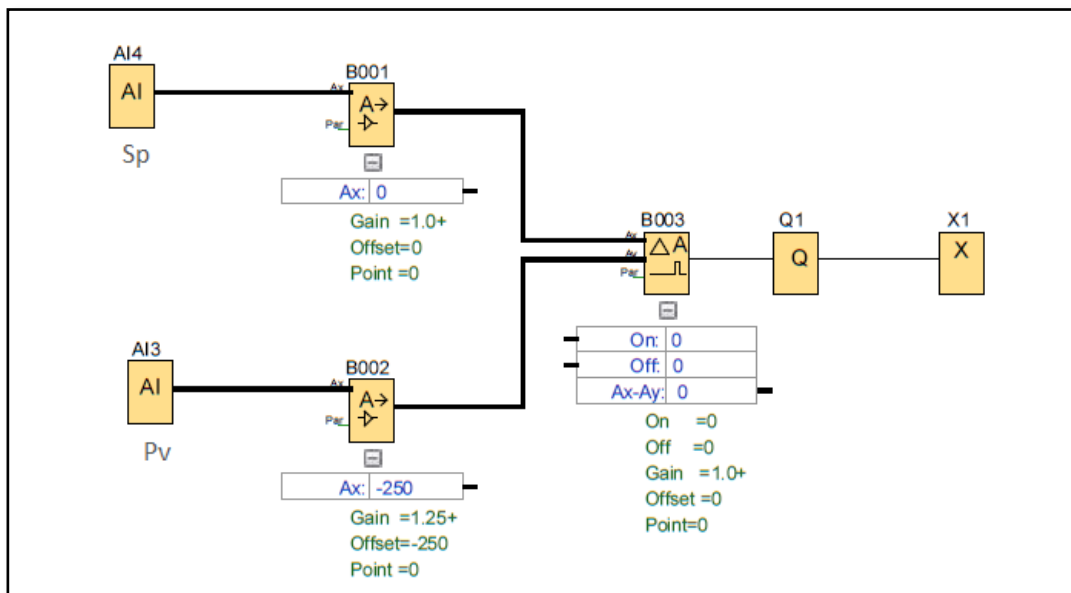


Figura 122. Bloques de control ON-OFF

Fuente: Elaboración propia

Como vemos en la **Figura 122** usamos los valores de consigna y el valor dado por el sensor para realizar la comparación, ambos datos pasan por un amplificador y se configuran los valores a leer, de esa forma estandarizarlos, ambos valores ingresan al comparador donde se equiparan y dependiendo del resultado se encenderá o apagará la salida que controla al relé.

Como veremos en la **Figura 123**, el bloque nos da la opción de seleccionar el tipo de entrada del valor analógico, para el valor de Pv (Valor del sensor radar), es una entrada de 4-20 mA. Internamente se hace el escalamiento para pasar los valores de corriente a valores discretos en la siguiente ecuación.

$$d = 50I$$

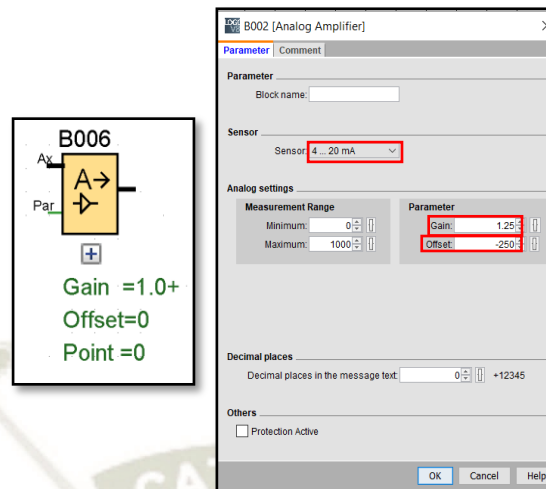


Figura 123. Bloque amplificador

Fuente: Elaboración propia

Después con la selección de sensor 4-20 mA, la ganancia y el valor de offset cambian automáticamente, siendo esta: $Gain = 1.25$ y $Offset = -250$.

De esta misma forma podemos cambiar las variables de entrada y automáticamente el cambio, hasta con sensores especiales como sensores de temperatura TP100 o TP1000.

Ahora para completar la comparación de señales, consigna (S_p) y sensor (P_v), usamos el bloque comparador propiamente dicho en el cual también podremos encender o apagar dependiendo el resultado de la comparación, de esa manera en el mismo bloque se configura la toma de decisión. Como se muestra en la **Figura 124**.

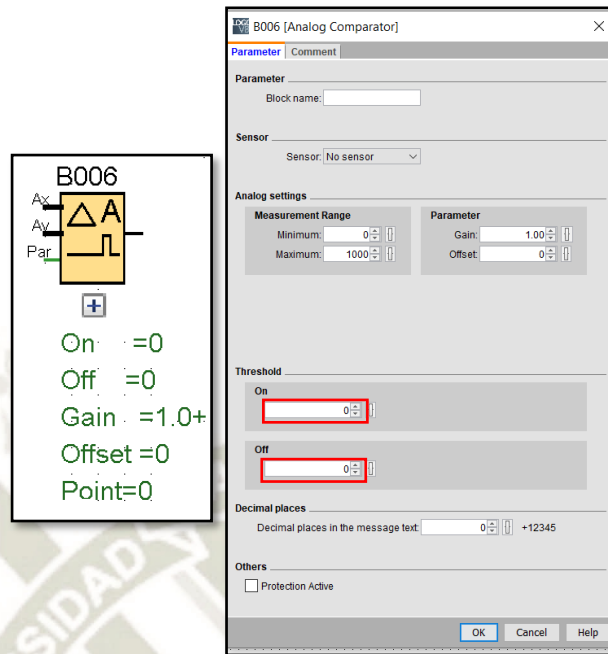


Figura 124. Bloque comparador

Fuente: Elaboración propia

4.1.1.3. Generación de datos

Una vez programado y configurado el PLC LOGO! con el bloque de adquisición de datos y el programa correspondiente, primero debemos hacer la conexión online, para dicho proceso debemos conocer los IPs del equipo, estos son:

IP: 192.168.0.3 para LOGO OBA8

IP: 192.168.0.4 para LOGO TDE (Pantalla)

Mascara de Subred: 255.255.255.0

Descargamos el programa al PLC LOGO! con el que tomaremos datos y realizaremos el control, como se configuro en el programa la toma de datos será cada 10 segundos, para no saturar la memoria interna del Mini PLC, problema que solucionaríamos con el uso de una memoria expansible, una vez iniciado el programa, ingresamos el valor de consigna,

valor que, para esta experiencia consideramos solo una unidad media de 500 mm. Por el programa desarrollado on-off se activa la salida por relé, consiguiendo así una aproximación de los datos de la planta y función de transferencia.

Para acceder a los datos generados y leídos por parte del Controlador, primero tiene que estar en conexión con el controlador. Pasado el tiempo de toma de datos, en el momento que se llega al valor de consigna y empieza el control todo o nada, desconectamos el equipo controlador con la computadora (offline). Como se observa en la **Figura 125**.

Se selecciona la opción de >herramientas > transferir > Cargar registro de datos

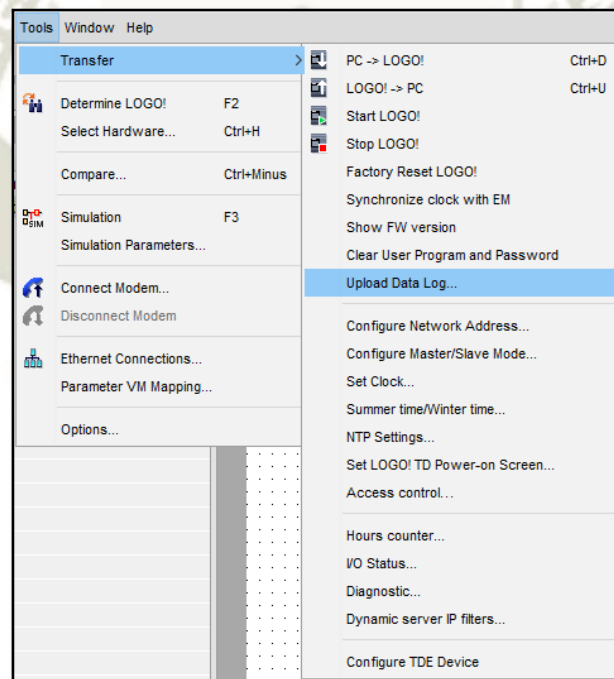


Figura 125. Ingreso a registro de datos

Fuente: Elaboración propia

Una vez realizado el anterior proceso ingresamos al registro de datos nos mostrará una ventana donde solo se deberá hacer solo seleccionar el valor Cargar (upload). Tal como se muestra en la **Figura 126**.

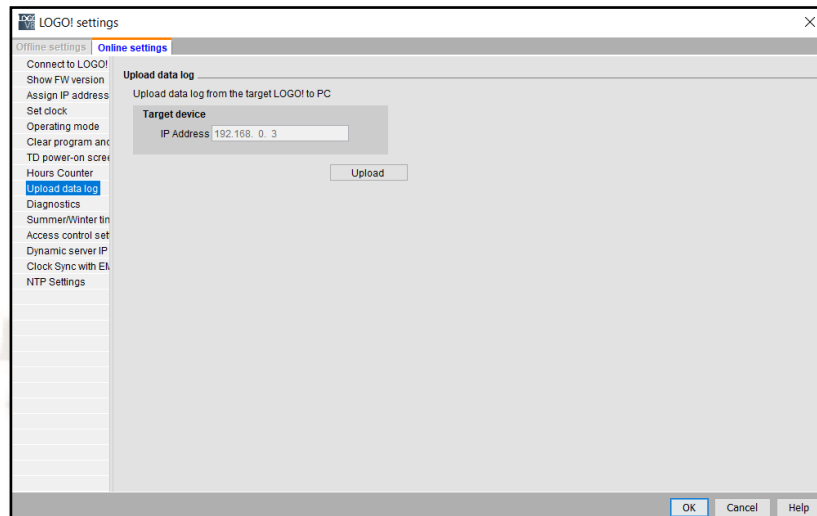


Figura 126. Registro de datos

Fuente: Elaboración propia

Nos solicitará colocar el PLC LOGO! en STOP, para acceder a los datos que hasta ese momento fueron registrados, el software generara un archivo de texto compatible con MS Excel. Como se nos muestra en la **Figura 127**.

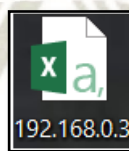


Figura 127. Texto generado con datos

Fuente: Elaboración propia

Abrimos el programa anterior en datos de MS Excel y podemos visualizar y graficar los datos obtenidos, todos los datos se encuentran en el **Anexo 10**.

Después de conocer los resultados de la misma manera podemos definir el caudal del sistema, dato importante, siendo una demora de 32 minutos de aproximadamente 80 litros de cemento, definimos entonces que el caudal es de:

$$Q = 2.5 \text{ l}/\text{min}$$

La **Figura 128** es la representación gráfica de los datos obtenidos y descritos en el **Anexo 10**, en comparación, los datos de entrada y los datos de respuesta a la planta.

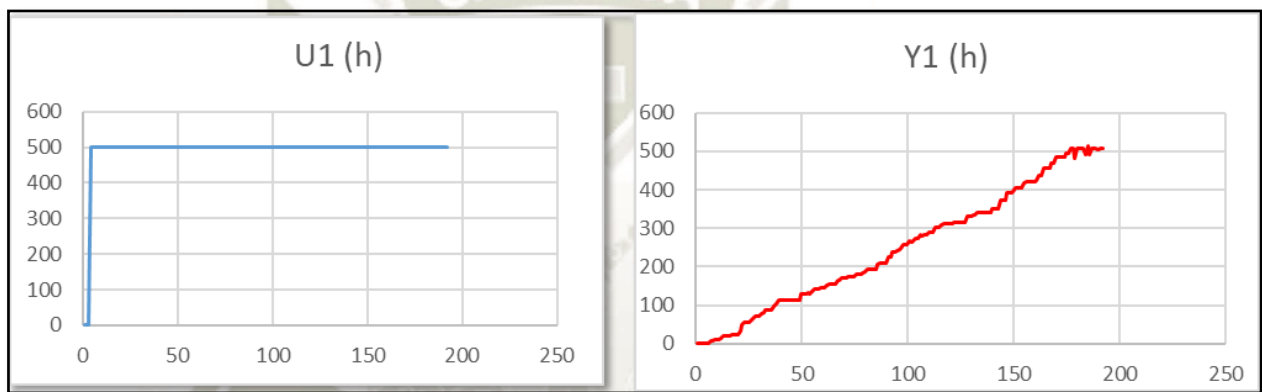


Figura 128. Tabla de datos Excel

Fuente: Elaboración propia

4.1.2. Modelamiento de planta

Culminado la generación de los datos, seleccionamos toda la curva ya que nos es útil en todo el proceso, tomaremos todos los datos y no haremos un filtrado de los mismos.

De esta forma podemos ver la gráfica de los datos para así sacar la función de transferencia con ayuda del software Matlab y la herramienta IDENT.

En el software MATLAB se configuro la entrada de tanto el Step, como la respuesta del mismo, conocidas desde este momento como: “U1” y “Y1” y su respectiva grafica tal como se observa en la **Figura 129**.

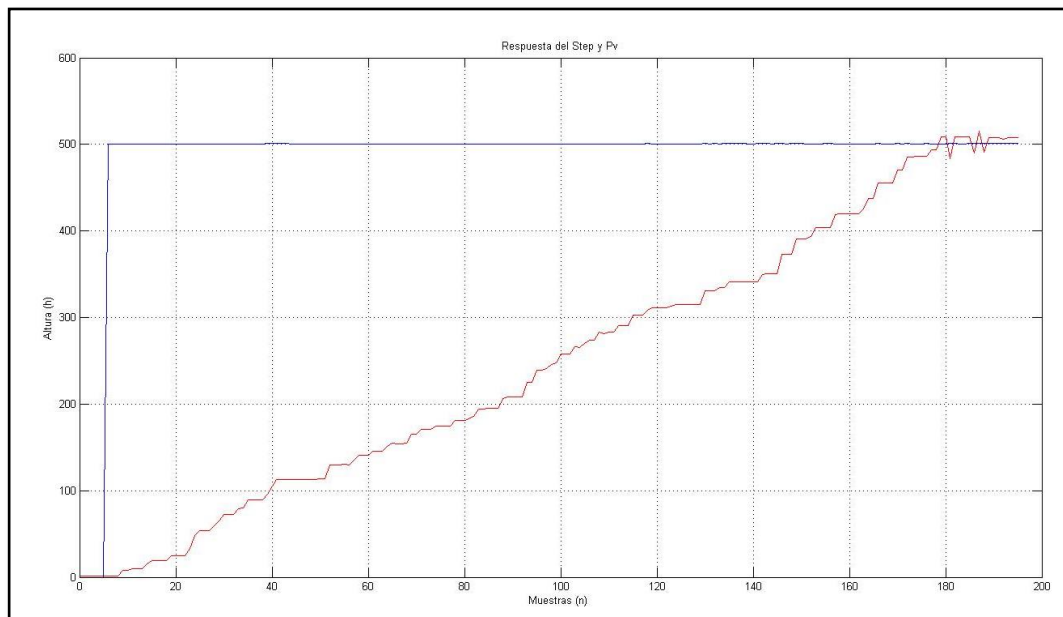


Figura 129. Datos en Matlab

Fuente: Elaboración propia

Con la ayuda de la herramienta IDENT y la previa visualización contrarrestamos y confirmamos los datos anteriores, sin filtración o reducción de los dichos.

Esta herramienta la usaremos para definir, según los parámetros conocidos, que es un sistema de primer grado y un tiempo de respuesta. De las columnas de texto extraídas, tomamos todos los datos obtenidos, se crea las variables en el Workspace del software Matlab, lo anterior expresado facilitara en el uso de la herramienta IDENT. En la **Figura 130** se muestra las variables Pv y Sp que corresponden a la señal del instrumento y la señal consigna respectivamente.

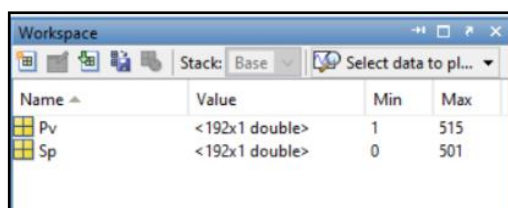


Figura 130. Datos en Matlab

Fuente: Elaboración propia

Acedemos a la herramienta de Matlab, IDENT. Dicha herramienta ayudar considerablemente en la obtención más aproximada de los datos del sistema y así poder hacer el control aproximado.

Una vez abierta la herramienta, se procede a importar los datos que se encuentran en el Workspace, seleccionando la ventana desplegable “Import Data”, escogeremos la opción “Time-Domain Signals” y procedemos a importar nuestra entrada y salida. Así como se muestra en la **Figura 131**.

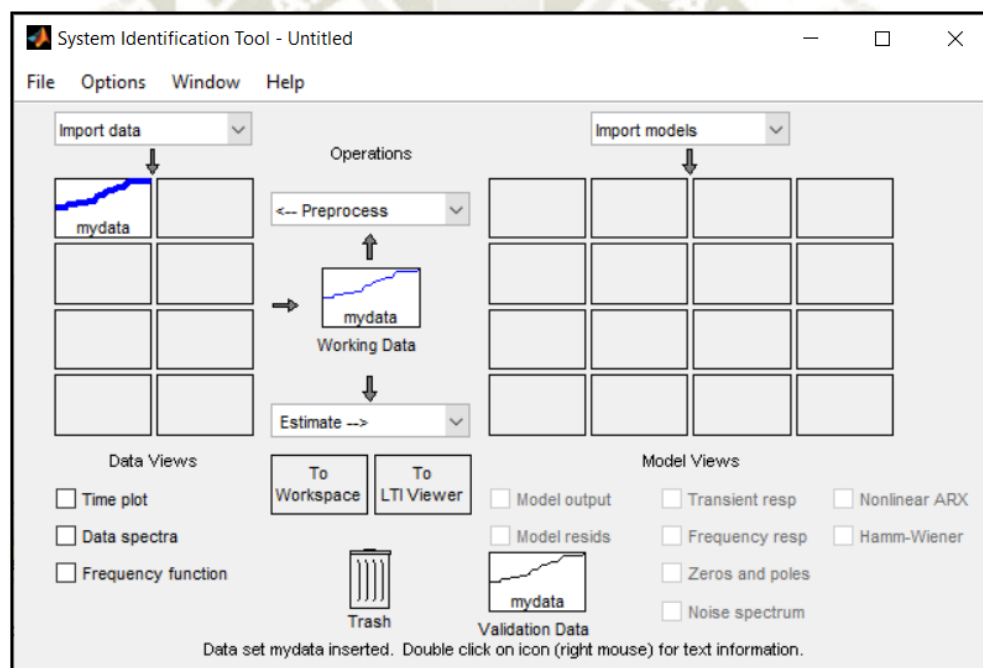


Figura 131. Bloque de IDENT

Fuente: Elaboración propia

Teniendo los datos ya recopilados procederemos a comprobarlos con la opción “Time Plot” Teniendo como resultado lo visto en la **Figura 132**.

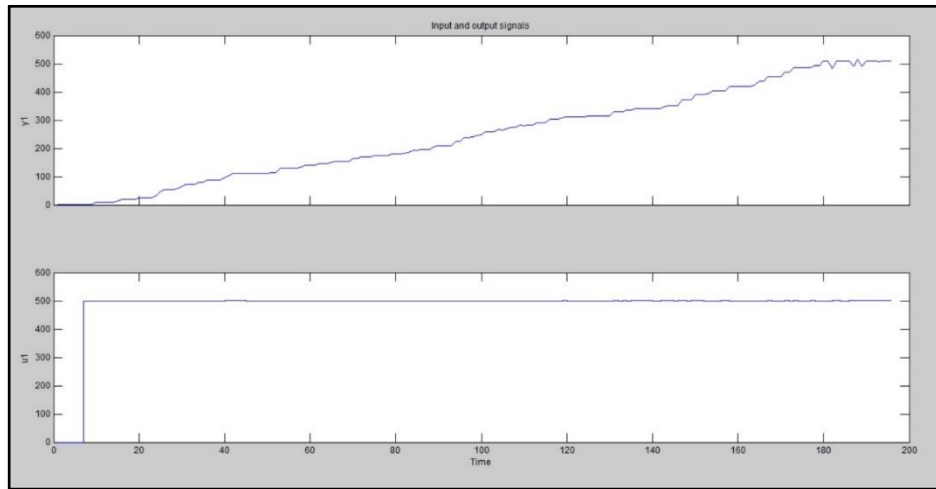


Figura 132. Grafica de time plot

Fuente: Elaboración propia

Una vez seleccionado los datos a procesar, continuaremos estimando el modelo con la opción de “Estimate”, donde escogeremos “Process Model” así como se muestra en la **Figura 133.**

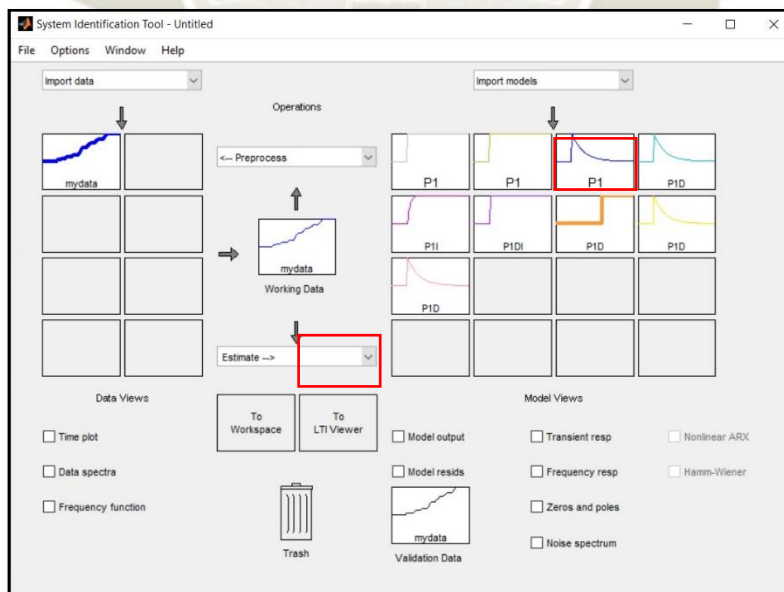


Figura 133. Opciones de valores a estimar

Fuente: Elaboración Propia

Como la solución debe ser sencilla para este proceso se escogió la función a estimar de primer orden y desplazamiento en el tiempo, teniendo como resultado lo siguiente mostrado en la **Figura 134**.

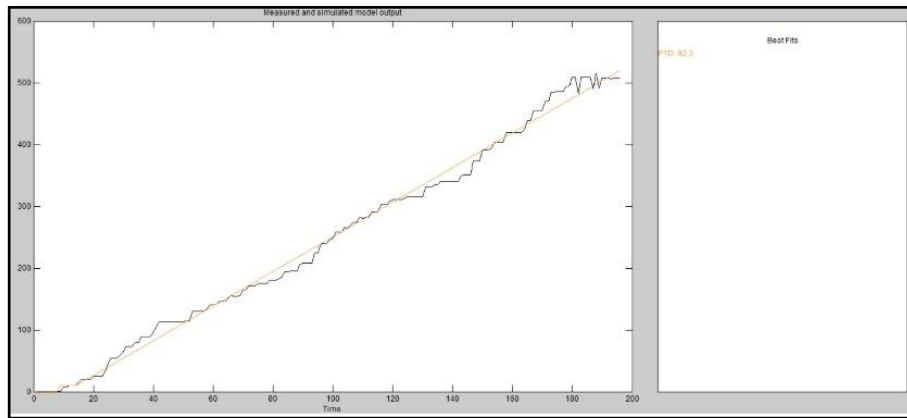


Figura 134. Aproximación de función de transferencia
Fuente: Elaboración propia

Cuando se haya obtenido la aproximación, se seguirá con la comparación en el LTI Viewer mostrada en la **Figura 135**, que nos permitirá realizar un Step del sistema hallado anteriormente demostrando así que nuestra aproximación es correcta.

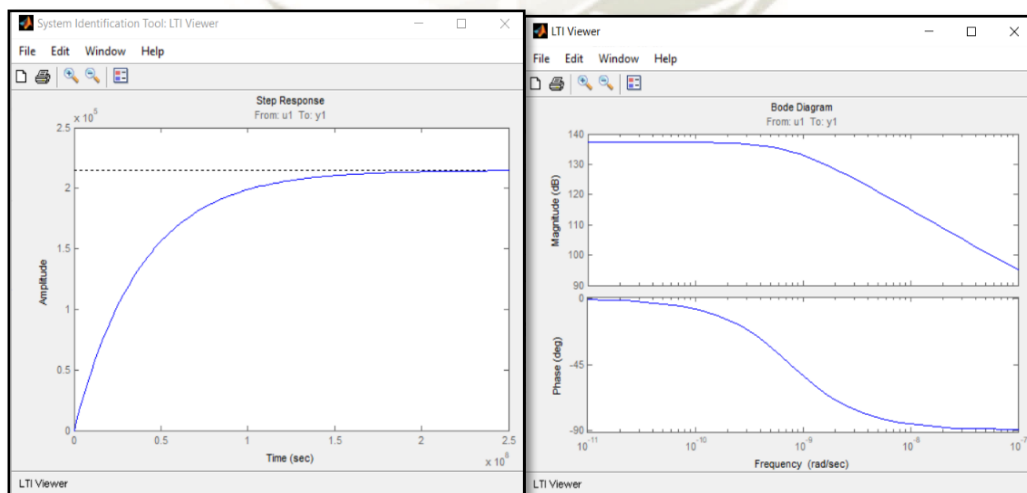


Figura 135. Gráfica realizada por LTI Viewer
Fuente: Elaboración propia

4.2. Obtención de la función de transferencia general

4.2.1. Obtención de la función de transferencia por software

Procedemos a exportar “PID” al Workspace, entonces se comienza a trabajar con los datos exportados como se muestra en la **Figura 136**.

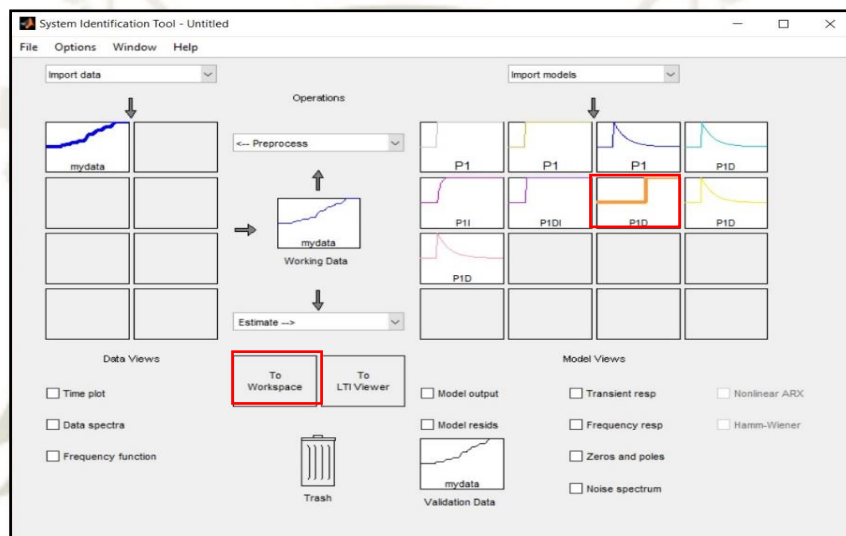


Figura 136. Traslado de la mejor aproximación a workspace

Fuente: Elaboración propia

Al pasar los resultados de la herramienta IDENT a Workspace de Matlab, lo representamos y lo llevamos a la función de transferencia, definiendo el numerador y el denominador de la misma, usaremos el código expuesto en la **Figura 137**.

```

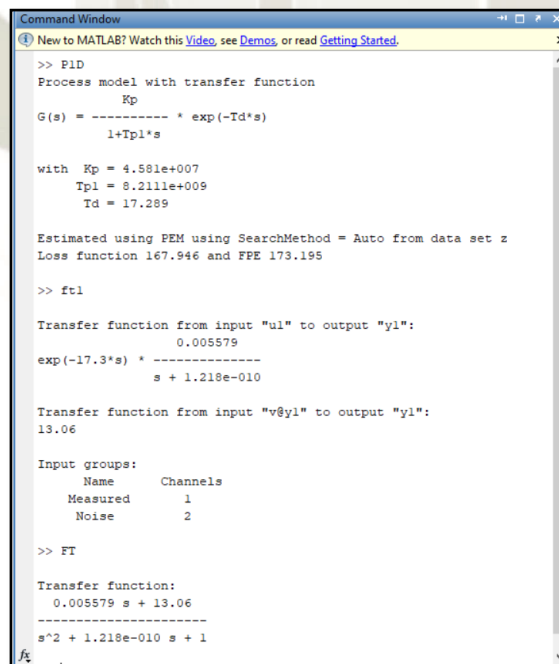
1 -   ft1=tf(P1D);
2 -   [num,den]=tfdata(ft1);
3 -   A=cell2mat(num);
4 -   B=cell2mat(den);
5 -   FT=tf(A,B);
6
    
```

Figura 137. Programa interno para la obtención de FT

Fuente: Elaboración propia

Teniendo como resultado lo siguiente:

En la **Figura 138** se muestra los resultados del programa de la **Figura 137** definiendo la función de transferencia encontrada.



```

Command Window
New to MATLAB? Watch this Video, see Demos, or read Getting Started.
>> P1D
Process model with transfer function
      Rp
G(s) = ----- * exp(-Td*s)
      1+Tpl*s

with Kp = 4.581e+007
      Tpl = 8.2111e+009
      Td = 17.289

Estimated using PEM using SearchMethod = Auto from data set z
Loss function 167.946 and FPE 173.195

>> ft1

Transfer function from input "u1" to output "y1":
      0.005579
exp(-17.3*s) * -----
      s + 1.218e-010

Transfer function from input "v@y1" to output "y1":
13.06

Input groups:
      Name      Channels
Measured      1
Noise        2

>> FT

Transfer function:
      0.005579 s + 13.06
-----
      s^2 + 1.218e-010 s + 1
    
```

Figura 138. Programa interno para la obtención de FT

Fuente: Elaboración propia

Con esto podemos definir la función de transferencia expresada en lo siguiente:

$$G(s) = \frac{0.005579 s + 13.06}{s^2 + 1.218 * 10^{-10} s + 1}$$

4.2.2. Obtención de la función de transferencia por método curva de primer orden con retardo (aproximando)

Ecuación general de primer orden y primer método de sintonía de Ziegler-Nichols, tenemos:

$$G(s) = \frac{K e^{-\theta*s}}{\tau * s + 1}$$

Donde

K : Ganancia por pendiente

θ : Tiempo de retardo

τ : Constante de tiempo

Usando la expresión anterior y según los datos del punto de consigna y lectura de sensor descritos en el **Anexo 10**, los valores máximos y mínimos adquiridos y los datos obtenidos, aseguramos que:

Sabiendo que:

$$K = \frac{\Delta Y}{\Delta U} \text{ entonces, } K = 1.0259$$

Para determinar el valor de la constante de tiempo τ definimos el sistema de primer orden, donde por teoría la constante del tiempo se encuentra a los 63.21% de la curva.

Entonces

$$\tau = \Delta Y * 0.6321 + Y_{min} \text{ entonces, } \tau = 325.9$$

Para determinar el valor del retardo del tiempo θ y definido el sistema de primer orden, se define que el retardo se encuentra al 5% de la curva.

Entonces

$$\theta = \Delta Y * 0.05 + Y_{min} \text{ entonces, } \theta = 26.7$$

Con los datos hallados se puede definir en si la función de transferencia del sistema.

$$G(s) = \frac{1.0259 e^{-26.7*s}}{325.9 * s + 1}$$

Conociendo la función de transferencia podemos continuar, con el proceso de adquisición de los valores de ganancia proporcional (K_p) y tiempo integral (T_i) usando el primer método de para realizar el control con el bloque PI de LOGO!Soft Comfort.

4.3. Configuración de bloques de control

Como se definió en la propuesta seleccionada, se usara el software especializado LOGO!Soft Comfort

4.3.1. Obtención de datos para el controlador PI

Con la función de transferencia hallada, y conociendo la naturaleza de nuestra planta, concluimos que se debe el primer método de sintonía de Ziegler-Nichols, lazo abierto.

Este método se usa solo en una curva sigmoideal, como la aproximación de nuestra planta se asemeja a este tipo de curva podemos desarrollarla y hallar los valores de ganancia proporcional (K_p) y tiempo integral (T_i), rápido y de manera sencilla. Además, tenemos como los resultados de la FT en ecuación general en la **Figura 138**. Definimos entonces:

$$G(s) = \frac{K e^{-\theta*s}}{\tau * s + 1}$$

Donde:

Tabla 26. Datos para ingresar al controlador PI
Fuente: Elaboración propia

$G(s)$	Val por Matlab	Val por Ecu 1re Orden
K	$4.581 * 10^7$	1.0259
τ	$8.2111 * 10^9$	326
θ	17.298	26.7

La **Tabla 26** se representa los valores de K , τ , θ , tanto los datos dados por el software Matlab como los hallados mediante las ecuaciones de primer orden.

Ahora con el uso de los datos expresados en la **Tabla 27**, valores de sintonización Ziegler-Nichols basada en la respuesta escalón de la planta, completamos la **Tabla 28**.

Tabla 27. Métodos empíricos de diseño y arquitecturas de control
Fuente: Universidad de Oviedo

Tipo de control	K_p	T_i	T_d
P	$\frac{1}{K} \left(\frac{\tau}{\theta} \right)$	∞	0
PI	$\frac{0.9}{K} \left(\frac{\tau}{\theta} \right)$	3.33θ	0
PID	$\frac{1.2}{K} \left(\frac{\tau}{\theta} \right)$	2θ	0.5θ

Reemplazando los datos de la **Tabla 26** en la **Tabla 27**, se obtiene los valores aproximados para el controlador PI como se muestra en la **Tabla 28**.

Tabla 28. Datos para ingresar al controlador PI
Fuente: Elaboración Propia

Controlador PI	Dato por Software	Dato Teórico
K_p	9.33	10.7076
T_i	57.52 seg.	88.91 seg.

Se seleccionó el valor de datos obtenidos por software debido a que su acercamiento a la curva real, pero los datos obtenidos de manera teórica por método de curva de primer orden también se asemejan a los datos seleccionados, entonces configuramos el bloque controlador PI con los datos en el software LOGO!Soft Comfort. En la **Figura 139** muestra la forma del ingreso de los datos obtenidos.

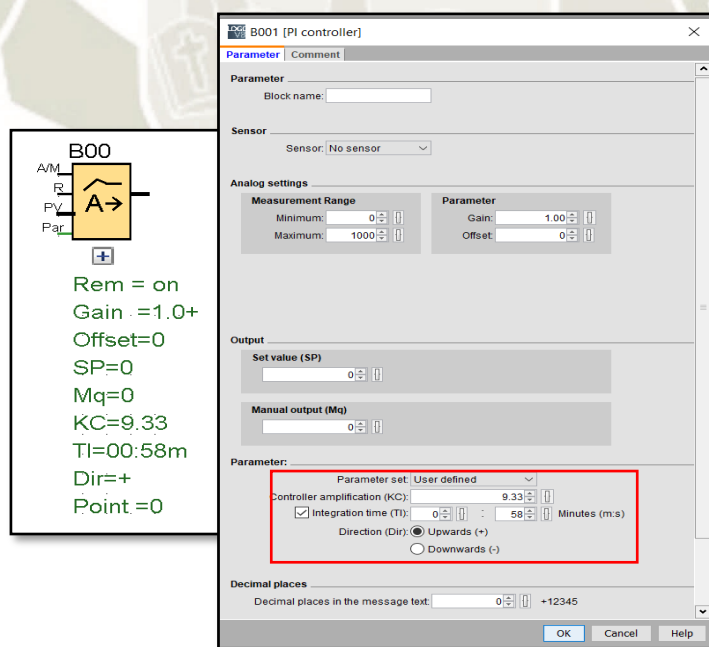


Figura 139. Configuración de bloque PI

Fuente: Elaboración propia

4.3.2. Cambio de controlador analógico a controlador digital

Una de las dificultades que tuvimos desde el inicio del planteamiento del problema es el uso de la salida del controlador, ya que la salida es digital. Después de hacer el uso del bloque PI para el control, es indispensable llevar el valor de salida del bloque controlador PI a una señal discreta, para realizar este proceso utilizaremos el bloque modulador de ancho de banda (PWM).

4.3.2.1. Modulación por ancho de banda de pulso

Siguiendo el diagrama de bloques de la **Figura 140**, debemos definir el Tiempo a ingresar en el Bloque PWM de LOGO!Soft Comfort.

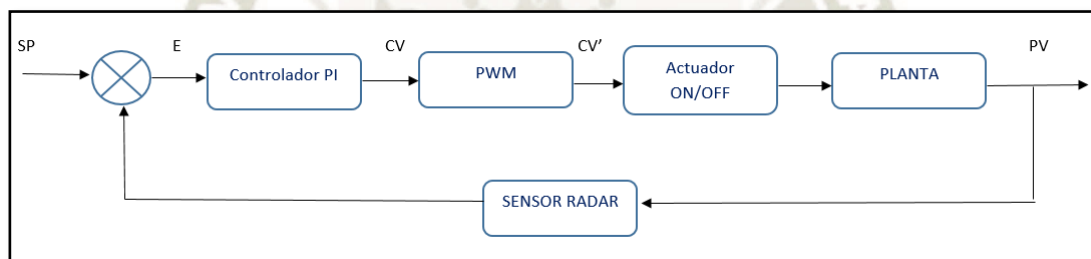


Figura 140. Sistema de salida PWM

Fuente: Elaboración propia

La selección del periodo del ancho de banda para el modulador PWM, está vinculada directamente con el valor de función de transferencia del sistema, ya que para obtener dicho valor se considera la constante de tiempo “ τ ”.

Se puede seleccionar ese valor “ T ” descrito en la teoría de la siguiente manera:

$$\frac{\tau}{20} < T < \frac{\tau}{10}$$

Donde

T : Tiempo máximo de ancho de banda

τ : Constante del tiempo de sistema de primer orden

Considerando τ de ecuación teórica obtenida de función de transferencia de ecuación de primer orden.

$$\tau = 326$$

Reemplazando esos valores tenemos:

$$16.3 < T < 32$$

$$T = 25 \text{ seg}$$

Una vez definido el periodo de ancho de banda podemos configurar el bloque PWM del programa LOGO!Soft Comfort de la manera como se muestra en la **Figura 141**.

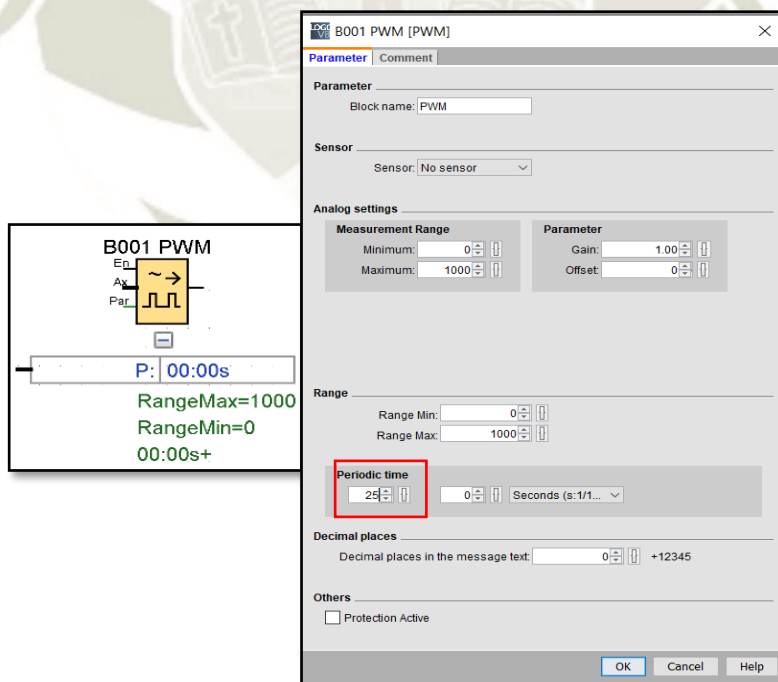


Figura 141. Configuración de bloque PWM

Fuente: Elaboración propia

Concluida la configuración de todos los bloques de control definimos el diagrama de flujo del programa y su posterior programación por diagrama de bloques propiamente dicho.

En la **Figura 142** mostramos el diagrama de flujo para hallar el valor U , que en este caso será el valor de la variable controlada (CV) de nuestro control, el cual se modificará en la entrada del bloque PWM y llevarlo a control en una variable digital.

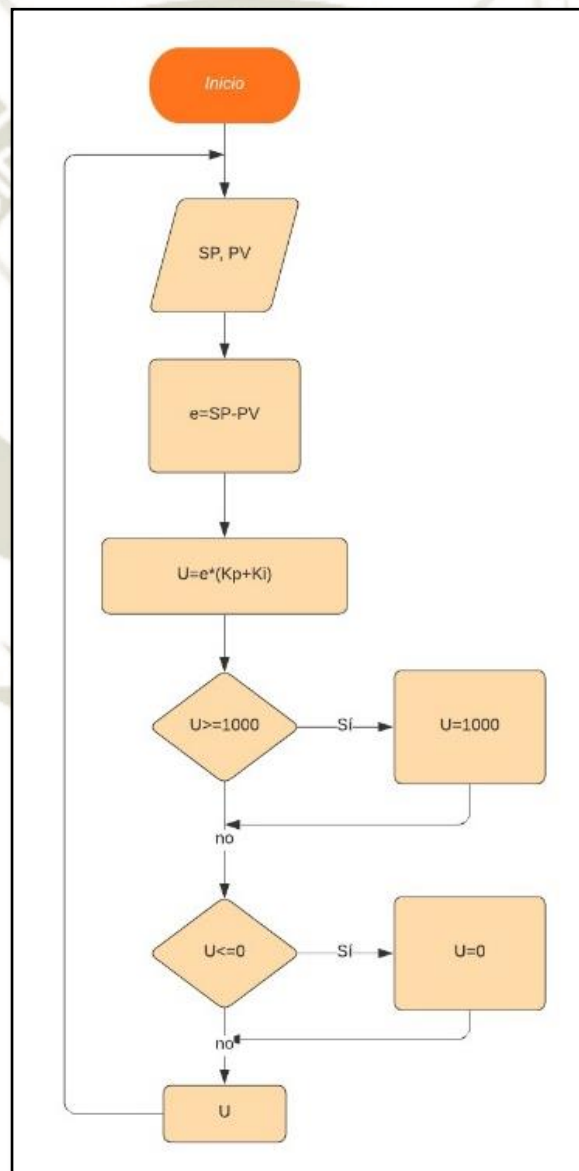


Figura 142. Diagrama de flujo de controlador PI

Fuente: Elaboración propia

Para determinar el tiempo de encendido y apagado por el bloque de PWM, se requiere hacer simplemente una regla de tres simple, conociendo el tiempo del periodo completo, de la siguiente manera podemos obtener el tiempo de encendido:

$$T_{on} = \frac{Cv * 25}{1000}$$

$$T_{off} = 25 - T_{on}$$

Donde:

T_{on}: Tiempo de encendido de la modulación de ancho de banda

T_{off}: Tiempo de apagado de la modulación de ancho de banda

Cv: Variable controlada

El valor de la variable controlada (*Cv*), por configuración interna, varía desde 0 hasta 1000, esto nos dice que cuando el *Cv* es 0, el pulso estará por completo apagado y en el caso opuesto cuando el valor de *Cv* es 1000, el ancho de pulso encendido por completo.

Definidos los conceptos y siguiendo el diagrama de flujo presentado en la **Figura 142**, procedemos con la programación de nuestros bloques de funciones. En la **Figura 143** se muestra el programa donde, ingresa al bloque controlador PI, los valores *Sp* y *Pv*, internamente se halla el error y su posterior modificación representada en la variable controlada (*Cv*), útil para el control. La salida del bloque controlador se dirige al bloque PWM, para hacer la transición de salida analógica controlada a una salida digital controlada. El programa y la descripción se encuentra en el **Anexo 12**.

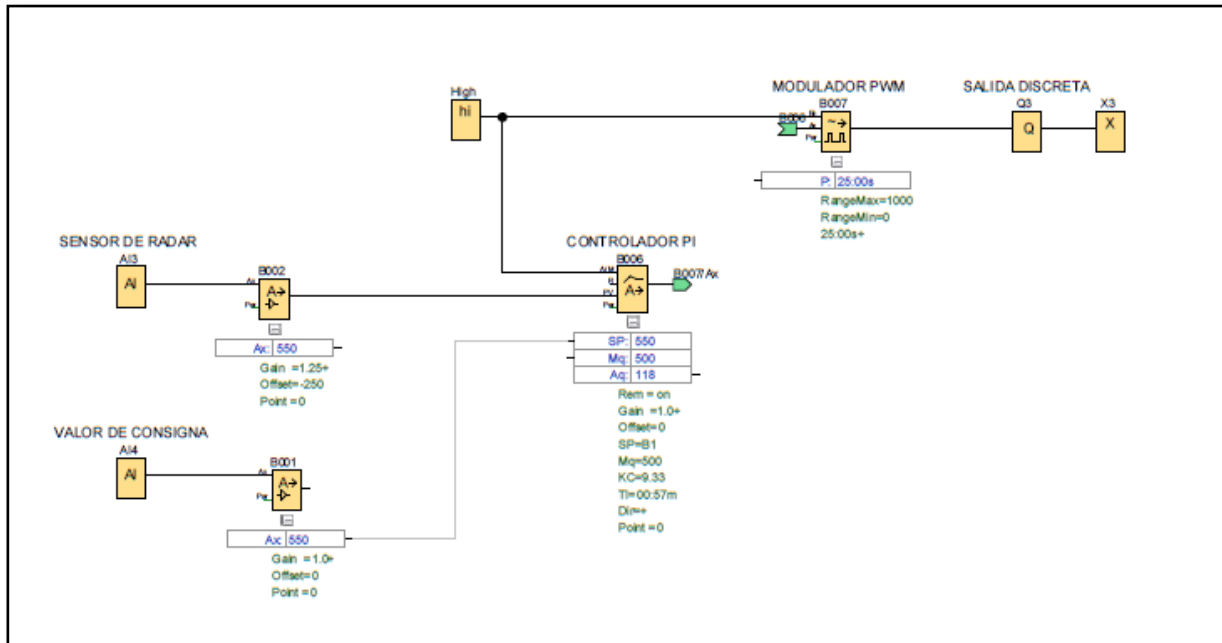


Figura 143. Programa por diagrama de bloques de control PI con PWM

Fuente: Elaboración propia

4.4. Configuración de pantalla LOGO! TDE

La pantalla LOGO! TDE nos ayudara en la supervisión el proceso, donde visualizaremos el valor de consigna (Sp), el valore de corriente dado por el sensor radar (Pv), ya tratado por el amplificador, el valor de la salida Q1 (ON/OFF), nivel representado en una barra vertical y por último la fecha.

4.4.1. Comunicación entre LOGO! Siemens y pantalla LOGO! TDE

Para tener acceso a la pantalla LOGO! TDE requiere una conexión Ethernet entre el LOGO! TDE y Mini PLC LOGO!, conociendo el IP del dispositivo esclavo.

IP: 192.168.0.4 LOGO TDE

Con la conexión del cable Ethernet, y la configuración en el mismo rango de los IPs el Mini PLC LOGO! se conectara automáticamente con la pantalla. En la **Figura 144** se muestra la configuración física y acceso de los datos.



Figura 144. Pantalla y configuración de inicio

Fuente: Elaboración propia

4.4.2. Configuración de datos a mostrar de la pantalla LOGO! TDE

Una vez realizada la correcta comunicación, pasamos a configurar la pantalla para mostrar los valores más importantes, estos son Sp, Pv, Q1 (salida discreta), el nivel en una barra vertical. En la **Figura 145** se muestra los bloques útiles para la configuración de la pantalla.

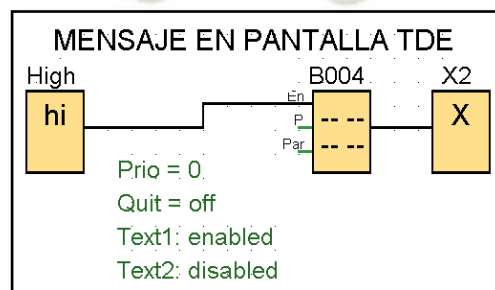


Figura 145. Bloque de mensaje en pantalla

Fuente: Elaboración propia

En la **Figura 146** muestra la ventana de configuración del bloque de la pantalla TDE, se selecciona los valores a verse en la pantalla, en la selección de donde se verá lo descrito y por último los mensajes directos de la pantalla.

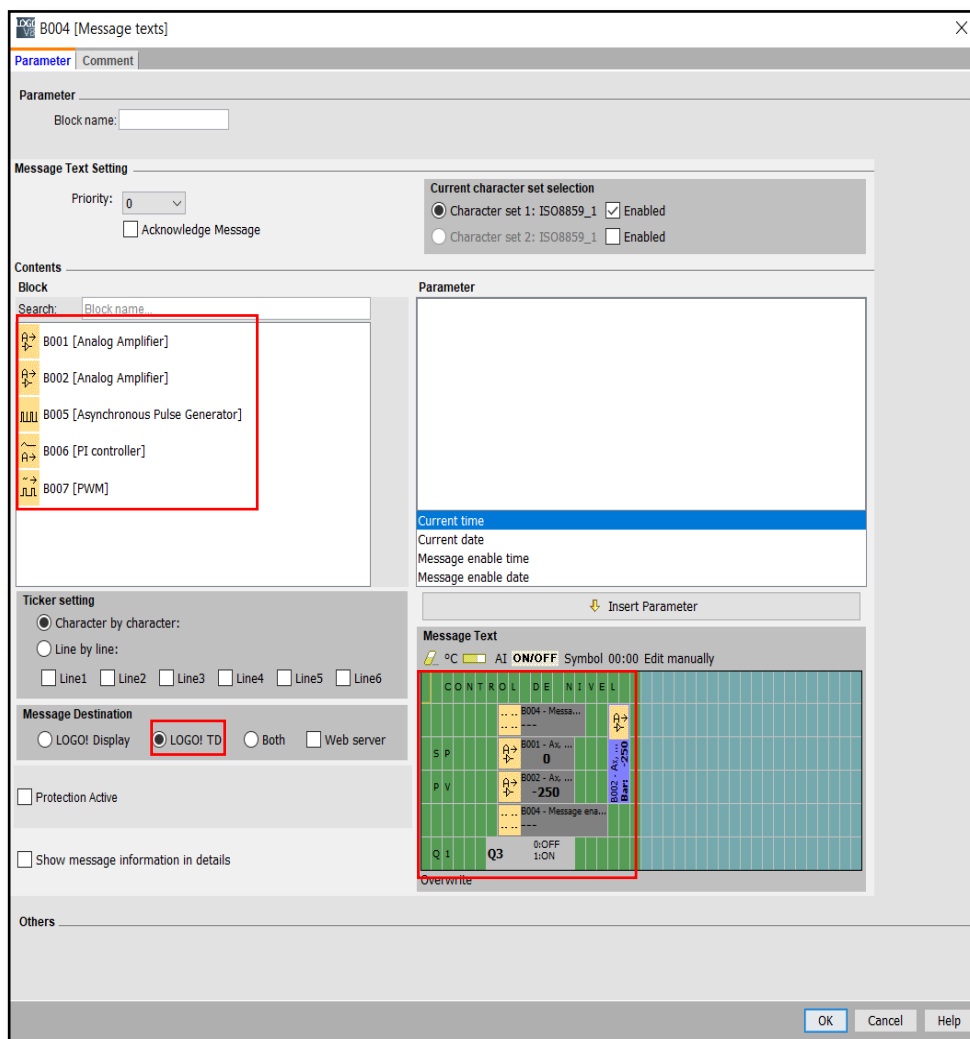


Figura 146. Pantalla de configuración de pantalla

Fuente: Elaboración propia

De esa manera en simulación logramos ver la configuración realizada y visualizamos el producto final en la **Figura 147**.

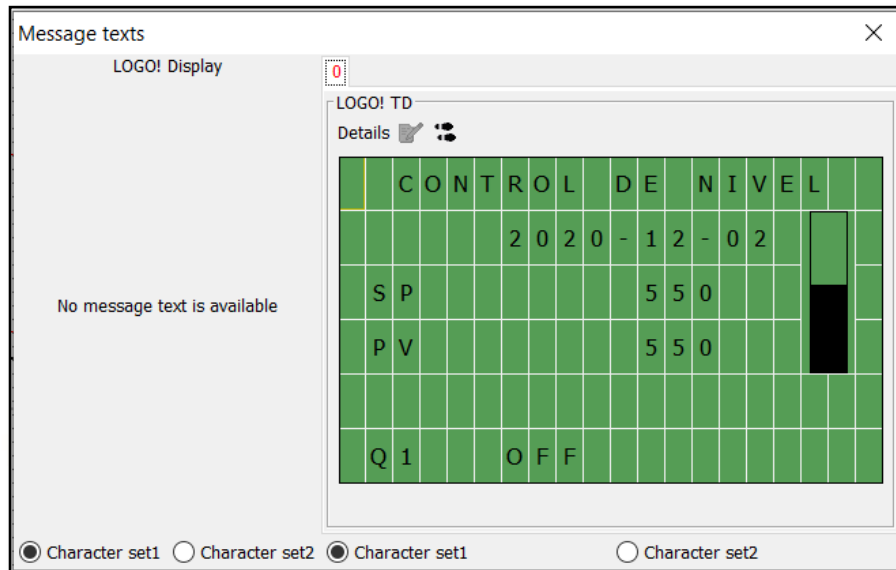


Figura 147. Pantalla de TDE simulada

Fuente: Elaboración propia

Confirmado en la simulación de la pantalla y descargando el programa al PLC LOGO! logramos visualizar lo deseado. En la **Figura 148** se muestra la pantalla real en funcionamiento.



Figura 148. Pantalla de TDE real

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO V

5. Experimentación, costos y resultados

En este capítulo comprobaremos los datos obtenidos en el capítulo anterior, realizando un control PI sobre el sistema con ayuda de bloque funcional PI, ya incorporado en el sistema, revisando los resultados por medio de la obtención de datos del procedimiento. De la misma forma realizaremos los costos del proyecto en general.

5.1. Resultado por medio de vista de tendencias

El bloque PI cuenta con una gráfica de tendencias (PI Trend View), donde podemos visualizar el valor de consigna (S_p), el valor del sensor (P_v) y el valor de la variable controlada (C_v) que en este caso se muestra como AQ que es a su vez la salida del bloque controlador. En la **Figura 149** muestra el grafico de tendencias y la selección de las líneas a mostrar.

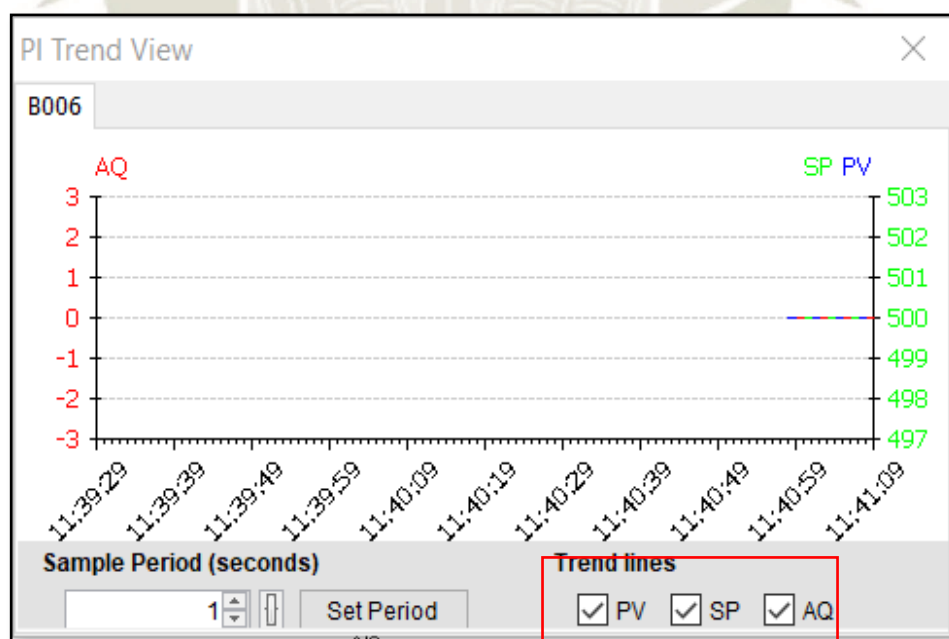


Figura 149. Gráfica de tendencias estándar

Fuente: Elaboración Propia

Para poder acceder a esta grafica en tiempo real se necesita ingresar a ver la respuesta en línea o test en línea, ingresando el valor de IP del LOGO!, podemos ver los datos solicitados y definiremos los tiempos de muestro, esta grafica solo se puede visualizar en el Software y online, no se puede visualizar en la pantalla LOGO! TDE por las limitaciones claras del mismo, para poder visualizar dicha gráfica, se necesitará una pantalla de texto HMI táctil a color de Siemens, esta interfaz si nos permite ver la gráfica en tiempo real.

También, de la gráfica podemos ver como es la respuesta, y el tiempo necesario para realizar el control. De este grafico de tendencias, directamente, no podemos extraer los datos mostrados en la gráfica; por esa razón utilizamos el método anterior de adquisición de datos para la extracción de los mismos, de esa manera comprobar su equivalencia entre uno y otro (trend y datos).

Con lo comentado anteriormente tenemos que en la **Figura 150** podemos ver la respuesta del sistema, realizando el control correspondiente.

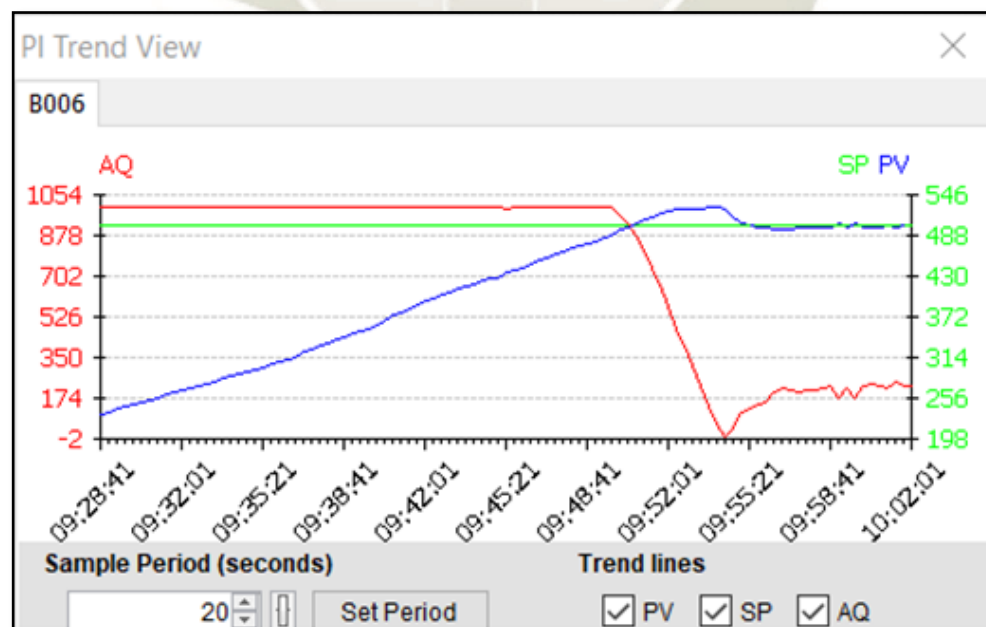


Figura 150. Gráfica de tendencias de la planta

Fuente: Elaboración Propia

Los datos anteriores pueden ser confirmados con la gráfica de la **Figura 151** obtenida de la evaluación de los datos del **Anexo 13**. Se puede ver la clara similitud, con clara superioridad del grafico de tendencias expresado en la **Figura 150**.

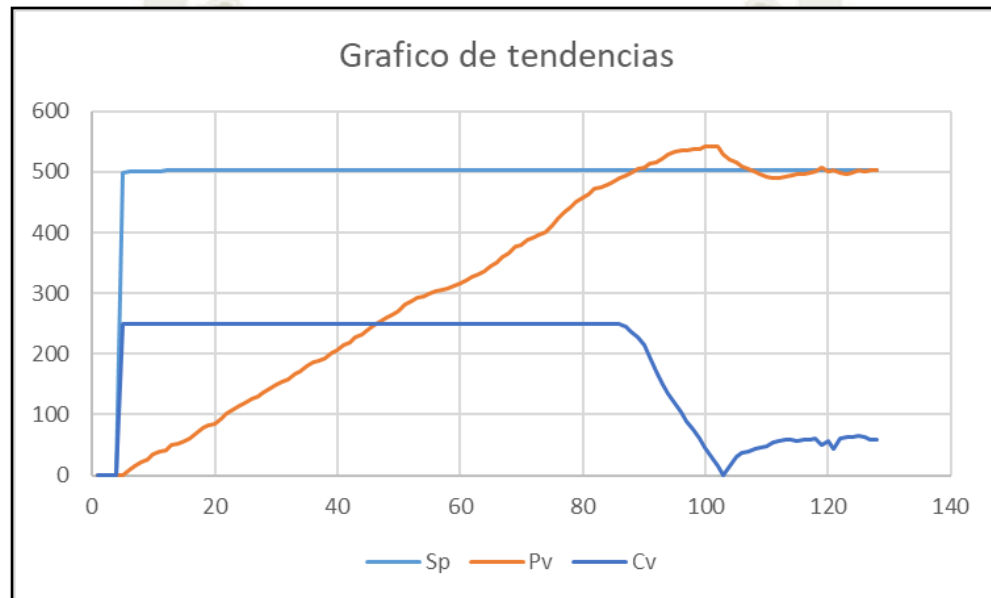


Figura 151. Gráfica de tendencias de datos

Fuente: Elaboración Propia

Podemos ver en las **Figura 150** y **Figura 151** que el valor de Pv tiene un valor pico, propio del sistema de control PI, el tiempo de estabilización del sistema es de aproximadamente 8 minutos, posterior a ese tiempo tenemos un aproximado de error en estado estable de “0”. Con el sistema de control PI y PWM, solo tenemos una salida digital; esto hace que sea imposible llegar a un valor de error en estado estable de “0” exactamente, solo podemos aproximarlo. Ese efecto se muestra en la **Figura 152** que el proceso se encuentra en un sistema de control on-off.

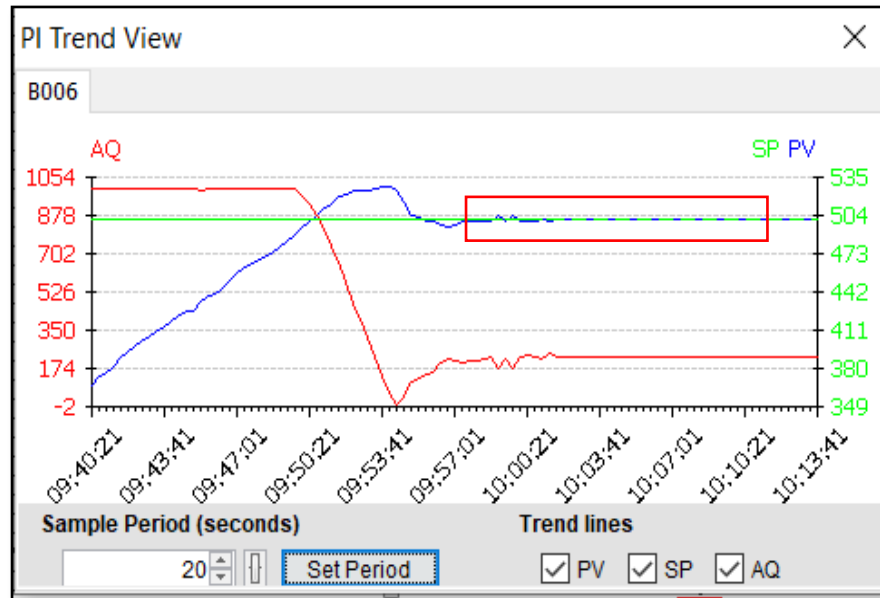


Figura 152. Error en estado estable

Fuente: Elaboración Propia

Podemos ver en la gráfica de la **Figura 152**, la respuesta del Pv no llega a ser cero a pesar que, si logra estabilizarse el valor de AQ, Cv, todo por efecto del bloque PWM.

5.2. Costos del desarrollo del diseño e implementación de la planta

En este apartado veremos el costo de los componentes y de la realización de la planta

En la **Figura 153** se describe una tabla de los componentes y gastos generales usados en todo el proyecto, detallando la forma de adquisición, tiempo de demorar para obtenerlo y el costo.

COMPONENTE	FORMA DE ADQUISICIÓN	TIEMPO DE ADQUISICIÓN REAL (DIAS)	CANTIDAD		COSTO UNITARIO S/.	COSTO S/.
Compresor	Tiendas	Inmediata	1	u	S/. 100.00	S/. 100.00
Manguera neumática de acople directo	Ferretería especializada	Inmediata	3	metros	S/. 3.50	S/. 10.50
Válvula Solenoide de 0.5 pulg	Ferretería especializada	Inmediata	1	u	S/. 36.00	S/. 36.00
Contenedor secundario	Adaptación de un compresor en fuera de servicio	14	1	u	S/. 80.00	S/. 80.00
Válvula de paso 1.5 pul	Ferretería especializada	Inmediata	1	u	S/. 5.00	S/. 5.00
Conector de paso 1.5 pulg	Ferretería especializada	Inmediata	1	u	S/. 2.50	S/. 2.50
Manguera de transporte de fluido	Ferretería especializada	Inmediata	2	metros	S/. 8.00	S/. 16.00
Prototipo de Silo	Taller de estructuras por plano	21	1	u	S/. 500.00	S/. 500.00
Tapa de prototipo de silo con ajuste de sensor	Taller de estructuras por plano	21	1	u	S/. 180.00	S/. 180.00
Válvula de salida 4 pulg	Ferretería especializada	Inmediata	1	u	S/. 10.00	S/. 10.00
Estructura de soporte de prototipo de silo	Taller de estructuras por plano	7	1	u	S/. 220.00	S/. 220.00
Cables varios para conexiónado	Ferretería especializada	Inmediata	20	metros	S/. 0.50	S/. 10.00
Pines Terminales Varios	Ferretería especializada	Inmediata	100	u	S/. 0.10	S/. 10.00
Tubo corrugado para protección de cables	Ferretería especializada	Inmediata	10	metros	S/. 0.50	S/. 5.00

Caja de tablero de control	Ferretería especializada	Inmediata	1	u	S/. 35.00	S/. 35.00
Caballote de Caja Eléctrica	Taller de estructuras por plano	5	1	u	S/. 120.00	S/. 120.00
Riel Din	Ferretería especializada	Inmediata	0.5	metros	S/. 10.00	S/. 5.00
Llave termomagnético	Ferretería especializada	Inmediata	1	u	S/. 35.00	S/. 35.00
Contactor	Ferretería especializada	Inmediata	1	u	S/. 35.00	S/. 35.00
Pulsador de inicio	Ferretería especializada	Inmediata	1	u	S/. 5.00	S/. 5.00
Pulsador de paro	Ferretería especializada	Inmediata	1	u	S/. 5.00	S/. 5.00
Pulsador de parada de emergencia	Ferretería especializada	Inmediata	1	u	S/. 6.00	S/. 6.00
Fuente de alimentación de 24v a 1.3 A Siemens	Spet-uses Siemens	30	1	u	S/. 130.00	S/. 130.00
LOGO! 12/24 RCE	Spet-uses Siemens	30	1	u	S/. 480.00	S/. 480.00
LOGO! Módulo de expansión AM2	Spet-uses Siemens	30	1	u	S/. 320.00	S/. 320.00
Pantalla LOGO! TDE	Spet-uses Siemens	30	1	u	S/. 320.00	S/. 320.00
Sensor Radar de Nivel	Smart Factory	Indeterminada	1	u	S/. 6,340.00	S/. 6,340.00
Cables Ethernet	Ferretería especializada	Inmediata	2	u	S/. 5.00	S/. 10.00
Costo Total	S/. 9,031.00					

Figura 153. Tabla de costos generales

Fuente: Elaboración Propia

CONCLUSIONES

Primera

Se diseñó e implemento un sistema de control y supervisión de nivel de almacenamiento de cemento de un prototipo de silo, así como su control por una válvula solenoide y un sensor radar especializado en ambientes hostiles, todo lo anterior gobernada por un Mini PLC LOGO! y supervisada por medio de una pantalla TDE LOGO!.

Segunda

Se determinó que los parámetros de control PI hallados por método de sintonización de Ziegler-Nichols, siendo $K_p=9.33$, $T_i=57.52$ segundos son adecuados para el proceso de la planta, ya que cumplen con los requerimientos mínimos del sistema y la empresa.

Tercera

El resultado obtenido útil para la selección de los implementos de control, se optó por el uso de un sensor radar especializado debido al ambiente hostil a trabar en el llenado de silos, la válvula solenoide usada para el control, se definió su uso por las limitaciones que presenta en el sistema de transporte real y por ultimo para la supervisión, visualización de los resultados y la condición del proceso, se seleccionó una pantalla TDE LOGO!.

Cuarta

Se implementó el sistema de comunicación y adquisición de datos con el uso de los diagramas de bloques funcionales del mismo software especializado utilizado, LOGO!Soft Comfort, facilitando el diseño, ya que para la comunicación y la adquisición de datos se hace de forma directa.

Quinta

Se definió en la selección y la implementación del sistema de control proporcional integral (PI) junto a un modulador de onda (PWM) especial para un control de salida discreta, por la facilidad que nos brinda el sistema y el software, ya que tiene bloques especiales definidos del control.

Sexta

De los parámetros obtenidos para realizar control proporcional integral (PI) mediante primer método de sintonización Ziegler-Nicholsde, se seleccionó los datos alcanzados por software, siendo, $K_p=9.33$, $T_i=57.52$ seg en comparativa con los valores hallados de manera teórica $K_p=10.7076$, $T_i=88.91$ seg, debido a la fiabilidad que te brinda el software especializado.

RECOMENDACIONES

Primera

Se sugiere hacer el uso de salidas analógicas como módulos de expansión para PLC y el uso de válvulas proporcionales para optimizar el proceso de medición de nivel.

Segunda

Para futuras mejoras del sistema se sugiere el uso de un variador de frecuencia conectado al motor del compresor, y el uso, así mismo, de un sensor de presión para controlar la salida tanto del caudal como de la presión mínima complementando el control de nivel de almacenamiento.

Tercera

Para optimizar el proceso también se debería efectuar un control de presión en el almacenaje secundario para mejorar los tiempos de llenado del contenedor silo, mejorando la precisión el sistema diseñado e implementado.

Cuarta

Una forma de alcanzar mayor precisión en el nivel de almacenamiento es el uso de métodos más sofisticados de control, utilizando actuadores analógicos, que carece esta investigación.

Quinta

Utilizando un variador de frecuencia se puede modificar el caudal de salida del compresor, logrando tener una variación del flujo másico, consiguiendo aumentar la eficiencia en la precisión de medición de nivel de almacenamiento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Araujo, J., & Guanoluisa, S. (Julio de 2011). Ealboración de un programa de mantenimiento preventivo para compresores de aire y secadores de la marca "Boge" distribuido por la empresa ecuatoriana industrial Termoal CIA. LTDA. Quito.
- Arias , K., & Sanchez, M. (2018). Estudio de las actividades relevantes en el diseño de productos. Modelo VDI 2221 frente al modelo metodologico I+P+D3. *Revista Espacios*, 22.
- Arias Polanco, J. (2019). Alalisis comparativo de los lenguajes de programacion de PLC definidos en la norma IEC 61131-3. (*Tesis de pregrado*). Universidad Tecnologica de Pereira, Pereira, Risaralda, Colombia .
- Atlas Copco . (2019). *atlascopco.com* Obtenido de <https://www.atlascopco.com/es-pe/compressors/wiki/compressed-air-articles/piston-compressors>
- Atlas Copco. (2018). *atlascopco.com*. Obtenido de <https://www.atlascopco.com/es-pe/compressors/wiki/compressed-air-articles/vane-compressors>
- Barriga Falcon, L. L., & Centeno Tasaico, R. R. (2018). Análisis y diseño estructural de un silo de concreto armado tipo cono invertido (*Tesis de Pregrado*). Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima.
- Benitez Mejia, D. S. (1994). Diseño y construcción de un sistema de control de nivel de líquidos. (*Tesis de pregrado*). Escuela Politecnica Nacional, Quito.
- Bogantes Hidalgo, J. A. (2016). Medidor de la masa neta del café de un silo en el beneficio CoopeVictoria. (*Tesis de pregrado*). Instituto Tecnologico de Costa Rica, San Jose.
- Bordons , C. (2000). *Sensores acondicionamiento de señal actuadores*.

- BuschBombas. (2019). *Busch Bombas y Sistemas en Vacío*. Obtenido de buschvacuum:
<https://www.buschvacuum.com/pe/es/applications/pneumatic-conveying>
- Chavez, E., & Arturo, A. (2001). *Tres métodos para el análisis estructural de silos de concreto reforzado*(Tesis de Maestría). Universidad Autónoma de Nuevo León, México.
- Choque Cuevas, J. A. (2016). Optimización y control de calidad en la construcción de silo de almacenamiento para material puzolánico. (Tesis de Pregrado). Univesidad Nacional de San Agustín, Arequipa.
- Claros, E. (4 de Oct. de 2013). *360enConcreto*. Obtenido de <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/transporte-de-cemento-a-granel>
- Compresores Móviles . (2019). *atlascopco.com*. Obtenido de <https://www.atlascopco.com/es-pe/construction-equipment/products/Mobile-air-compressors>
- Corona, L., Abarca, G., & Mares, J. (2014). *Sensores y actuadores. Aplicaciones con Arduino*. Azcapotzalco, Mexico D.F., Mexico: GRUPO EDITORIAL PATRIA, S.A. DE C.V.
- Creus Solé, A. (2010). *Instrumentación Industrial* (Octava ed.). México: Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V., México.
- Díaz , J. L., & Ríos, E. (2009). Implementación de una modulación PWM optimizada para el control de un motor trifásico de inducción usando la tarjeta DSP-TMS320C6416 DSK. *Revista Colombiana de Tecnología de Avanzada*, 9.
- Duarte, A., Peláez, D., & Cadena, M. (Mayo de 1985). Construcción de silos de trinchera o zanja. Bogotá.

- Espejo, S., & Villena, G. (2019). Diseño e implementación de un sistema de control de presión neumática basado en algoritmo de colonia de hormigas (ACO). (*Tesis de pregrado*). Universidad Católica de Santa María.
- Hagg, L., & Sandberg, J. (2017). *La guía del ingeniero para la medición de tanques*. Houston, Texas: Rosemount & Emerson.
- Limo Huaman , R. E. (2017). Implementación de un sistema de control semiautomático en silos y tolvas de almacenamiento para mejora de la productividad en el procesamiento de alimento balanceado en una planta del sector avícola. (*Tesis de pregrado*). Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Chiclayo.
- Linares, O., & Widman, R. (2011). *Compresores Su funcionamiento y mantenimiento*. La Paz. Obtenido de Widman International srl.
- Martinez, I. (30 de Mayo de 2019). *sothis.tech*. Obtenido de sothis tech and solutions: <https://www.sothis.tech/sistemas-para-el-transporte-neumatico-de-solidos/>
- Mengual, P. (2009). *STEP 7. Una manera fácil de programar PLC de Siemens*. (Primera Edición ed.). Mexico : Alfaomega Grupo Editor S.A. de C.V. Mexico.
- Mundo Compresor. (2019). *mundocompresor*. Obtenido de <https://www.mundocompresor.com/diccionario-tecnico/compresor>
- Ogata, K. (2010). *Ingeniería de control moderna*. Madrid: Pearson educación S.A.
- Ortiz, S., & Espinosa, J. M. (2014). *Sistemas secuenciales programables*. Madrid: Marcombo SA.
- Pacha Flores , D. F., & Rivas Rolando, J. (2015). Diseño e implementación de un sistema para supervisión, monitoreo y control de un dosificador-mezclador industrial de líquidos de

viscosidad intermedia basado en dispositivos para automatización. (*Tesis de pregrado*).
Universidad Católica de Santa María, Arequipa.

Pérez Porto, J., & Merino, M. (2016). *Definicion.de*. Obtenido de Definicion.de: Definición de cemento : <https://definicion.de/cemento/>

Piedrafita, R. (2004). *Ingeniería de la automatización industrial*. Mexico D.F.: Alfaomega grupo editor S.A.

pruebaderuta. (2019). *pruebaderuta.com*. Obtenido de <https://www.pruebaderuta.com/valvula-iac.php>

Quispe Ccachuco, M. (2019). Calculo de los parametros del controlador PID, por sintonizacion y simulacion, para el posicionamiento lineal de un cilindro hidraulico. (*Tesis de doctorado*).
Universidad Católica de Santa María, Arequipa.

Roca, A. (2014). *Control automatico de procesos industriales*. Madrid : Diaz de Santos .

Rudas Ramírez, C. A. (2015). Diseño de un Sistema Mecatrónico para la Selección de Arándanos. (*Tesis de Maestría*). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.

Shorleft, W., & Aoyagi, A. (2015). *Historia de la soja y los alimentos de soja en francia (1665-2015)*. Lafayette, Luisiana: Soyinfo Center.

Siemens AG. (2019). *Ayuda en pantalla de LOGO!Soft*. NURNBERG ALEMANIA: Postfach 48.

Torres Capuz, J. L., & Chanoluisa Martínez, S. X. (2015). Diseño e implementación de un sistema de control de una planta de llenado de tanques a escala usando un transmisor de nivel y algoritmo PID para pruebas en el laboratorio de automatización industrial. (*Tesis de pregrado*). Universidad Politecnica Salesiana, Guayaquil.

Valencia Aguilar, C. A. (2013). Diseño de un sistema de monitoreo de nivel de los tanques de emergencia de EMCALI TELECOMUNICACIONES (*Tesis de pregrado*). Universidad Autónoma de Occidente, Santiago de Cali.

Wilkinson, J., Bolsen , K., & Lin, C. (2003). *Historia del silage*. Madison, Wisconsin: American Society of Agronomy.



ANEXOS

Anexo 1: Datasheet Mini PLC LOGO! 12/24 RCE

Anexo 2: Datasheet de fuente de alimentación

Anexo 3: Datasheet pantalla LOGO! TDE

Anexo 4: Datasheet módulo de expansión LOGO! AM2

Anexo 5: Ficha técnica compresora 2HP 24 litros

Anexo 6: Planos vista general del silo y sensor radar de nivel

Anexo 7: Planos vista tapa cónica superior

Anexo 8: Planos vista bastidor principal

Anexo 9: Planos vista caballete de caja eléctrica

Anexo 10: Tabla de datos para hallar la función de transferencia

Anexo 11: Plano P&ID basado en norma ISA 5.1

Anexo 12: Programa controlador PI a PWM

Anexo 13: Datos de respuesta del sistema al control

Anexo 14: Ficha técnica de válvula solenoide

Anexo 15: Manual de medidor de nivel radar de microondas

Anexo 1: Datasheet PLC LOGO! 12/24 RCE

SIEMENS

Data sheet

6ED1052-1MD08-0BA0


LOGO! 12/24RCE, logic module, disp PS/I/O: 12/24VDC/relay, 8 DI (4AI)/4DO, memory 400 blocks, modular expandable, Ethernet, integr. web server, data log, user-defined Web pages, standard microSD card for LOGO! Soft Comfort V8 or higher, older projects executable



Figure similar

Display	
with display	Yes
Installation type/mounting	
Mounting	on 35 mm DIN rail, 4 spacing units wide
Supply voltage	
Rated value (DC)	
• 12 V DC	Yes
• 24 V DC	Yes
permissible range, lower limit (DC)	10.8 V
permissible range, upper limit (DC)	28.8 V
Time of day	
Time switching clocks	
• Number	400; Max. 400, function-specific
• Power reserve	480 h
Digital inputs	
Number of digital inputs	8; Of which 4 can be used in analog mode (0 to 10 V)



Digital outputs	
Number of digital outputs	4; Relays
Short-circuit protection	No; external fusing necessary
Output current	
<ul style="list-style-type: none"> for signal "1" permissible range for 0 to 55 °C, max. 	10 A
Relay outputs	
Switching capacity of contacts	
— with inductive load, max.	3 A
— with resistive load, max.	10 A
EMC	
Emission of radio interference acc. to EN 55 011	
<ul style="list-style-type: none"> Limit class B, for use in residential areas 	Yes
Degree and class of protection	
Degree of protection acc. to EN 60529	
<ul style="list-style-type: none"> IP20 	Yes
Standards, approvals, certificates	
CE mark	Yes
CSA approval	Yes
UL approval	Yes
FM approval	Yes
developed in accordance with IEC 61131	Yes
according to VDE 0631	Yes
Marine approval	Yes
Ambient conditions	
Ambient temperature during operation	
<ul style="list-style-type: none"> min. max. 	-20 °C; No condensation 55 °C
Ambient temperature during storage/transportation	
<ul style="list-style-type: none"> min. max. 	-40 °C 70 °C
Dimensions	
Width	71.5 mm
Height	90 mm
Depth	60 mm
last modified:	01/20/2018 

Anexo 2: Datasheet de fuente de alimentación

SIEMENS

Data sheet

6EP3331-6SB00-0AY0

LOGO!POWER 24 V/1.3 A
LOGO!POWER 24 V / 1.3 A stabilized power supply input: 100-240 V
AC output: 24 V / 1.3 A DC



Input	
Input	1-phase AC or DC
Rated voltage value V_{in} rated	100 ... 240 V
Voltage range AC	85 ... 264 V
Input voltage	
• at DC	110 ... 300 V
Wide-range input	Yes
Mains buffering at I_{out} rated, min.	40 ms; at $V_{in} = 187$ V
Rated line frequency 1	50 Hz
Rated line frequency 2	60 Hz
Rated line range	47 ... 63 Hz
Input current	
• at rated input voltage 120 V	0.7 A
• at rated input voltage 230 V	0.35 A
Switch-on current limiting (+25 °C), max.	25 A
I^2t , max.	0.8 A ² ·s
Built-in incoming fuse	internal
Output	
Output	Controlled, isolated DC voltage

Rated voltage Vout DC	24 V
Total tolerance, static ±	3 %
Static mains compensation, approx.	0.1 %
Static load balancing, approx.	0.1 %
Residual ripple peak-peak, max.	200 mV
Residual ripple peak-peak, typ.	30 mV
Spikes peak-peak, max. (bandwidth: 20 MHz)	300 mV
Spikes peak-peak, typ. (bandwidth: 20 MHz)	50 mV
Adjustment range	22.2 ... 26.4 V
Product function Output voltage adjustable	Yes
Output voltage setting	via potentiometer
Status display	Green LED for output voltage OK
On/off behavior	No overshoot of Vout (soft start)
Startup delay, max.	0.5 s
Voltage rise, typ.	100 mA
Rated current value Iout rated	1.3 A
Current range	0 ... 1.3 A
<ul style="list-style-type: none"> Note 	+55 ... +70 °C: Derating 2%/K
Supplied active power typical	31.2 W
Parallel switching for enhanced performance	Yes
Numbers of parallel switchable units for enhanced performance	2

Efficiency

Efficiency at Vout rated, Iout rated, approx.	86 %
Power loss at Vout rated, Iout rated, approx.	5 W
Power loss [W] during no-load operation maximum	0.3 W

Closed-loop control

Dynamic mains compensation (Vin rated ±15 %), max.	0.2 %
Dynamic load smoothing (Iout: 10/90/10 %), Uout ± typ.	1 %
Load step setting time 10 to 90%, typ.	1 ms
Load step setting time 90 to 10%, typ.	1 ms

Protection and monitoring

Output overvoltage protection	Yes, according to EN 60950-1
Current limitation, typ.	1.7 A
Property of the output Short-circuit proof	Yes
Short-circuit protection	Constant current characteristic
Enduring short circuit current RMS value <ul style="list-style-type: none"> maximum 	1.7 A
Overload/short-circuit indicator	-

Safety

Primary/secondary isolation	Yes
Galvanic isolation	Safety extra-low output voltage U_{out} acc. to EN 60950-1 and EN 50178
Protection class	Class II (without protective conductor)
CE mark	Yes
UL/cUL (CSA) approval	cULus-Listed (UL 508, CSA C22.2 No. 107.1), File E197259; cURus-Recognized (UL 60950, CSA C22.2 No. 60950), File E151273, NEC class 2 (acc. to UL 1310)
Explosion protection	ATEX (EX) II 3G Ex nA IIC T3; cCSAus (CSA C22.2 No. 213-M1987, ANSI/ISA-12.12.01-2007) Class I, Div. 2, Group ABCD, T4
FM approval	Class I, Div. 2, Group ABCD, T4
CB approval	Yes
Marine approval	GL, ABS, BV, DNV, LRS
Degree of protection (EN 60529)	IP20
EMC	
Emitted interference	EN 55022 Class B
Supply harmonics limitation	not applicable
Noise immunity	EN 61000-6-2
Operating data	
Ambient temperature	
• during operation	-25 ... +70 °C
— Note	with natural convection
• during transport	-40 ... +85 °C
• during storage	-40 ... +85 °C
Humidity class according to EN 60721	Climate class 3K3, no condensation
Mechanics	
Connection technology	screw-type terminals
Connections	
• Supply input	L, N: 1 screw terminal each for 0.5 ... 2.5 mm ² single-core/finely stranded
• Output	+, -: 2 screw terminals each for 0.5 ... 2.5 mm ²
• Auxiliary	-
Width of the enclosure	36 mm
Height of the enclosure	90 mm
Depth of the enclosure	53 mm
Required spacing	
• top	20 mm
• bottom	20 mm
• left	0 mm
• right	0 mm
Weight, approx.	0.12 kg

Product feature of the enclosure housing for side-by-side mounting	Yes
Installation	Snaps onto DIN rail EN 60715 35x7.5/15
MTBF at 40 °C	3 094 996 h
Other information	Specifications at rated input voltage and ambient temperature +25 °C (unless otherwise specified)

Anexo 3: Datasheet pantalla LOGO! TDE

SIEMENS

Data sheet

6ED1055-4MH08-0BA0

LOGO! TD Text Display, 6-line, 3 background colors, 2 Ethernet ports, installation accessories for LOGO! 8



Figure similar

General information	
Product type designation	LOGO! TDE
Suitability for use	Can be used with LOGO! 8 and higher
Display	
Design of display	FSTN
Line display	
• Number of lines	6
• Number of characters per line	20
Backlighting	
• Type of backlighting	LED
Control elements	
Keyboard fonts	
• System keys	Yes
— Number of configurable system keys	0
• alphanumeric keyboard	No
Installation type/mounting	

Wall mounting/direct mounting	No
Supply voltage	
Type of supply voltage	AC/DC
Rated value (DC)	12 V; 12/24 V DC, 24 V AC
Power loss	
Power loss, typ.	1.8 W; At 24 V DC
Interrupts/diagnostics/status information	
Diagnostic functions	No
Degree and class of protection	
IP (at the front)	IP65
Standards, approvals, certificates	
CE mark	Yes
UL approval	Yes
FM approval	Yes
KC approval	Yes
Marine approval	
<ul style="list-style-type: none"> American Bureau of Shipping (ABS) 	Yes
Ambient conditions	
Ambient temperature during operation	
<ul style="list-style-type: none"> min. 	-20 °C; No condensation
<ul style="list-style-type: none"> max. 	55 °C
Ambient temperature during storage/transportation	
<ul style="list-style-type: none"> min. 	-40 °C
<ul style="list-style-type: none"> max. 	70 °C
Altitude during operation relating to sea level	
<ul style="list-style-type: none"> Ambient air temperature-barometric pressure-altitude 	Tmin ... Tmax at 1 080 hPa ... 795 hPa (-1 000 m ... +2 000 m)
Configuration	
Configuration software	
<ul style="list-style-type: none"> Configuration tool 	LOGO! Soft Comfort V8
Accessories	
belongs to product	LOGO!
Mechanics/material	
Design of housing	plastic
Dimensions	
Width	128.2 mm
Height	86 mm
Depth	38.7 mm
Overall depth	38.7 mm



Weights

Weight, approx. 220 g

Scope of supply

Delivery quantity in pieces 1

last modified: 01/29/2018 

Anexo 4: Datasheet módulo de expansión LOGO! AM2

SIEMENS


Data sheet

6ED1055-1MA00-0BA2

LOGO! AM2 expansion module, PS/: 12/24 V DC, 2 AI, 0-10 V or
0/4-20 mA for LOGO! 8



Installation type/mounting	
Mounting	on 35 mm DIN rail, 2 spacing units wide
Supply voltage	
Rated value (DC)	
• 12 V DC	Yes; 10.8 V DC to 28.8 V DC
• 24 V DC	Yes; 10.8 V DC to 28.8 V DC
Input current	
Current consumption, typ.	30 mA
Analog inputs	
Number of analog inputs	2
Input ranges	
• Voltage	Yes
• Current	Yes
• Resistance thermometer	No
Input ranges (rated values), voltages	
• 0 to +10 V	Yes
Input ranges (rated values), currents	

• 0 to 20 mA	Yes; 0 mA or 4 mA to 20 mA
Input ranges (rated values), resistance thermometer	
• Pt 100	No
EMC	
Emission of radio interference acc. to EN 55 011	
• Limit class B, for use in residential areas	Yes
Standards, approvals, certificates	
CE mark	Yes
CSA approval	Yes
UL approval	Yes
FM approval	Yes
developed in accordance with IEC 61131	Yes
according to VDE 0631	Yes
Marine approval	Yes
Ambient conditions	
Ambient temperature during operation	
• min.	0 °C; ES03 and higher: -20 °C
• max.	55 °C
Dimensions	
Width	35.5 mm
Height	90 mm
Depth	58 mm
last modified:	05/09/2020 

Anexo 5: Ficha técnica compresora 2HP 24 litros



15/10/19

Compresora 2HP 24 litros - Promart



Información del producto

Descripción

Compresora monofásica de uso doméstico con una potencia de 2 HP. Cuenta con una presión de 70 psi y un tanque de 24 litros.

Características

Compresora para trabajos livianos, como pintura. Ruedas de goma y asa de transporte para facilitar el transporte. 2 Manómetros para medir salida de aire y capacidad de aire almacenada en el tanque. Reductor de presión para ajustar la

<https://www.promart.pe/compresora-2hp-24-l-power-force/p>



15/10/19

Compresora 2HP 24 litros - Promart

presión de trabajo. Interruptor o presostato de presión automático, filtro de entrada. Potente motor de 1500 watts, 2 hp monofásico. Tanque de 24 lt. 6.6 bar. Capacidad de aceite 200 ml.

Ficha técnica

Modelo	ZBM25
Tipo	Compresora
Ancho(Cm)	56 cm
Sub tipo de producto	Aire
Profundidad (Cm)	26 cm
Alto (Cm)	58 cm
Material	Acero Aporcelanado
Tipo de lubricante	Aceite para compresora
Portátil	Si
Marca	Power Force
Mantenimiento	Mensual
Potencia	1500 W
Capacidad del tanque de combustible	24 l
Ruedas	2
Tipo de Motor	Monofásico
Material del tanque	Acero Cerámico
Alimentación / Combustible	Red Eléctrica
Potencia HP	2 HP
Presión de trabajo	90 PSI
Tipo de uso	Doméstico
Uso	Para pintado de estructuras
Voltaje	220 V
¿Dónde usarlo?	Construcción
Incluye	Tapón de aceite, filtro de aire, 2 llantas, botella de aceite, pernos y manual.
Garantía	1 Año

Observaciones

Almacenar en lugar limpio, fresco y seco. Mantener fuera del alcance de los niños. La Herramienta no tiene agregado aceite.

Recomendaciones de uso

Almacenar en lugar limpio, fresco y seco. Mantener fuera del alcance de los niños. Armar completamente la maquina antes de utilizar. Purgar siempre la máquina después del día de trabajo. Agregar aceite antes de encender la máquina. Cambiar el aceite interno de la máquina, 1ra vez a las 10 horas de

<https://www.promart.pe/compresora-2hp-24-l-power-force/p>



15/10/19

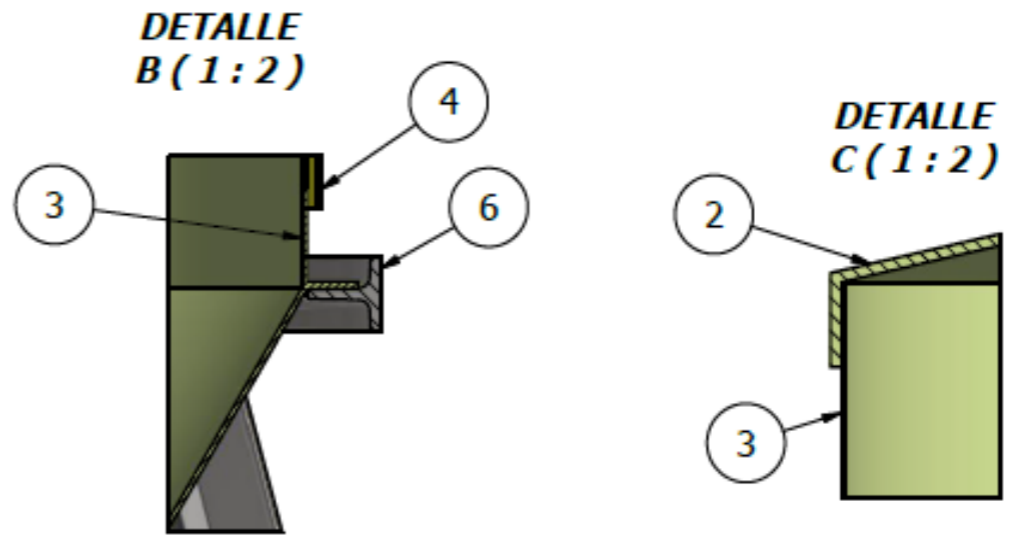
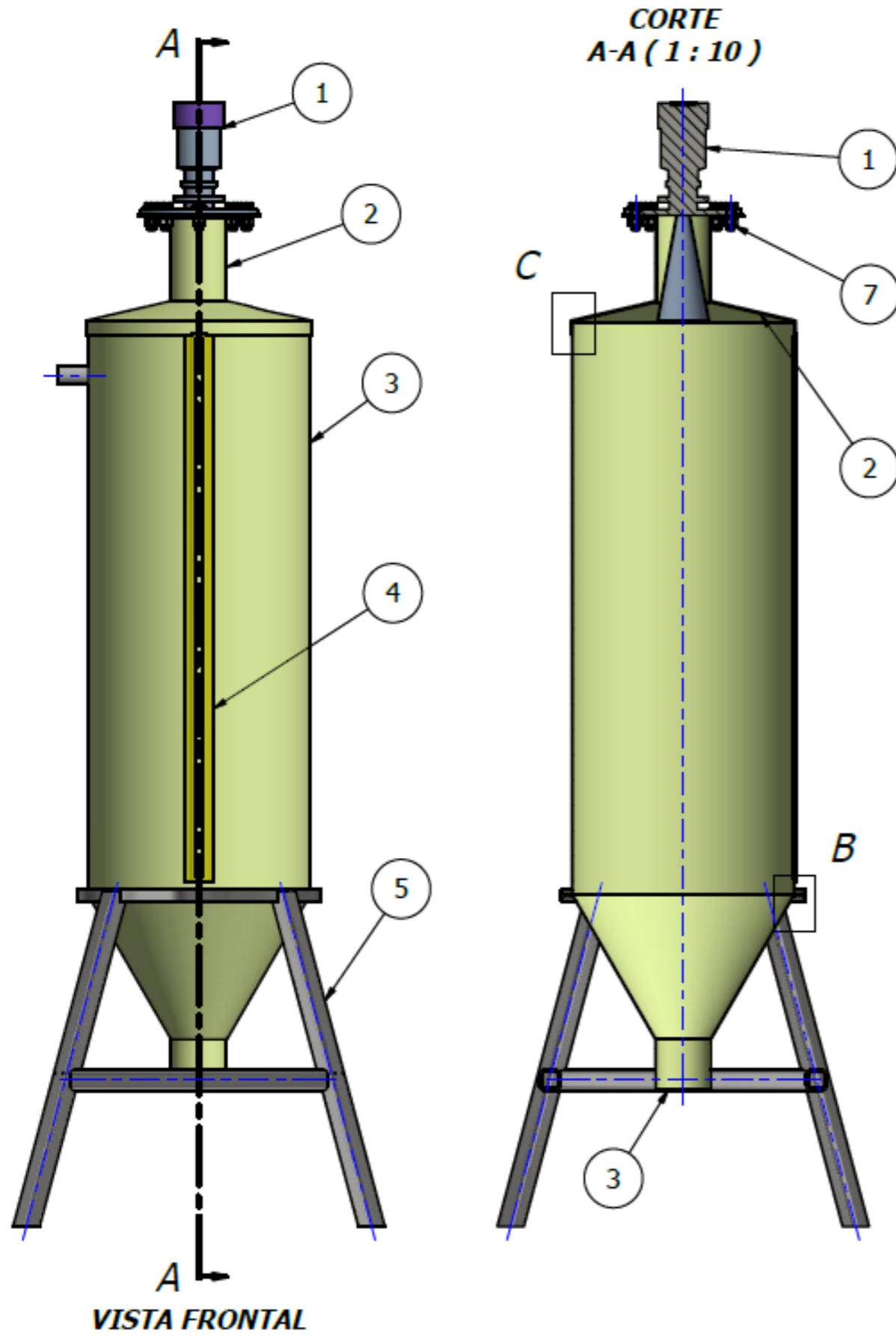
Compresora 2HP 24 litros - Promart

trabajo, 2do a las 20 horas y 3ra a las 50 horas en adelante. Limpiar el filtro de aire dependiendo del uso.

Advertencia de uso

Utilizar siempre el aceite correcto (aceite de compresora), libre de detergente. Realizar los cambios de aceite a las horas adecuadas. Una vez con aceite, mantener la herramienta en posición vertical. Escoger el accesorio adecuado de trabajo, para que pueda desempeñarse adecuadamente con la compresora.

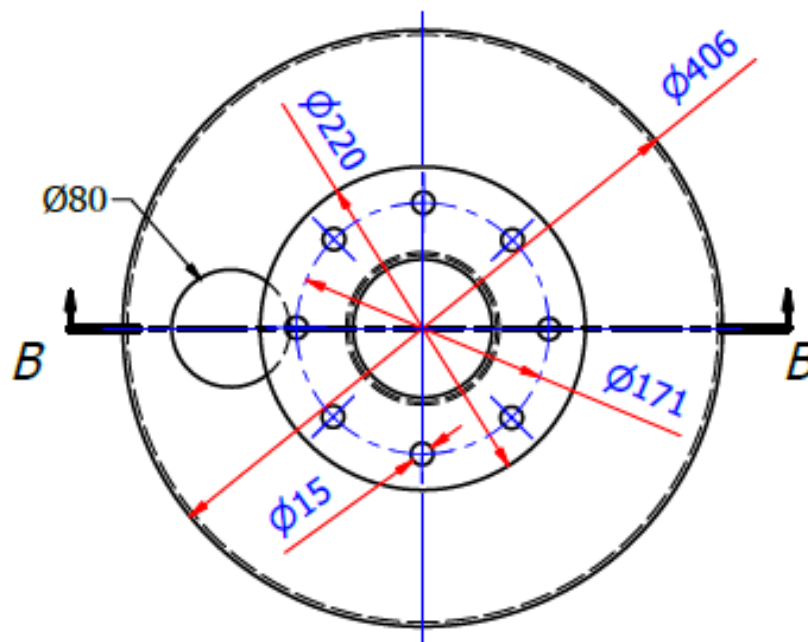
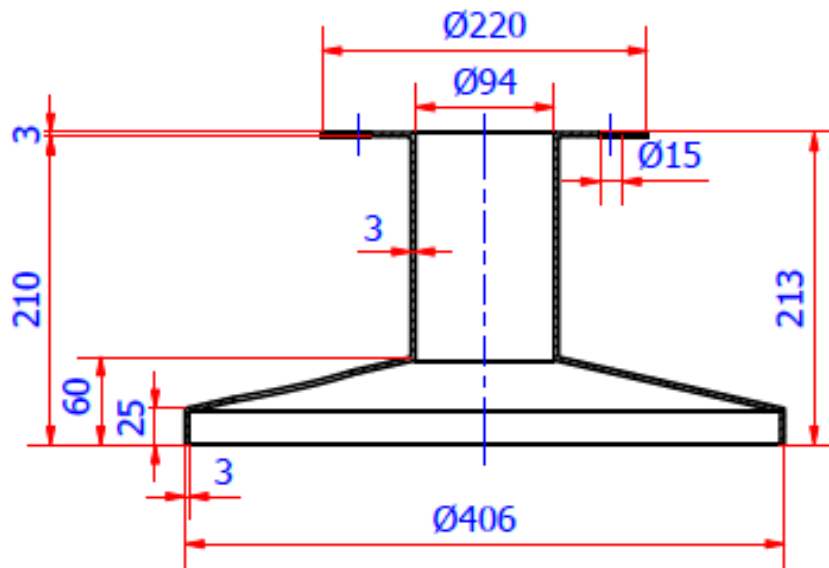
<https://www.promart.pe/compresora-2hp-24-l-power-force/p>





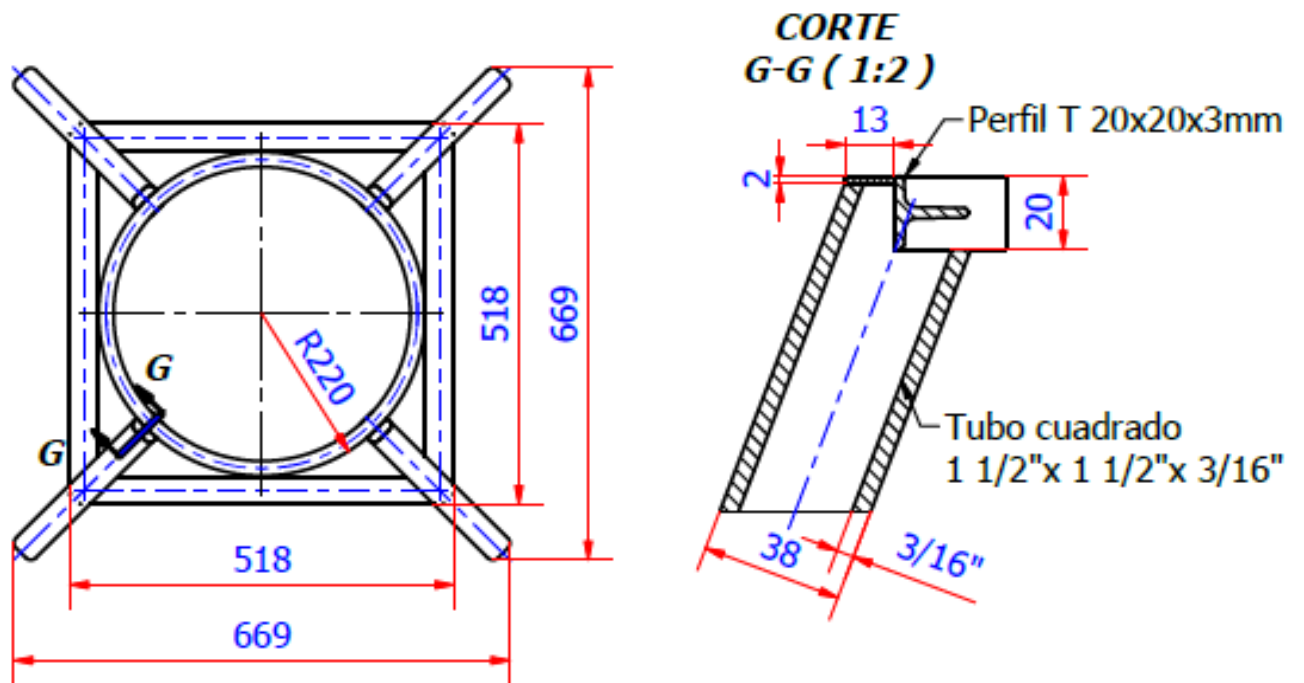
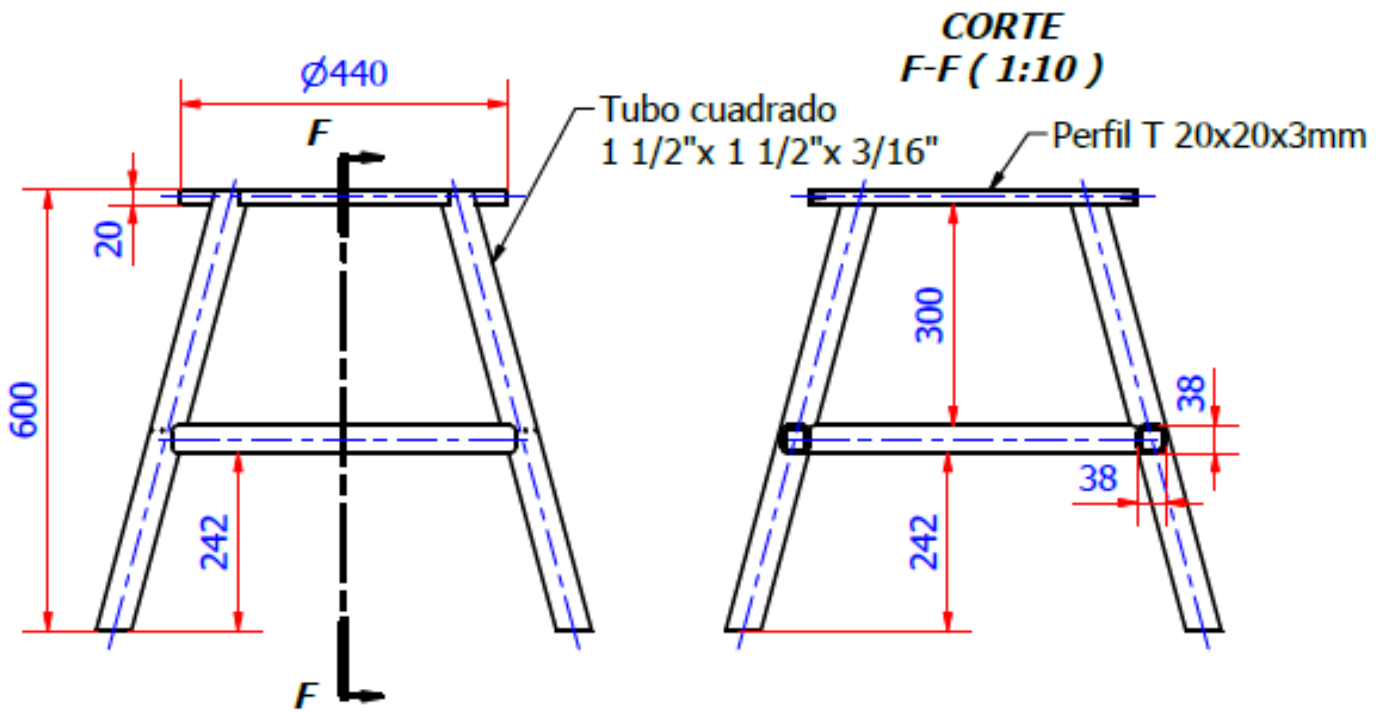
LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	MATERIAL
1	1	Sensor de nivel tipo radar	Acero inoxidable
2	1	Tapa cónica	Acero ASTM A36
3	1	Silo	Acero ASTM A36
4	1	Mirilla	Policarbonato
5	1	Bastidor	Acero ASTM A36
6	1	Aro	Acero ASTM A36
7	8	Perno M14x40mm	Acero ASTM A325



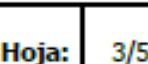
Elaborado:	Josue Infantas S.	Formato:	A3	 UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA MECÁNICA ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA		
Parte:	PLANO DE CONJUNTO					
Titulo:	<i>Diseño e implementación de prototipo de sistema de control y supervisión de nivel de silos para el almacenamiento de cemento a granel para una empresa de agregados de Arequipa</i>			Escala:	1:10	
				Fecha:	10/10/20	

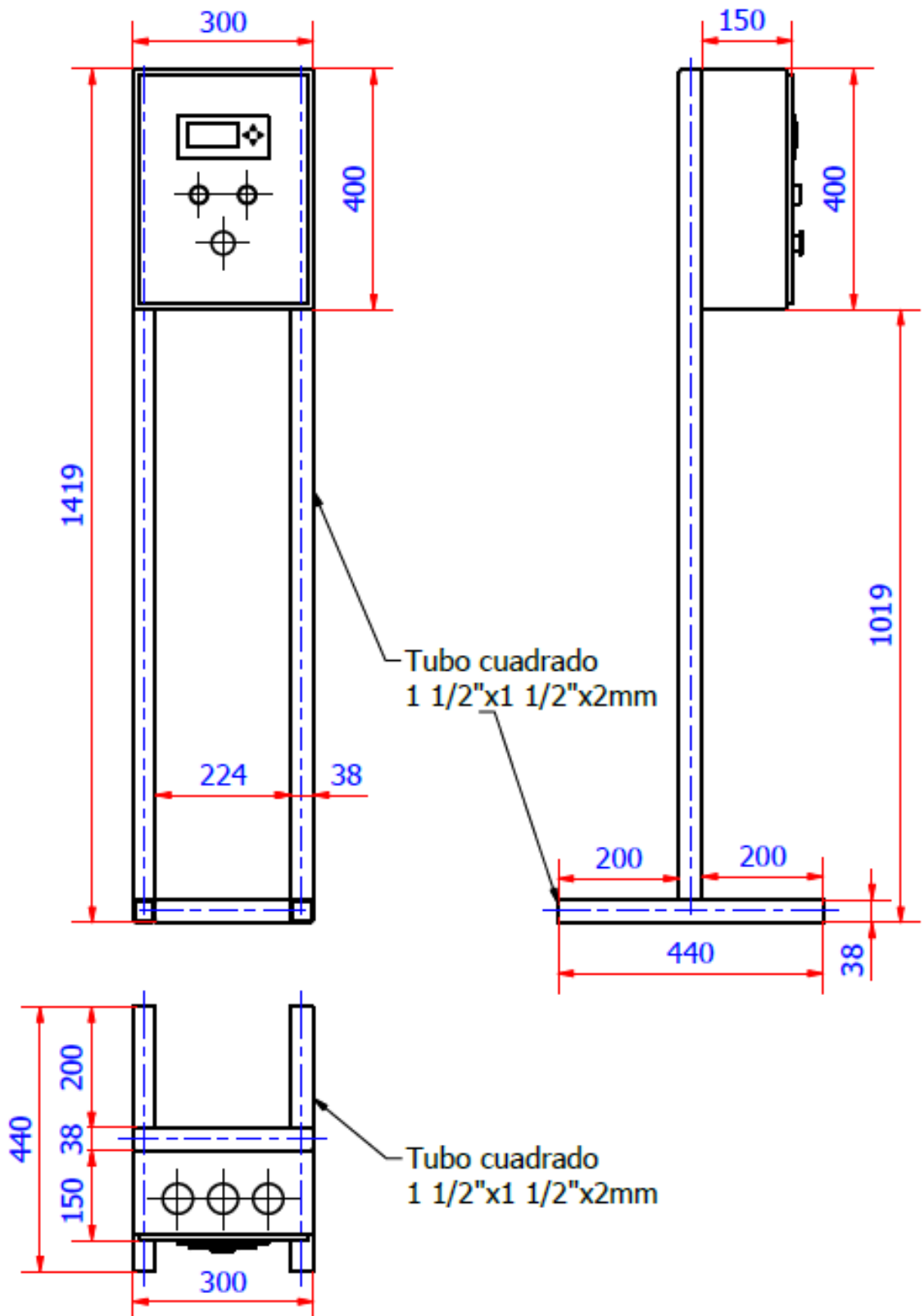
**CORTE
B-B (1:5)**





Elaborado:	Josue Infantas S.	Formato:	A4	 UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA MECÁNICA ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA		
Parte:	TAPA CÓNICA					
Titulo:	<i>Diseño e implementación de prototipo de sistema de control y supervisión de nivel de silos para el almacenamiento de cemento a granel para una empresa de agregados de Arequipa</i>			Escala:	1:5	
				Fecha:	10/10/20	



Elaborado:	Josue Infantas S.	Formato:	A4	 UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA MECÁNICA ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA
Parte:	BASTIDOR			
Titulo:	<i>Diseño e implementación de prototipo de sistema de control y supervisión de nivel de silos para el almacenamiento de cemento a granel para una empresa de agregados de Arequipa</i>			Escala: 1:10 
				Fecha: 10/10/20 



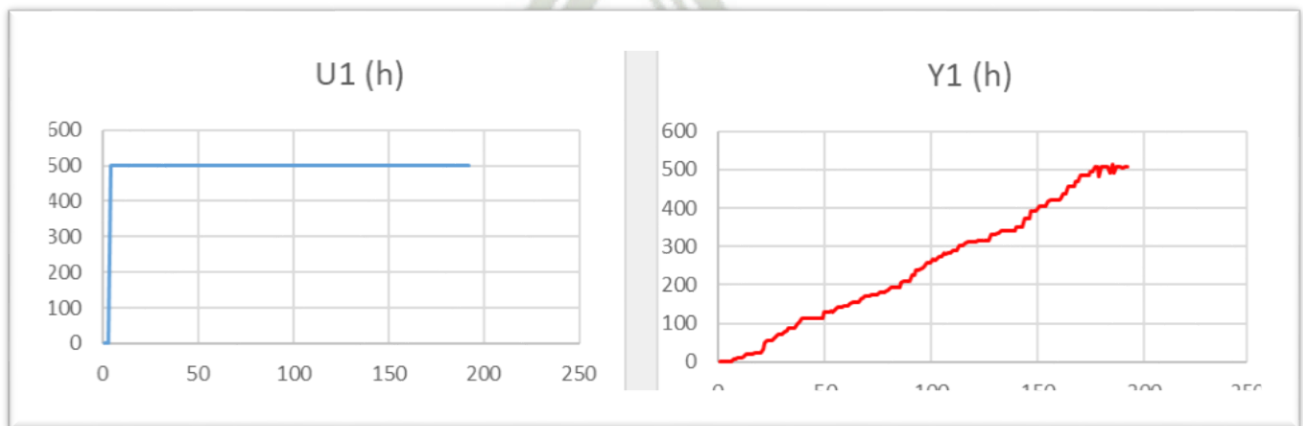
Elaborado:	Josue Infantas S.	Formato:	A4	 UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA MECÁNICA ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA
Parte:	CABALLETE DE CAJA ELÉCTRICA			
Título:	<i>Diseño e implementación de prototipo de sistema de control y supervisión de nivel de silos para el almacenamiento de cemento a granel para una empresa de agregados de Arequipa</i>			Escala: 1:10 
	Fecha: 10/10/20	Hoja: 5/5		

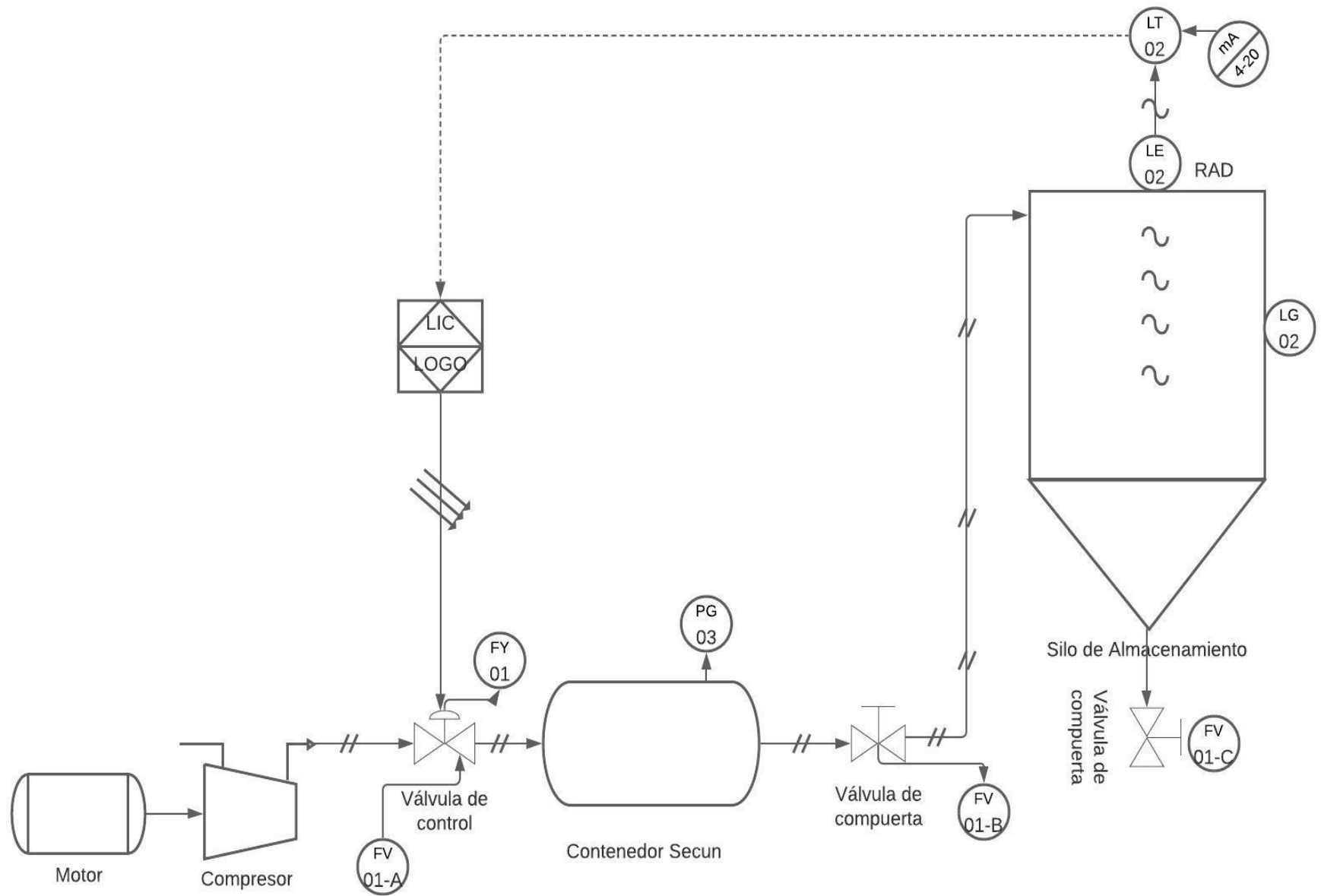
Anexo 10: Tabla de datos para hallar la función de transferencia

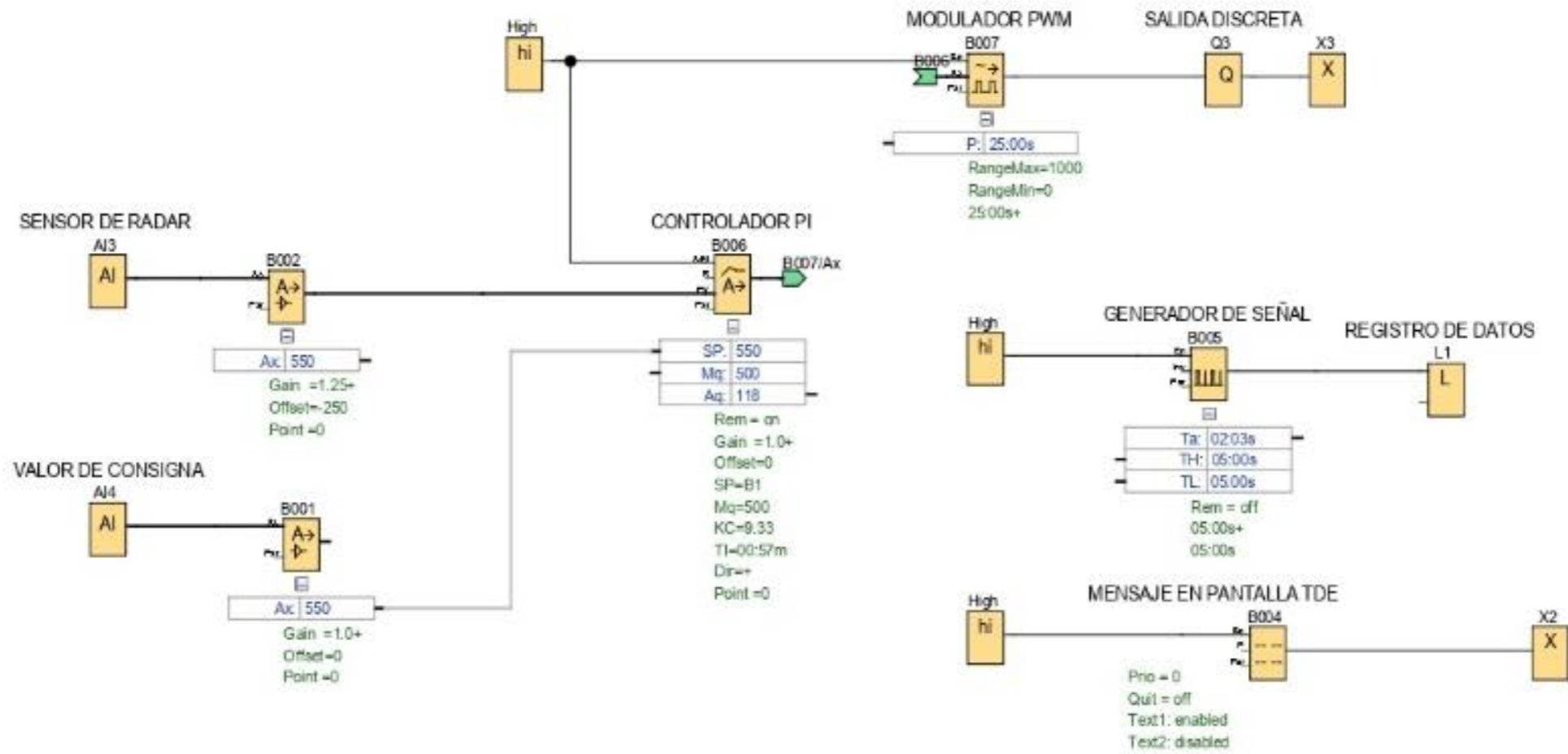
Set Point
500

Tiempo (S)	U1 (h)	Y1 (h)	Tiempo (S)	U1 (h)	Y1 (h)	Tiempo (S)	U1 (h)	Y1 (h)
00:00:00	0	1	00:10:40	500	154	00:21:20	500	331
00:00:10	0	1	00:10:50	500	155	00:21:30	500	331
00:00:20	0	1	00:11:00	500	165	00:21:40	500	335
00:00:30	501	1	00:11:10	500	165	00:21:50	500	335
00:00:40	500	1	00:11:20	500	171	00:22:00	500	341
00:00:50	500	1	00:11:30	500	171	00:22:10	501	341
00:01:00	500	8	00:11:40	500	171	00:22:20	500	341
00:01:10	500	8	00:11:50	500	175	00:22:30	501	341
00:01:20	500	10	00:12:00	500	175	00:22:40	500	341
00:01:30	500	10	00:12:10	500	175	00:22:50	501	341
00:01:40	500	10	00:12:20	500	175	00:23:00	501	341
00:01:50	500	15	00:12:30	500	181	00:23:10	501	350
00:02:00	500	19	00:12:40	500	181	00:23:20	501	351
00:02:10	500	19	00:12:50	500	181	00:23:30	501	351
00:02:20	500	19	00:13:00	500	183	00:23:40	500	351
00:02:30	500	19	00:13:10	500	186	00:23:50	500	373
00:02:40	500	25	00:13:20	500	194	00:24:00	501	373
00:02:50	500	25	00:13:30	500	194	00:24:10	501	373
00:03:00	500	25	00:13:40	500	195	00:24:20	501	391
00:03:10	500	25	00:13:50	500	195	00:24:30	500	391
00:03:20	500	33	00:14:00	500	195	00:24:40	501	391
00:03:30	500	48	00:14:10	500	206	00:24:50	501	394
00:03:40	500	54	00:14:20	500	208	00:25:00	500	404
00:03:50	500	54	00:14:30	500	208	00:25:10	501	404
00:04:00	500	54	00:14:40	500	208	00:25:20	501	404
00:04:10	500	59	00:14:50	500	208	00:25:30	501	404
00:04:20	500	65	00:15:00	500	225	00:25:40	500	419
00:04:30	500	73	00:15:10	500	225	00:25:50	500	420
00:04:40	500	73	00:15:20	500	239	00:26:00	500	420
00:04:50	500	73	00:15:30	500	239	00:26:10	500	420
00:05:00	500	79	00:15:40	500	241	00:26:20	501	420
00:05:10	500	80	00:15:50	500	246	00:26:30	501	420
00:05:20	500	89	00:16:00	500	248	00:26:40	500	425
00:05:30	500	89	00:16:10	500	258	00:26:50	500	438
00:05:40	500	89	00:16:20	500	258	00:27:00	500	438

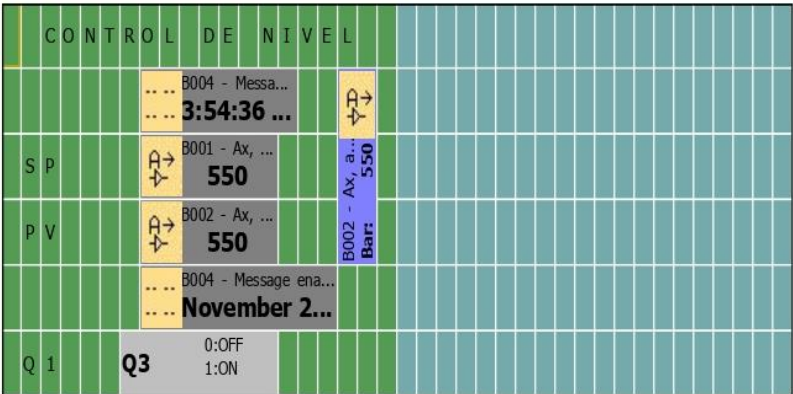
00:05:50	500	89	00:16:30	500	258	00:27:10	500	455
00:06:00	500	96	00:16:40	500	266	00:27:20	500	455
00:06:10	500	105	00:16:50	500	265	00:27:30	500	455
00:06:20	500	113	00:17:00	500	270	00:27:40	500	455
00:06:30	500	113	00:17:10	500	274	00:27:50	500	470
00:06:40	500	113	00:17:20	500	274	00:28:00	500	470
00:06:50	500	113	00:17:30	500	283	00:28:10	501	485
00:07:00	501	113	00:17:40	500	281	00:28:20	500	485
00:07:10	501	113	00:17:50	500	283	00:28:30	500	486
00:07:20	501	113	00:18:00	500	283	00:28:40	500	486
00:07:30	501	113	00:18:10	500	291	00:28:50	501	486
00:07:40	501	113	00:18:20	500	291	00:29:00	500	494
00:07:50	500	114	00:18:30	500	291	00:29:10	501	494
00:08:00	500	114	00:18:40	500	303	00:29:20	500	509
00:08:10	500	130	00:18:50	500	303	00:29:30	500	509
00:08:20	500	130	00:19:00	500	303	00:29:40	500	483
00:08:30	500	130	00:19:10	500	308	00:29:50	501	509
00:08:40	500	131	00:19:20	500	311	00:30:00	500	509
00:08:50	500	130	00:19:30	500	311	00:30:10	500	509
00:09:00	500	135	00:19:40	500	311	00:30:20	500	509
00:09:10	500	141	00:19:50	500	311	00:30:30	500	490
00:09:20	500	141	00:20:00	500	313	00:30:40	501	515
00:09:30	500	141	00:20:10	501	315	00:30:50	501	491
00:09:40	500	146	00:20:20	500	315	00:31:00	500	508
00:09:50	500	146	00:20:30	500	315	00:31:10	500	508
00:10:00	500	146	00:20:40	500	315	00:31:20	501	508
00:10:10	500	151	00:20:50	500	315	00:31:30	501	506
00:10:20	500	155	00:21:00	500	315	00:31:40	501	508
00:10:30	500	154	00:21:10	500	331	00:31:50	501	508







Creator:	Josué	Project:		Customer:	
Checked:		Installation:		Diagram No.:	
Date:	11/18/20 11:57 PM/11/25/20 7:44 PM	File:	CONTROLADOR PI.lsc	Page:	1 / 3

Block Number (Type)	Parameter				
AI3(Analog input) : SENSOR DE RADAR					
AI4(Analog input) : VALOR DE CONSIGNA					
B001(Analog Amplifier) :	Gain =1.0+ Offset=0 Point =0				
B002(Analog Amplifier) :	Gain =1.25+ Offset=-250 Point =0				
<p>B004(Message texts) : MENSAJE EN PANTALLA TDE</p>  <p>Line2.8 B004-EnableTime Line2.18 Bar: B002-Ax;Max=1000;Min=0;Dir=Ver;Len=3 Line3.8 B001-Ax Line4.8 B002-Ax Line5.8 B004-EnableDate Line6.7 IOStatus: Q3;Off="OFF";On="ON"</p>	<p>Prio = 0 Quit = off Text1: enabled Text2: disabled</p> <p>--> Ticker setting - CBC - Line1: N - Line2: N - Line3: N - Line4: N - Line5: N - Line6: N Message Destination - LOGO! TD</p>				
B005(Asynchronous Pulse Generator) : GENERADOR DE SEÑAL	Rem = off 05:00s+ 05:00s				
B006(PI controller) : CONTROLADOR PI	Rem = on Gain =1.0+ Offset=0 SP=B1 Mq=500 KC=9.33 TI=00:57m Dir=+ Point =0				
B007(PWM) : MODULADOR PWM	RangeMax=1000 RangeMin=0 25:00s+				
L1(Data Log) : REGISTRO DE DATOS					
Q3(Output) : SALIDA DISCRETA					
Creator:	Josué	Project:		Customer:	
Checked:		Installation:		Diagram No.:	
Date:	11/18/20 11:57 PM/11/25/20 7:44 PM	File:	CONTROLADOR PI.lsc	Page:	2 / 3

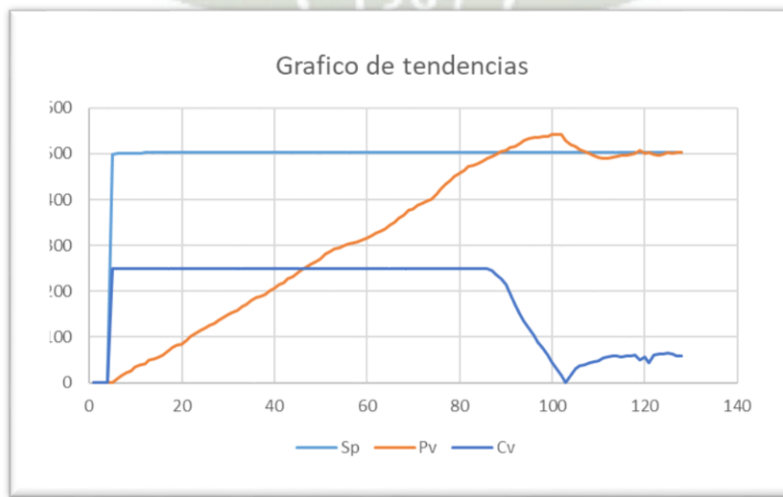
Connection	Label
AI3	
AI4	
Q3	
X2	
X3	

Anexo 13: Datos de respuesta del sistema al control

Set Point
500

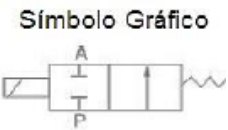
Tiempo (s)	U1(h)	Y1(h)	Cv	Cv'	Tiempo (s)	U1(h)	Y1(h)	Cv	Cv'
09:25:21	1	1	0	0	09:43:48	502	345	1000	1
09:25:38	1	1	0	0	09:44:05	502	351	1000	1
09:25:56	1	1	0	0	09:44:23	502	361	1000	1
09:26:13	1	1	0	0	09:44:40	502	367	1000	1
09:26:30	498	1	1000	1	09:44:57	502	377	1000	1
09:26:47	501	8	1000	1	09:45:15	502	379	1000	1
09:27:05	501	16	1000	1	09:45:32	502	389	1000	1
09:27:22	501	21	1000	1	09:45:49	502	392	1000	1
09:27:39	501	27	1000	1	09:46:07	502	397	1000	1
09:27:57	501	34	1000	1	09:46:24	502	402	1000	1
09:28:14	501	39	1000	1	09:46:41	502	411	1000	1
09:28:31	502	41	1000	1	09:46:58	502	422	1000	1
09:28:49	502	50	1000	1	09:47:16	502	433	1000	1
09:29:06	502	52	1000	1	09:47:33	502	443	1000	1
09:29:23	502	56	1000	1	09:47:50	502	452	1000	1
09:29:40	502	61	1000	1	09:48:08	502	457	1000	1
09:29:58	502	69	1000	1	09:48:25	502	465	1000	1
09:30:15	502	78	1000	1	09:48:42	502	472	1000	1
09:30:32	502	82	1000	1	09:49:00	502	475	1000	1
09:30:50	502	84	1000	1	09:49:17	502	479	1000	1
09:31:07	502	93	1000	1	09:49:34	502	484	1000	1
09:31:24	502	101	1000	1	09:49:51	502	491	1000	1
09:31:42	502	109	1000	1	09:50:09	502	494	960	1
09:31:59	502	114	1000	1	09:50:26	502	499	900	1
09:32:16	502	120	1000	1	09:50:43	502	505	840	1
09:32:33	502	125	1000	1	09:51:01	502	508	780	0
09:32:51	502	131	1000	1	09:51:18	502	513	720	0
09:33:08	502	137	1000	1	09:51:35	502	517	660	1
09:33:25	502	143	1000	1	09:51:53	502	522	600	1
09:33:43	502	150	1000	1	09:52:10	502	528	540	1
09:34:00	502	154	1000	1	09:52:27	502	534	480	0
09:34:17	502	159	1000	1	09:52:44	502	536	420	1
09:34:35	502	166	1000	1	09:53:02	502	536	360	0
09:34:52	502	172	1000	1	09:53:19	502	537	300	1
09:35:09	502	179	1000	1	09:53:36	502	537	240	0
09:35:26	502	187	1000	1	09:53:54	502	541	180	0

09:35:44	502	189	1000	1	09:54:11	502	541	120	0
09:36:01	502	193	1000	1	09:54:28	502	541	60	0
09:36:18	502	201	1000	1	09:54:46	502	530	0	0
09:36:36	502	207	1000	1	09:55:03	502	521	0	0
09:36:53	502	215	1000	1	09:55:20	502	515	0	0
09:37:10	502	220	1000	1	09:55:37	502	510	0	0
09:37:28	502	227	1000	1	09:55:55	502	505	0	0
09:37:45	502	233	1000	1	09:56:12	502	500	0	0
09:38:02	502	240	1000	1	09:56:29	502	496	0	0
09:38:19	502	247	1000	1	09:56:47	502	492	0	1
09:38:37	502	253	1000	1	09:57:04	502	490	0	0
09:38:54	502	260	1000	1	09:57:21	502	491	0	0
09:39:11	502	265	1000	1	09:57:39	502	493	0	1
09:39:29	502	271	1000	1	09:57:56	502	494	0	1
09:39:46	502	281	1000	1	09:58:13	502	496	0	0
09:40:03	502	287	1000	1	09:58:30	502	497	0	0
09:40:21	502	292	1000	1	09:58:48	502	499	0	0
09:40:38	502	295	1000	1	09:59:05	502	501	0	0
09:40:55	502	300	1000	1	09:59:22	502	508	0	0
09:41:12	502	303	1000	1	09:59:40	502	500	0	0
09:41:30	502	305	1000	1	09:59:57	502	504	0	0
09:41:47	502	308	1000	1	10:00:14	502	498	0	1
09:42:04	502	312	1000	1	10:00:32	502	497	0	1
09:42:22	502	317	1000	1	10:00:49	502	498	0	0
09:42:39	502	321	1000	1	10:01:06	502	502	0	1
09:42:56	502	327	1000	1	10:01:23	502	500	0	1
09:43:14	502	331	1000	1	10:01:41	502	502	0	1
09:43:31	502	336	1000	1	10:01:58	502	502	0	0




FICHA TECNICA

492.220 VALVULA SOLENOIDE 2W NPT, 24 DC , Bronce



ESPECIFICACIONES

Medio de Trabajo	: Aire, Agua, Aceite, Gas, Agua caliente
Patrón de Movimiento	: Accionamiento directo
Tipo de Acción	: Abertura normal
Viscosidad del fluido de operación:	≤20 cSt
Presión de Trabajo	Normalmente cerrado : 0 - 10 bar Normalmente abierto : 0 - 8 bar
Rango Temperatura de Trabajo	: 5°C - 80°C
Material del cuerpo de la válvula	: Bronce (forjado), hierro fundido
Material de sellado	: NBR
Voltaje Nominal	: 220 AC
Tolerancia de Voltaje	: ± 10%
Protección de la Bobina	: Bobina plástica IP65, bobina revestida de hierro IP54

 Código	Medida	Diámetro	Valor Cv	L (mm)	H (mm)
492.220.0006	1/4" NPT	2.5	0.23	40	75
492.220.0008	1/2" NPT	16	4.8	58	100
492.220.0012	3/4" NPT	20	7.6	65	110
492.220.0016	1" NPT	25	12	85	125
492.220.0024	1.1/2" NPT	40	29	110	160
492.220.0032	2" NPT	50	48	118	170

FICHA TECNICA

492.220 VALVULA SOLENOIDE 2W NPT, 24 DC , Bronce

DIMENSIONES GENERALES

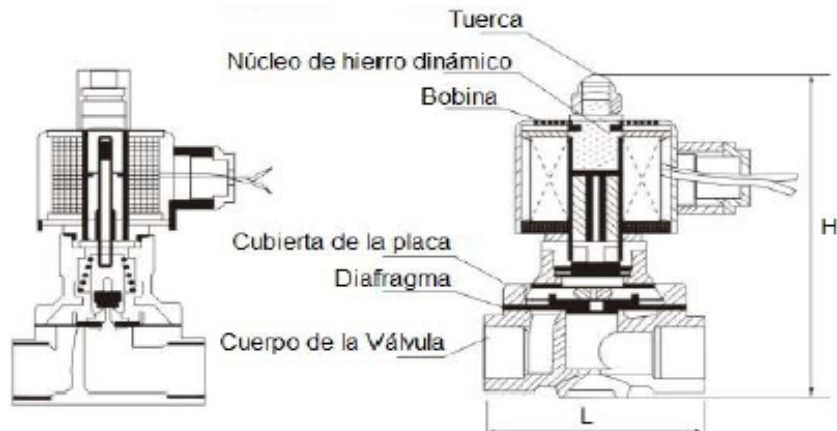
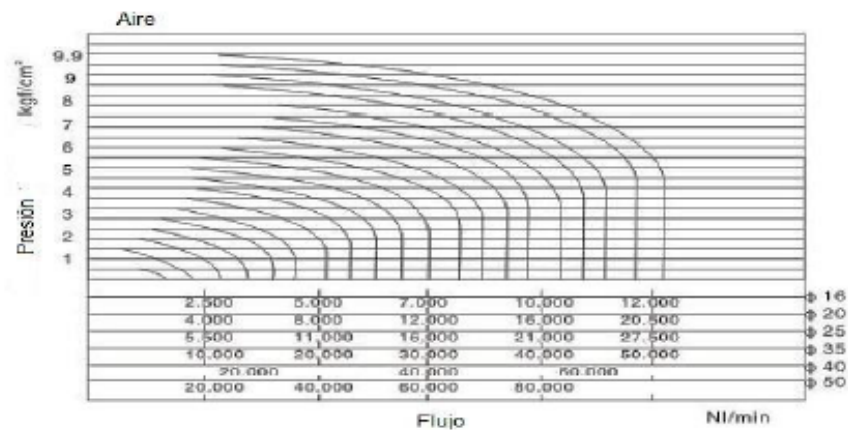
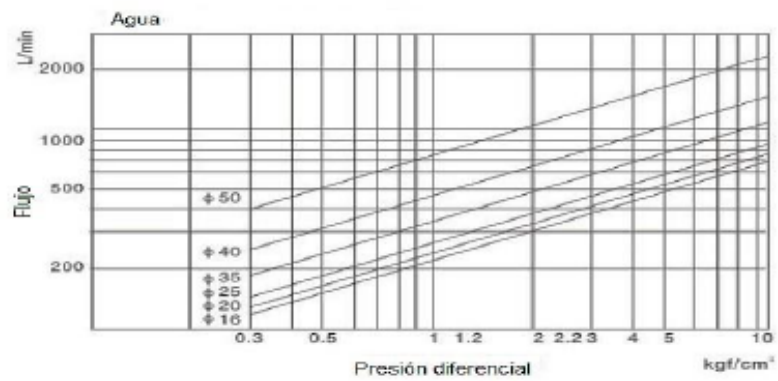


DIAGRAMA DE FLUJO



Radar Level Transmitter

Operating Manual

1 Technical Description

1.1 Technical parameter

◆ Housing

Seal between the housing and the housing cover: Silicone rubber

Housing window : Stainless steel

Ground terminal: Stainless steel

◆ Supply voltage

Two-wire

Standard type: (16~26) V DC

Intrinsically Safe: (21.6~26.4)V DC

Power consumption: max22.5mA/1w

Allowable ripple wave: $\lt; 100\text{Hz}$ $U_{ss} < 1\text{V}</math>
$-(100 \sim 100\text{K})\text{Hz}$ $U_{ss} < 10\text{mV}</math>$$

◆ Cable parameters

Cable entry /Plug: M20×1.5

Amphenol connector: cross-section1.0mm

◆ Output parameters

Output signal: (4~20) mA

Communication protocol: HART

Resolution ratio: 1.6uA

Fault signal: current output unchanged; 20.5mA、22mA、3.9mA

Integration time: (0~50) s Adjustable

◆ Dead zone: The ends of the antenna

◆ The maximum measuring distance: 70m

◆ Microwave frequency: 26GHz

◆ Communication interface: HART protocol

◆ Measurement interval: 1s (Depending on the parameter settings)

◆ Adjustment time: about 1s (Depending on the parameter settings)

◆ Display resolution: 1mm

◆ Working storage and transport temperature: -40~100° C

◆ Process temperature (temperature of the antenna part): -40~250° C

◆ Pressure: Max. 4MPa

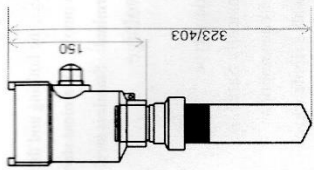
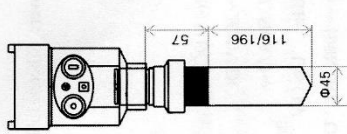
◆ Shock-proof: mechanical vibration 10m/s, 10~15Hz

1.2 Dimension

↔ Outer Dimension

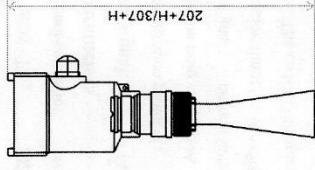
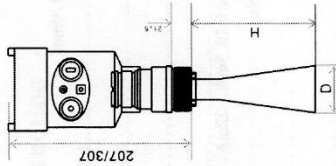
Unit: mm

I



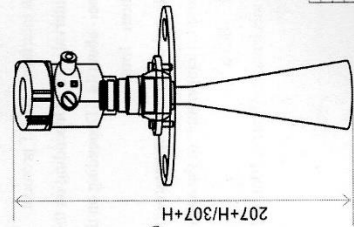
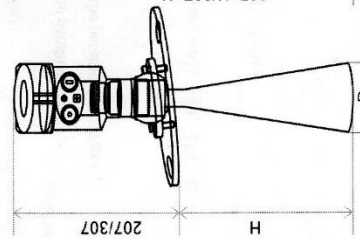
品名	探针	规格	φ45	长度	116
品名	探针	规格	φ45	长度	196
品名	探针	规格	φ45	长度	255
品名	探针	规格	φ45	长度	295
品名	探针	规格	φ45	长度	355

II

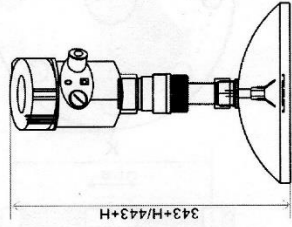
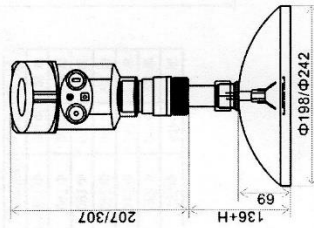


品名	探针	规格	φ45	长度	150
品名	探针	规格	φ45	长度	227
品名	探针	规格	φ45	长度	288
品名	探针	规格	φ45	长度	355

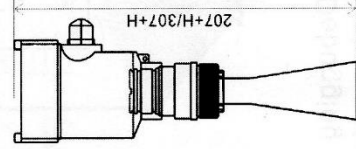
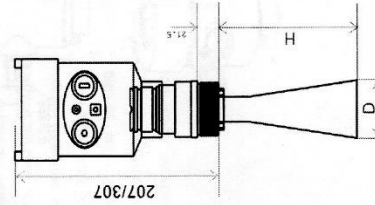
III



IV

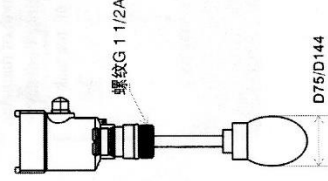
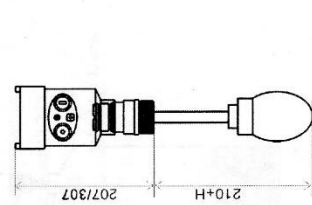


V

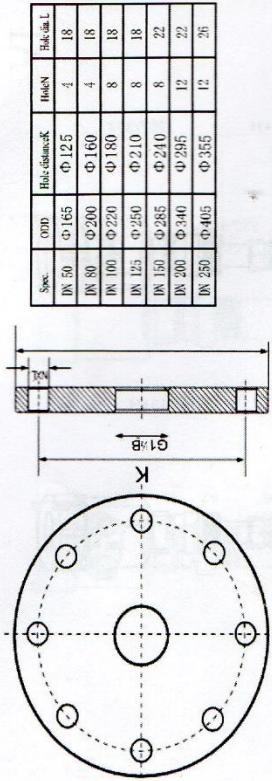


品名	探针	规格	φ45	长度	150
品名	探针	规格	φ45	长度	227
品名	探针	规格	φ45	长度	288
品名	探针	规格	φ45	长度	355

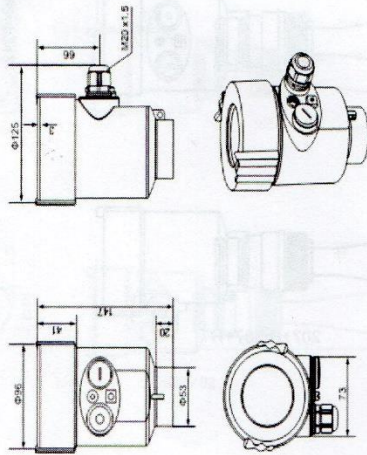
VI



◆ Flange Dimension



◆ Housing



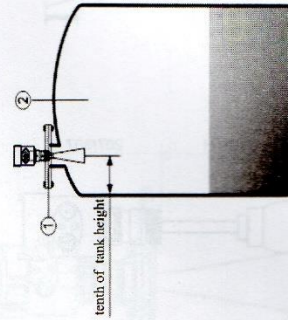
2 Installation and Debugging
2.1 Installation Requirements

◆ Installed one fourth or sixth of diameter.
Note: The minimum distance from the tank wall shall be tenth of the tank height.

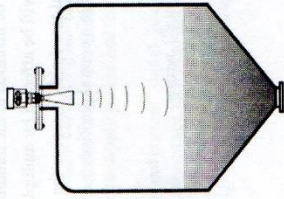
Note:

① datum plane

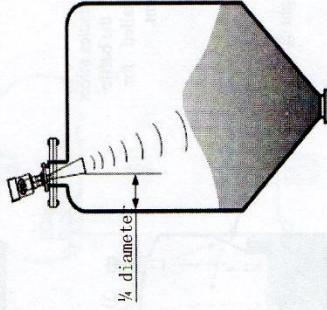
② vessel center or axis of symmetry



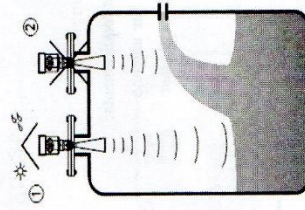
◆ For conical tank top plane, it can be installed on the middle of the tank top to ensure the measurement of the conical bottom.



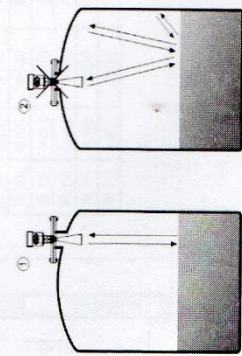
◆ When there's the material pile, the antenna need to perpendicularly alignment to the material surface. If the material is uneven, and the heap angle is large then the universal flange is needed to adjust the horn angle to aim the charge level. (Due to the inclination of the solid surface it will cause the echo decay or even the signal loss problem)



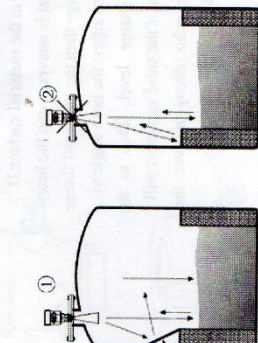
◆ Radar cannot be installed above the tapered tank into the mouth; In outdoor installation, sunshade and rainproof measures should be taken. As shown: ① right ② wrong



• Instrument cannot be installed in the middle of the arch or round tank top. In addition to indirect echo, it will be affected by multiple echoes. The multiple echoes may be larger than the true echo signal threshold, because the top can be concentrated by multiple echoes. It cannot be installed in a central position.



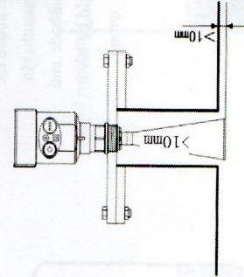
As shown: ① right ② wrong



When the tank obstacles affect the measurement, the baffle-board must be installed for proper measurement.

As shown: ① right ② wrong

To reflect away the obstacle signal



The pipe joint height requirements: it must ensure that the antenna extends into the tank for at least 10mm.

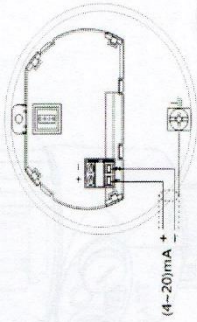
2.2 Electrical Connection

2.2.1 Supply voltage

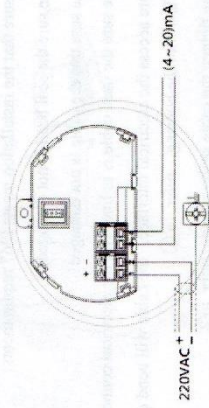
- ◆ (4~20) mA/HART (two-wire) Power supply and output current signals share a two-core shielded cable. Specific supply voltage ranges see technical data. For intrinsically safe power supply, guard grating should be added between supply power and the instrument.
- ◆ (4~20) mA/HART (four-wire) Power supply and current signal is separated by individually using a cable. Specific supply voltage ranges see technical data.
- ◆ RS485/Modbus The supply voltage and Modbus signal line respectively use a shield cable. Specific supply voltage ranges see technical data.

2.2.2 Connection

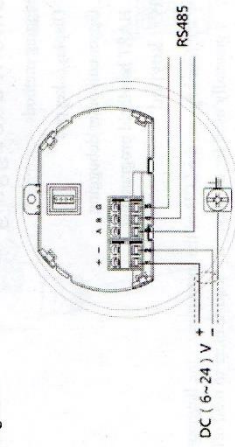
24V two-wire wiring diagram:



220V four-wire wiring diagram:



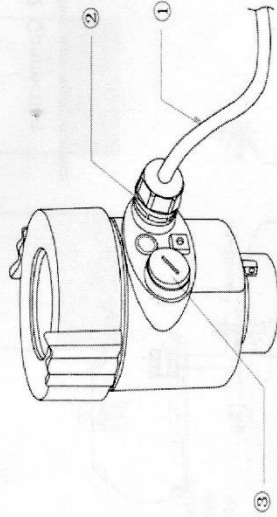
24V RS485/Modbus wiring diagram:



2.2.3 Safety guidance

- ◆ Please comply with local electrical installation regulations requirements!
- ◆ Please abide by local health and safety personnel procedures requirements!
- ◆ All operations on the instrument electrical components must be done by trained professionals!
- ◆ Please check the meter nameplate to ensure that specifications meet your requirements!
- ◆ Make sure that the supply voltage fit the meter nameplate requirement!

The instruments fully meet the requirements of protection class IP66/67; make sure the cable sealing head waterproofness. As shown below:



How to ensure that the installation meets IP67 requirements:

- ◆ Make sure the seal head is not damaged!
- ◆ Make sure that the cable is not damaged!
- ◆ Make sure the used cable is in line with the electrical connection specifications!
- ◆ Before access the electrical interface, the cable will bend down, to ensure that water does not flow into the housing, refer to ①
- ◆ Please tighten the cable sealing head, refer to ②
- ◆ Keep unused electrical interface stopped up with blind block, refer to ③

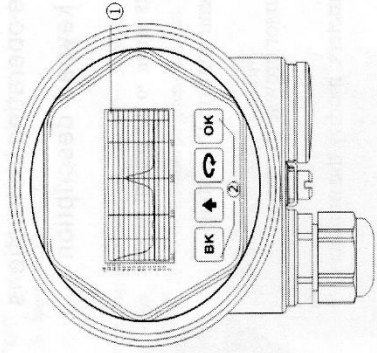
2.3 Instrument debugging

Three debugging method:

- Display/ keypad
- Upper computer debugging
- HART handheld programmer
- ◆ Display/ keypad

To debug by the four keys on the LCD of the instrument, the language is optional; after debugging, it generally used for display. It's quite clear to read off the measured values (refer to instrument keypad setup instructions)

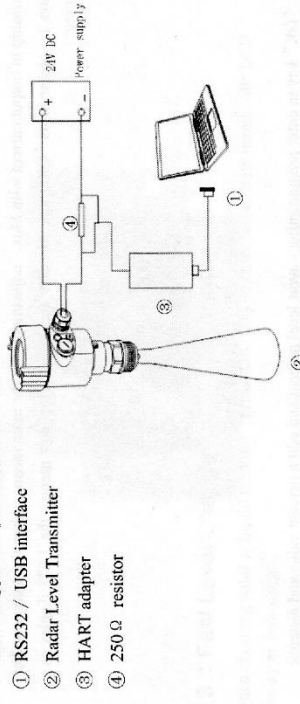
Display/ keypad:



- ① LCD
- ② Keypad

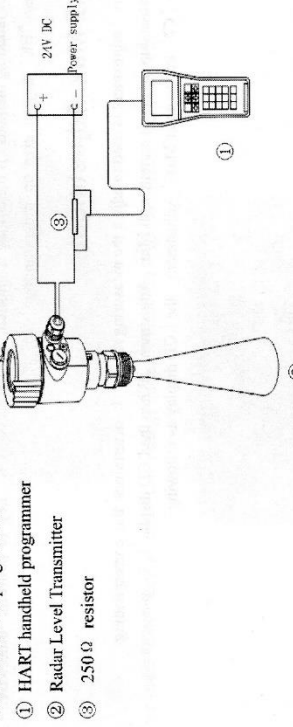
◆ Upper computer debugging

Connect with upper computer by HART



- ① RS232 / USB interface
- ② Radar Level Transmitter
- ③ HART adapter
- ④ 250 Ω resistor

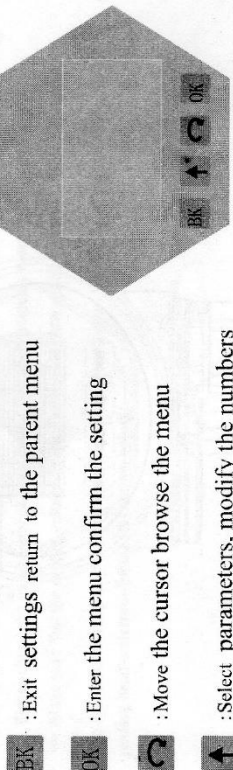
◆ HART handheld programmer



- ① HART handheld programmer
- ② Radar Level Transmitter
- ③ 250 Ω resistor

3 Key set the operating instructions

Interface keypad description



BK :Exit settings return to the parent menu

OK :Enter the menu confirm the setting

↑ :Move the cursor browse the menu

↑ :Select parameters, modify the numbers

4 Operating Instruction

4.1 Min. Adjustment

Min. adjustment is used to adjust the measuring range. It determines the corresponding relationship of output current with Max. adjustment. In the main menu, when the menu number displays 1, please press "OK" key to enter the basic setup sub menu, the LCD display as following:



Press "OK" key to enter programming lowest level percent and edit a percent value and distance according to the above characters or digital parameters in the parameter edit method of programming methods. If the editing is finished, please press "OK" key to confirm, otherwise, press "BK" key to give up programming.

4.2 Max. Adjustment

Max. adjustment is used to adjust the measuring range. It determines the corresponding relationship of output current with Min. Adjustment. When the LCD display 1.1, please press the "OK" key to enter Max. Adjustment, the LCD display as following:



At this time, please press "OK" key to edit the Max. Adjustment, press "OK" key to choose character position, and press "↑" key to edit number.

4.3 Medium

Medium menu is used to choose solid, liquid or micro DK, to further determine the other material natures which can affect the measurement.

When the LCD display 1.2, press "OK" key to the medium programming, the LCD display as following:



At this time, press "OK" key to edit the medium, press "OK" key to choose medium and press "OK" key to confirm.

Press "BK" key to quit and back to previous



4.3.1 Fast Level Change

When choosing solid or liquid medium, press "OK" key to enter fast change menu, the LCD display as following:

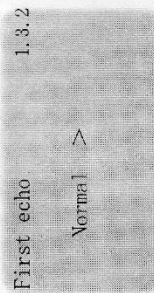


Then press "OK" key to enter fast change menu, press "OK" key to choose "Yes" or "No":

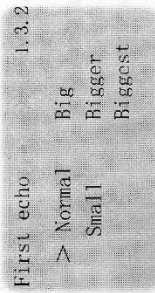


4.3.2 First echo

When choosing solid or liquid medium, the LCD menu display 1.3.1, press "OK" key to choose the next menu, enter first echo selection menu, the LCD display as following:



Then press "OK" to enter first echo selection menu, the LCD display as following:

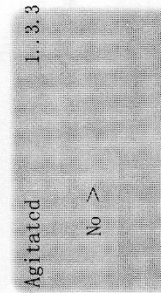


Press "OK" key to choose the first echo processing with following ways:

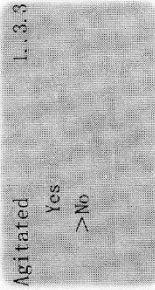
- ◆ Normal: without processing the head wave range (Default value)
- ◆ Small: the first echo weakens 10dB
- ◆ Big: the first echo range enhances 10dB
- ◆ Bigger: the first echo range enhances 20dB
- ◆ Biggest: the first echo range enhances 40dB

4.3.3 (Liquid) Agitated Surface

When the material is liquid and the LCD menu display 1.3.2, press "OK" key to choose the next menu, enter agitated surface menu, the LCD display as following:

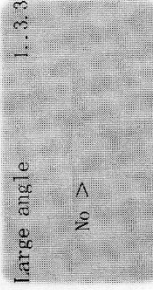


Then press "OK" key to enter agitated surface menu, the LCD display as following:



4.3.4 (Solid) large angle repose

When the medium is solid and the LCD menu display 1.3.2, press "OK" key to choose the next menu, enter large angle repose menu, the LCD display as following:



Then press "OK" key to enter large angle repose menu, the LCD display as following:

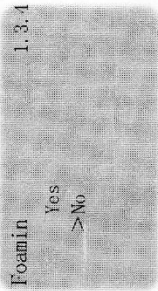


4.3.5 (Liquid) Foaming

When the LCD menu display 1.3.3, press "OK" key to choose the next menu, enter liquid foaming menu, the LCD display as following:

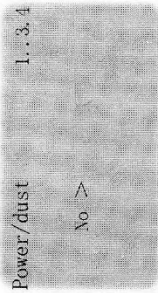


Then press "OK" key to enter liquid foaming menu, the LCD display as following:

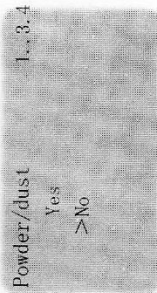


4.3.6 (Solid) Powder/ Dust

When the LCD menu display 1. 3. 3, press "OK" key to choose the next menu, enter powder/ dust selection menu, the LCD display as following:

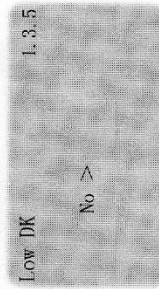


Then press "OK" key to enter powder/ dust selection menu, the LCD display as following:

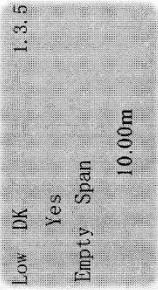
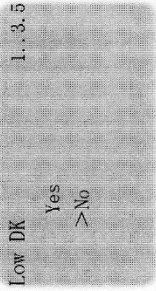


4.3.7 Low DK

When the LCD display 1. 3. 4, press "OK" key to enter DK value adjusting and setup menu, the LCD display as following:

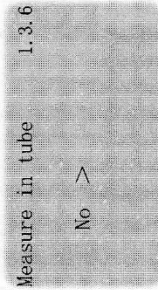


Then press "OK" key to enter DK value adjusting and setup menu, the LCD display as following:



4.3.8 (Liquid) Guided Wave Tube Setting

When the LCD menu display 1. 3. 5, press "OK" key to enter guided wave tube setup menu, the LCD display as following:



Then press "OK" key to enter guided wave tube measure selection menu, the LCD display as following:



Press "OK" key to choose "Yes", then press "OK" key to enter diameter of guided wave tube setup menu, the LCD display as following:

Measure in tube
1. 3. 6
Tube diamet
0000 mm

Note: guided wave tube setup is valid only if there is a guided wave tube.

4.3.9 Micro DK

When the medium is micro DK, press "OK" key to enter micro DK setup menu, the LCD display as following:

Micro DK setup
1. 3. 1
Empty Span 10.00m
True Level 0.00m
DK 1.00
0.000 m(4)

Usually it used for less than 1.4 dielectric constant when the medium is micro DK, the direct echo of medium surface is very weak, or can not be measured, but the medium level can be measured by tank bottom reflection. The following two parameters need to be input: 1. Empty span, it's the empty height of empty tank or container. 2. True level or dielectric constant of the medium under measure. Input one of the two parameters is enough. The accuracy of the above parameters directly affects the precision of the measurement result. "Micro DK" needs to be selected carefully, it's inappropriate for most measurement. When "Micro DK" is selected, the system will estimate to get measuring result by directly echo way or bottom reflection way according to the echo situation.

4.4 Damping

When the LCD menu display 1.3, press "OK" key to enter damping setup menu, the LCD display as following:

Damping
1. 4
6s

Press "OK" key to enter parameter editing condition, use "OK" key to choose editing number bits, use "▲" key to set number.

4.5 Mapping Curve

Mapping curve is used in choosing non-linear output map or linear map which has set by host computer. When the LCD menu display 1.4, press "OK" key to enter output maps editing menu, the LCD display as following:

Mapping curve
1. 10
Linear >

Press "OK" key to enter parameter editing condition, use "OK" key to choose linear or other optional map modes, such as linear, cone. Press "OK" key to confirm after editing. When choosing linear output maps, it is used to select different display unit.

4.6 Scaled Units

When the LCD menu display 1.5, press "OK" key to enter scaled units setting menu, the LCD display as following:

Scaled units
1. 6
Height >
m >

Press "OK" key to enter parameter editing condition, use "OK" key to select different dimensions. Press "OK" key to confirm, and further select corresponding display unit, then press "OK" key to confirm.

4.7 Scaling

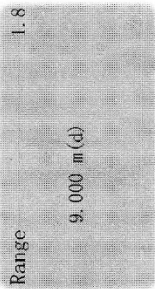
When the LCD menu displays 1.6, press "OK" key to enter scaling setup menu, the LCD displays as following:

Scaling
1. 7
0%=
0.00
100%=
0.00
m
m

Press "OK" key, parameter domain black, use "OK" key to set the decimal point position, then press "OK" key to confirm; 0% corresponding parameter domain black, use "▲" and "OK" key to set parameters, then press "OK" key to confirm. Set the 100% corresponding value by the same way.

4.8 Range

In order to get the correct measurements, it is necessary to setup the measuring range of the instrument. When the LCD menu display 1.7, press "OK" key to enter measuring range setup menu, the LCD display as following:



4.9 Near Blanking

The near blanking setting functions can be used to avoid measurement error if some fixed obstacles exist near the sensor surface, and the highest medium level will not reach the obstacles.

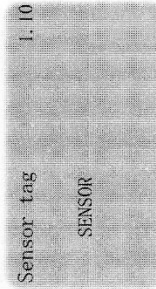
When the LCD menu display 1.8, press **OK** key to enter near blanking setup menu, the LCD display as following:



Use **OK** key to enter, press **Left** and **OK** key to setup parameters, and then press **OK** key to confirm.

4.10 Sensor Tag

When the LCD menu display 1.9, press **OK** key to remove the menu to sensor tag display item, the LCD display as following:



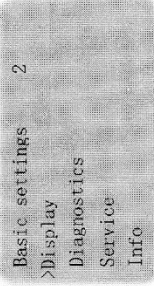
Press **OK** key to enter parameter editing condition, then press **OK** to confirm after edit.

Above is the content of the basic setup menu!

5 Display

This function is used for display programming.

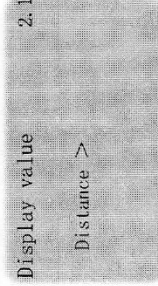
When the LCD display the main menu, press **OK** key and move the arrow to display items, the LCD display as following:



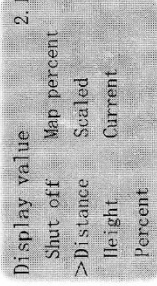
Press **OK** key to enter display mode programming and then press **OK** key to choose the desired item.

5.1 Display Value

Enter the display mode programming, the LCD display as following:



Said that the parameter of current display value is empty span, which is the measured empty span value the instrument shows. Press **OK** key to enter editing condition, the LCD display as following:



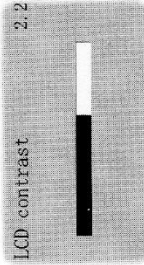
Move **OK** key to required parameter, press **OK** to confirm. Press **Left** key to exit and return to previous menu after edit.

5.2 LCD Contrast

When the LCD menu display 2.1, press **OK** key to enter LCD contrast adjustment, it displays as

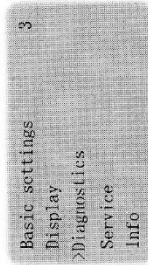


Press "OK" key to enter adjustment condition



Use "▲" and "▼" key to increase or decrease the contrast, then press "OK" key to confirm and save the result.

5.3 Diagnostics



Diagnostic function is used in test and system debugging the working status of the instrument and its components.

5.3.1 Peak Value Measurement

Peak value is shown as empty height peak value in the process of measurement; this parameter can be eliminated by 4.4 reset item of the service menu. When the LCD display the main menu, press "OK" key to move the arrow to the diagnostic item.



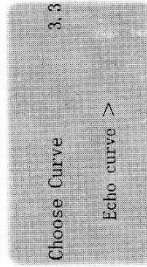
5.3.2 Measuring Status

When the LCD menu display 3.1, press "OK" key to enter next diagnostic measuring status, the sensor working status displays as following:

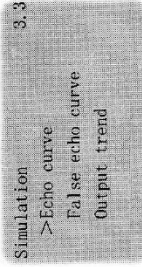


5.3.3 Choose Curve

When the LCD menu display 3.2, press "OK" key to enter echo curve display function, the LCD display as following:



If other curve is needed, press "OK" key to enter curve selection menu, the LCD display as following:



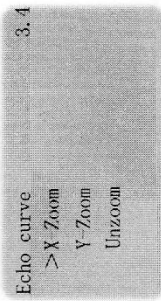
Press "OK" key to move the arrow to the curve needed, then press "OK" key to confirm.

3.4 Echo Curve

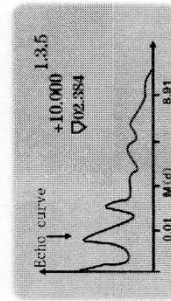
When the LCD menu display 3.3, press **↶** key, the LCD display the selected curve.

▶ Output Trend

Output trend function is used for magnify curve on time line and range to observe more clearly. When the LCD display curve, press **OK** key to enter output trend editing menu, the LCD display as following:



Press **↶** key to choose zoom direction or without zoom, the press **OK** key to confirm, the LCD display as following:



When choosing X-zoom, press **↶** key to move to the desired position, then press **OK** key to confirm; At this time, the selected curve is amplified to full screen, then press **BK** key to exit curve display.

5.3.5 Simulation

Simulation function is simulation data of 4~20mA current, it's used to inspect the current output function of the instrument is normal or not. It's also used in system debugging. When the LCD menu display 3.4, press **↶** key to enter simulation condition, the LCD display as following:



Press **OK** key to confirm emulation function, the LCD display as following:



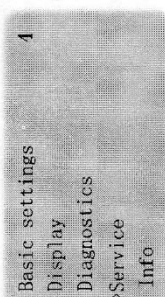
Press **↶** key to choose the mapping way of current output, then press **OK** key to confirm. Enter the corresponding Settings menu, press **OK** key to confirm after numerical value setting. At this time, the setting of the corresponding output current of the current value.

Note: description of three alternative menu items:

- ◆ Percent: output current according to the specified percent. For instance, 100% corresponds to 20mA output, 0% corresponds to 4mA output.
- ◆ Current: output current according to the specified current. For instance, 16.6mA corresponds to 16.6mA output.
- ◆ Distance: output current according to the specified empty height. (The corresponding relation of the value and current value is determined by 1.1 low position setting, 1.2 high position setting and 1.5 output mapping)

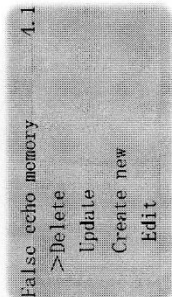
5.4 Service

Service menu contains Service menu contains functions, for the use of trained personnel. Mainly contain false echoes study, time-varying gain control, reset and save the instrument parameters, etc. When the LCD display main menu, press **↶** key to move the arrow to service item, it displays as following:

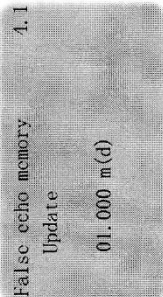


.4.1 False Echo Memory

When some fixed obstacles exist in the measuring range, the function of learning false echo memory is used to overcome the influence. When the LCD display main menu 4, press "C" to enter service item, it display as following:



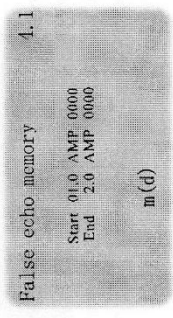
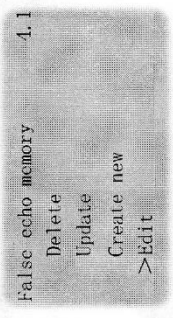
If update/create false echo curve is needed, press "C" key to move the arrow to desired item, then press "OK" key to confirm, the LCD display as following:



Input the real echo distance value prompted, then press "OK" key to confirm. The LCD display "please wait", the instruments start false echo learning, and then return to false echo learning menu. (note: the distinction of update and create new false echo is: the false echo curve will be reset after the real echo when create; but it remains after the real echo when update.)

If the false echo curve editing is needed, press "C" key to move the arrow to desired item, and press "OK" key to confirm. This function can edit or modify the established false echo to meet the requirements of special conditions. The LCD display as following after entering false echo editing.

Note: this menu needs to be operated by professional personnel. !



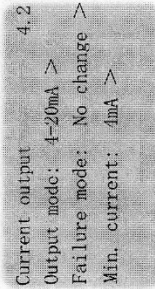
Curve editing take two points, initial point and end point as position coordinate of the desired editing curve each time. Followed by the corresponding amplitude value is to be modified (note: When the distance coordinate input or modified, followed by the corresponding amplitude will automatically update according to the current saved data, as reference of the amplitude modifying); after finished the two coordinate modifying, press "OK" key to confirm the change; the instrument will automatically together the two input points into a straight line and generate a new false echo curve, to replace the original curve. After press "OK" key to confirm, the interface will display the modified false echo curve for reference, and then press "BK" key can return to the above editing interface to continue editing. When confirm the false echo editing meets the working condition requirements, press "BK" key again to quit the false echo the edit menu. The LCD display as following:



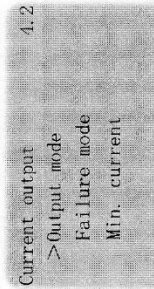
Press "OK" key to save the above modification, press "BK" key to quit.

Current Output

Setup is used to select current output mode. When the LCD display main menu 4.1, press "F" key and the LCD display as following:



Press "OK" key



Output Mode

Output Mode is used to select 4-20mA or 20-4mA; 4-20mA indicates that the low material level corresponds to 4mA, high material level corresponds to 20mA; 20-4mA indicates that the low material level corresponds 20mA, high material level corresponds 4mA. When the LCD display current output selection menu 4.2, press "C" key to move the arrow to the output mode and press "OK" key to confirm. The display as following:



Failure Mode

Press "C" key to choose the desired setup and press "OK" key to confirm. Failure mode is used to select when a fault alarm, output current is not changed, output 20.5mA, 22mA or <3.8mA. When the LCD display current output selection menu 4.2, press "OK" key to move the arrow the arrow to the fault mode and press "C" key to confirm. The LCD display as following:



Press "C" key to choose the desired setup and press "OK" key to confirm.

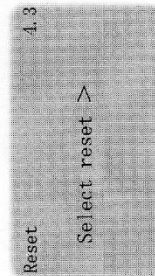
Minimum Current

Minimum current is used to select output minimum electric injection as 4mA or 3.8mA. When the LCD display current output selection menu 4.2, press "OK" key to move the arrow to the minimum current and press "OK" key to confirm. The LCD display as following:



5.4.3 Reset

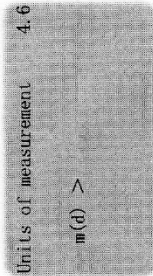
Reset function is used to reset the instrument parameters. There are four reset functions: basic setup, factory setup, measured peak value and cumulative flow. Basic setup is a basic set of the instrument parameters restore to factory default Setup: the measured peak value reset is to reset the cumulative flow when the instrument is used for open-channel meter. When the LCD display current output (menu 4.2), press "OK" key to enter reset function, it display as following



Press "OK" key to enter reset selection menu to select the corresponding reset function.

5.4.4 Unit of Measurement

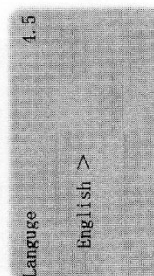
Measurement unit provide user metric or inch. When the LCD displays reset menu (menu 4.3), press "OK" key to enter measurement unit setup menu, it display as following:



Press "OK" key to enter measurement unit selection menu to choose the corresponding unit.

5.4.5 Language

There are four languages selection function for user, as Chinese, English, French and Italian. When the LCD display measurement unit (menu 4.5), press "OK" key to enter language setup function, it display as following:



Press "OK" key to enter language selection menu to choose the desired language

5.4.6 HART Operation Mode

When two or more instruments are connected to upper computer by HART communication interface, this function is needed to set the instruments to multidrop working mode. When the LCD display measurement unit (menu 4.5), press "OK" key to enter HART operation mode, it display as following:

```
HART operation mode 4.6
Standard
Address 0
```

Press "OK" key to enter HART operation mode step menu, the LCD display as following:

```
HART operation mode 4.6
>Standard
>Multidrop
```

Press "OK" key to choose standard and multidrop operation mode. Then computer address is specified as 0 when choosing standard working mode. When choosing HART working mode as multidrop, it display as following:

```
HART operation mode 4.6
Address 0
Current 4mA
```

The address can be changed to 1~15, working current 4mA and 8mA optional, press "OK" key to confirm.

5.4.7 Copy Sensor Date

Copy sensor data contains two sub-menus, copy from the sensor and copy to the sensor. This function is used to protect the instrument parameters. When the instrument parameters are set according to the working conditions, copy from sensor function can be used to protect the set parameters. Copy to sensor function can be used to recover the parameters if they were changed unexpectedly. When the LCD display HART working mode menu (menu 4.6), press "OK" key to enter sensor data copying function, it display as following:

```
Copy Sensor Date 4.7
Copy Sensor Date?
```

Then press "OK" key:

```
Copy Sensor Date 4.7
>Copy from sensor
Copy to sensor
```

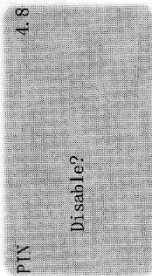
Press "OK" key to choose the menu, press "OK" key to confirm and perform the functions.

5.4.8 Pin

The PIN is used to protect instrument parameters. When start the PIN function, the PIN needs to be input when change any instrument parameters. When input the correct PIN, the PIN protection function period is canceled, and the instrument parameters can be modified. When the LCD display copy the sensor data menu, press "OK" key to enter the PIN function.

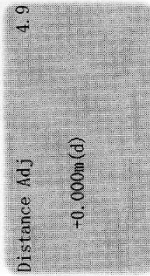


Or



5.4.9 Distance Adjustment

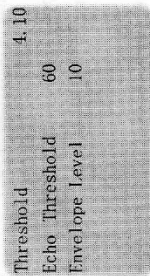
Distance adjustment setting is used to modify the error measurement value of instrument to the difference of the actual distance and display. When the LCD display the menu number as 4.8, press "OK" key to enter distance adjustment setting menu, it display as following



Note: this menu needs to be operated by professional personnel !

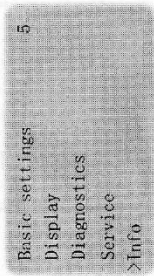
5.4.10 Threshold Setting

Threshold setting can setup the threshold magnitude of effective echo. The greater of the threshold setup, stronger of the effective echo amplitude on site is required, and then it's more beneficial to eliminate small signal noise interference. But must pay attention to: if the modified threshold is greater than the effective echo amplitude, it will cause the result of misunderstanding wave. This menu contains echo threshold and envelope level, the default range of echo threshold is 60mv, and the default range of envelope level is 10mv.

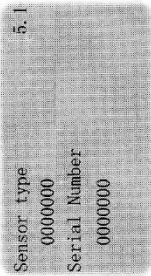


5.5 Info

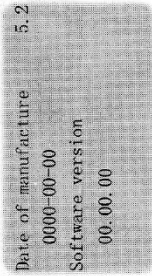
Info menu contains all the basic information of the instrument production, such as Serial NO., production date, software version, etc. When the LCD display main menu, press "OK" key to move the arrow to information item, the LCD display as following:



Press "OK" key to choose information display function, the LCD display as following:



Then press "OK" key, it display as following:



6 Radar Common Troubleshooting Methods

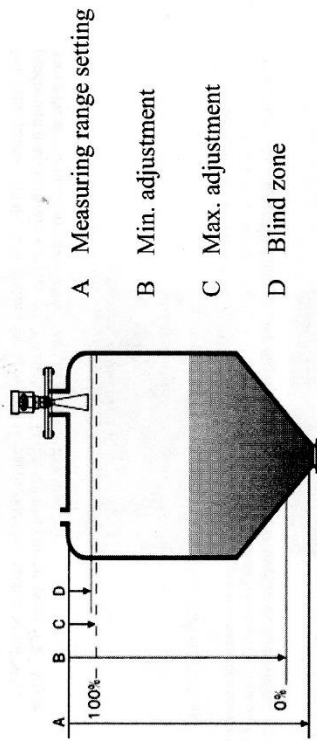
6.1 The sensor is No-display or Restart.

6.1.1 To confirm if the supply power of radar is in conformity with the operating power, and check if the connection is good. If the power supply is lower than the rated voltage range of radar, it may lead to no-display on radar header or continually restart; Conversely, the radar header may be burned out

6.1.2 To confirm if the programmer unit is in good connect with radar. If not, there is no-display on the programmer unit.

6.2 Error code E14

6.2.1 To confirm if the measuring range of material level is in conformity with the setting range radar



0%: to input 'B Min. adjustment value' (the distance between the reference interface of radar and the lowest point of material level), and then radar's output signal is 4mA.

100%: to input 'C Max. adjustment value' (the distance between the reference interface of radar and the highest point of material level), and then radar's output signal is 20mA.

If the material level is outside the measuring range setting, it may cause a weak echo and display a error code E14.

6.3 To Confirm the installation of radar is

same as the Operating Manual.

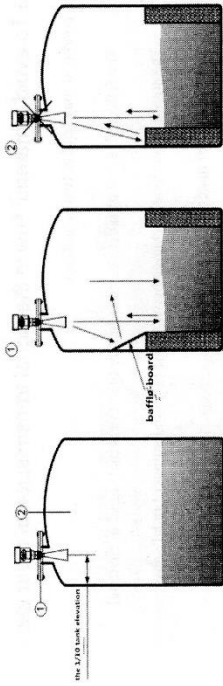


Figure 1

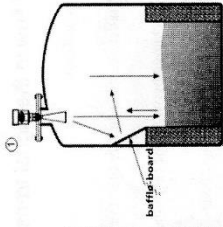


Figure 2

6.3.1 To make sure if the radar has a proper distance from tank wall (see the Operating Manual). If not, it may affect the shape of the front echo curve and measured value. (Figure 1)

6.3.2 To avoid a obvious obstacle at the bottom of the radar probe, which prevents the probe wave from reaching the surface of the measured medium. (Figure 2)

The obstacle can produce some interference signal, which leads to two conditions:

- The output measured value to be higher than the actual material level;
- The measured value is continually change between the output measured value and the actual material level.

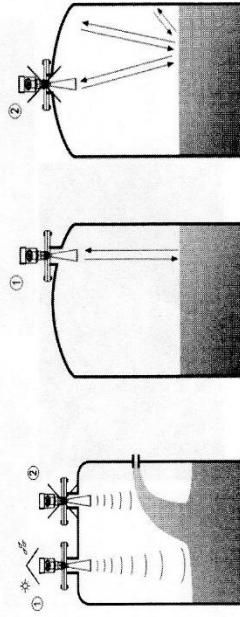


Figure 3

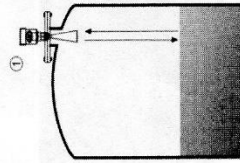


Figure 4

6.3.3 To avoid a material flow in the signal transmission of radar sensor

This condition may lead to two conditions:

- a. The reflected signal of radar sensor is higher than the actual signal of material
- b. The signal is continually change between the reflected signal of radar sensor and the actual signal of material level. (Figure 3)

6.3.4 To avoid the radar sensor installed in the center of vaulted tank and rounded jar.

This condition may cause the echo curve to be disordered and the output value is wrong. (Figure 4)

6.4 To confirm a correct 4~20mA current signal to be read by control room

The current signal to be read by control room must be consistent with the setting parameter of radar sensor. Otherwise, it is inconsistent.

Note: The high limit of control room the measuring range of radar sensor—its high point value

6.5 The recognition and debugging of echo curve

6.5.1 The recognition of echo curve

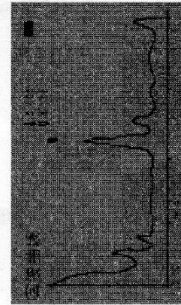


Figure 5

Figure 5 is a pulse radar wave chart and a reference picture of tank.

X axis: a distance axis based on the measured datum point of radar(a zero point).

Y axis: the amplitude of echo.

The surface of material located at the dotted line of tank produces an echo where has the same distance as X axis, we call it the actual echo. In the wave form, echo that has the same interval as the real echo and decreases in amplitudes is called two or multiple echoes (it is achieved only when the distance is relatively close and the echo is large). The amplitude of the echo is related to the measuring distance and dielectric constant of the measured material(the above picture is reflected echo based on baffle-board). In generally, the closer the distance is, the greater the dielectric constant is, the greater the echo amplitude is.

6.5.2 The interfering wave is in front of the real echo

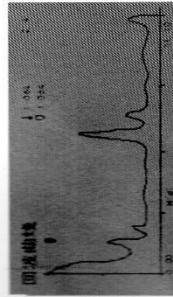


Figure 6

Figure 6 When the interfering wave is in front of the real echo, the arrow couldn't indicate the actual crest position.

Figure7 To make the echo display its real point, you can refer to the illustration of false echo in its operation instruction.