



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
PEDRO RUIZ GALLO**

**FACULTAD DE CIENCIAS FISICAS Y  
MATEMATICAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA  
ELECTRONICA**



**“DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO DE SUPERVISIÓN  
Y CONTROL PARA EL BANCO DE CELDAS DE FLOTACIÓN  
DE ZINC EN VOLCAN COMPAÑÍA MINERA S.A.A. DE LA  
PLANTA PARAGSHA – PASCO”**

**TESIS**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL  
DE INGENIERO(A) ELECTRÓNICO(A)**

**AUTORES**

**Bach. IDROGO BUSTAMANTE WILLIAM**

**Bach. QUISPE ESTELA KATERINE ANGELICA**

**ASESOR:**

**Mg. Ing. OSCAR UCHELLY ROMERO CORTEZ**

**LAMBAYEQUE – PERÚ  
2019**



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
PEDRO RUIZ GALLO**

**FACULTAD DE CIENCIAS FISICAS Y  
MATEMATICAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA  
ELECTRONICA**



**“DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO DE SUPERVISIÓN Y  
CONTROL PARA EL BANCO DE CELDAS DE FLOTACIÓN DE ZINC  
EN VOLCAN COMPAÑÍA MINERA S.A.A. DE LA PLANTA PARAGSHA  
– PASCO”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL  
DE INGENIERO (A) ELECTRÓNICO (A)**

**AUTORES**

---

**Bach. IDROGO BUSTAMANTE WILLIAM**

---

**Bach. QUISPE ESTELA KATERINE ANGELICA**

**ASESOR:**

---

**Mg. Ing. OSCAR OCHELLY ROMERO CORTEZ**



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
PEDRO RUIZ GALLO**

**FACULTAD DE CIENCIAS FISICAS Y  
MATEMATICAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA  
ELECTRONICA**



**“DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO DE SUPERVISIÓN Y  
CONTROL PARA EL BANCO DE CELDAS DE FLOTACIÓN DE ZINC  
EN VOLCAN COMPAÑÍA MINERA S.A.A. DE LA PLANTA PARAGSHA  
– PASCO”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL  
DE INGENIERO(A) ELECTRÓNICO (A)**

**APROBADO POR EL SIGUIENTE JURADO:**

**Ing. SEGUNDO FRANCISCO SEGURA ALTAMIRANO  
PRESIDENTE**

**Mg. Ing. MARTÍN AUGUSTO NOMBERA LOSSIO  
SECRETARIO**

**Ing. CARLOS LEONARDO OBLITAS VERA  
VOCAL**

## AGRADECIMIENTO

**Q**uisiera expresar mi más profundo agradecimiento primeramente a Dios por guiarme a lo largo de mi vida, ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y de debilidad.

Gracias a mis padres y hermanos, por confiar y creer en mis expectativas, por los consejos, valores y principios que me han inculcado.

Agradezco a los docentes de la Escuela de Ingeniería Electrónica por haber compartido sus conocimientos a lo largo de mi preparación profesional, de manera particular, al ing. Oscar Romero Cortez por su orientación en el desarrollo de la presente tesis.

Idrogo Bustamante William  
Bachiller en Ingeniería Electrónica  
Lambayeque 2019

**E**n estas líneas quiero agradecer primero a Dios por ser mi guía en mí día a día, brindándome buen juicio y madurez en mis decisiones y culminar con éxito mis metas propuestas.

A mi familia por ser mi pilar fundamental, por el cariño brindado y por su apoyo incondicional en todo lo que me propongo.

Agradezco al ing. Oscar Romero Cortez por su orientación en el desarrollo de la presente tesis y a todos los docentes que con su conocimiento y apoyo, motivaron a desarrollarme como persona y profesional en la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

Quispe Estela Katherine Angélica  
Bachiller en Ingeniería Electrónica  
Lambayeque 2019

## DEDICATORIA

**E**l presente trabajo investigativo lo dedico principalmente a Dios, por ser el inspirador y darme la fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados.

A mis padres José e Irma, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes eh logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy.

A mis hermanos José, Wilmer y Abner por estar siempre presentes, acompañándome y por el apoyo moral, que me brindan siempre.

Idrogo Bustamante William  
Bachiller en Ingeniería Electrónica  
Lambayeque 2019

## DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada a mis padres Wilson y Rosa quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir mis sueños, gracias por inculcarme el ejemplo de esfuerzo y fortaleza, de no temer a las adversidades porque Dios está conmigo siempre.

A mis hermanos Juan, David, Bayron y Carmen por su cariño y apoyo incondicional, por estar conmigo en todo momento. A toda mi familia porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hacen de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañan en todos mis sueños y metas.

Finalmente quiero dedicar esta tesis a mis amigos, por apoyarme cuando más los necesito, por extender su mano en momentos difíciles y por el amor brindado cada día, siempre los llevo en mi corazón.

Quispe Estela Katherine Angélica  
Bachiller en Ingeniería Electrónica  
Lambayeque 2019

## RESUMEN

**E**l presente proyecto propone el diseñar un sistema automático de supervisión y control para el banco de celdas de flotación de zinc en Volcan Compañía Minera S.A.A. de la Planta Paragsha – Pasco. Utilizando el P&ID elaboramos el diagrama de flujo del proceso y el diagrama de instrumentación basado en las norma ISA indicando la codificación de los lazos de control, luego procedemos a realizar el escalamiento de las señales de entrada analógica pertenecientes al sensor transmisor de nivel y el sensor transmisor de pH, implementamos el diagrama de escalera para el PLC M340 habiendo identificado antes todas nuestras variables de entrada y salida tanto analógicas como digitales, posteriormente programamos el HMI en Vijeo Design obteniendo la interfaz gráfica para el control del proceso. Haciendo uso del Autocad presentamos la propuesta del diagrama unifilar, los diagramas de interconexión de todos los componentes del sistema y el diseño de los tableros de control principal y remoto a implementar. Finalmente realizamos la selección de instrumentación y equipamiento existentes en el mercado, se hace un cálculo de los costos totales es decir implementación y puesta de funcionamiento del sistema y la justificación económica de la instalación.

## ABSTRACT

**T**his project proposes to design an automatic supervision and control system for the zinc flotation cell bank in Volcan Compañía Minera S.A.A. of the Paragsha - Pasco Plant. Using the P&ID we elaborate the process flow diagram and the instrumentation diagram based on the ISA standards indicating the coding of the control loops, then we proceed to scale the analog input signals belonging to the level transmitter sensor and the sensor pH transmitter, we implemented the ladder diagram for the M340 PLC having identified all our analog and digital input and output variables before, then we programmed the HMI in Vijeo Design obtaining the graphical interface for process control. Using Autocad we present the proposal of the single-line diagram, the interconnection diagrams of all system components and the design of the main and remote control panels to be implemented. Finally, we carry out the selection of existing instrumentation and equipment in the market, a calculation of the total costs is made, that is, implementation and operation of the system and the economic justification of the installation.

# INDICE

AGRADECIMIENTO .....	I
DEDICATORIA .....	II
DEDICATORIA .....	III
RESUMEN .....	IV
ABSTRACT .....	V
INTRODUCCION .....	1
1. ASPECTO DE LA INVESTIGACION .....	4
1.1. ASPECTO INFORMATIVO .....	4
1.1.1. Título .....	4
1.1.2. Autores .....	4
1.1.3. Asesor .....	4
1.1.4. Línea de Investigación .....	4
1.1.5. Lugar .....	4
1.2. ASPECTOS DE LA INVESTIGACIÓN .....	5
1.2.1. Síntesis de la situación problemática .....	5
1.2.2. Formulación del Problema de la Investigación .....	5
1.2.3. Justificación .....	6
1.2.4. Objetivos .....	7
1.2.5. Hipótesis .....	8
1.2.6. Antecedentes .....	8
2. BASE TEÓRICA .....	13
2.1. CONTROL AUTOMÁTICO DE PROCESOS .....	13
2.1.1. Sistema de Control .....	13
2.1.2. Estrategia de Control .....	14
2.1.3. Componentes del Sistema de Control .....	16
2.1.4. Diagramas de Instrumentación .....	37
2.2. PROCESOS DE FLOTACIÓN DE MINERALES .....	42
2.2.1. Flotación de Minerales .....	42
2.2.2. Celdas de Flotación .....	46
2.2.3. Recuperación Global vs Nivel (Profundidad de Espuma) .....	48

<b>3. DISEÑO DEL SISTEMA .....</b>	<b>51</b>
<b>3.1. PFD (Diagrama de Flujo de Procesos).....</b>	<b>51</b>
<b>3.2. DISEÑO DEL P&amp;ID (Diagrama de Instrumentación y Tuberías).....</b>	<b>52</b>
<b>3.3. ESCALAMIENTO DE SEÑALES DE ENTRADA ANALÓGICA .....</b>	<b>53</b>
<b>3.3.1. Sensor- Transmisor de Nivel 1400-LIT-101 .....</b>	<b>53</b>
<b>3.3.2. Sensor Transmisor de pH 1400-AIT-102.....</b>	<b>54</b>
<b>3.4. DESARROLLO DE ALGORITMOS DE CONTROL .....</b>	<b>56</b>
<b>3.4.1. Configuración del PLC 1400-PLC-1001 en UNITY XL .....</b>	<b>56</b>
<b>3.4.2. Direccionamiento de Entradas y Salidas del PLC .....</b>	<b>57</b>
<b>3.4.3. Direccionamiento de Memorias del PLC.....</b>	<b>60</b>
<b>3.4.4. Programa del PLC, en Lenguaje LADDER .....</b>	<b>61</b>
<b>3.4.5. Interfaz Gráfica del HMI .....</b>	<b>62</b>
<b>3.5. DISEÑOS DE PLANOS .....</b>	<b>63</b>
<b>3.5.1. Arquitectura de Control .....</b>	<b>63</b>
<b>3.5.2. Diagramas de Lazo.....</b>	<b>64</b>
<b>3.5.3. Diagrama Unifilar .....</b>	<b>66</b>
<b>3.5.4. Diagramas de Interconexión.....</b>	<b>67</b>
<b>3.5.5. Tablero de Control.....</b>	<b>76</b>
<b>3.5.6. Tablero Remoto.....</b>	<b>77</b>
<b>3.6. LISTA DE INSTRUMENTOS .....</b>	<b>78</b>
<b>3.7. ESPECIFICACIÓN DE LOS INSTRUMENTOS.....</b>	<b>78</b>
<b>3.7.1. Sensor/ Indicador/ Transmisor de pH .....</b>	<b>78</b>
<b>3.7.2. Lazo de Control de Nivel .....</b>	<b>81</b>
<b>3.8. ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA DE CONTROL .....</b>	<b>84</b>
<b>3.8.1. Dimensionamiento del PLC 1400-PLC-1001.....</b>	<b>84</b>
<b>4. COSTO/ BENEFICIO .....</b>	<b>93</b>
<b>4.1. COSTOS DE HARDWARE .....</b>	<b>93</b>
<b>4.1.1. Costos de Instrumentación .....</b>	<b>93</b>
<b>4.1.2. Costos de Sistema de Control .....</b>	<b>94</b>
<b>4.2. COSTOS DE SOFTWARE .....</b>	<b>95</b>
<b>4.3. COSTOS DE INGENIERÍA .....</b>	<b>96</b>
<b>4.4. COSTOS DE INSTALACIÓN.....</b>	<b>96</b>
<b>4.5. COSTOS DE CAPACITACIÓN.....</b>	<b>96</b>

<b>4.6. JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA.....</b>	<b>97</b>
<b>5.1. CONCLUSIONES.....</b>	<b>100</b>
<b>5.2. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>101</b>
<b>6.1. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>103</b>
<b>6.2. REFERENCIAS WEBGRÁFICAS .....</b>	<b>103</b>

## INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Esquema General de un Sistema.....</i>	<i>13</i>
<i>Figura 2. Esquema general de un Sistema de Control .....</i>	<i>14</i>
<i>Figura 3. Control Lazo Abierto .....</i>	<i>15</i>
<i>Figura 4. Control Lazo Cerrado.....</i>	<i>16</i>
<i>Figura 5. Señal de dos sensores de presión, a) sensor lineal, b) sensor no-lineal. ....</i>	<i>19</i>
<i>Figura 6. Tanques Abiertos.....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 7. Distancia Mínima Hasta la Altura Máxima de Llenado.....</i>	<i>23</i>
<i>Figura 8. Montaje en Depósito con tapa .....</i>	<i>23</i>
<i>Figura 9. Conexión de Sensor a 2 Hilos .....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 10. Montaje de Posicionador a una Válvula.....</i>	<i>26</i>
<i>Figura 11. Señales Digitales Binarias .....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 12. Entrada común positivo .....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 13. Contacto de salida relé.....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 14. Contacto de Salida común positivo .....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 15. Señal de 4-20 mA .....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 16. Montaje de Módulos de PLC.....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 17. Fases de Flotación.....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 18. Separación Selectiva.....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 19. Espuma .....</i>	<i>45</i>
<i>Figura 20. Banco de Celda de Flotación .....</i>	<i>47</i>
<i>Figura 21. Celda de Flotación Paragsha .....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 22. Celda de Flotación .....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 23. 1400-PFD-1001.....</i>	<i>51</i>
<i>Figura 24. 1400-PID-1001 .....</i>	<i>52</i>
<i>Figura 25. Nivel vs Escalamiento de Canal Analógico .....</i>	<i>53</i>
<i>Figura 26. pH vs Escalamiento de Canal Analógico.....</i>	<i>55</i>
<i>Figura 27. Configuración del PLC 1400-PLC-1001.....</i>	<i>56</i>
<i>Figura 28. Configuración del PLC 1400-PLC-101 Monitoreo de pH .....</i>	<i>61</i>
<i>Figura 29. Configuración del PLC 1400-PLC-101 Control de Nivel .....</i>	<i>61</i>
<i>Figura 30. Pantalla Principal del HMI .....</i>	<i>62</i>
<i>Figura 31. 1400-AC-1001.....</i>	<i>63</i>
<i>Figura 32. 1400-DL-1001.....</i>	<i>64</i>
<i>Figura 33. 1400-DL-1002.....</i>	<i>65</i>
<i>Figura 34. 1400-DU-1001.....</i>	<i>66</i>
<i>Figura 35. 1400-IN-1001 .....</i>	<i>67</i>
<i>Figura 36. 1400-IN-1002.....</i>	<i>68</i>
<i>Figura 37. 1400-IN-1003 .....</i>	<i>69</i>
<i>Figura 38. 1400-IN-1004.....</i>	<i>70</i>
<i>Figura 39. 1400-IN-1005 .....</i>	<i>71</i>
<i>Figura 40. 1400-IN-1006.....</i>	<i>72</i>

<b>Figura 41. 1400-IN-1007 .....</b>	<b>73</b>
<b>Figura 42. 1400-IN-1008 .....</b>	<b>74</b>
<b>Figura 43. 1400-IN-1009 .....</b>	<b>75</b>
<b>Figura 44. 1400-TC-1001.....</b>	<b>76</b>
<b>Figura 45. 1400-TR-100.....</b>	<b>77</b>
<b>Figura 46. Sensor/ Transmisor Indicador de pH .....</b>	<b>80</b>
<b>Figura 47. Sensor/ Transmisor Indicador de Nivel VegaSon 61 .....</b>	<b>81</b>
<b>Figura 48. Posicionador Digital Logix 510si.....</b>	<b>82</b>
<b>Figura 49. Actuador VALTEK.....</b>	<b>83</b>
<b>Figura 50. Fuente BMXCPS2000 .....</b>	<b>84</b>
<b>Figura 51. Rack BMXXBP0800.....</b>	<b>85</b>
<b>Figura 52. CPU BMXP342020 .....</b>	<b>86</b>
<b>Figura 53. Módulo de Entradas Digitales BMXDAI1602 .....</b>	<b>87</b>
<b>Figura 54. Módulo de Salidas Digitales BMXDRA1605.....</b>	<b>88</b>
<b>Figura 55. Módulo de Entradas Analógicas BMXAMI0410.....</b>	<b>89</b>
<b>Figura 56. Módulo de Salidas Analógicas BMXAMO0210.....</b>	<b>90</b>
<b>Figura 57. HMI XBTGT5330.....</b>	<b>91</b>

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Formas de Montaje de Instrumentos</i> .....	38
Tabla 2. <i>Instrumentos con Líneas Punteadas</i> .....	39
Tabla 3. <i>Número de Identificación Típico (número tag)</i> .....	39
Tabla 4. <i>Número de Identificación Expandido</i> .....	40
Tabla 5. <i>Símbolos de Líneas</i> .....	40
Tabla 6. <i>Identificación de Instrumentos</i> .....	41
Tabla 7. <i>Direccionamiento de Entradas Digitales</i> .....	57
Tabla 8. <i>Direccionamiento de Salidas Digitales</i> .....	58
Tabla 9. <i>Direccionamiento de Entradas Analógicas</i> .....	59
Tabla 10. <i>Direccionamiento de Salidas Analógicas</i> .....	59
Tabla 11. <i>Direccionamiento de Memorias</i> .....	60
Tabla 12. <i>Listado de Instrumentos</i> .....	78
Tabla 13. <i>Datos de Proceso</i> .....	78
Tabla 14. <i>Requerimientos Mínimos del Transmisor- Indicador de pH</i> .....	79
Tabla 15. <i>Requerimientos Mínimos del Sensor de pH</i> .....	80
Tabla 16. <i>Requerimientos Mínimos del Sensor/ Transmisor Indicador de Nivel</i> .....	81
Tabla 17. <i>Requerimientos Mínimos del Posicionador Digital</i> .....	82
Tabla 18. <i>Requerimientos Mínimos del Actuador</i> .....	83
Tabla 19. <i>Requerimientos Mínimos de la Fuente del PLC</i> .....	84
Tabla 20. <i>Requerimientos Mínimos del Rack del PLC</i> .....	85
Tabla 21. <i>Requerimientos Mínimos del CPU</i> .....	86
Tabla 22. <i>Requerimientos Mínimos del Módulo de Entradas Digitales</i> .....	87
Tabla 23. <i>Requerimientos Mínimos del Módulo de Salidas Digitales</i> .....	88
Tabla 24. <i>Requerimientos Mínimos del Módulo de Entradas Analógicas</i> .....	89
Tabla 25. <i>Requerimientos Mínimos del Módulo de Salidas Analógicas</i> .....	90
Tabla 26. <i>Requerimientos Mínimos del HMI (Interface Hombre Máquina)</i> .....	91
Tabla 27. <i>Costos de los Instrumentos del Proyecto</i> .....	93
Tabla 28. <i>Costos de Tablero de Control 14000-TC-1001</i> .....	94
Tabla 29. <i>Costos del Tablero Remoto 1400-TR-1001</i> .....	95
Tabla 30. <i>Costos de los Software para Programación</i> .....	95
Tabla 31. <i>Costos de Ingeniería del Proyecto</i> .....	96
Tabla 32. <i>Costos de Montaje, Pruebas, Puesta en Marcha</i> .....	96
Tabla 33. <i>Costos de Capacitación</i> .....	96
Tabla 34. <i>Resumen del Costo Total del Proyecto</i> .....	97
Tabla 35. <i>Comparación de Consumo Mensual de Reactivos</i> .....	97

## **INTRODUCCION**

El presente proyecto propone el DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO DE SUPERVISIÓN Y CONTROL PARA EL BANCO DE CELDAS DE FLOTACIÓN DE ZINC EN VOLCAN COMPAÑÍA MINERA S.A.A. DE LA PLANTA PARAGSHA – PASCO.

El sistema de control estará basado un controlador lógico programable de la marca Schneider, modelo M340, para el sistema de supervisión se usará una HMI touchscreen a color de 10.4" de la marca Schneider, modelo XBTGT5330 la cual me permitirá monitorear las variables de nivel de espuma de la celda de flotación, pH de la pulpa y % de apertura de la válvula de descarga de mineral.

En el Capítulo I se plantea el problema, los objetivos y la justificación para el sistema de supervisión y control propuesto.

En el Capítulo II se muestra y/o propone la base teórica necesaria para poder diseñar el sistema de supervisión y control, como por ejemplo teoría acerca de celdas de flotación, PLC, lenguajes de programación, sensores de nivel ultrasónico, sensor de pH, etc.

En el Capítulo III se diseña el sistema de supervisión y control, se elabora el plano PID (Diagrama de Instrumentación y Tuberías), planos de diagramas de lazo, planos de diagramas de interconexión de los módulos del PLC, plano de la arquitectura de control, plano del diagrama unifilar, plano del dimensionamiento de los tableros, la programación del PLC y HMI y por último se selecciona el sensor transmisor de pH, sensor de nivel ultrasónico, PLC y módulos de entrada y salida digital y analógico,

En el Capítulo IV se realiza el sustento económico del sistema de control, costos de hardware y software, costos de ingeniería, costos de capacitación y el tiempo de recuperación de la inversión realizada.

En el Capítulo V se muestran las conclusiones y las recomendaciones al sistema de supervisión y control.

---

# **ASPECTOS DE LA INVESTIGACIÓN**

---

## **CAPÍTULO I**

# **1. ASPECTO DE LA INVESTIGACION**

## **1.1. ASPECTO INFORMATIVO**

### **1.1.1. Título**

DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO DE SUPERVISIÓN Y CONTROL  
PARA EL BANCO DE CELDAS DE FLOTACIÓN DE ZINC EN VOLCAN  
COMPAÑÍA MINERA S.A.A. DE LA PLANTA PARAGSHA – PASCO.

### **1.1.2. Autores**

Idrogo Bustamante William

Bachiller en Ingeniería Electrónica

Quispe Estela Katherine Angélica

Bachiller en Ingeniería Electrónica

### **1.1.3. Asesor**

Mg. Ing. Oscar Uchelly Romero Cortez

### **1.1.4. Línea de Investigación**

Control y Automatización

### **1.1.5. Lugar**

VOLCAN COMPAÑÍA MINERA S.A.A., Planta Paragsha, ubicada en la ciudad  
de Cerro de Pasco a 4600 m.s.n.m.

## **1.2. ASPECTOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.2.1. Síntesis de la situación problemática**

Las empresas en el mundo hoy en día deben enfrentarse a situaciones cambiantes que hacen difícil mantenerse como ente económico, por esta razón lo más importante es mejorar continuamente en todos los aspectos en que sea posible para reducir costos de producción, incrementar utilidades y ser empresas de clase mundial.

Actualmente, en el mundo casi toda la industria minera ha empezado automatizar todos sus procesos productivos, desde la etapa de chancado hasta la etapa de filtración.

En el Perú la Compañía Minera Volcan S.A.A., Planta Paragsha no es ajena a estos cambios, por lo que está destinando una partida presupuestal para automatizar su Banco de Celdas de Flotación de Zinc, con el fin de reducir costos en insumos (Reactivos), incrementar la recuperación de Zinc y disminuir la pérdida de mineral (Pulpa de Zinc)

### **1.2.2. Formulación del Problema de la Investigación**

¿Cómo diseñar un sistema automático de supervisión y control para el banco de celdas de flotación de zinc en Volcan Compañía Minera S.A.A. de la Planta Paragsha – Pasco?

### **1.2.3. Justificación**

Esta investigación es importante para la empresa debido a que el banco de celdas de flotación de Zinc no está Automatizada, trayendo como consecuencia el consumo elevado de reactivos y baja recuperación de Zinc.

Actualmente el operador del área de Flotación realiza el control de nivel de espuma del banco de celdas de flotación de zinc solo visualmente y de acuerdo a su experiencia, para ello el operador abre y/o cierra la válvula de descarga tipo dardo del banco de celdas de flotación de zinc, para tratar de controlar lo más que se pueda el nivel de espuma en el banco de celdas de flotación de zinc.

Al cerrar la válvula tipo dardo se va incrementar el nivel de pulpa en el banco de celdas e indirectamente el nivel de espuma disminuye, al disminuir demasiado la espuma la recuperación de zinc es pobre, debido a que el mineral en este caso el zinc no flota, la recuperación de zinc está en promedio 40%, debiendo ser 60%.

Lo contrario sucede cuando el operador abre la válvula tipo dardo, el nivel de pulpa en el banco de celdas disminuye e indirectamente el nivel de espuma aumenta, al aumentar demasiado la espuma la recuperación es excesiva ya que puede coleccionar otras partículas no necesariamente de zinc, adicionalmente se produce demasiado rebose lo que ocasiona que la pulpa se vaya al relave desperdiciando mineral importante.

Es por eso que el operador mantiene la válvula tipo dardo más cerrada que abierta con el objetivo de no rebosar la pulpa y no desperdiciar mineral valioso, al tener alto nivel de pulpa y bajo nivel de espuma la recuperación de mineral es baja debido

a que el mineral no flota, para tratar de solucionar este problema utiliza más reactivos, incrementando su uso excesivamente el cual en promedio está en 4 Kg/TC, debiendo ser menor a 2.4 Kg/TC, haciendo una comparación con otras plantas. La flotación siendo el proceso más importante en las plantas concentradoras, no debe depender solo del operador, para tal fin se propone desarrollar la presente tesis con el fin de automatizar el banco de celdas de flotación de zinc para disminuir el uso de reactivos e incrementar la recuperación de Zinc.

#### **1.2.4. Objetivos**

##### **1.2.4.1. Objetivo General**

Diseñar un sistema automático de supervisión y control para el banco de celdas de flotación de zinc en Volcan Compañía Minera S.A.A. de la Planta Paragsha – Pasco.

##### **1.2.4.2. Objetivos Específicos**

- Identificar las condiciones de operación adecuadas para lograr el mejor modo de operación del Banco de Celdas de Flotación de Zinc.
- Identificar e implementar el diagrama de flujo general, así como los lazos de control y diagramas de interconexión del sistema.
- Realizar la programación del PLC en base a la lógica de control requerida.
- Realizar la programación del HMI en base al PI&D (Diagrama de Instrumentación y Tuberías) propuesto.
- Seleccionar los equipos e instrumentos del sistema en base a la oferta en el mercado.

- Realizar el cálculo total del costo de diseño, implementación y puesta en funcionamiento del sistema

#### **1.2.5. Hipótesis**

El Diseño de un Sistema Automático de Supervisión y Control para el Banco de Celdas de Flotación de Zinc en Volcán Compañía Minera S.A.A., Planta Paragsha – Pasco incrementará la recuperación de Zinc, Disminuirá el uso de Reactivos y Disminuirá la pérdida de Mineral (Pulpa de Zinc).

#### **1.2.6. Antecedentes**

##### **1.2.6.1. Internacional**

Diseño y simulación del sistema de automatización y control del proceso de floculación para una planta de tratamiento de agua potable utilizando protocolo de comunicación Can open.

Universidad Tecnológica de Pereira

Pereira 2012

##### **Resumen:**

Este trabajo se ha realizado con el objetivo principal de mejorar sustancialmente uno de los procesos más importantes en el campo de la industria como lo son las plantas de tratamiento de agua y en nuestro caso particular la etapa de floculación que es donde se aglutinan las partículas contaminantes del agua mediante un proceso de agitación para posteriormente ser retiradas tras una fase de sedimentación.

Gracias a la implementación de la automatización de procesos industriales se diseñará un sistema centralizado en donde se controlarán las condiciones de

operación de cada uno de los motores que componen los agitadores y se supervisarán las variables de estado más representativas del proceso a través de una red de comunicación industrial y así lograr una operación óptima del sistema. Se evidenciará posterior a todo el desarrollo que la operación del sistema de modo automático y controlado por los operarios o por el personal a cargo del sistema es mucho más sencillo y eficiente que el sistema actual el cual opera de manera manual y a criterio de algunas condiciones no necesariamente reales.

#### **1.2.6.2. Nacional**

Automatización de un Holding Tank para Controlar la Densidad de Pulpa Previo al Proceso de Filtrado en la Extracción del Plomo.

Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo

Lambayeque, Mayo 2012

#### **Resumen:**

El presente proyecto efectúa el diseño técnico y sustento económico de la Automatización de un holding tank, lo cual incluye el monitoreo y control de las variables tales como densidad, flujo y nivel.

La automatización estará basada en un Controlador Lógico Programable que permite un mejor control de todas las variables involucradas en el proceso, una interfaz de usuario hombre-máquina (HMI) para visualizar datos y el proceso en sí.

El proyecto se encuentra conformado básicamente en la búsqueda, identificación e interpretación del problema definido en ésta investigación, ésta parte involucra

al Capítulo I, que enfoca la base teórica, constituida por definiciones y conceptos básicos que cumplan nuestras necesidades para lograr un buen entendimiento y comprensión del desarrollo del sistema de control automático y de la instrumentación propuesta.

El Capítulo II, que desarrolla un estudio de la realidad en la que se encuentra la planta de extracción de plomo, el capítulo III envuelve la solución al problema, el cual comprende el diseño e implementación física del sistema en sí.

El proyecto concluye con la demostración de que implementando un holding tank automático en una planta de extracción de plomo se consigue optimizar el proceso de filtrado.

#### **1.2.6.3. Local**

Automatización para el Mejoramiento de la Distribución de agua en la subestación repartidor La Puntilla - Distrito de Riego Chancay – Lambayeque.

Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo

Lambayeque, Mayo 2006

#### **Resumen:**

- Reducción de pérdida de materia prima (agua) de un 25% a un 10%; debido a la exactitud del posicionamiento de las compuertas tanto para apertura o cierre de estas.

- Se obtiene una reducción de costos de operación y mantenimiento, puesto que se racionaliza el trabajo, se reduce el tiempo y dinero dedicado al mantenimiento.
- Reducción de personal a un 50%.
- Recuperación de la inversión empleada en corto tiempo.
- Supervisión constante las 24 horas del día y almacenamiento de datos permanentes (en tiempo real).
- Mejoramiento de la rentabilidad y ventaja competitiva de la empresa.
- Modularidad y la flexibilidad del hardware empleado, lo cual permite extender esta solución a otros proyectos de automatización similares.

---

# BASE TEÓRICA

---

## CAPÍTULO II

## 2. BASE TEÓRICA

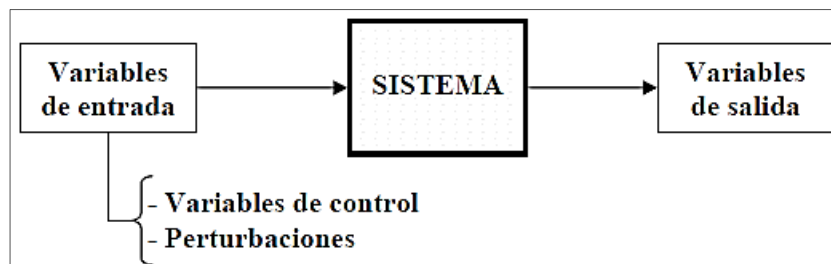
### 2.1. CONTROL AUTOMÁTICO DE PROCESOS

#### 2.1.1. Sistema de Control

Puede definirse conceptualmente como un ente que recibe unas acciones externas o variables de entrada, y cuya respuesta a estas acciones externas son las denominadas variables de salida.

Las acciones externas al sistema se dividen en dos grupos, variables de control, que se pueden manipular, y perturbaciones sobre las que no es posible ningún tipo de control.

La Figura siguiente ilustra de un modo conceptual el funcionamiento de un sistema en general.



*Figura 1.* Esquema General de un Sistema  
*Fuente:* Internet

Dentro de los sistemas se encuentra el concepto de sistema de control. Un sistema de control es un tipo de sistema que se caracteriza por la presencia de una serie de elementos que permiten influir en el funcionamiento del sistema. La finalidad de un sistema de control es conseguir, mediante la manipulación de las variables de control, un dominio sobre las variables de salida, de modo que estas alcancen unos valores prefijados (consigna).

Los elementos básicos que forman parte de un sistema de control y permiten su manipulación son los siguientes:

- Sensores. Permiten conocer los valores de las variables medidas del sistema.
- Controlador. Utilizando los valores determinados por los sensores y la consigna impuesta, calcula la acción que debe aplicarse para modificar las variables de control en base a cierta estrategia.
- Actuador. Es el mecanismo que ejecuta la acción calculada por el controlador y que modifica las variables de control.

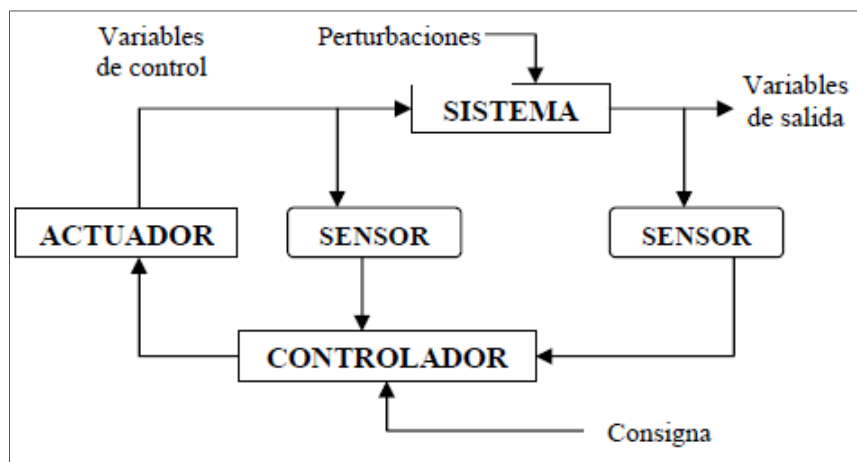


Figura 2. Esquema general de un Sistema de Control

Fuente: Internet

### 2.1.2. Estrategia de Control

La estrategia de control hace referencia a la naturaleza y la dirección de los lazos existentes entre las variables medidas y/o controladas y las variables de control. Se distinguen dos tipos de estrategias en función de la naturaleza de la información utilizada para calcular la acción de control del sistema, lazo abierto y lazo cerrado.

### Lazo Abierto:

La acción de control se calcula conociendo la dinámica del sistema, las consignas y estimando las perturbaciones. Esta estrategia de control puede compensar los retrasos inherentes del sistema anticipándose a las necesidades del usuario. Sin embargo, el lazo abierto generalmente es insuficiente, debido a los errores del modelo y a los errores en la estimación de las perturbaciones. Por ello, es común la asociación de lazo cerrado-lazo abierto, de modo que el lazo cerrado permite compensar los errores generados por el lazo abierto.

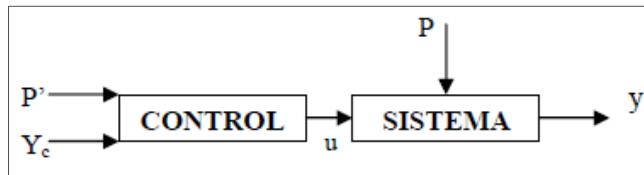


Figura 3. Control Lazo Abierto

Fuente: Internet

Donde:

- P : Perturbaciones
- P' : Perturbaciones estimadas
- y : Variable controlada
- Yc : consigna
- u : acción de control

### Lazo Cerrado:

La acción de control se calcula en función del error medido entre la variable controlada y la consigna deseada. Las perturbaciones, aunque sean desconocidas son consideradas indirectamente mediante sus efectos sobre las variables de salida.

Este tipo de estrategia de control puede aplicarse sea cual sea la variable controlada. La gran mayoría de los sistemas de control que se desarrollan en la actualidad son en lazo cerrado.

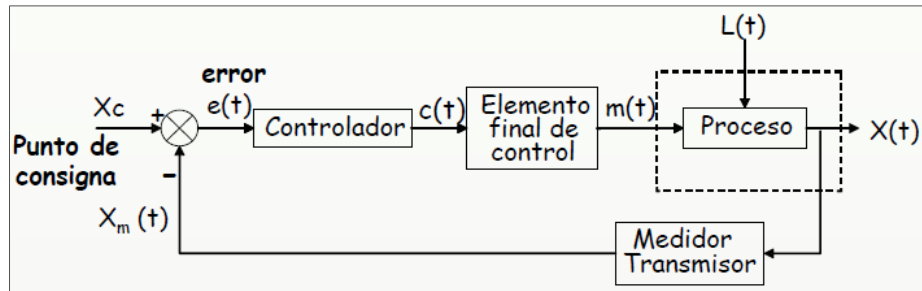


Figura 4. Control Lazo Cerrado

Fuente: Internet

### 2.1.3. Componentes del Sistema de Control

#### 2.1.3.1. Sensores y Transductores

Un sensor, propiamente hablando, es la parte del elemento primario que reacciona de alguna forma sensible a una propiedad física relacionada con la variable que se quiere medir y cuya respuesta se encuentra en una forma más conveniente, de modo que se utiliza como la entrada al resto del sistema.

En la mayoría de los casos esto conlleva a la conversión de la cantidad física que se desea medir en una variable eléctrica, como resistencia, capacitancia, inductancia, voltaje o corriente, que puede medirse con mucha precisión y en una relación predecible. El transductor, por lo tanto, es el conjunto formado por un sensor y un transmisor que acondiciona la señal a alguna forma más adecuada para el sistema de control (Altmann, 2005; Hunter, 1978; Johnson, 1984; Mott, 1996; Polke, 1994; Smith & Corripio, 1997).

La selección de un sensor para un proceso en particular requiere considerar la naturaleza de la medición (entrada) y la naturaleza de la salida. Las razones para seleccionar un equipo de otro varían, Altmann (2005), Bolton (2004), Creus (2001), Ibrahim (2006), y Polke (1994) listan varios factores que se deben tomar en consideración, se mencionan y explican algunos de ellos:

- **Ámbito de medición:** conjunto de valores de la variable medida que están comprendidos dentro de los límites superior e inferior de la capacidad de medida del instrumento, expresado por los dos valores extremos.
- **Precisión:** tolerancia de la medida, define los límites de los errores cuando se emplea en condiciones normales.
- **Sensibilidad:** razón entre el incremento en la lectura y el incremento de la variable luego del alcanzar el estado de reposo, expresado como porcentaje.
- **Repetibilidad:** capacidad de reproducir la misma señal de salida al medir repetidamente valores idénticos en las mismas condiciones y en el mismo sentido de variación.
- **Confiabilidad:** medida de la probabilidad de que continúe comportando dentro de los límites especificados de tolerancia a lo largo del tiempo bajo condiciones especificadas.
- **Vida útil:** tiempo mínimo durante el cual el instrumento no presenta cambios en el comportamiento más allá de las tolerancias especificadas.
- **Resolución:** la menor diferencia que el instrumento puede distinguir.
- **Linealidad:** aproximación de una curva de calibración a una línea recta.

- Tiempo de respuesta: tiempo que transcurre entre el momento en que la variable medida cambia de cero a un valor constante y el momento en que el instrumento da la salida correspondiente a dicho valor.
- Temperatura de trabajo: ámbito temperatura del ambiente en que se encontrará instalado.
- Costo de adquisición
- Costo de instalación
- Costo de operación
- Facilidad de uso
- Seguridad de operación
- Naturaleza del medio: líquido, vapor o gas, define la compatibilidad de materiales.
- Tamaños disponibles
- Alteración introducida al proceso
- Resistencia física y mecánica
- Mantenimiento requerido

Sin embargo, uno de los mayores problemas en la operación de medición se debe al hecho de que la salida de un sensor a menudo varía de forma no-lineal con la variable que se mide y esta no-linealidad puede producir efectos indeseados en el sistema bajo control.

La Figura N° 05 muestra un sistema de medición de presión que genera una señal de 4 a 20 mA linealmente desde una presión de 100 a 200 kPa.

Si la presión se incrementa desde 150 a 175 kPa, la corriente aumentará de 12 mA a 16 mA. El controlador enviará una corrección al proceso basado en los 4 mA de cambio en la corriente representando un cambio de 25 kPa en la presión. Si la presión cambiase de 150 a 125 kPa, el controlador enviaría la misma corrección, pero de signo opuesto.

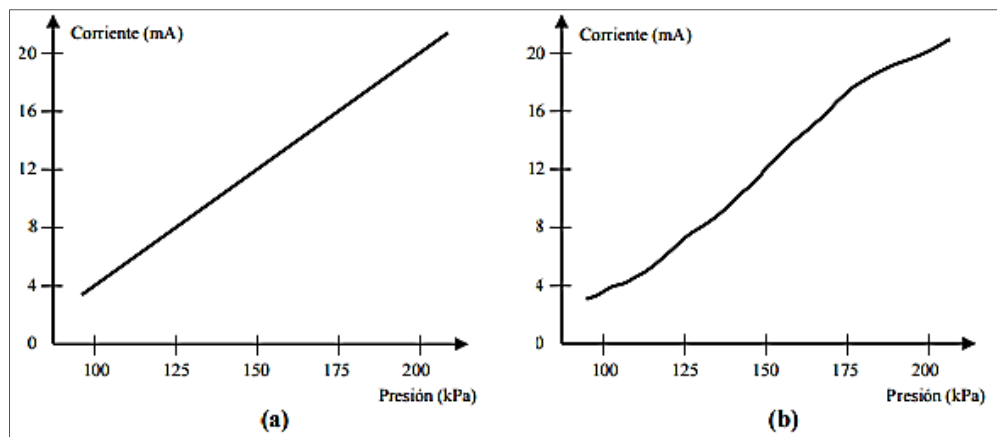


Figura 5. Señal de dos sensores de presión, a) sensor lineal, b) sensor no-lineal.  
Fuente: Johnson, 1984, pp. 36, 37

Se puede ver qué cambios equivalentes de presión en distintos puntos no producen cambios equivalentes en la corriente; por ejemplo, un cambio de 150 a 175 kPa produce un cambio de 5,3 mA desde 12 a 17,3 mA, por otro lado, un cambio de la misma magnitud desde 150 a 125 kPa produce apenas un cambio de corriente de 4,7 mA desde 12 a 7,3 mA. La única manera de asegurar esto es que el sensor sea lineal, o que su salida puede linealizarse (Johnson, 1984).

## **A. Medidor de pH**

Existe en el mercado una gran variedad de tipos de medidores de pH, que van desde dispositivos de mano muy baratos hasta complejos modelos de laboratorio. Los medidores de pH más comunes incorporan un sensor de vidrio y un tubo de referencia. La sonda de pH mide la actividad de los iones de hidrógeno mediante la generación de una pequeña cantidad de tensión en el sensor y el tubo de referencia. El medidor de voltaje convierte a un valor de pH y la muestra en la pantalla digital, permitiendo así la cómoda medición de cualquier líquido o suelo. Por otro lado hay otra función que tienen algunos medidores de pH digitales que se denomina: compensación automática de temperatura. Éstos medidores tienen un termómetro incorporado que automáticamente se ajusta para cualquier discrepancia de la línea de base de 25 ° C.

### **Calibración y su Necesidad**

La calibración es similar a la puesta a punto, si un instrumento musical no está afinado no producirá buena música, un instrumento científico debe estar correctamente calibrado para obtener resultados precisos en las pruebas que se realicen con él.

La única manera segura de determinar si un medidor de pH se calibró adecuadamente es comparándolo con un punto de referencia de laboratorio con certificación estándar, conocido más comúnmente como una "solución calibradora." Las soluciones calibradoras son líquidos, pero también se pueden comprar en forma de polvo y mezclar con agua destilada o desionizada.

Cualquier instrumento científico se debe calibrar lo más cerca posible al nivel que se pondrá a prueba. Por ejemplo, si la prueba de una solución ácida, un medidor de pH se debe calibrar a pH 4,0 para alcanzar los resultados más precisos. La mayoría de las aguas caen en el rango de pH 6,0 a pH 8,0. Por lo tanto, para probar el pH del agua, la calibración del medidor de pH 7,0 es suficiente. Los tres niveles de pH más comunes para la calibración son 4.01, 7.01 y 10.01. Estos puntos cubren el rango de pH de 0 a 14, pero los valores están disponibles. Un medidor de pH requiere de una calibración en uno, dos o tres puntos para obtener resultados precisos. Algunos medidores pueden ser calibrados a un solo punto, pero el fabricante suele recomendar por lo menos dos puntos para la prueba óptima. Las diferencias dependerán de la tecnología del sensor que se utiliza. Algunos medidores también ofrecen una calibración automática, en estos casos el medidor automáticamente reconoce el valor de la solución calibradora y se calibrará a ese valor. Este es por lejos el método más simple de calibración, pero es importante que estos medidores tengan la calibración manual para la puesta a punto y/o reparación.

## **B. Sensor Ultrasónico**

### **Principio De Funcionamiento**

Impulsos ultrasónicos cortos de 35 kHz hasta 70 kHz son emitidos por el transductor sobre el producto a medir, siendo reflejados por la superficie del producto y captados nuevamente por el transductor. Los impulsos se propagan a la velocidad del sonido, el tiempo desde la emisión hasta la recepción de las señales depende del nivel en el depósito. La tecnología de microprocesadores más moderna y el

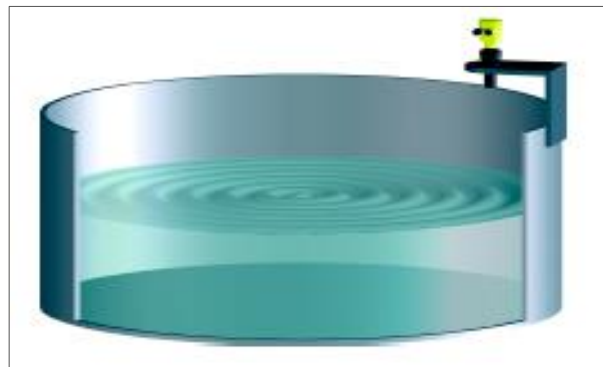
probado software ECHOFOX seleccionan el eco de nivel con seguridad aún incluso en caso de reflexiones, calculando la distancia exacta hasta la superficie del producto. Un sensor de temperatura integrado detecta la temperatura en el depósito, de esta forma se pueden compensar las influencias sobre el tiempo de propagación del sonido. Mediante la entrada simple de las medidas del depósito se crea una señal proporcional al nivel a partir de la distancia.

### **C. Sensor Vegason 61**

VEGASON 61 es un sensor de ultrasonido para la medición continua de nivel. El mismo es apropiado para líquidos y sólidos en casi todos los sectores industriales, especialmente en la economía hidráulica y de residuales.

#### **Aplicación**

Una aplicación típica para el VEGASON 61 es la medición de nivel en estanques abiertos. Los medios son agua lluvia o agua residual, por tanto cargadas de impurezas. Aquí se destacan claramente las ventajas de la medición sin contacto con VEGASON: sencillo y libre de mantenimiento. El grado de suciedad del agua o de un enlodamiento del estanque no tiene ningún significado, ya que el VEGASON mide sobre la superficie.



*Figura 6. Tanques Abiertos*

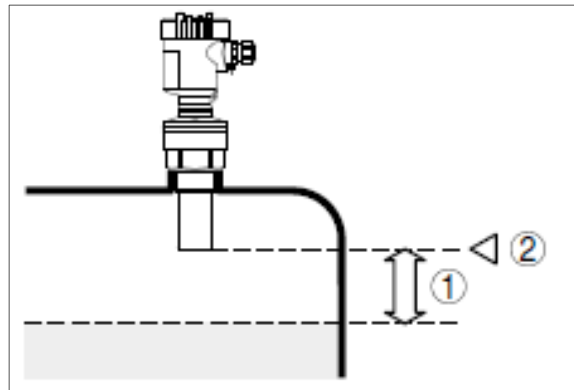
*Fuente: [www.vega.com.pe](http://www.vega.com.pe)*

## Instrucciones de Montaje

### Distancias DE Montaje

1.- Zona Muerta

2.- Plano de Referencia



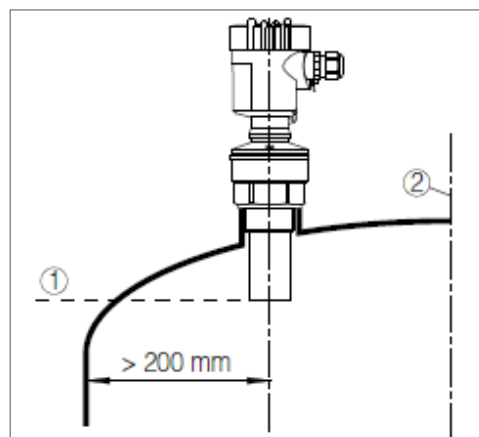
*Figura 7. Distancia Mínima Hasta la Altura Máxima de Llenado*

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

### Posición de Montaje

1.- Plano de Referencia

2.- Centro de Depósito



*Figura 8. Montaje en Depósito con tapa*

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

### Orientación del Sensor

Para conseguir resultados de medición óptimos el sensor tiene que estar orientado en los líquidos lo más perpendicular posible respecto a la superficie del producto.

### Esquema de Conexión – 2 HILOS

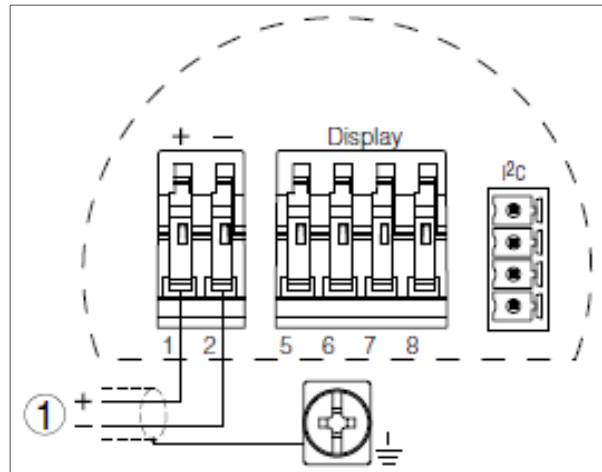


Figura 9. Conexión de Sensor a 2 Hilos

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

### 2.1.3.2. Actuadores

El elemento final de control es el dispositivo que permanece conectado físicamente con el proceso, dentro de un sistema de control, y que transforma la salida de un controlador en un cambio de la variable manipulada para producir un cambio en la variable controlada (Bolton, 2004; Hunter, 1978; Johnson, 1984).

De acuerdo con Altmann (2005), en la mayoría de los sistemas de control de procesos el elemento final de control es algún tipo de válvula; sin embargo, también es posible controlar el flujo con algunas bombas.

## **A. Posicionadores Neumáticos**

Un posicionador de válvula es básicamente un dispositivo que sensa tanto la señal de un instrumento (controlador) como la posición del vástago de una válvula.

Su función principal es la de asegurar que la posición de este vástago corresponda a la señal de salida del controlador o regulador.

Por ejemplo, si el posicionador recibe una señal neumática de 35%, debe dar la suficiente presión de aire al actuador para hacer que el recorrido del vástago sea de 35% de todo su rango.

Puede efectivamente ser descrito como un controlador de lazo cerrado, que tiene como señal de entrada a la del instrumento, su salida que va al diafragma del actuador y su señal de realimentación proveniente del vástago de la válvula.

Los posicionadores se pueden dividir neumáticos y electroneumáticos. Con respecto a los primeros, a su vez se subdividen en aquellos accionados por un sistema de balance de movimientos.

Mientras el fuelle se mueve respondiendo al cambio de la señal del instrumento, el arreglo tobera-obturador se mueve, admitiendo aire al diafragma o expulsando aire del mismo, hasta que la posición del vástago corresponda a la señal enviada por el controlador.

En ese momento el posicionador estará nuevamente en equilibrio con la señal de control.

Los posicionadores electroneumáticos surgieron por el uso cada vez mayor de sistemas de control electrónicos que actúan sobre válvulas de control neumáticas.

Básicamente, consisten en una combinación de un convertor de corriente a presión (I/P) y un posicionador. Es un dispositivo de balance de fuerzas y se puede utilizar con acción directa o acción inversa.



*Figura 10. Montaje de Posicionador a una Válvula  
Fuente: Instrumentacionycontrol.net*

Ante la aparición de los controladores electrónicos y la necesidad de controlar válvulas neumáticas, aparecieron los denominados convertidores de corriente a presión (I/ P).

Estos convierten las señales estándar de 0/ 4 -20 mA en señales neumáticas para actuar sobre la válvula de control o el posicionador respectivo.

Poco tiempo después fueron fabricados posicionadores con el convertor incorporado lográndose así los denominados posicionadores electroneumáticos.

El avance posterior en comunicación digital de instrumentos ha obligado a muchos fabricantes a desarrollar posicionadores que se puedan comunicar con controladores de salida digital.

Es así como tenemos ahora posicionadores digitales (también llamados "inteligentes") para diversos protocolos.

Esto evidentemente permite integrar a las válvulas de control en una red industrial con el beneficio de una mayor cantidad de información sobre las mismas y el proceso que controlan.

### **2.1.3.3. Controlador Lógico Programable (PLC)**

El Controlador Lógico Programable (PLC) nació como solución al control de circuitos complejos de automatización. Por lo tanto se puede decir que un PLC no es más que un aparato electrónico que sustituye los circuitos auxiliares o de mando de los sistemas automáticos.

A él se conectan los captadores (finales de carrera, pulsadores, etc.) por una parte, y los actuadores (bobinas de contactores, lámparas, pequeños receptores, etc.) por otra.

#### **A. Campos de Aplicación**

Su utilización se da fundamentalmente en aquellas instalaciones en donde es necesario un proceso de maniobra, control, señalización, etc., por tanto, su aplicación abarca desde procesos de fabricación industriales a transformaciones industriales, control de instalaciones, etc. Sus reducidas dimensiones, la gran facilidad de su montaje, la posibilidad de almacenar los programas para su posterior y rápida utilización, la modificación o alteración de los mismos, etc., hace que su eficacia se aprecie fundamentalmente en procesos en que se producen necesidades tales como:

- Espacio reducido.
- Procesos de producción periódicamente cambiantes.

- Procesos secuenciales.
- Maquinaria de procesos variables.
- Instalaciones de procesos complejos y amplios.
- Chequeo de programación centralizada de las partes del proceso.
- Maniobra de máquinas
- Maquinaria industrial de plástico
- Máquinas transfer
- Maniobra de instalaciones: instalación de aire acondicionado, calefacción
- Señalización y control

Tal y como dijimos anteriormente, esto se refiere a los Controlador Lógico Programable industriales, dejando de lado los pequeños PLC para uso más personal (que se pueden emplear, incluso, para automatizar procesos en el hogar, como la puerta de un cochera o las luces de la casa).

## **B. Estructura Básica de un PLC**

- Unidad Central de Proceso CPU.
- Las Interfaces de Entradas.
- Las Interfaces de Salidas.

### **B.1. Unidad Central de Procesos**

La CPU (Central Processing Unit) es la parte inteligente del sistema.

Interpreta las instrucciones del programa de usuario y consulta el estado de las entradas. Dependiendo de dichos estados y del programa, ordena la activación de las salidas deseadas. La CPU está constituida por los siguientes elementos:

- Procesador
- Memoria monitor del sistema
- Circuitos auxiliares

## **B.2. Fuente de Alimentación**

La fuente de alimentación proporciona las tensiones necesarias para el funcionamiento de los distintos circuitos del sistema. La alimentación a la CPU puede ser de continua a 24 Vcc, tensión muy frecuente en cuadros de distribución, o en alterna a 110 / 220 Vca. En cualquier caso es la propia CPU la que alimenta las interfaces conectadas a través del bus interno.

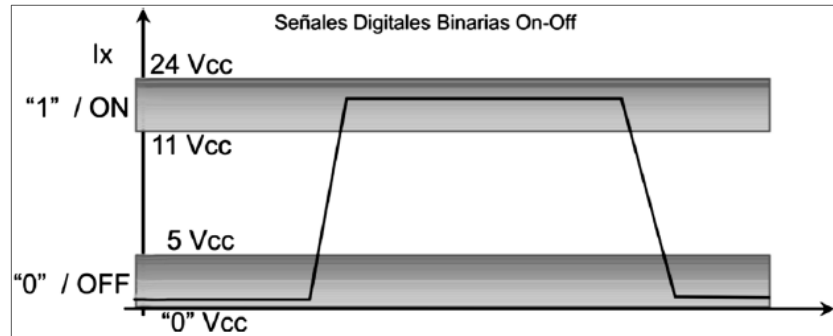
La alimentación a los circuitos E/S puede realizarse, según tipos, en alterna a 48/110/220 Vca o en continua a 12/24/48 Vcc. La fuente de alimentación del Controlador Lógico Programable puede incorporar una batería de reserva, que se utiliza para el mantenimiento de algunas posiciones internas y del programa usuario en memoria RAM, o cuando falla la alimentación o se apaga el Controlador Lógico Programable.

## **B.3. Interfaces**

### **Entradas Discretas**

También llamadas binarias u “on-off”, son las que pueden tomar sólo dos estados: encendido o apagado, estado lógico 1 ó 0. Los módulos de entradas digitales trabajan con señales de tensión. Cuando por un borne de entrada llega tensión, se interpreta como “1” y cuando llega cero tensiones se interpreta como “0”. Existen módulos o interfaces de entradas de corriente

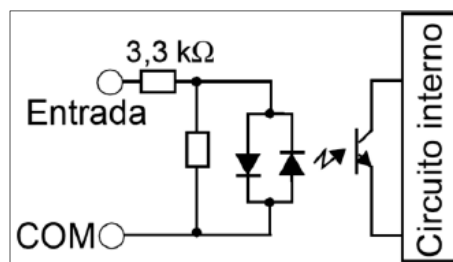
continua para tensiones de 5, 12, 24 ó 48 Vcc y otros para tensión de 110 ó 220 Vca.



*Figura 11. Señales Digitales Binarias*  
Fuente: Internet

Los PLC modernos tienen módulos de entrada que permiten conectar dispositivos con salida PNP o NPN en forma indistinta. La diferencia entre dispositivos con salida PNP o NPN es como la carga (en este caso la carga es la entrada del PLC) está conectada con respecto al neutro o al positivo.

Entrada de común positivo o negativo estándar



*Figura 12. Entrada común positivo*  
Fuente: Internet

## **Salidas Discretas**

Un módulo de salida digital permite al Controlador Lógico Programable actuar sobre los preaccionadores y accionadores que admitan ordenes de tipo todo o nada. El valor binario de las salidas digitales se convierte en la apertura o cierre de un relee interno del autómeta en el caso de módulos de salidas a relé.

En los módulos estáticos (bornero), los elementos que conmutan son los componentes electrónicos como transistores o triacs, y en los módulos electromecánicos son contactos de relees internos al módulo. Los módulos de salidas estáticos al suministrar tensión, solo pueden actuar sobre elementos que trabajan todos a la misma tensión, en cambio los módulos de salida electromecánicos, al ser libres de tensión, pueden actuar sobre elementos que trabajen a tensiones distintas.

El proceso de envío de la señal digital consta de varias etapas:

- Puesta en forma
- Aislamiento
- Circuito de mando (relee interno)
- Protección electrónica
- Tratamiento cortocircuitos

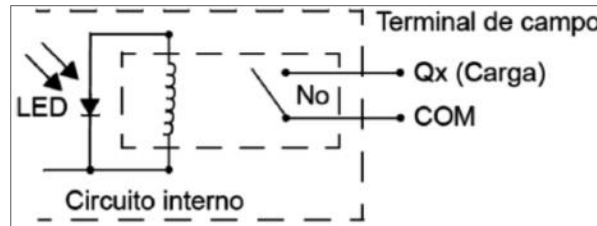
Las interfaces de salida discretas son similares, la señal de activación originada por la CPU, es pasada por una optoaislación, seguida por un circuito que se encarga de disparar el elemento final de salida, relés, triacs, bobina,

transistor de potencia, etc., existe además un elemento de protección contra sobrecargas o cortacircuitos.

Los módulos de salida digital permiten al autómata programable actuar sobre elementos que admitan órdenes de tipo prendido - apagado, todo o nada u “on - off”. El valor binario de las salidas digitales se convierte en la apertura o cierre de un relé interno del autómata, en el caso de módulos de salidas a relé. Existe una gran cantidad de módulos de salida discreta, todos ellos con la misma estructura que se presenta a continuación.

#### **Salidas a relé:**

Es una de las más usuales. Con ellos es posible conectar tanto cargas de corriente alterna como continua. Suelen soportar hasta 2A de corriente. Una buena práctica en la instalación es verificar que la corriente máxima que consume la carga esté dentro de las especificaciones de la salida del PLC. Los tiempos de conmutación de estos tipos de salidas llegan a los 10 mseg. Tanto para la conexión como para la desconexión. Algunas cargas son muy problemáticas, por ejemplo las cargas inductivas, que tienen la tendencia a devolver corriente al circuito cuando son conectadas. Siendo la corriente estimada en unas 30 veces a la corriente de consumo nominal. Esto genera picos de voltaje que pueden dañar la salida a la que está conectada la carga. Para minimizar estos riesgos se utilizan comúnmente diodos, varistores u otros circuitos de protección.



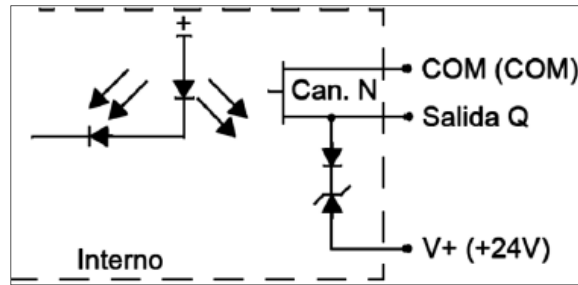
*Figura 13. Contacto de salida relé*

*Fuente: Internet*

Los relés son internos al PLC. El circuito típico es el que se muestra en la figura de arriba. Cuando el programa active una salida, el PLC aplicará internamente tensión a la bobina del relé. Esta tensión hará que se cierren los contactos de dicho relé. En ese momento una corriente externa pasará a través de esos contactos y así se alimentará la carga. Cuando el programa desactiva una salida, el PLC desactiva la bobina abriendo así los contactos.

### **Salidas a transistor:**

Sólo son capaces de operar con corriente continua, de baja potencia (hasta 0,5 A) Pero tienen tiempos de conmutación que rondan el milisegundo y una vida útil mucho mayor que la de los relés. En este tipo de salida el transistor es el encargado de conectar la carga externa cuando el programa lo indique.



*Figura 14. Contacto de Salida común positivo*

*Fuente: Internet*

## Entradas Analógicas

Los módulos de entrada analógicas permiten que los Controlador Lógico Programable trabajen con accionadores de mando analógico y lean señales de tipo analógico como pueden ser la temperatura, la presión, el caudal, tensión o intensidad, etc. Los módulos de entradas analógicas convierten una magnitud analógica en un número que se deposita en una variable interna del Controlador Lógico Programable. Lo que realiza es una conversión A/D, puesto que el autómatas solo trabajar con señales digitales.

Esta conversión se realiza con una precisión o resolución determinada (número de bits) y con periodo muestreo. El proceso de adquisición de la señal analógica consta de varias etapas:

- Filtrado
- Conversión A/D
- Memoria interna

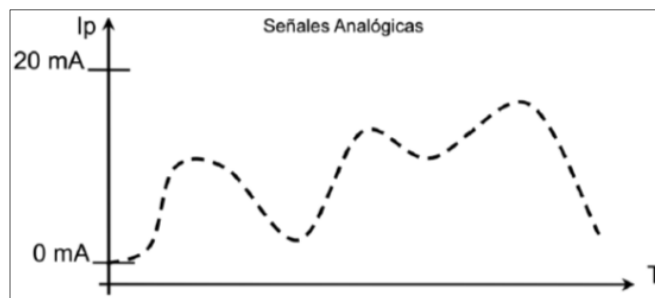
Un módulo clásico de entrada analógica puede tener, por ejemplo cuatro u ocho canales de entrada multiplexado. Poseen normalmente etapas en sus circuitos con frecuencias de filtro y limitación de señal.

Estos módulos o interfases admiten como señal de entrada valores de tensión o corriente intermedios dentro de un rango, que puede ser de 4-20 mA, 0-5 VDC o 0-10 VDC, convirtiéndola en un número. Este número es guardado en una posición de la memoria del PLC.

Los módulos de entradas analógicas son los encargados de traducir una señal de tensión o corriente proveniente de un sensor de temperatura, velocidad, aceleración, presión, posición, o cualquier otra magnitud física que se quiera medir en un número para que el PLC la pueda interpretar.

En particular es el conversor analógico digital (A/D) el encargado de realizar esta tarea. Una entrada analógica con un conversor A/D de 8 bits podrá dividir el rango de la señal de entrada en 256 valores.

En la medida que el conversor A/D tenga mayor número de bits será capaz de ver o reconocer variaciones más pequeñas de la magnitud física.



*Figura 15.* Señal de 4-20 mA

*Fuente:* Internet

## **Salidas Analógicas**

Los módulos de salida analógica permiten que el valor de una variable numérica interna del autómata se convierta en tensión o intensidad. Lo que realiza es una conversión D/A, puesto que el Controlador Lógico Programable solo trabaja con señales digitales. Esta conversión se realiza con una precisión o resolución determinada (número de bits) y cada cierto intervalo de tiempo (periodo muestreo). Esta tensión o intensidad puede servir de referencia de mando para actuadores que admitan mando analógico como pueden ser los variadores de velocidad, las etapas de los tiristores de los hornos, reguladores de temperatura... permitiendo al Controlador Lógico Programable realizar funciones de regulación y control de procesos continuos.

- El proceso de envío de la señal analógica consta de varias etapas:
- Aislamiento galvánico
- Conversión D/A
- Circuitos de amplificación y adaptación
- Protección electrónica de la salida

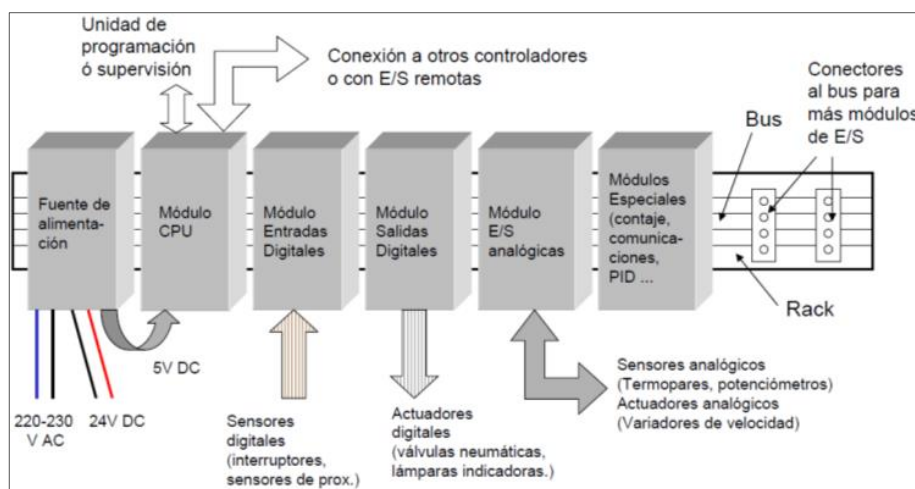
Como hemos visto las señales analógicas sufren un gran proceso de adaptación tanto en los módulos de entrada como en los módulos de salida.

Las funciones de conversión A/D y D/A que realiza son esenciales.

Por ello los módulos de E/S analógicos se les consideran módulos de E/S especiales. Los tamaños de las palabras son de 10 bits o menores, esa longitud

de palabra da una resolución de una parte en mil veinticuatro (1/1024) que corresponde aproximadamente 0,01 volt si se trabaja entre 0 y 10 volt.

Los módulos de este tipo pueden manejar entre cuatro u ocho salidas, tiene circuitos de aislación antes de entrar al conversor digital/analógico, control de sincronismo y control para evitar choques entre la lectura y escritura de cada una de las salidas de los canales.



*Figura 16. Montaje de Módulos de PLC*  
*Fuente: Docplayer.es – Autómatas Programables*

#### 2.1.4. Diagramas de Instrumentación

Los diagramas de instrumentación del proceso son una buena fuente de información incluyendo todas las variables del proceso en el sistema como también la información de cada uno de los instrumentos en los lazos.













Esta información nos permite identificar las conexiones entre los dispositivos, la acción de los componentes y las rutas de comunicación. Este contiene toda la información de las conexiones eléctricas y de tuberías asociadas. Todas las

interconexiones de punto a punto están identificadas por medio de números o códigos de colores para identificar los conductores.

### 2.1.4.1. Símbolos y Números de Instrumentación

En general, una línea de una señal representara la interconexión entre dos instrumentos en un diagrama de flujo siempre a través de ellos. Pueden ser conectados físicamente por más de una línea, los símbolos también indican la posición en que están montados los instrumentos.




Tabla 1. *Formas de Montaje de Instrumentos*

	Montado en Tablero, Normalmente accesible al operador	Montado en Campo	Ubicación Auxiliar. Normalmente accesible al operador.
Instrumento Discreto o Aislado			
Display compartido, Control compartido.			
Función de Computadora			
Control Lógico Programable			

**Nota.** Fuente: Instrumentación Industrial - Antonio Creus

Las líneas punteadas indican que el instrumento esta mondado en la parte posterior del panel el cual no es accesible al operador.

Tabla 2. *Instrumentos con Líneas Punteadas*

Instrumento Discreto	
Función de Computadora	
Control Lógico Programable	

**Nota.** Fuente: Instrumentación Industrial - Antonio Creus

### Número de Identificación de los Instrumentos

Cada instrumento o función para ser designada está diseñada por un código alfanumérico o etiquetas con números. La parte de identificación del lazo del número de etiqueta generalmente es común a todos los instrumentos o funciones del lazo.

Tabla 3. *Número de Identificación Típico (número tag)*

TIC 103	Identificación del instrumento o número de etiqueta
T 103	Identificación de lazo
103	Número de lazo
TIC	Identificación de funciones
T	Primera letra
IC	Letras Sucesivas

**Nota.** Fuente: Instrumentación Industrial - Antonio Creus












Tabla 4. *Número de Identificación Expandido*

10-PAH-5A	Número de etiqueta
10	Prefijo opcional
A	Sufijo opcional
Los guiones son optativos como separadores.	

**Nota.** Fuente: Instrumentación Industrial - Antonio Creus

## Símbolos de Líneas

Tabla 5. *Símbolos de Líneas*

	Conexión a proceso, enlace mecánico, o alimentación de instrumentos.
	Señal indefinida
	Señal Eléctrica
	Señal Hidráulica
	Señal Neumática
	Señal electromagnética o sónica (guiada)
	Señal electromagnética o sónica (no guiada)
	Señal neumática binaria
	Tubo capilar
	Enlace de sistema interno (software o enlace de información)
	Enlace mecánico

**Nota.** Fuente: Instrumentación Industrial - Antonio Creus

## Identificación Funcional

Tabla 6. *Identificación de Instrumentos*

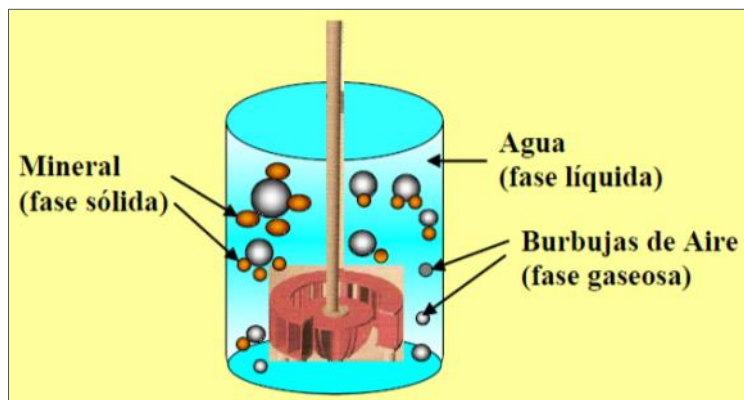
1° Letra		2° Letra		
Variable medida(3)	Letra de Modificación	Función de lectura pasiva	Función de Salida	Letra de Modificación
A. Análisis (4)		Alarma		
B. Llama (quemador)		Libre (1)	Libre (1)	Libre (1)
C. Conductividad			Control	
D. Densidad o Peso específico	Diferencial (3)			
E. Tensión (Fem)		Elemento Primario		
F. Caudal	Relación (3)			
G. Calibre		Vidrio (8)		
H. Manual				Alto (6)(13)(14)
I. Corriente Eléctrica		Indicación o indicador (9)		
J. Potencia	Exploración (6)			
K. Tiempo			Estación de Control	
L. Nivel		Luz Piloto (10)		Bajo (6)(13)(14)
M. Humedad				Medio o intermedio (6)(13)
N. Libre(1)		Libre	Libre	Libre
O. Libre(1)		Orificio		
P. Presión o vacío		Punto de prueba		
Q. Cantidad	Integración (3)			
R. Radiactividad		Registro		
S. Velocidad o frecuencia	Seguridad (7)		Interruptor	
T. Temperatura			Transmisión o transmisor	
U. Multivariable (5)		Multifunción (11)	Multifunción (11)	Multifunción (11)
V. Viscosidad			Válvula	
W. Peso o Fuerza		Vaina		
X. Sin clasificar (2)		Sin clasificar	Sin clasificar	Sin clasificar
Y. Libre(1)			Relé o compensador (12)	Sin clasificar
Z. Posición			Elemento final de control	

**Nota.** Fuente: Instrumentación Industrial - Antonio Creus

## 2.2. PROCESOS DE FLOTACIÓN DE MINERALES

### 2.2.1. Flotación de Minerales

La flotación es un proceso heterogéneo, es decir, involucra más de una fase: sólido (mineral), líquido (agua) y gaseosa (burbujas). Para entender el proceso, es necesario estudiar las propiedades fisicoquímicas de las superficies de los minerales, la relación entre las fases sólida, líquida y gaseosa, y sus interfaces.



*Figura 17. Fases de Flotación*

*Fuente: Fundamentos de Flotación de Minerales*

#### **Fase Gaseosa:**

Constituida generalmente por aire (en algunos casos por otro gas), que se introduce y dispersa en la forma de pequeñas burbujas.

#### **Fase Líquida:**

Está constituida por agua con reactivos. El agua es polar, siendo ésta la causa de la hidratación superficial de algunos minerales en soluciones acuosas. Contiene generalmente iones ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{SO}_4^{=}$ , etc.), impurezas y contaminantes naturales.

La dureza del agua, i.e. la contaminación natural causada por sales de calcio, magnesio y sodio, puede cambiar completamente la respuesta de la flotación en algunos casos, ya sea por consumo excesivo de reactivos o formación de sales insolubles.

### **Fase Sólida:**

Está constituida por partículas de mineral finamente molidas. Las propiedades superficiales de los minerales dependen de su composición y estructura. En esta fase juegan un rol importante los siguientes factores:

Carácter de la superficie creada en la ruptura del sólido (tipo de superficie, fuerzas residuales de enlaces).

Imperfecciones en la red cristalina natural (vacancias, reemplazos de iones, etc.).

Contaminaciones provenientes de los sólidos, líquidos y gases (oxidación de la superficie, etc.).

La presencia de elementos traza, que pueden concentrarse en la superficie de los granos y tener una influencia mucho mayor que su concentración en el mineral.

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

### **Minerales Apolares:**

Son hidrofóbicos (no reaccionan con los dipolos del agua), ejemplo: azufre nativo, grafito, molibdenita y otros sulfuros. En estos minerales su estructura es simétrica, no

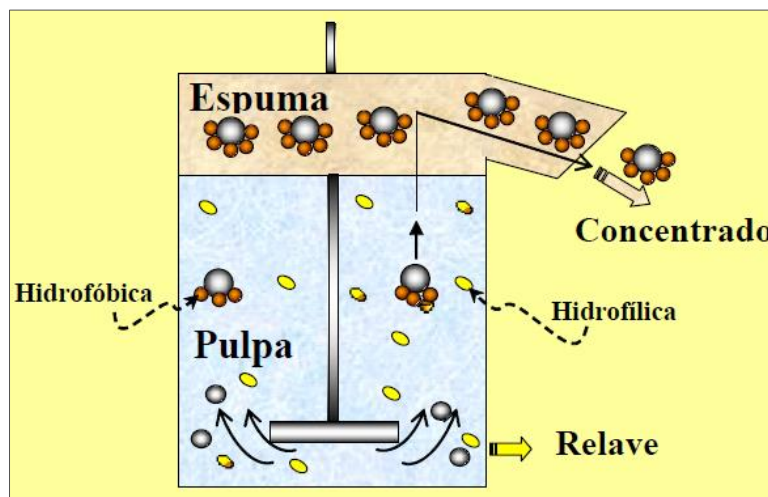
intercambian electrones dentro de sus moléculas, no se disocian en iones, son en general químicamente inactivos y con enlaces covalentes.

### **Minerales Polares:**

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

### **Separación selectiva de minerales (flotación)**

Al coexistir las tres fases, las partículas hidrofóbicas “preferirán” adherirse a la fase gaseosa (burbujas), evitando así el contacto con el agua, mientras que las demás permanecerán en la fase líquida. Las burbujas con partículas adheridas y una densidad conjunta menor que la del líquido, ascenderán hasta llegar a la espuma.

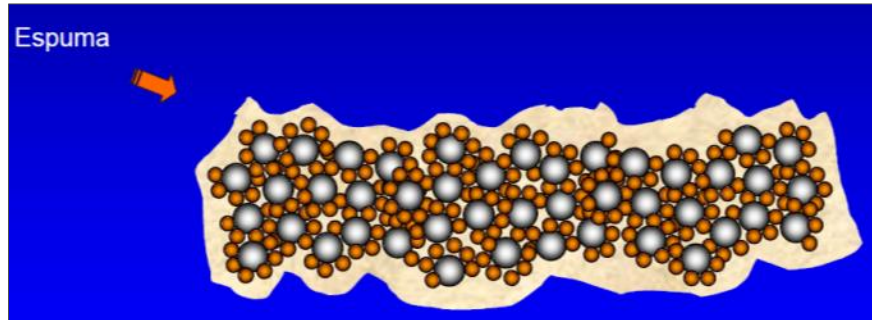


*Figura 18. Separación Selectiva*

*Fuente: Fundamentos de Flotación de Minerales*

El agregado burbuja – partículas debe lograr mantenerse tras dejar la superficie de la pulpa e ingresar a la fase espuma. El conjunto de agregados burbuja – partículas, en

la superficie, debe adquirir la forma de una espuma estable para posibilitar su remoción.



*Figura 19. Espuma*

*Fuente: Fundamentos de Flotación de Minerales*

### **Reactivos**

La mayoría de los minerales son naturalmente hidrofílicos. Para lograr separarlos por flotación, la superficie de algunos debe ser selectivamente transformada en hidrofóbica. Esto se logra regulando la química de la solución y agregando reactivos que se adsorban selectivamente en dicha superficie entregándole características hidrófobas. Estos reactivos se denominan colectores. Pocos minerales son hidrofóbicos por naturaleza, tales como la molibdenita, y es posible su flotación sin el uso de colectores, aunque es práctica común ayudarse con colectores suplementarios.

### **Colectores**

Compuestos orgánicos cuya función es tornar hidrofóbicas las superficies de los minerales. Los más comunes son iónicos siendo compuestos heteropolares solubles en agua.

Su grupo polar es la parte activa que se adsorbe (física o químicamente) en la superficie de un mineral. La parte apolar se orienta hacia la fase líquida, sin interactuar con ésta.

## **Espumantes**

Son reactivos orgánicos de carácter heteropolar. Análogos a los colectores iónicos en su estructura, su diferencia radica en el carácter del grupo polar que en los colectores es activo para reaccionar con la superficie de los minerales, mientras que en los espumantes es un grupo con gran afinidad con el agua ( $\text{OH}^-$ ). Permiten la formación de una espuma estable y burbujas de tamaño apropiado (pequeño) para llevar los minerales al concentrado.

### **2.2.2. Celdas de Flotación**

La concentración de minerales, en el procesamiento de minerales metálicos, permite disminuir de manera importante la cantidad de material (ganga) que pasa a la(s) etapa(s) de extracción de elementos de interés (metalurgia extractiva), permitiendo un aumento de la eficiencia operacional y una disminución de los costos asociados. Con la concentración de minerales se obtiene el primer producto comercializable (con valor de mercado) en la línea productiva.

La concentración por flotación se efectúa aprovechando las diferencias en las propiedades fisicoquímicas de las especies mineralógicas que se desee separar. Lo característico de esta operación es que las especies mineralógicas mantienen su identidad.

Si la mena contiene cantidades significativas de más de un mineral valioso, la finalidad de la concentración de minerales es, por lo general, separarlos, pudiéndose obtener más de un concentrado. Si hay minerales indeseables que puedan interferir con los procesos subsecuentes de refinación, que generen problemas de contaminación o que afecten la calidad del producto, es necesario extraerlos en la etapa de separación.



*Figura 20. Banco de Celda de Flotación*

*Fuente: Fundamentos de Flotación de Minerales*

### **Celdas Mecánicas**

Son las más comunes y las más usadas en la industria. Se caracterizan por tener un impulsor o agitador mecánico (rotor o impeler). Alrededor del eje del rotor se tiene un tubo concéntrico hueco que sirve de conducto para el ingreso del gas al interior de la pulpa, lo que ocurre en el espacio entre el rotor y un estator o difusor, donde es dispersado en pequeñas burbujas (1 - 3 mm). En la zona próxima al arreglo rotor – estator existe una gran agitación de la pulpa, para favorecer el contacto partícula – burbuja.

A partir de un nivel medio de la celda se tiene una zona menos turbulenta, donde el agregado burbuja-mineral hidrófobo asciende con menor probabilidad de romperse. A medida que las burbujas se mueven al nivel del labio de la celda, son arrastradas fuera por el empuje de las burbujas que vienen atrás.

Según el tipo de aireación se tiene:

- Celdas auto aireadas, que utilizan el vacío creado por el movimiento del rotor para inducir o succionar el aire desde la atmósfera hacia abajo, por el tubo concéntrico alrededor del eje del rotor.
- Celdas con aire forzado, que reciben el aire desde un soplador.

No existe una forma o geometría estándar para las celdas convencionales. Estas pueden ser cuadradas, rectangulares o circulares, con fondo plano o curvo. El diseño del rotor puede variar en forma, tamaño y número de "dedos" del rotor y estator, el espacio entre estos, etc.

Todas estas diferencias inciden en cierto grado en la suspensión y homogenización de los sólidos, así como en el consumo de energía. La generación y características de las burbujas es una consecuencia de la cantidad de aire que ingresa a la celda, del diseño del arreglo rotor-estator y de la dosificación del reactivo espumante.

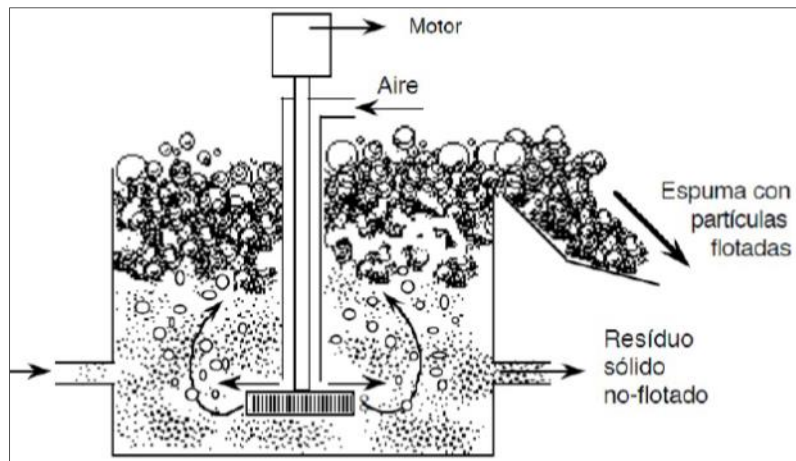
### **2.2.3. Recuperación Global vs Nivel (Profundidad de Espuma)**

Incrementos en la profundidad de espuma producen una disminución en la recuperación. Si disminuye la recuperación se produce un concentrado más rico. Cuando se aumenta la profundidad de espuma, se disminuye el nivel de pulpa, por lo tanto el tiempo de residencia disminuye, lo que contribuye a la disminución de la Recuperación. Si disminuye la recuperación se produce un concentrado más rico.



*Figura 21. Celda de Flotación Paragsha*

*Fuente: Planta Paragsha*



*Figura 22. Celda de Flotación*

*Fuente: Fundamentos de Flotación de Minerales*

---

# **DISEÑO DEL SISTEMA**

---

## **CAPÍTULO III**



### 3.2. DISEÑO DEL P&ID (Diagrama de Instrumentación y Tuberías)

El PID se diseña a partir del PFD.

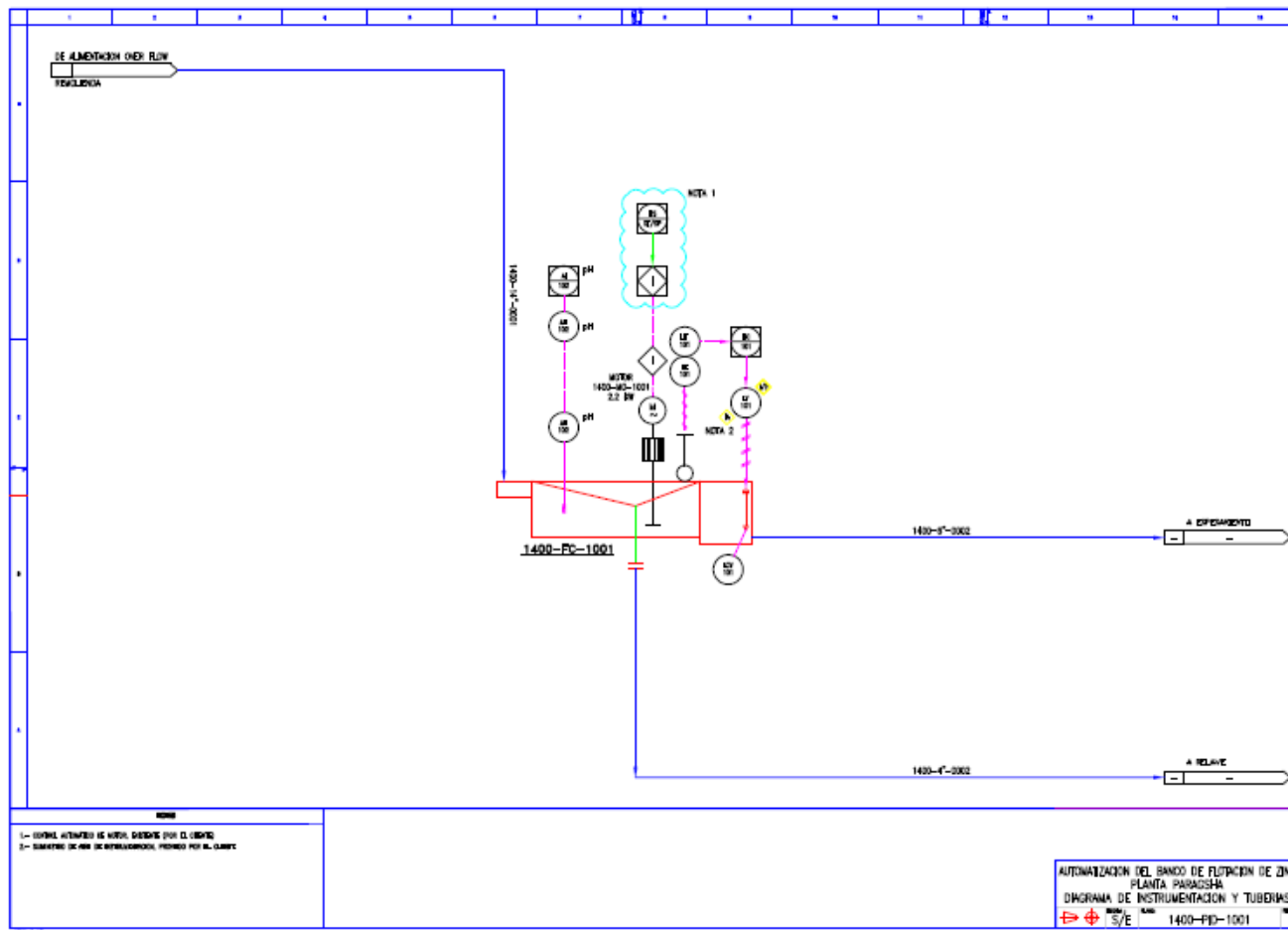


Figura 24. 1400-PID-1001

### 3.3. ESCALAMIENTO DE SEÑALES DE ENTRADA ANALÓGICA

#### 3.3.1. Sensor- Transmisor de Nivel 1400-LIT-101

DATOS:

- Rango de Nivel:  
 $0 \rightarrow 40 \text{ cm}$
- Sensor Transmisor de Nivel(Según especificaciones):  
 $42.0 \text{ cm} \rightarrow 4 \text{ mA}$   
 $82.0 \text{ cm} \rightarrow 20 \text{ mA}$
- Módulo de Entradas Analógicas del PLC(Según especificaciones):  
 $4 \text{ mA} \rightarrow 0$   
 $20 \text{ mA} \rightarrow 10000.0$

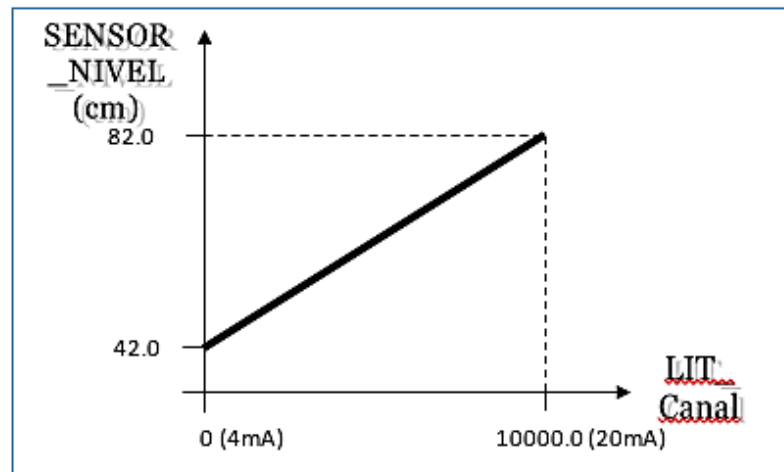


Figura 25. Nivel vs Escalamiento de Canal Analógico  
Fuente: Elaboración Propia

Por lo tanto la ecuación que se va a implementar en el programa del PLC para el lazo de control de nivel de espuma, teniendo como entrada analógica una corriente de 4mA – 20mA enviada por el sensor-transmisor de nivel 1400-LIT-101 es:

$$\text{SENSOR\_NIVEL} = \frac{40.0}{10000.0}(\text{LIT\_Canal}) + 42.0$$

$$\text{NIVEL\_ESPUM} = 82.0 - \text{SENSOR\_NIVEL}$$

### 3.3.2. Sensor Transmisor de pH 1400-AIT-102

DATOS:

- Rango de pH:  
0 → 15.0
- Sensor Transmisor de pH(Según especificaciones):  
0 → 4 mA  
15.0 → 20 mA
- Módulo de Entradas Analógicas del PLC (Según especificaciones):  
4 mA → 0  
20 mA → 10000.0

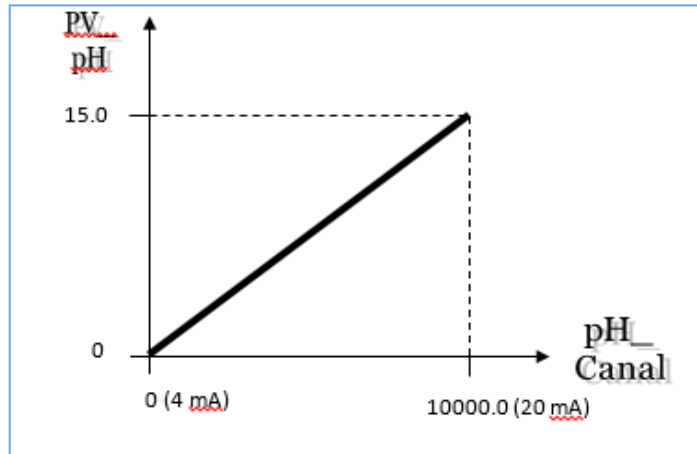


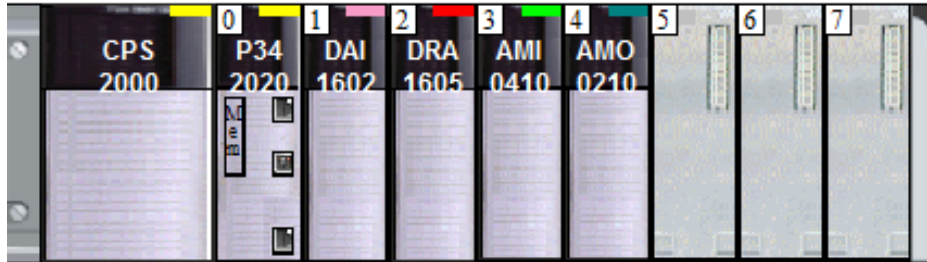
Figura 26. pH vs Escalamiento de Canal Analógico  
Fuente: Elaboración Propia

Por lo tanto la ecuación que se va a implementar en el Ladder para hallar pH de la pulpa, teniendo como entrada analógica una corriente de 4mA – 20mA enviada por el sensor-transmisor de pH 1400-AIT-102 es:

$$PV_{pH} = \frac{15.0}{10000.0}(pH\_Canal)$$

### 3.4. DESARROLLO DE ALGORITMOS DE CONTROL

#### 3.4.1. Configuración del PLC 1400-PLC-1001 en UNITY XL



*Figura 27. Configuración del PLC 1400-PLC-1001*

*Fuente: Elaboración propia*

#### **RACK 0**

Fuente: CPS2000

Slot 0: CPU: P34-2020

Slot 1: Módulo de entradas digitales: DAI1602

Slot 2: Módulo de salidas digitales: DRA1605

Slot 3: Módulo de entradas analógicas: AMI0410

Slot 4: Módulo de salidas analógicas: AMO210

### 3.4.2. Direccionamiento de Entradas y Salidas del PLC

Tabla 7. *Direccionamiento de Entradas Digitales*

SLOT	1
MODULO	ENTRADAS DIGITALES
DIRECCIÓN DE PLC	DESCRIPCIÓN
%I0.1.0	RUN_MOTOR_CELDA
%I0.1.1	RESERVA
%I0.1.2	RESERVA
%I0.1.3	RESERVA
%I0.1.4	RESERVA
%I0.1.5	RESERVA
%I0.1.6	RESERVA
%I0.1.7	RESERVA
%I0.1.18	RESERVA
%I0.1.9	RESERVA
%I0.1.10	RESERVA
%I0.1.11	RESERVA
%I0.1.12	RESERVA
%I0.1.13	RESERVA
%I0.1.14	RESERVA
%I0.1.15	RESERVA

**Nota.** Fuente: Elaboración Propia

Tabla 8. *Direccionamiento de Salidas Digitales*

SLOT	2
MODULO	SALIDAS DIGITALES
DIRECCIÓN DE PLC	DESCRIPCIÓN
%Q0.2.0	RESERVA
%Q0.2.1	RESERVA
%Q0.2.2	RESERVA
%Q0.2.3	RESERVA
%Q0.2.4	RESERVA
%Q0.2.5	RESERVA
%Q0.2.6	RESERVA
%Q0.2.7	RESERVA
%Q0.2.8	RESERVA
%Q0.2.9	RESERVA
%Q0.2.10	RESERVA
%Q0.2.11	RESERVA
%Q0.2.12	RESERVA
%Q0.2.13	RESERVA
%Q0.2.14	RESERVA
%Q0.2.15	RESERVA

**Nota.** Fuente: Elaboración Propia

Tabla 9. *Direccionamiento de Entradas Analógicas*

SLOT	3
MODULO	ENTRADAS ANALÓGICAS
DIRECCIÓN DE PLC	DESCRIPCIÓN
%IW0.3.0	1400_LIT_101
%IW0.3.1	1400_AIT_102
%IW0.3.2	RESERVA
%IW0.3..3	RESERVA

**Nota.** Fuente: Elaboración Propia

Tabla 10. *Direccionamiento de Salidas Analógicas*

SLOT	4
MODULO	SALIDAS ANALÓGICAS
DIRECCIÓN DE PLC	DESCRIPCIÓN
%QW0.4.0	1400_LY_101
%QW0.4.0.1	RESERVA

**Nota.** Fuente: Elaboración Propia

### 3.4.3. Direccionamiento de Memorias del PLC

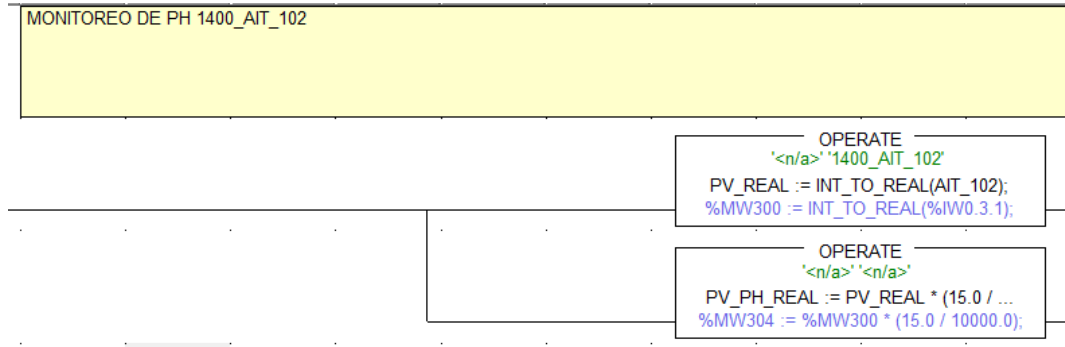
Tabla 11. *Direccionamiento de Memorias*

TAG	MEMORIA	TIPO DE VARIABLE
LIT_101	%IW0.3.0	INT
AIT_102	%IW0.3.1	INT
LY_101	%QW0.4.0	INT
PV_LIC	%MW200	INT
SP_LIC_43	%MW202	ARRAY[0..42] OF INT
TS_LIC	%MW207	INT
OUT_MAX_LIC	%MW208	INT
OUT_MIN_LIC	%MW209	INT
LIT_REAL	%MW250	REAL
PV_NIVEL_ESPUMA	%MW254	REAL
PH_REAL	%MW300	REAL
PV_PH_REAL	%MW304	REAL
RUN_CELDA	%I.0.1.0	BOOL

**Nota.** Fuente: Elaboración Propia

#### 3.4.4. Programa del PLC, en Lenguaje LADDER

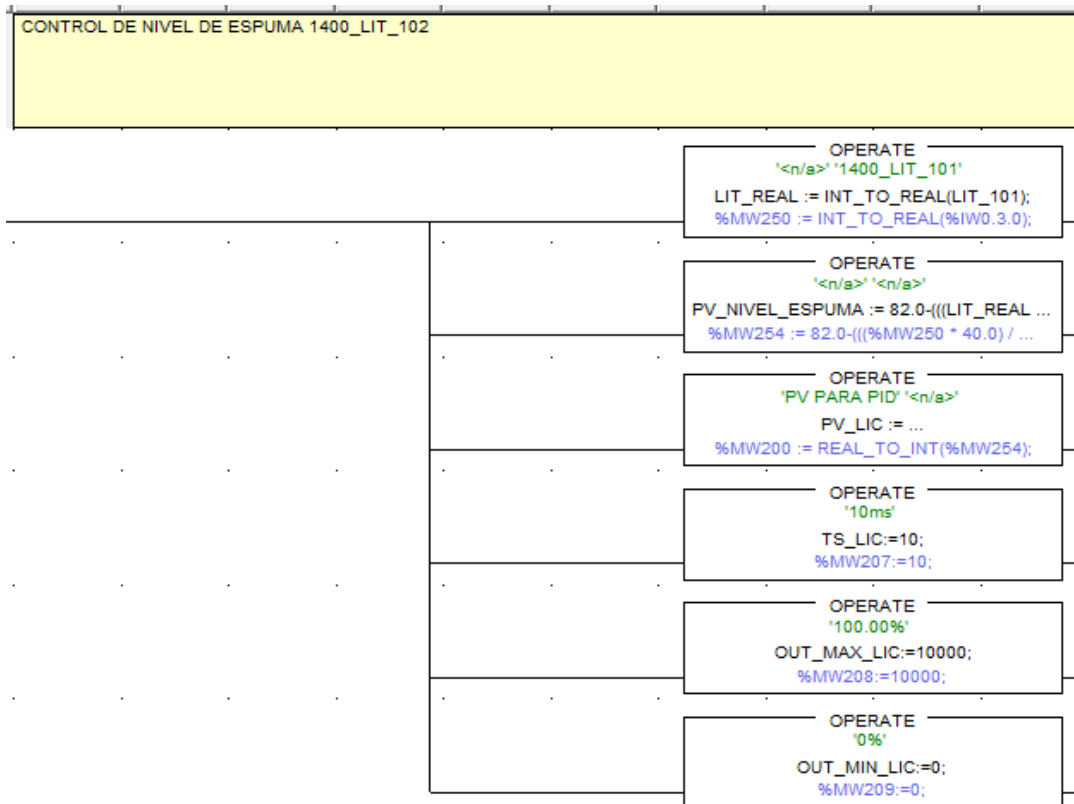
## Lazo 1400\_AIT\_102 (Monitoreo De pH)



*Figura 28. Configuración del PLC 1400-PLC-101 Monitoreo de pH*

*Fuente:* Elaboración Propia

## Lazo 1400\_LIT\_101 (Control De Nivel)



*Figura 29. Configuración del PLC 1400-PLC-101 Control de Nivel*

*Fuente:* Elaboración Propia

### 3.4.5. Interfaz Gráfica del HMI

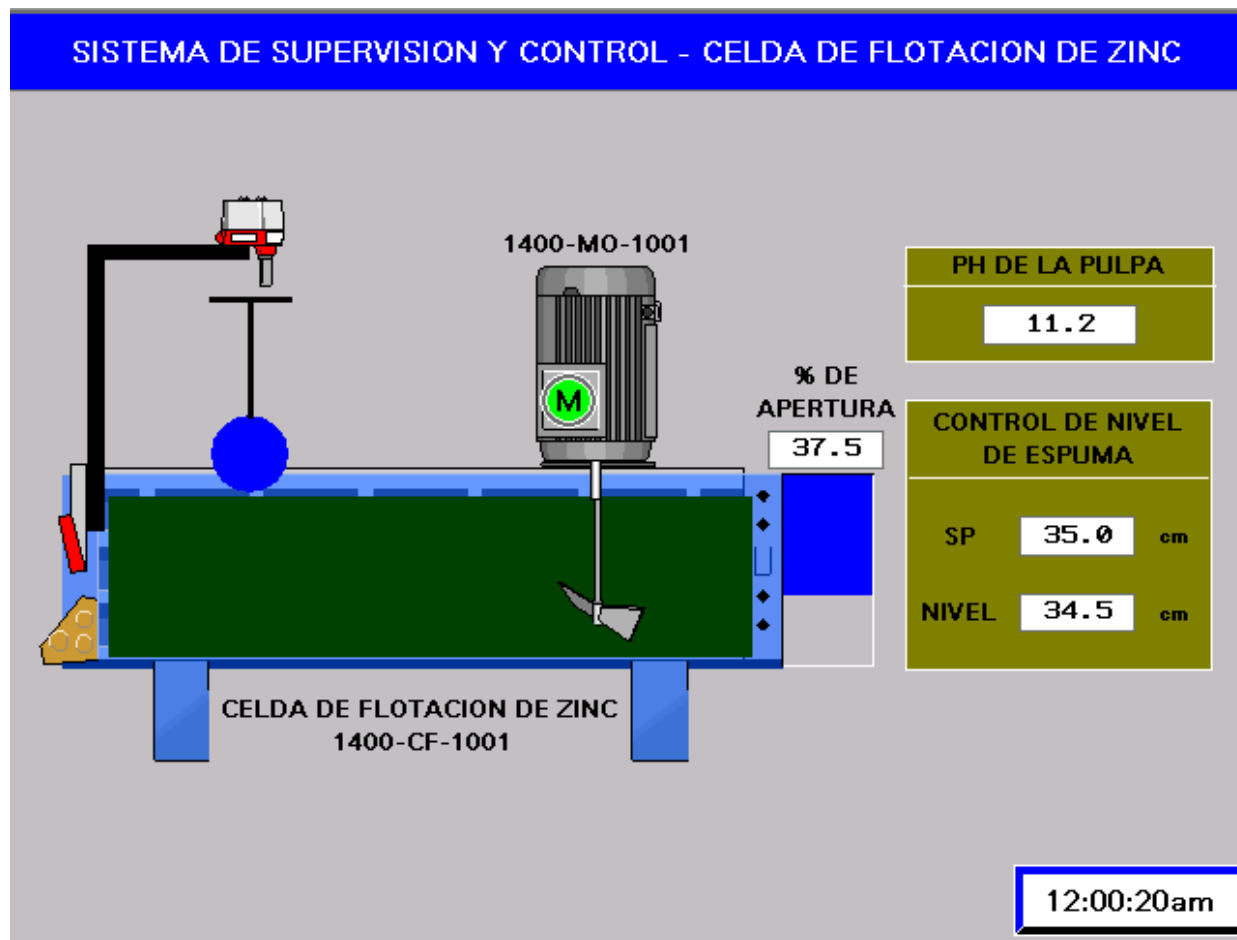


Figura 30. Pantalla Principal del HMI  
Fuente: Elaboración Propia

## 3.5. DISEÑOS DE PLANOS

### 3.5.1. Arquitectura de Control

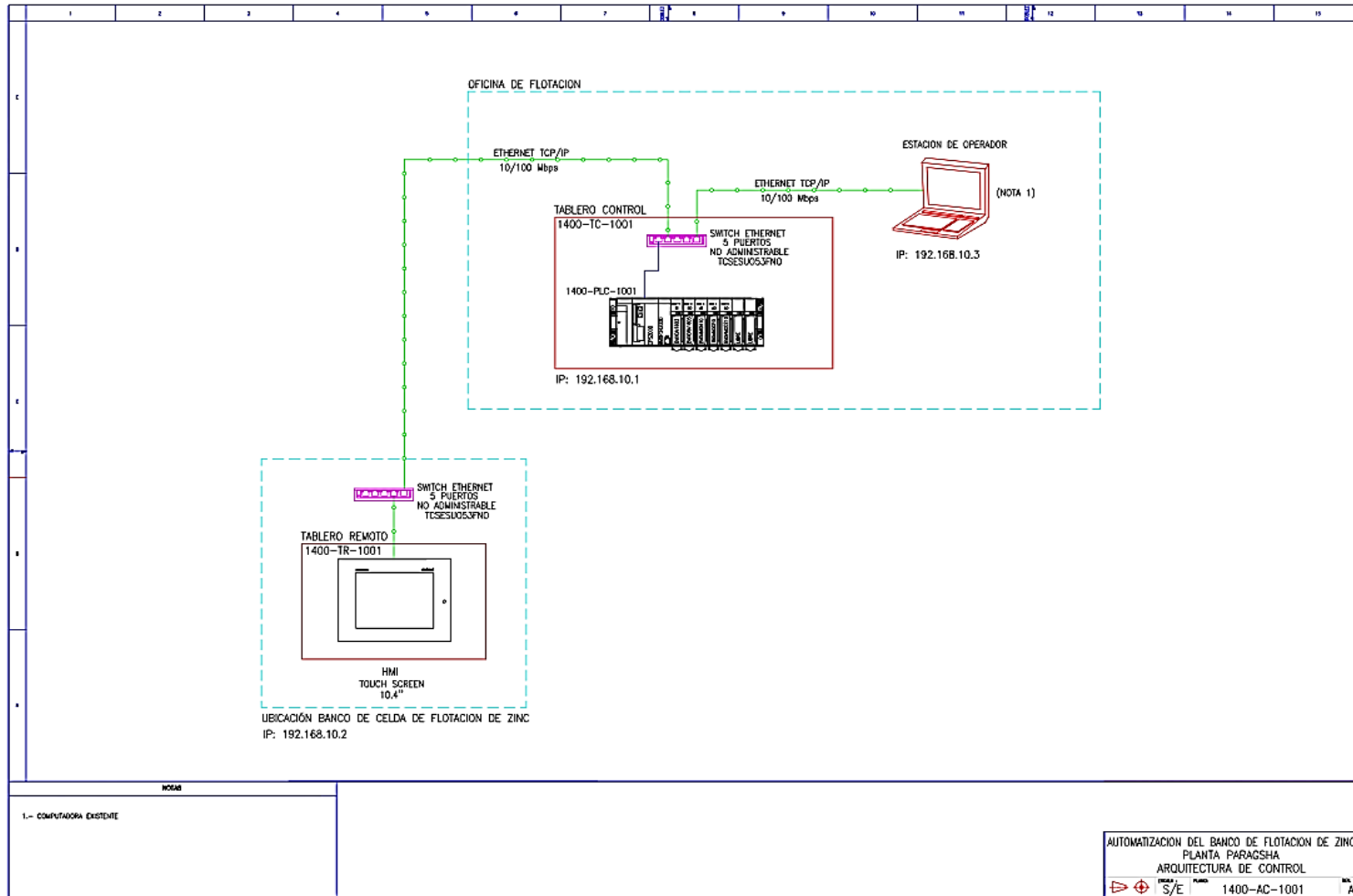


Figura 31. 1400-AC-1001

Fuente: Elaboración Propia

### 3.5.2. Diagramas de Lazo

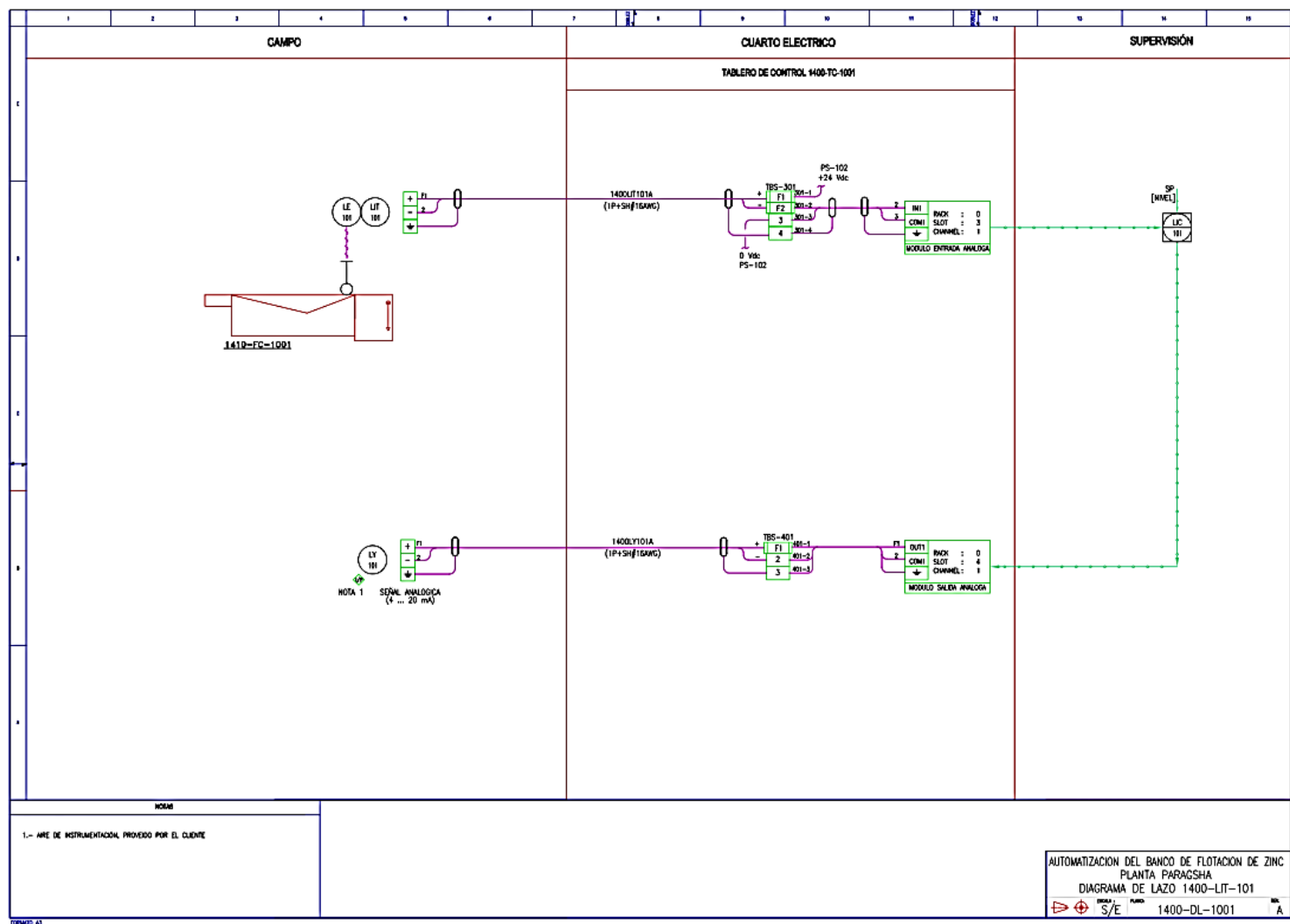


Figura 32. 1400-DL-1001  
Fuente. Elaboración Propia



### 3.5.3. Diagrama Unifiliar

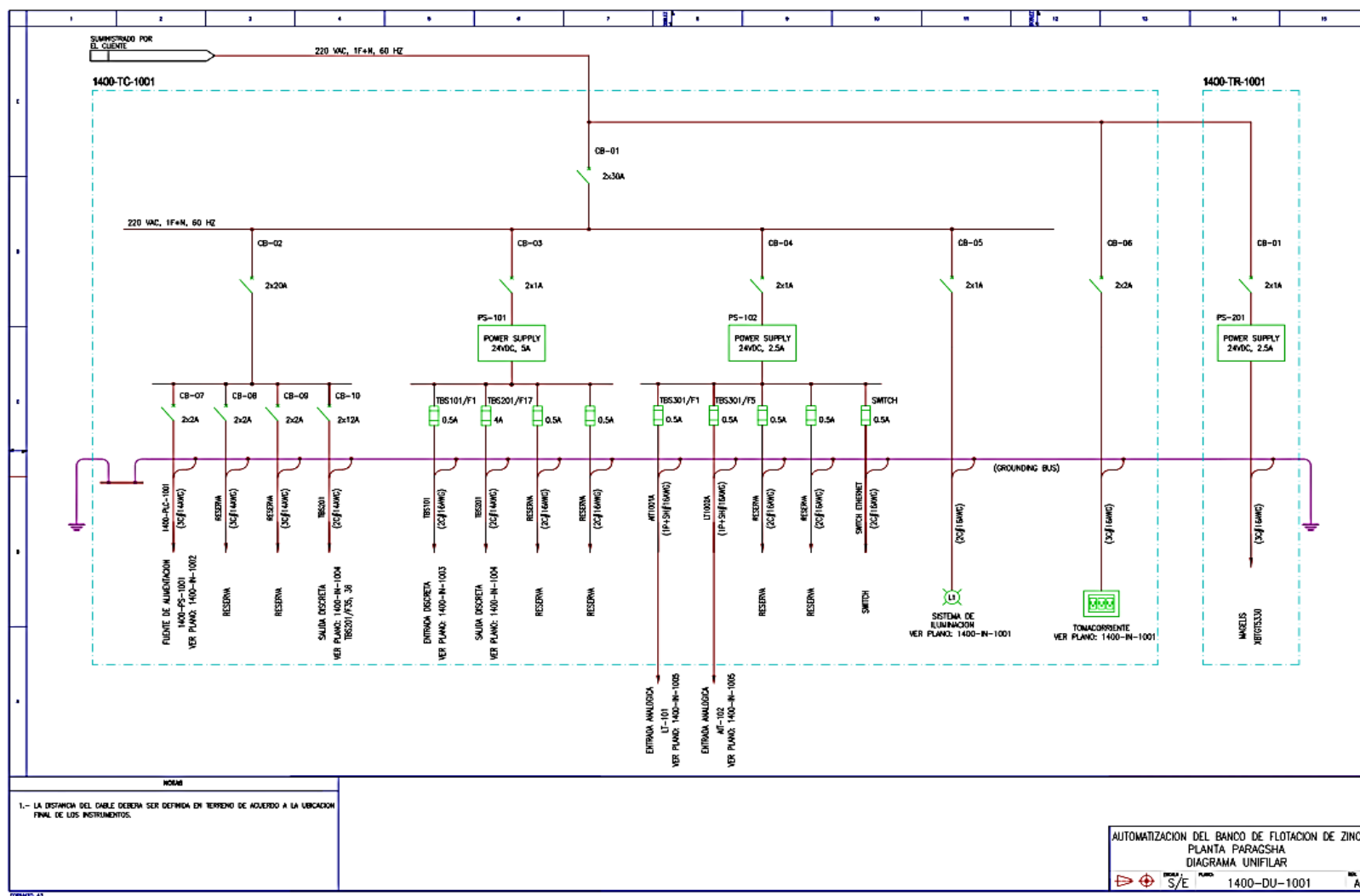


Figura 34. 1400-DU-1001

*Fuente.* Elaboración Propia

### 3.5.4. Diagramas de Interconexión

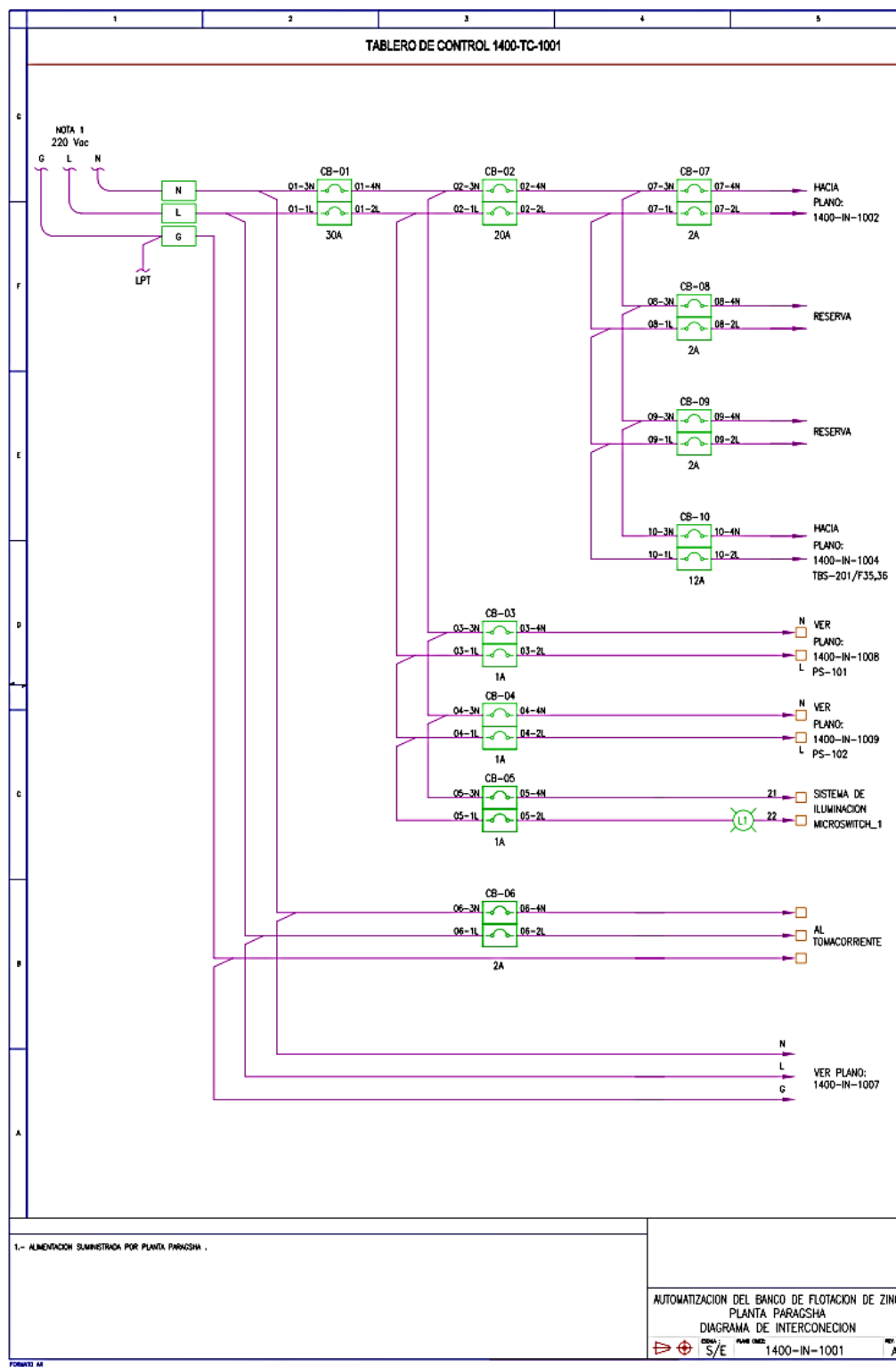


Figura 35. 1400-IN-1001  
Fuente: Elaboración Propia

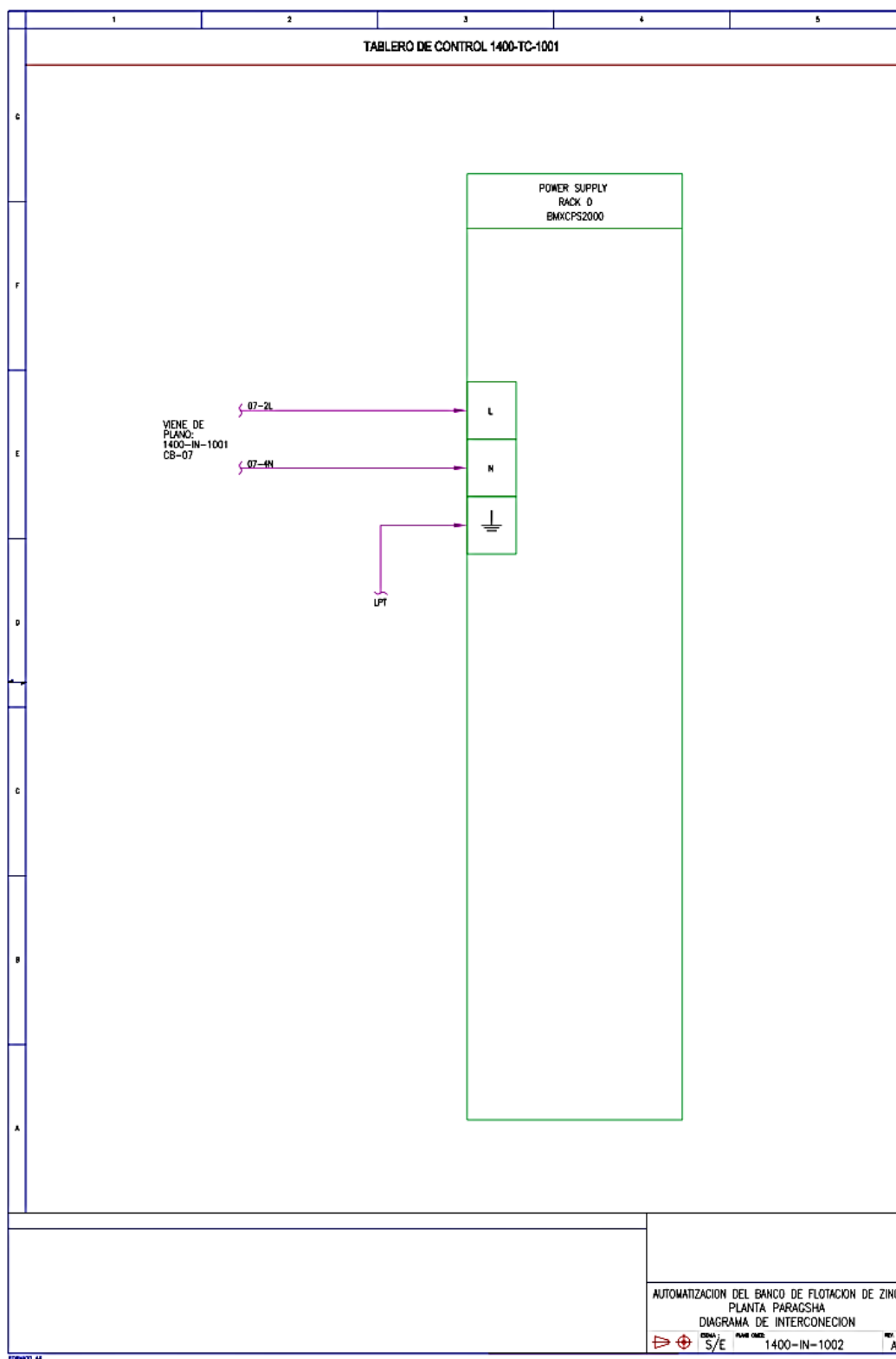


Figura 36. 1400-IN-1002  
Fuente: Elaboración Propia



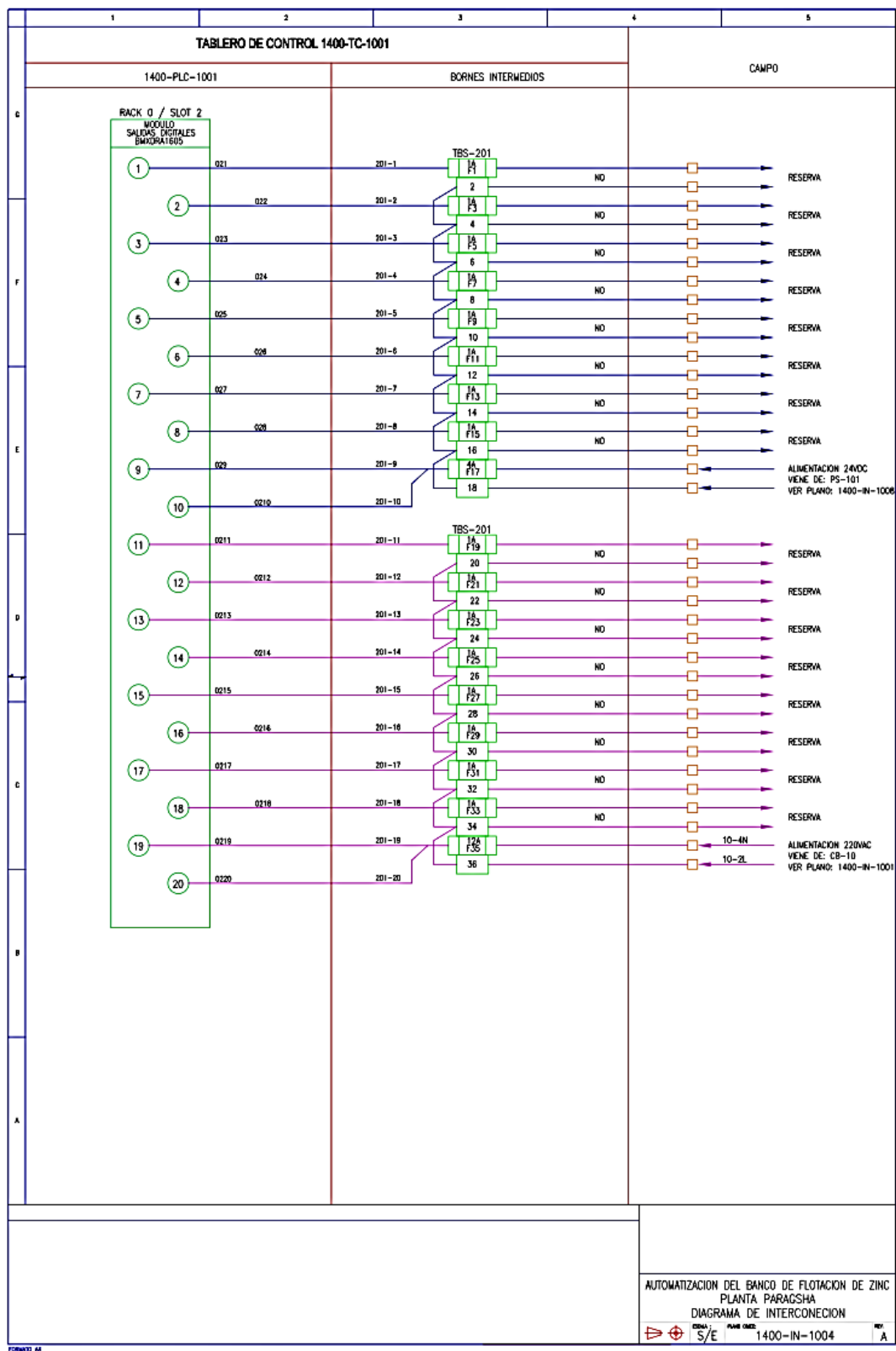


Figura 38. 1400-IN-1004  
Fuente: Elaboración Propia

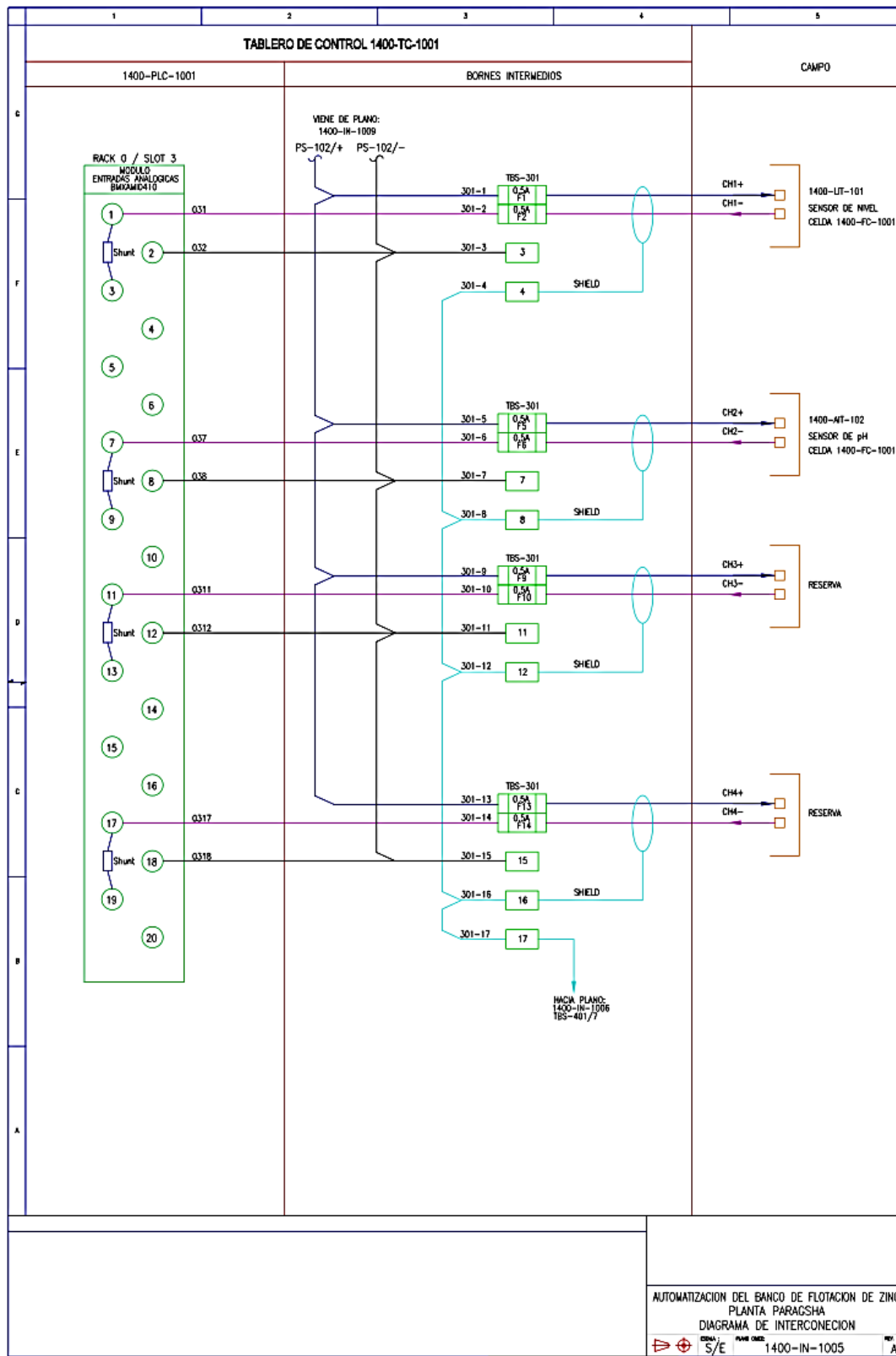


Figura 39. 1400-IN-1005  
Fuente: Elaboración Propia

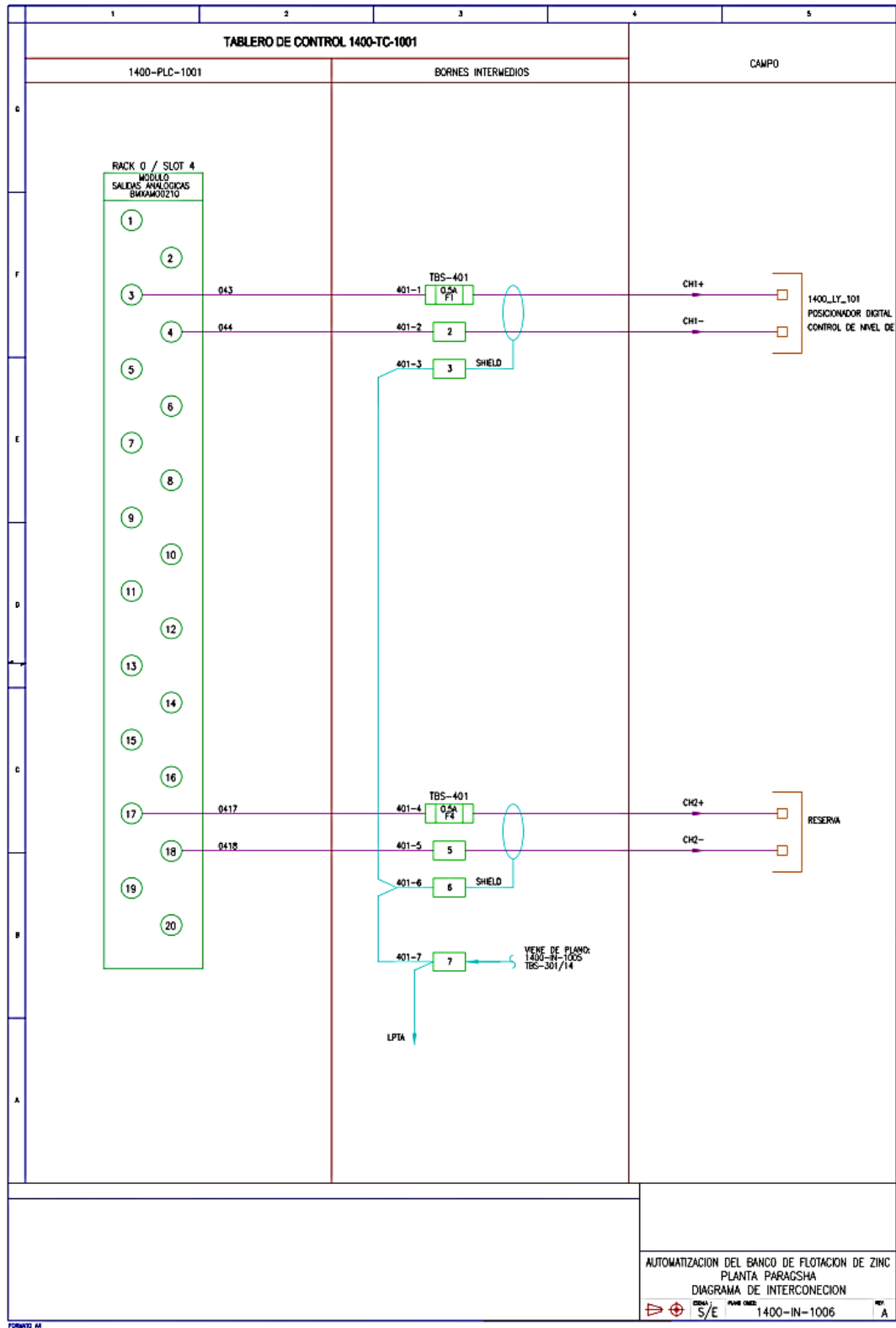


Figura 40. 1400-IN-1006  
Fuente: Elaboración Propia



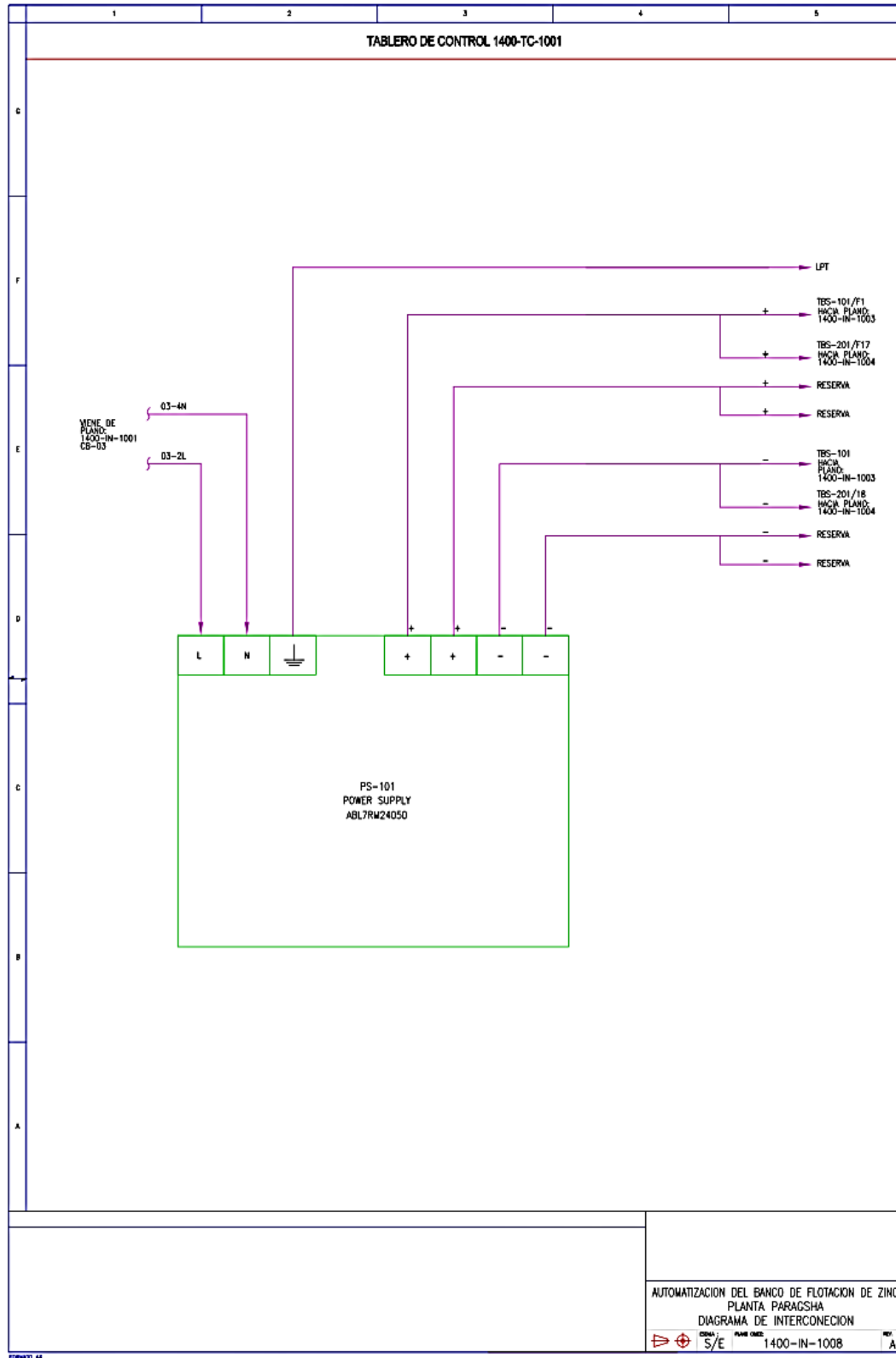


Figura 42. 1400-IN-1008  
Fuente: Elaboración Propia

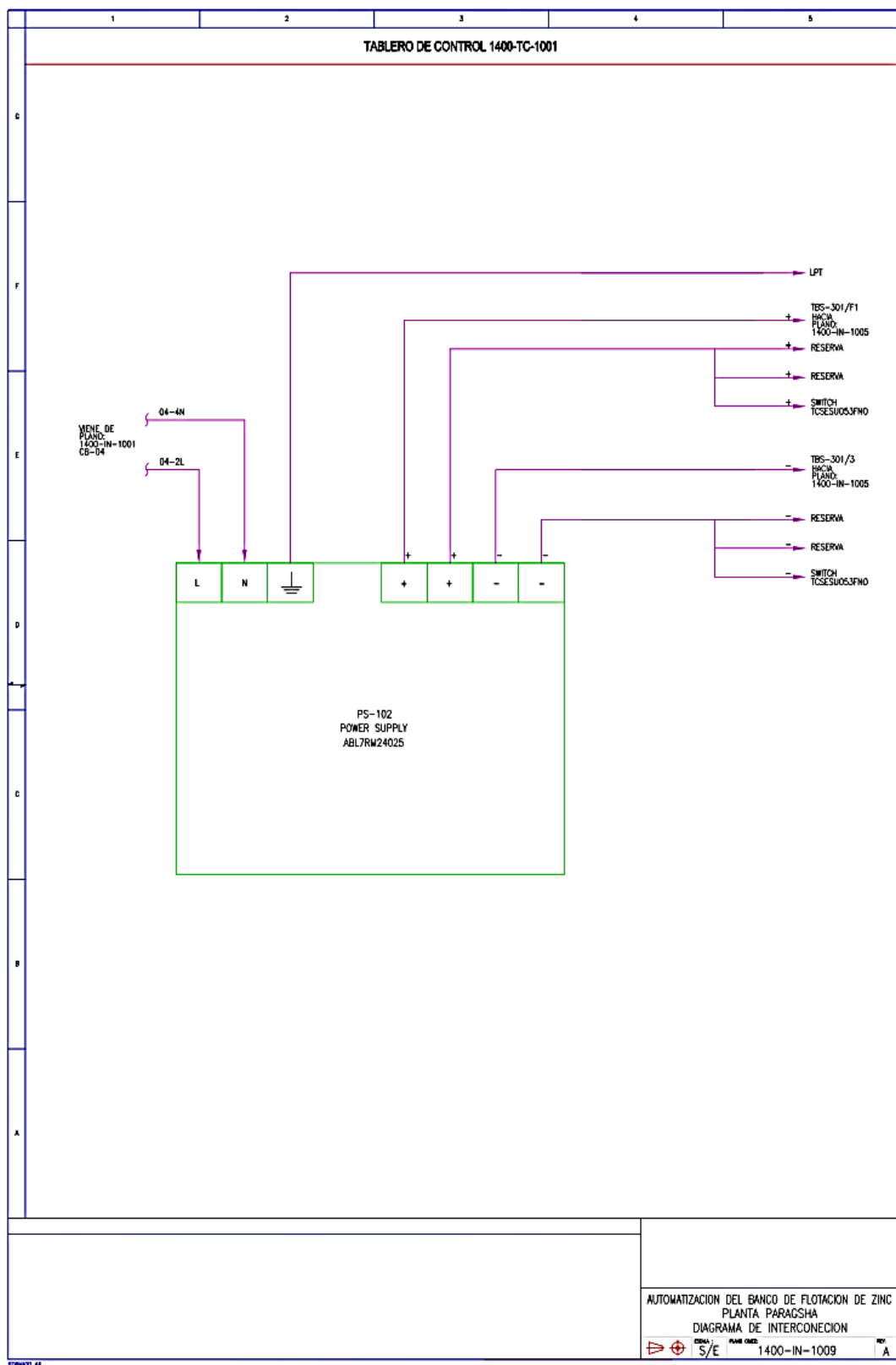
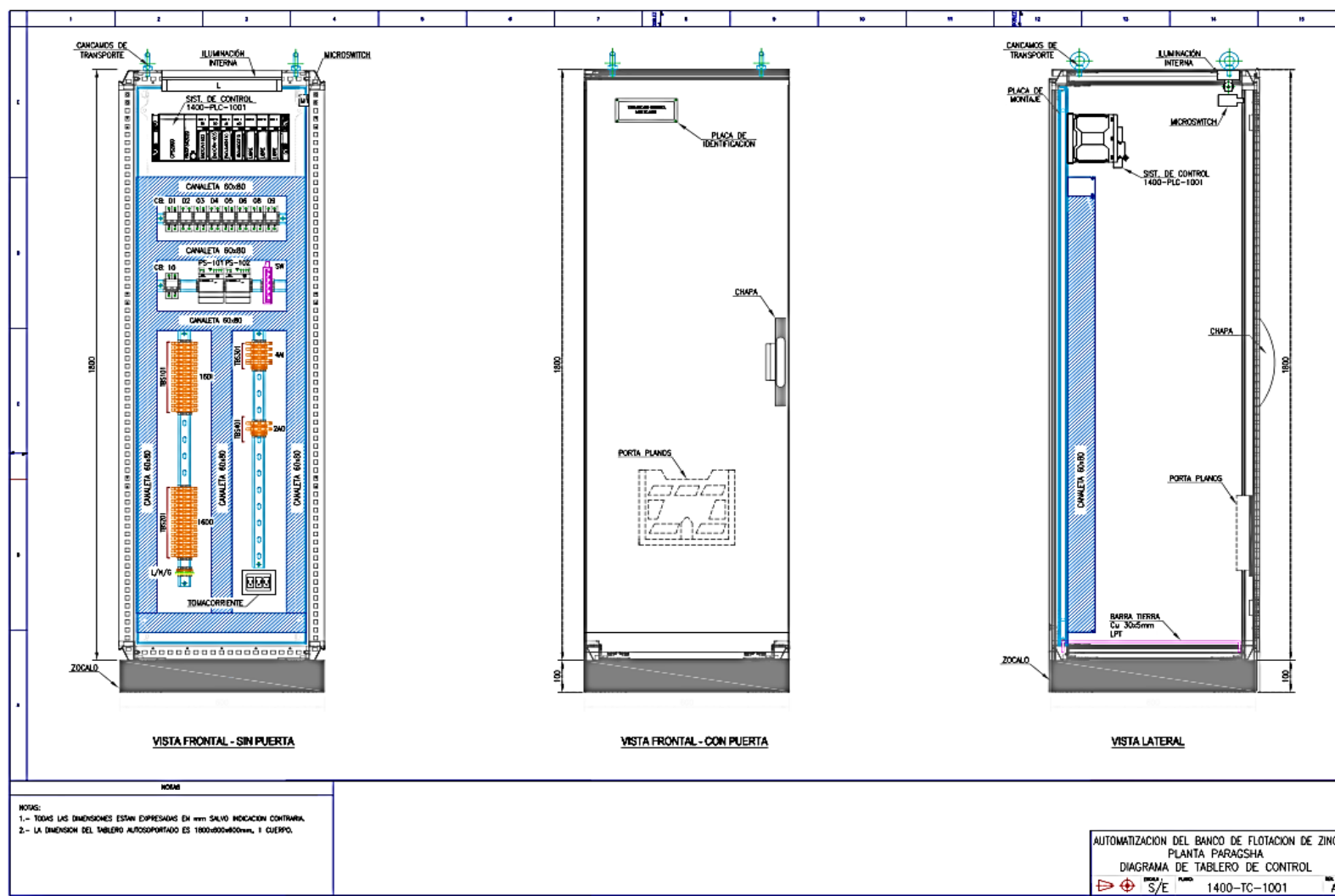


Figura 43. 1400-IN-1009  
Fuente. Elaboración Propia

### 3.5.5. Tablero de Control



*Figura 44. 1400-TC-1001*  
*Fuente: Elaboración Propia*

### 3.5.6. Tablero Remoto

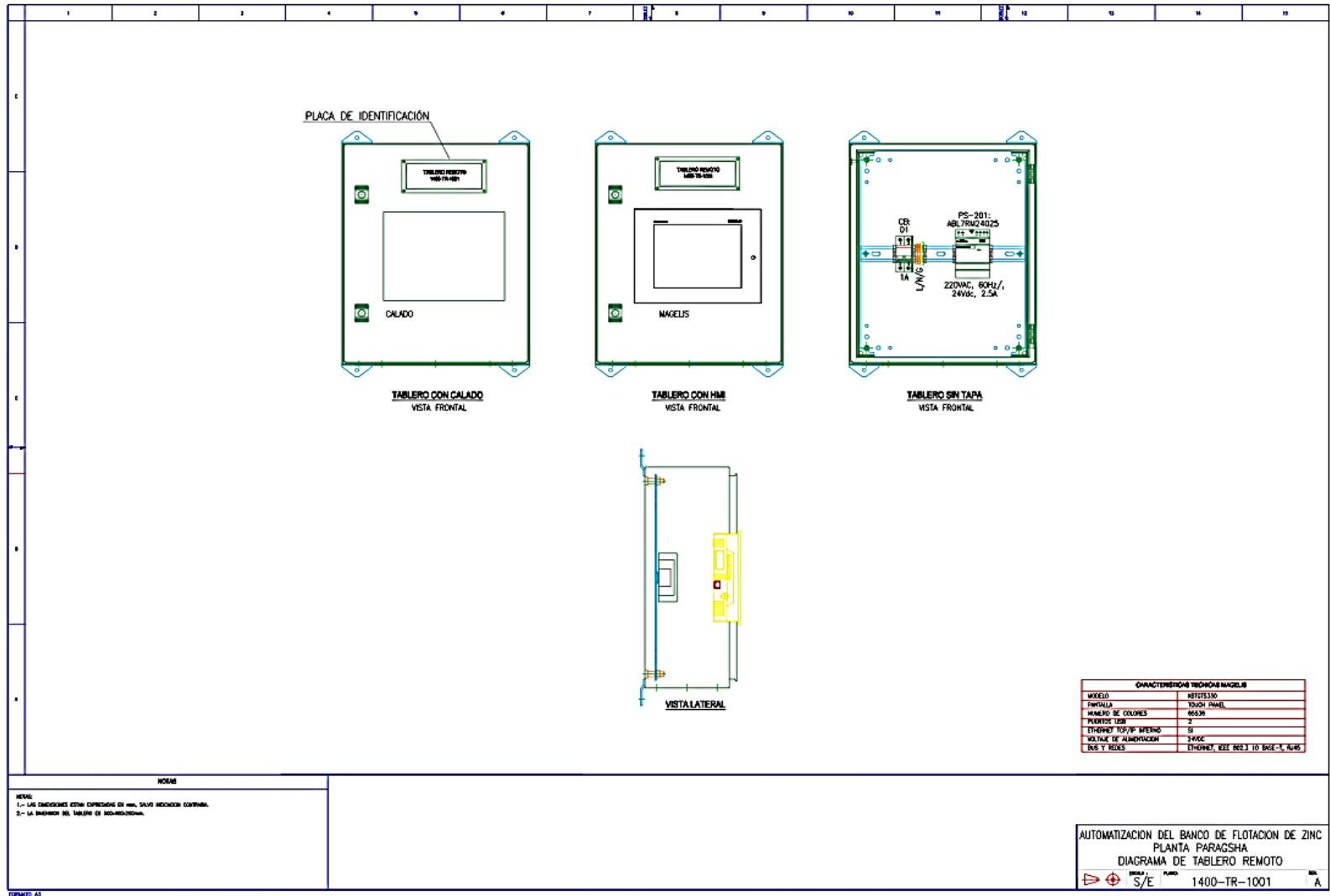


Figura 45. 1400-TR-100  
Fuente: Elaboración Propia

### 3.6. LISTA DE INSTRUMENTOS

El listado de Instrumentos deriva del P&ID

Tabla 12. *Listado de Instrumentos*

TAG	DESCRIPCIÓN
1400-LE/LIT-101	SENSOR/TRANSMISOR INDICADOR DE NIVEL
1400-LY-101	POSICIONADOR DIGITAL
1400-LCV-101	VÁLVULA DE CONTROL
1400-AE/AIT-102	SENSOR/TRANSMISOR INDICADOR DE pH

**Nota.** Fuente: Elaboración Propia

### 3.7. ESPECIFICACIÓN DE LOS INSTRUMENTOS

#### 3.7.1. Sensor/ Indicador/ Transmisor de pH

Tabla 13. *Datos de Proceso*

PH (min / norm / max)	10	11	11.5
-----------------------	----	----	------

**Nota.** Fuente: Área de Procesos de Planta

### 3.7.1.1. Hoja de Datos del Sensor Indicador Transmisor de pH

Tabla 14. *Requerimientos Mínimos del Transmisor- Indicador de pH*

Fabricante	ABB
Modelo	TB82PH2110101
Indicación	pH y Temperatura
Rango de medición	0 - 14
Niveles de Calibración	4, 7 y 14
Tipo	Remoto
Display	Si
Alimentación	24 Vdc, 2 Hilos
Señal de Salida	4 – 20 mA
Protección	Nema 4X
Conexión Eléctrica	½ NPT
Precisión	+ - 0.01 pH
TAG	1400-AIT-102

**Nota.** Fuente: Elaboración Propia

Tabla 15. *Requerimientos Mínimos del Sensor de pH*

Fabricante	ABB
Modelo	TBX556611D1100T302
Tipo	Inmersión en Tanque Abierto
Indicación	pH y Temperatura
Material de Protección de la Sonda	Vidrio
Material del Sensor	EPDM
Rango de medición	0 - 14
Compensación de Temperatura	Integrado / Automático
Niveles de Calibración	4, 7 y 14
Longitud del Cable	9 mt
Tipo	Remoto
Kit de Calibración	7 y 10
Protección	IP 67
TAG	1400-AE-102

**Nota.** Fuente: Elaboración Propia



Figura 46. Sensor/ Transmisor Indicador de pH

Fuente: [www.ABB.com](http://www.ABB.com)

### 3.7.2. Lazo de Control de Nivel

#### 3.7.2.1. Hoja de Datos del Sensor Indicador Transmisor de Nivel

Tabla 16. *Requerimientos Mínimos del Sensor/ Transmisor Indicador de Nivel*

Fabricante	VEGA
Modelo	VEGASON 61
Tipo de Medición	Ultrasónico
Indicador Local	Si
Grado de Protección	IP 67
Material de la Carcasa	Polycarbonato
Conexión al Proceso	ANSI, 1 ½" NPT
Alimentación	24 Vdc, 2 Hilos
Señal de Salida	4 - 20 mA
Precisión	+ - 10 mm
Rango Máximo	0 - 5 mt
Banda Muerta	25 cm
Conexión Eléctrica	2 x 1/2" NPT Hembra
TAG	1400-LE/LIT-101

**Nota.** Fuente: Elaboración Propia



Figura 47. Sensor/ Transmisor Indicador de Nivel VegaSon 61

Fuente: <http://www.vega.com>

### 3.7.2.2. Hoja de Datos del Posicionador Digital

Tabla 17. *Requerimientos Mínimos del Posicionador Digital*

Fabricante	FLOWSERVE
Modelo	LOGIX 510si
Tipo	Posicionador Neumático de Doble Efecto
Material del cuerpo	Aluminio Fundido
Manómetros de Presión	3 x 304 SS
Operación Manual	Si, por Switch
Grado de Protección	Nema 4X
Señal de Entrada	4 – 20 Ma
Conexión	¼ NPT
Retroalimentación	Si, Mecánicamente
Salida	3 – 15 Psig
Conexión Electrica	½” NPT hembra
TAG	1400-LY-101

**Nota.** Fuente: Elaboración Propia



Figura 48. Posicionador Digital Logix 510si

Fuente: [www.flowserve.com](http://www.flowserve.com)

### 3.7.2.3. Hoja de Datos del Actuador

Tabla 18. *Requerimientos Mínimos del Actuador*

Fabricante	VALTEK
Modelo	25 STD
Tipo	Pistón Neumático de Doble Efecto
Material del Vástago	316 SS
Longitud del Vástago	200 mm
Conexión del Aire	¼" NPT
Alimentación de Aire	100 Psig Máximo
TAG	1400-LCV-101

**Nota.** Fuente: Elaboración Propia



*Figura 49. Actuador VALTEK*  
*Fuente: [www.flowserve.com](http://www.flowserve.com)*

## 3.8. ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA DE CONTROL

### 3.8.1. Dimensionamiento del PLC 1400-PLC-1001

#### 3.8.1.1. Hoja de datos de la fuente del PLC

Tabla 19. *Requerimientos Mínimos de la Fuente del PLC*

Manufactura	Schneider
Modelo	M340
Tipo	BMXCPS2000
Alimentación Entrada	100 a 240 Vac
Tensión de Salida	24 Vdc hacia el Rack
Potencia	20 Watts

**Nota.** Fuente: Elaboración Propia



*Figura 50.* Fuente BMXCPS2000

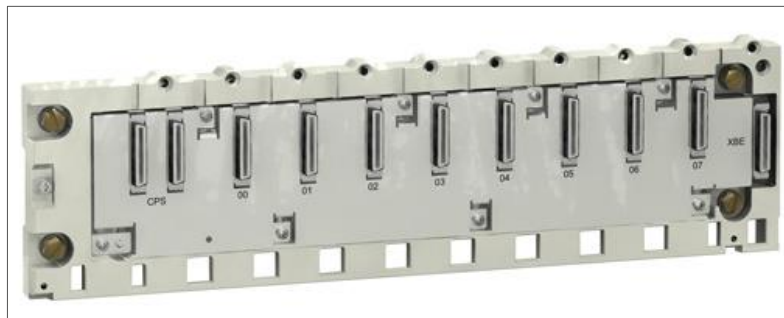
*Fuente:* [www.schneider-electric.com](http://www.schneider-electric.com)

### 3.8.1.2. Hoja de datos del Rack

Tabla 20. *Requerimientos Mínimos del Rack del PLC*

Manufactura	Schneider
Modelo	M340
Tipo	BMXXBP0800
Cantidad de Slots	8

**Nota.** Fuente: Elaboración Propia



*Figura 51. Rack BMXXBP0800*

*Fuente:* [www.schneider-electric.com](http://www.schneider-electric.com)

### 3.8.1.3. Hoja de datos del CPU

Tabla 21. *Requerimientos Mínimos del CPU*

Manufactura	Schneider
Modelo	M340
Tipo	BMXP342020
Alimentación	24 Vdc, por Rack
Módulos de Ampliación	SI, Hasta 12
Protocolo de Comunicación	Ethernet TCP/IP

**Nota.** Fuente: Elaboración Propia



Figura 52. CPU BMXP342020

Fuente: [www.schneider-electric.com](http://www.schneider-electric.com)

#### 3.8.1.4. Hoja de datos de Módulo de Entradas Digitales

Tabla 22. *Requerimientos Mínimos del Módulo de Entradas Digitales*

Manufactura	Schneider
Modelo	M340
Tipo	BMXDAI1602
Alimentación	24 Vdc/Vac
Número de Canales	16
Tipo	PNP o NPN

**Nota.** Fuente: Elaboración Propia



*Figura 53. Módulo de Entradas Digitales BMXDAI1602*

*Fuente:* [www.schneider-electric.com](http://www.schneider-electric.com)

### 3.8.1.5. Hoja de datos de Módulo de Salidas Digitales

Tabla 23. *Requerimientos Mínimos del Módulo de Salidas Digitales*

Manufactura	Schneider
Modelo	M340
Tipo	BMXDRA1605
Corriente Máxima por Canal	3 A
Número de Canales	16
Tipo	Relé

**Nota.** Fuente: Elaboración Propia



*Figura 54. Módulo de Salidas Digitales BMXDRA1605*

*Fuente:* [www.schneider-electric.com](http://www.schneider-electric.com)

### 3.8.1.6. Hoja de datos de Módulo de Entradas Analógicas

Tabla 24. *Requerimientos Mínimos del Módulo de Entradas Analógicas*

Manufactura	Schneider
Modelo	M340
Tipo	BMXAMI0410
Número de Canales	4
Tipo	0 - 10 Vdc / 4 - 20 mA
Cantidad de Bits	16

**Nota.** Fuente: Elaboración Propia



*Figura 55. Módulo de Entradas Analógicas BMXAMI0410*

*Fuente:* [www.schneider-electric.com](http://www.schneider-electric.com)

### 3.8.1.7. Hoja de datos de Modulo de Salidas Analógicas

Tabla 25. *Requerimientos Mínimos del Módulo de Salidas Analógicas*

Manufactura	Schneider
Modelo	M340
Tipo	BMXAMO0210
Número de Canales	2
Tipo	0 - 10 Vdc / 4 - 20 mA
Cantidad de Bits	16

**Nota.** Fuente: Elaboración Propia



Figura 56. Módulo de Salidas Analógicas BMXAMO0210

Fuente: [www.schneider-electric.com](http://www.schneider-electric.com)

### 3.8.1.8. Hoja de datos HMI (Interface hombre- Máquina)

Tabla 26. *Requerimientos Mínimos del HMI (Interface Hombre Máquina)*

Manufacture	Schneider
Modelo	XBTGT5330
Tamaño	10,4"
Tipo	TFT, LCD color
Touchscreen	SI
Resolución	VGA 640 x 480
Alimentación	24 Vdc
Protocolo de Comunicación	Ethernet TCP/IP
TAG	1400-HMI-1001

**Nota.** Fuente: Elaboración Propia



*Figura 57. HMI XBTGT5330*

*Fuente:* [www.schneider-electric.co](http://www.schneider-electric.co)

---

# **COSTO/BENEFICIO**

---

## **CAPÍTULO IV**

## 4. COSTO/ BENEFICIO

### 4.1. COSTOS DE HARDWARE

#### 4.1.1. Costos de Instrumentación

Tabla 27. *Costos de los Instrumentos del Proyecto*

TAG	FABRICANTE / MODELO	CANT	PRECIO UNITARIO (S/.)	PRECIO TOTAL (S/.)
1400-LE/LIT-101	VEGA / VEGASON 61	1	2200.00	2200.00
1400-LCV-101	VALTEK 25 STD	1	3200.00	3200.00
1400-LY-101	FLOWSERVE	1	5200.00	5200.00
1400-AE/AIT-102	ABB / TB82PH2110101	1	6300.00	6300.00
SUBTOTAL				16,900.00

**Nota. Fuente:** Elaboración Propia

#### 4.1.2. Costos de Sistema de Control

Tabla 28. *Costos de Tablero de Control 14000-TC-1001*

TAG	MODELO	CANT	PRECIO UNITARIO (S/.)	PRECIO TOTAL (S/.)
1400-TC-1001	Rittal 1800 x 600 x 600	1	1200.00	1200.00
Fuente de Alimentación PLC	BMXCPS2000	1	758.00	758.00
Rack PLC	BMXXBP0800	1	656.00	656.00
CPU	BMXP342020	1	3015.00	3015.00
Módulo de Entradas Digitales	BMXDAI1602	1	751.00	751.00
Módulo de Salidas Digitales	BMXDRA1605	1	949.00	949.00
Módulo de Entradas Analógicas	BMXAMI0410	1	1656.00	1656.00
Módulo de Salida Analógicas	BMXAMO0210	1	1743.00	1743.00
Varios (Accesorios) 1400-TC-1001	-	1	1200.00	1200.00
Armado de Tablero 1400-TC-1001	-	1	3200.00	3200.00
SUBTOTAL				15,128.00

**Nota. Fuente:** Elaboración Propia

Tabla 29. *Costos del Tablero Remoto 1400-TR-1001*

TAG	MODELO	CANT	PRECIO UNITARIO (S/.)	PRECIO TOTAL (S/.)
1400-TR-1001	Rittal 500 x 400 x 200	1	530.00	530.00
Interface Hombre Máquina	XBTGT5330	1	6846.00	6846.00
Varios (Accesorios) 1400-TR-1001	-	1	800.00	800.00
Armado de Tablero 1400-14880+TR-1001	-	1	1700.00	1700.00
SUBTOTAL				9876.00

**Nota. Fuente:** Elaboración Propia

## 4.2. COSTOS DE SOFTWARE

Tabla 30. *Costos de los Software para Programación*

DESCRIPCION	MODELO	CANT	PRECIO UNITARIO (S/.)	PRECIO TOTAL (S/.)
Programación de PLC	Unity PRO XL	1	24100.00	24100.00
Programación de HMI	Vijeo Designer 6.3	1	4510.00	4510.00
SUBTOTAL				28,610.00

**Nota. Fuente:** Elaboración Propia

### 4.3. COSTOS DE INGENIERÍA

Tabla 31. *Costos de Ingeniería del Proyecto*

DESCRIPCIÓN	CANT	PRECIO UNITARIO (S/.)	PRECIO TOTAL (S/.)
Elaboración de Planos	1	2,500.00	2,500.00
Programación del PLC	1	1,800.00	1,800.00
Programación del HMI	1	1,200.00	1,200.00
SUBTOTAL			5,500.00

**Nota. Fuente:** Elaboración Propia

### 4.4. COSTOS DE INSTALACIÓN

Tabla 32. *Costos de Montaje, Pruebas, Puesta en Marcha*

DESCRIPCIÓN	CANT	PRECIO UNITARIO (S/.)	PRECIO TOTAL (S/.)
Montaje de Instrumentos, Tableros, pruebas, puesta en Marcha	1	3,000.00	3,000.00
SUBTOTAL			3,000.00

**Nota. Fuente:** Elaboración Propia

### 4.5. COSTOS DE CAPACITACIÓN

Tabla 33. *Costos de Capacitación*

DESCRIPCIÓN	CANT	PRECIO UNITARIO (S/.)	PRECIO TOTAL (S/.)
Capacitación en el Manejo del HMI	1	500.00	500.00
SUBTOTAL			500.00

**Nota. Fuente:** Elaboración Propia

Tabla 34. *Resumen del Costo Total del Proyecto*

COSTOS DE HARDWARE	41,904.00
COSTOS DE SOFTWARE	28,610.00
COSTOS DE INGENIERÍA	5,500.00
COSTOS DE INSTALACIÓN	3,000.00
COSTOS DE CAPACITACIÓN	500.00
<b>COSTO TOTAL</b>	<b>79,514.00</b>

**Nota. Fuente:** Elaboración Propia

## 4.6. JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA

$$R = \frac{\text{Costo}}{\text{Beneficio}}$$

### 4.6.1. BENEFICIOS

- Reducción del Consumo de Reactivos en la etapa de Flotación

El consumo de reactivos es excesivo, actualmente se consume S/12,000 al mes, luego de la automatización se reducirá en un 40% el consumo de reactivos, de 4 Kg/TC a 2.4 Kg/TC.

Tabla 35. *Comparación de Consumo Mensual de Reactivos*

ANTES	AHORA
Antes se gastaba S/.12,000 en compra de Reactivos para Flotación	Ahora se gastará S/.7,200, reducción de 40%
Ahorro	S/.4,800

**Nota. Fuente:** Elaboración Propia

Por lo tanto el tiempo de recuperación de la inversión será de:

$$\frac{S/.79,514}{4,800 \frac{S/}{mes}} = 16.5 \text{ meses}$$

---

# **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

---

**CAPÍTULO V**

## 5.1. CONCLUSIONES

Con la propuesta planteada en esta tesis se obtendrán los siguientes resultados:

- Se logrará disminuir el consumo de reactivos de 4 Kg/TC a 2.4 Kg/TC, es decir en un 40%
- Se logrará incrementar la recuperación de mineral en un 20% debido a que el control de nivel de espuma será mucho más exacto, con una exactitud de cm, el setpoint ideal será entregado por el área de procesos de planta, pero estará alrededor de 25 cm y se podrá ingresar y/o cambiar desde el HMI.
- Se lograron identificar las variables del proceso obteniendo en su totalidad 1 entrada Digital, 0 Salidas digitales, 2 Entradas Analógicas y 1 Salida analógica.
- Se desarrolló y elaboró en Autocad el diagrama de flujo general del proceso identificando como entrada el flujo de Alimentación Overflow de Remolienda y como salidas Flujo a Etapa de espesamiento y Flujo a etapa de Relave.
- Se identificaron los lazos de control del sistema y se implementaron Autocad, también se implementaron las propuestas de los diagramas de interconexión del sistema.
- Realizamos la programación del PLC M340 de Schneider utilizando el software Unity Pro XL teniendo en cuenta las entradas y salidas previamente definidas y en base a la lógica de control requerida.
- Realizar la programación del HMI en base al PI&D (Diagrama de Instrumentación y Tuberías) utilizando el software Vijeo Design v 6.3 para la interface de operación del sistema.

- Seleccionamos los equipos e instrumentos de acuerdo a la oferta actual en el mercado, teniendo en cuenta que sus especificaciones técnicas se ajusten a los requerimientos de nuestro sistema.
- Realizamos el cálculo total del costo de adquisición de equipos, software, diseño, implementación y puesta en funcionamiento del sistema, obteniendo un estimado de 79 514 soles.

## **5.2. RECOMENDACIONES**

- Se recomienda implementar un lazo de control de pH, para mantener el pH de la pulpa en 11, y no depender del proceso anterior.
- Se recomienda implementar una sala de control exclusiva, para monitoreo de todo el sistema propuesto, que incluya un servidor y una estación de trabajo como mínimo.

---

# **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

---

**CAPÍTULO VI**

## 6.1. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- J. Acedo Sanchez, Control Avanzado De Procesos Teoría Y Practica
- Antonio Creus Sole , Instrumentacion Industrial (7ª Edicion); Editorial Marcombo, S.A
- Elonka, Michael. Operación De Plantas Industriales.Mc Graw-Hill
- Richard C. Dorf, Robert H. Bishop; Sistemas de Control Moderno; 2005; 10º Edición; Editorial Pearson – Prentice Hall.
- Katsuhiho Ogata; Ingeniería de Control Moderna; 2003; 4º Edición; Editorial Pearson – Prentice Hall.
- Benjamin C. Kuo; Sistemas de control Automático; 1996; 7º Edición; Editorial Prentice Hall.
- Distefano, Stubberud y Williams; Retroalimentación y Sistemas de Control; 1992; 2º Edición; Colección SCHAUM; Editorial Mc. Graw Hill.
- Carlos A. Smith y Armando B. Corripio; Control Automático de Proceso. Teoría y Práctica; 1991; 1º Edición; Editorial LIMUSA.

## 6.2. REFERENCIAS WEBGRÁFICAS

- [Http://Neutron.Ing.Ucv.Ve/Revista-E/No4/Rci.Html](http://Neutron.Ing.Ucv.Ve/Revista-E/No4/Rci.Html)
- [Http://Www.Fao.Org/Docrep/T0848s/T0848s06.Htm#Topofpage](http://Www.Fao.Org/Docrep/T0848s/T0848s06.Htm#Topofpage)
- [Http://Club.Telepolis.Com/Geografo/Geomorfologia/Analquen.Htm](http://Club.Telepolis.Com/Geografo/Geomorfologia/Analquen.Htm)
- [Http://Sisbib.Unmsm.Edu.Pe/Bibvirtualdata/Tesis/Ingenie/](http://Sisbib.Unmsm.Edu.Pe/Bibvirtualdata/Tesis/Ingenie/)

- [Http://Members.Tripod.Com/Jaimevp/Electricidad/Arranque\\_De\\_Motores.Html](http://Members.Tripod.Com/Jaimevp/Electricidad/Arranque_De_Motores.Html)
- [Http://datateca.unad.edu.co/contenidos/211618/EXELARNING/leccin\\_17\\_molinos\\_de\\_bolas.html](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/211618/EXELARNING/leccin_17_molinos_de_bolas.html)
- [https://www.vega.com/es-es/home\\_ge/productos/cat%C3%A1logo-de-productos/medici%C3%B3n-de-nivel/ultrasonidos/vegason-61](https://www.vega.com/es-es/home_ge/productos/cat%C3%A1logo-de-productos/medici%C3%B3n-de-nivel/ultrasonidos/vegason-61)
- <https://www.se.com/pe/es/>
- <https://docplayer.es/5865575-Automatas-programables-vision-general.html>
- <https://docplayer.es/19025647-Universidad-politecnica-salesiana-sede-guayaquil.html>
- <https://instrumentacionycontrol.net/los-posicionadores-de-valvulas-conceptos-claros-y-definitivos/>