UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA

SEDE CUENCA

CARRERA DE INGENIERIA ELECTRÓNICA

TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN

DEL TÍTULO DE INGENIERO

ELECTRÓNICO

TEMA:

ESTUDIO DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN Y MONITOREO DE TEMPERATURA DE LAS UNIDADES DE GENERACIÓN DE LA CENTRAL PAUTE MOLINO Y ELABORACIÓN DEL MANUAL DE OPERACIONES.

AUTOR:

OSWALDO ALEJANDRO ZHAÑAY SOLIZ

DIRECTOR:

ING. ROMEL RODAS

CUENCA – ECUADOR

2015

CERTIFICACIÓN

En calidad de DIRECTOR DE LA TESIS **"Estudio del Sistema de adquisición y monitoreo de temperaturas de las Unidades de Generación de la Central Paute Molino y elaboración del Manual de Operaciones**", elaborada por Oswaldo Zhañay Soliz declaro y certifico la aprobación del presente trabajo de tesis basándose en la supervisión y revisión de su contenido

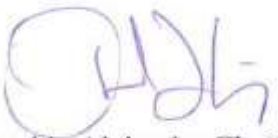
Cuenca, 31 de marzo del 2015

DIRECTOR DE TESIS

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

El autor es el único responsable por los contenidos, conceptos, ideas, análisis, resultados investigativos y manifiestos en la presente tesis "Estudio del Sistema de adquisición y monitoreo de temperaturas de las Unidades de Generación de la Central Paute Molino y elaboración del Manual de Operaciones".

Cuenca, 31 de Marzo de 2015



Oswaldo Alejandro Zhañay Soliz

AUTOR

Agradecimientos

A Dios que me ha permitido cumplir con este objetivo durante tantos años pospuesto. A mis padres y familiares por todo el cariño, apoyo y ejemplo brindado. A mi esposa que con amor siempre me impulsó a seguir adelante. También al director de tesis, director de carrera y todos los profesores por sus enseñanzas durante mis estudios.

Oswaldo Zhañay Soliz

Dedicatoria

A mi esposa Gaby, a mis hijos Oswaldo David y María Alejandra, que siempre confiaron en mí, dándome la fuerzas para levantarme y retomar mis estudios.

A mi abuelito (+) que ya no está conmigo pero que desde el cielo me estará mirando y compartiendo mis alegrías y logros.

Oswaldo Zhañay Soliz

INDICE.

Capítulo 1 CENTRAL HIDROELECTRICA 1
1.1. INTRODUCCIÓN 1
1.2. PRINCIPIO BÁSICO DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA. 2
1.2.1. Componentes principales de una central hidroeléctrica 3
1.3. TIPOS DE CENTRALES. 3
1.3.1. Arquitectura 4
1.3.2. Flujo de Agua. 4
1.3.3. Caída de Agua. 7
1.3.4. Especiales 8
1.4. TIPOS DE TURBINAS 8
1.4.1. Turbina Pelton 9
1.5. CENTRAL HIDROELÉCTRICA PAUTE 9
Capítulo 2 GAMA DE PLCS ABB AC500 (ADVANT CONTROLLER 500) 12
2.1 +PLC ABB AC500, introducción. 12
2.2 CONFIGURACIONES, COMUNICACIÓN Y PROGRAMACIÓN. 14
2.3 HARDWARE DEL PLC ABB AC500. 15
2.3.1. CPU 16
2.3.1.1 Comunicación 17
2.3.1.2 Display y elementos frontales 18
2.3.2 Módulos de entradas / salidas digitales 19
2.3.2.1 Elementos 19
2.3.3 Módulos de entradas / salidas analógicas 20
2.3.3.1 Elementos 20
2.4 Control Builder PS501 20
2.4.1 Información básica 21
2.4.2 Lenguajes de programación 21
2.4.3 POUs Y tipos de datos 24
2.4.4 La estructura de un programa 26
2.4.5 Las diferentes librerías 27
2.5 COMUNICACIÓN MODBUS EN AC500 28
2.5.1 Modbus RTU 28
2.5.2 Cableado Modbus 31

2.5.3 Configuración Modbus con PS501 35
2.5.4 Tablas Modbus 36
2.5.5 Áreas 38
2.5.6 Transmisión Modbus 39
2.5.7 Bloque de función Modbus 45
2.5.8 Códigos de función Modbus 47
Capítulo 3: REVISIÓN DE NORMAS Y ESTANDARES 49
3.1 IEC 61131 AUTOMATAS PROGRAMABLES 49
3.2 IEC 60870 TELECONTROL, EQUIPOS Y SISTEMAS 49
3.3 IEC 751 RTDs DE PLATINO 50
3.4 ISA-18 PROGRAMACIÓN DE ALARMAS 50
3.5 ISA 5.1 PARA LA ELABORACIÓN DEL DIAGRAMA P&ID (DIAGRAMA DE INSTRUMENTACIÓN DE PROCESO) 51
Capítulo 4: REGISTRADOR DE TEMPERATURAS DE LAS UNIDADES DE GENERACIÓN DE LA CENTRAL PAUTE MOLINO 54
4.1 INTRODUCCION 54
4.2 CONCEPTOS BÁSICOS 57
4.3 SISTEMAS DE MEDICIÓN. 60
4.4 ANALISIS DE HARDWARE, CONEXIONES, VARIOS 62
4.5 SOFTWARE 71
4.5.1 Análisis del programa actual 72
4.6 Diseño de adecuaciones 80
4.6.1 Diagramas de bloque 81
4.6.2 Diagramas de flujo 82
4.6.3 Alarma Local en el Panel de control de Unidad 82
4.6.4 Diseño de interface de Usuario HMI 99
4.7 Procedimientos de mantenimiento para los registradores de temperatura 104
4.8 Elaboración del manual de operaciones 107
Capítulo 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 122
5.1 Conclusiones 122
5.2 Recomendaciones 123
Capítulo 6: Bibliografía 125
ANEXOS. 129
Anexo1. Datos de sistema del AC500 129

Anexo 2. CPU PM57X, PM58X, PM59X..... 132
Anexo 3. Datos técnicos generales módulos de comunicación..... 140
Anexo 4. Principales características de módulos de E/S digitales 142
Anexo 5. Principales características de módulos de E/S analógicos..... 143
Anexo 6. Principales características Unidades Terminales de E/S..... 144
Anexo 7 Terminales de operador Gama CP600 145

INDICE DE FIGURAS.

FIGURA 1.ESQUEMA CENTRAL HIDROELÉCTRICA 2
FIGURA 2.ESQUEMA CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE PASADA 5
FIGURA 3.CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE AGUA EMBALSAMADA A PIE DE PRESA 6
FIGURA 4. ESQUEMA CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE AGUA EMBALSAMADA POR DERIVACIÓN DE AGUA 6
FIGURA 5. ESQUEMA CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE BOMBEO 7
FIGURA 6. TURBINA PELTON 9
FIGURA 7. CENTRAL HIDROELÉCTRICA PAUTE MOLINO 10
FIGURA 8. PRESA DANIEL PALACIOS, EMBALSE AMALUZA 11
FIGURA 9. TURBINA PELTON CENTRAL HIDROELÉCTRICA PAUTE MOLINO 11
FIGURA 10. ESTRUCTURA DE UN AUTÓMATA PROGRAMABLE 12
FIGURA 11. PLATAFORMA AC500 14
FIGURA 12. CONFIGURACIÓN PLCS AC500 15
FIGURA 13. ESTRUCTURA AC500 16
FIGURA 14. CPU AC500 CON UNA BASE DE TERMINALES, MÓDULOS DE COMUNICACIÓN Y MÓDULOS DE E/S 17
FIGURA 15. PANEL FRONTAL DE CPU AC500 18
FIGURA 16. PRINCIPALES ELEMENTOS DE MÓDULO DE ENTRADAS / SALIDAS DIGITALES 19
FIGURA 17. MÓDULO DE ENTRADAS / SALIDAS ANALÓGICAS 20
FIGURA 18. EJEMPLO LENGUAJE LISTA DE INSTRUCCIONES (IL) 22
FIGURA 19. EJEMPLO LENGUAJE TEXTO ESTRUCTURADO (ST) 22
FIGURA 20. EJEMPLO LENGUAJE ESQUEMA DE CONTACTOS (LD) 23
FIGURA 21. EJEMPLO LENGUAJE DIAGRAMA DE FUNCIONES (FBD) 23
FIGURA 22. EJEMPLO LENGUAJE DIAGRAMA FUNCIONAL DE SECUENCIAS (SFC) 24
FIGURA 23. ESTRUCTURA DE UN PROGRAMA. 26
FIGURA 24. TRAMA MODBUS RTU 29
FIGURA 25. ESTRUCTURA DE LOS MENSAJES MODBUS RTU 30
FIGURA 26. PUERTOS COM1 Y COM2 INTEGRADOS EN CPUS AC500 31
FIGURA 27.INTERFAZ SERIE COM1 PLC AC500 32
FIGURA 28. RESISTENCIAS (PULL-UP, PULL-DOWN) INTEGRADAS EN COM1 32
FIGURA 29. BUS RS-485, PUERTO COM1, CON EL MAESTRO EN UN EXTREMO DEL CABLE 33
FIGURA 30.BUS RS-485, PUERTO COM1, CON EL MAESTRO EN EL CABLE DE BUS 33
FIGURA 31.ASIGNACIÓN DE PINES DE LA INTERFAZ SERIE COM2 (D-SUB DE 9 POLOS, HEMBRA) 34

FIGURA 32. BUS RS485, PUERTO COM2, CON MAESTRO EN EL EXTREMO DEL CABLE....34
FIGURA 33. BUS RS-485, PUERTO COM2, CON EL MAESTRO EN EL CABLE DE BUS....35
FIGURA 34. PROTOCOLO INTERFACES SERIALES COM1, COM2....35
FIGURA 35. CONFIGURACIONES COMX - MODBUS....36
FIGURA 36. . MODO UNICAST....39
FIGURA 37. MODO BROADCAST....40
FIGURA 38. UNIDAD DE DATOS DE PROTOCOLO MODBUS....40
FIGURA 39.TRAMA MODBUS SOBRE UNA LÍNEA SERIAL....40
FIGURA 40.SECUENCIA DE BITS EN MODO RTU....42
FIGURA 41.SECUENCIA DE BITS EN MODO RTU (CASO SIN PARIDAD)....42
FIGURA 42. TRAMA MENSAJE RTU....42
FIGURA 43. TRAMA MENSAJE RTU....43
FIGURA 44. TRANSMISIÓN MODBUS....43
FIGURA 45. SECUENCIA DE BITS EN MODO ASCII....44
FIGURA 46. SECUENCIA DE BITS EN MODO ASCII (CASO SIN PARIDAD)....44
FIGURA 47. TRAMA MENSAJE ASCII....45
FIGURA 48. PROCESAMIENTO DE TELEGRAMAS MODBUS MAESTRO....45
FIGURA 49. CATEGORÍAS DE CÓDIGO DE FUNCIÓN MODBUS.....48
FIGURA 50. REGISTRADOR DE TEMPERATURAS ORIGINAL EN UNIDADES FASE C....55
FIGURA 51. DESPLIEGUE DE TEMPERATURAS UNIDAD 01 EN XA21....56
FIGURA 52. SISTEMA DE ADQUISICIÓN Y MONITOREO DE TEMPERATURA UNIDADES DE GENERACIÓN PAUTE MOLINO....56
FIGURA 53. SISTEMA DE ADQUISICIÓN Y MONITOREO DE TEMPERATURAS EN UNIDADES FASE AB....57
FIGURA 54. SISTEMA DE ADQUISICIÓN Y MONITOREO DE TEMPERATURAS EN UNIDADES FASE C....57
FIGURA 55. CONEXIÓN RTD DE TRES CABLES....59
FIGURA 56. MÓDULO DE ENTRADAS ANALÓGICAS AI523....62
FIGURA 57. FUENTE DE ALIMENTACIÓN ABB CP-S 24/5.0....63
FIGURA 58. BASE TERMINAL PARA CPU TB511-ETH....64
FIGURA 59. MÓDULO DE ENTRADA ANALÓGICA ABB AI523....66
FIGURA 60. ASIGNACIÓN DE TERMINALES DE MÓDULO DE ENTRADAS ANALÓGICAS AI523....67
FIGURA 61. CONEXIÓN DETECTOR DE TEMPERATURA EN CONFIGURACIÓN 2-HILOS....68
FIGURA 62. CONEXIÓN DETECTOR DE TEMPERATURA EN CONFIGURACIÓN 3-HILOS NOTA AL PIE....68
FIGURA 63.CONEXIÓN DE SENSORES ANALÓGICOS TIPO-ACTIVO (CORRIENTE)....69
FIGURA 64. CONEXIÓN DE SENSOR ANALÓGICO DE CORRIENTE TIPO-PASIVO....69

FIGURA 65. UNIDAD DE TERMINALES DE E/S TU515 70
FIGURA 66. MÓDULO DE E/S DIGITALES DX522 70
FIGURA 67. UNIDAD DE TERMINALES DE E/S TU531 71
FIGURA 68. MÓDULOS E/S EN UNIDADES FASE AB 72
FIGURA 69. MÓDULOS E/S EN UNIDADES FASE C 73
FIGURA 70. CONFIGURACIÓN DE COM1 EN PLC AC500 76
FIGURA 71. CONFIGURACIÓN DE PUERTO COM2 EN PLC AC500 76
FIGURA 72.UNIDADES DE ORGANIZACIÓN DE PROGRAMAS POUS USADOS 77
FIGURA 73. LECTURA DE SENSOR RTD PT100, MEDICIÓN EST1 EN UNIDADES FASE AB 77
FIGURA 74. LECTURA TEMPERATURA 4-20MA, UNIDADES FASE AB 77
FIGURA 75. BLOQUE DE FUNCIÓN ALARMAS_RTD UNIDADES FASE AB 78
FIGURA 76. ASIGNACIONES DE SALIDAS DE ALARMA EN MÓDULO DX522 80
FIGURA 77. DIAGRAMA DE BLOQUES DE MODIFICACIONES PROPUESTAS 81
FIGURA 78.DIAGRAMA DE FLUJO MODIFICACIONES PROPUESTAS 82
FIGURA 79. PANEL DE ALARMAS UNIDADES FASE AB 83
FIGURA 80. PANEL DE ALARMAS UNIDADES FASE C 83
FIGURA 81. ADMINISTRADOR INTELIGENTE DE ALARMAS SAM 64 CARLO GAVAZZI UNIDADES FASE C 84
FIGURA 82. SENSOR DE TEMPERATURA ABB TSP121 85
FIGURA 83. GRUPO1 DE ALARMAS TEMPERATURAS DEL ESTATOR. 88
FIGURA 84. SALIDAS DIGITALES EN MÓDULO DX522 88
FIGURA 85. ALARMA EN PANEL DE ALARMAS DE UCB 88
FIGURA 86. MODIFICACIÓN PARA ALARMA #25 89
FIGURA 87.AGRUPACIÓN TEMPERATURAS DE ESTATOR 90
FIGURA 88. MODIFICACIÓN PARA ALARMA #46 UNIDADES FASE AB 90
FIGURA 89. AGRUPACIÓN DE TEMPERATURAS METAL DE COJINETES 91
FIGURA 90. AGRUPACIÓN DE TEMPERATURAS ACEITE DE COJINETES 91
FIGURA 91. AGRUPACIÓN TEMPERATURAS BOBINADOS DEL ESTATOR UNIDADES FASE C 93
FIGURA 92. AGRUPACIÓN TEMPERATURAS NÚCLEO DEL ESTATOR UNIDADES FASE C 93
FIGURA 93. MODIFICACIÓN PARA ALARMA #35 UNIDADES FASE C 94
FIGURA 94. MODIFICACIÓN PARA ALARMA #69 UNIDADES FASE C 94
FIGURA 95. MODIFICACIÓN PARA ALARMA #70 UNIDADES FASE C 95
FIGURA 96. MODIFICACIÓN PARA ALARMA #71 UNIDADES FASE C 95
FIGURA 97. MODIFICACIÓN PARA ALARMA #72 UNIDADES FASE C 95
FIGURA 98. MODIFICACIÓN PARA ALARMA #72 UNIDADES FASE C 96
FIGURA 99. MODIFICACIÓN PARA ALARMA #83 UNIDADES FASE C 96
FIGURA 100. MODIFICACIÓN PARA ALARMA #84 UNIDADES FASE C 96
FIGURA 101. MODIFICACIÓN PARA ALARMA #85 UNIDADES FASE C 97

FIGURA 102. MODIFICACIÓN PARA ALARMA #86 UNIDADES FASE C 97
FIGURA 103. MODIFICACIÓN PARA ALARMA #96 UNIDADES FASE C 98
FIGURA 104. . MODIFICACIÓN PARA ALARMA #97 UNIDADES FASE C 98
FIGURA 105. MODIFICACIÓN PARA ALARMA #98 UNIDADES FASE C 98
FIGURA 106. TERMINAL DE OPERADOR CP635 100
FIGURA 107. CONEXIÓN PLC AC500 A PANEL DE OPERADOR CP635 100
FIGURA 108. CABLE TK681 PARA TERMINAL DE OPERADOR CP635 101
FIGURA 109. PANTALLA PRINCIPAL DE HMI PROPUESTO 101
FIGURA 110. PANTALLA DEL GENERADOR EN HMI 102
FIGURA 111. PANTALLA DE TEMPERATURAS DEL ESTATOR 102
FIGURA 112. PANTALLA DEL TRANSFORMADOR EN HMI 103
FIGURA 113. PANTALLA DEL REGULADOR EN HMI 103
FIGURA 114. PANTALLA DEL SAE EN HMI 104
FIGURA 115. INDICADORES Y ELEMENTOS OPERATIVOS DEL PANEL FRONTAL DE LA CPU PM581 107
FIGURA 116. SELECCIÓN DE CPU DE PLC AC500 110
FIGURA 117.CONFIGURACIÓN PARÁMETROS DE CPU 111
FIGURA 118. INSERCIÓN DE MÓDULOS DE E/S 113
FIGURA 119. PARÁMETROS DE BASE DE MÓDULOS DE E/S 113
FIGURA 120. CONFIGURACIÓN DE CANAL DE MÓDULO ANALÓGICO AI523 114
FIGURA 121. CONFIGURACIÓN DE PROTOCOLO EN INTERFACES SERIE. . 115
FIGURA 122.CONFIGURACIÓN DE PUERTO SERIE COM1 117
FIGURA 123. CONFIGURACIÓN DE PUERTO SERIE COM2 117
FIGURA 124. COMPILACIÓN DE PROYECTO. 117
FIGURA 125. CABLE DE PROGRAMACIÓN TK501 118
FIGURA 126. CABLE DE PROGRAMACIÓN TK502 119
FIGURA 127. PARÁMETROS DE COMUNICACIÓN GATEWAY 120
FIGURA 128.PARÁMETROS DE COMUNICACIÓN, CANAL RS232 120

INDICE DE TABLAS.

TABLA 1. ELEMENTOS DEL MÓDULO DE ENTRADAS / SALIDAS DIGITALES19
TABLA 2. ELEMENTOS DEL MÓDULO DE ENTRADAS / SALIDAS ANALÓGICAS..... 20
TABLA 3. TIPOS DE DATOS ENTERO..... 25
TABLA 4. DESCRIPCIÓN DE PROTOCOLO MODBUS..... 31
TABLA 5. CONFIGURACIÓN DE PARÁMETROS COMX- MODBUS..... 36
TABLA 6. SEGMENTOS EN ÁREA DE BANDERA DIRECCIONABLES..... 37
TABLA 7. ASIGNACIÓN DE DIRECCIÓN PARA PALABRA Y DOBLE PALABRA38
TABLA 8.ASIGNACIÓN DE DIRECCIÓN PARA ACCESO DE BIT..... 38
TABLA 9. ÁREAS MODBUS. 39
TABLA 10. REGLAS DIRECCIONAMIENTO MODBUS..... 40
TABLA 11. PARÁMETROS BLOQUE COM_MOD_MAST 45
TABLA 12. FCT CÓDIGO DE FUNCIÓN..... 46
TABLA 13. RESTRICCIONES A LA LONGITUD DE FCT..... 46
TABLA 14. CÓDIGO DE FUNCIÓN CPUS AC500 48
TABLA 15. PROPIEDADES DE CLASE RTD IEC751 50
TABLA 16. IDENTIFICACIÓN FUNCIONAL DE INSTRUMENTOS 53
TABLA 17. DETECTORES DE TEMPERATURA UNIDADES FASE AB, RTD PT-100..... 60
TABLA 18.DETECTORES DE TEMPERATURA EN UNIDADES FASE AB, RTD PT100, 4 - 20 MA 60
TABLA 19.DETECTORES DE TEMPERATURA UNIDADES FASE C, RTD, PT-100 61
TABLA 20.DETECTORES DE TEMPERATURA UNIDADES FASE C, RTD PT100, 4 - 20 MA..... 61
TABLA 21. FUENTE DE ALIMENTACIÓN CP-S 24V/5A 63
TABLA 22. DESCRIPCIÓN PINES DE ALIMENTACIÓN EN BASE DE TERMINALES DE CPU 64
TABLA 23. ASIGNACIÓN DE PINES DE LA INTERFAZ ETHERNET 65
TABLA 24. RESUMEN CPU PM581..... 65
TABLA 25. CONFIGURACIÓN ENTRADAS ANALÓGICAS AI523 66
TABLA 26. RESOLUCIÓN DE LOS CANALES ANALÓGICOS 66
TABLA 27. TERMINALES DE VOLTAJE DE PROCESO EN UNIDADES DE TERMINALES 67
TABLA 28. ASIGNACIÓN DE TERMINALES AI523 67
TABLA 29. RANGO DE CONFIGURACIÓN DETECTORES DE TEMPERATURA 68
TABLA 30. RANGO DE MEDICIÓN SENSORES ANALÓGICOS DE CORRIENTE TIPO-ACTIVO. 69
TABLA 31. RANGO DE MEDICIÓN SENSORES DE CORRIENTE TIPO-PASIVO 69
TABLA 32. FUNCIONES DEL MÓDULO DX522 71
TABLA 33. DATOS TÉCNICOS UNIDAD DE TERMINALES TU531..... 71
TABLA 34. CANALES DE ENTRADA MÓDULO ANALÓGICO AI523 UNIDADES FASE AB..... 74

TABLA 35. CANALES DE ENTRADA MÓDULO ANALÓGICO AI523 UNIDADES FASE C 75
TABLA 36. CANALES DE SALIDA MÓDULO DIGITAL DX522 UNIDADES FASE AB 76
TABLA 37.CANALES DE SALIDA MÓDULO DIGITAL DX522 UNIDADES FASE C 76
TABLA 38. GRUPOS DE ALARMAS FASE AB 78
TABLA 39. GRUPOS DE ALARMAS FASE C 79
TABLA 40. ALARMAS DE TEMPERATURA EN UNIDADES FASE AB 83
TABLA 41. ALARMAS DE TEMPERATURA EN UNIDADES FASE C 84
TABLA 42. GRUPOS PARA ALARMAS FASE AB 86
TABLA 43.GRUPOS PARA ALARMAS FASE C 87
TABLA 44. ALARMAS MODIFICADAS UCB UNIDADES FASE AB. 89
TABLA 45.ALARMAS MODIFICADAS UCB UNIDADES FASE C. 92
TABLA 46. TERMINALES DE OPERADOR SERIES CP600 99
TABLA 47. CABLE DE COMUNICACIÓN TERMINAL DE OPERADOR CP600 <-> PLC 99
TABLA 48. TERMINALES DE OPERADOR SERIES CP400 99
TABLA 49. CABLES DE PROGRAMACIÓN TERMINALES DE OPERADOR SERIES CP400 100
TABLA 50. CABLES DE COMUNICACIÓN TERMINAL DE OPERADOR CP400 <-> PLC 100
TABLA 51. PRECIO DE LISTA HMI CP635 104
TABLA 52.SIGNIFICADO DE LOS LED DE ESTADO CPU PM581 108
TABLA 53. SIGNIFICADO DE LOS PULSADORES DE CPU PM581 108
TABLA 54. CATEGORÍA DE ERRORES CPU PM581 109
TABLA 55. IDENTIFICADOR DE ERROR 110
TABLA 56. CÓDIGOS DE ERROR DETALLADOS 110
TABLA 57. ELEMENTOS A CONFIGURARSE SEGÚN PARÁMETROS 110
TABLA 58.PARÁMETROS DE CPU 112
TABLA 59. CHANNEL CONFIGURATION DE LAS ENTRADAS ANALÓGICAS MÓDULO AI523 114
TABLA 60. CHANNEL MONITORING DE LAS ENTRADAS ANALÓGICAS MÓDULO AI523 114
TABLA 61.AJUSTES DE PROTOCOLO MODBUS 116
TABLA 62. DATOS TÉCNICOS CABLE DE PROGRAMACIÓN TK501 118
TABLA 63. DATOS TÉCNICOS CABLE DE PROGRAMACIÓN TK502 119
TABLA 64. DATOS TÉCNICOS CABLE DE PROGRAMACIÓN TK503 119
TABLA 65. DATOS TÉCNICOS CABLE DE PROGRAMACIÓN TK504 119

Capítulo 1 CENTRAL HIDROELECTRICA

1.1. INTRODUCCIÓN

Una central hidroeléctrica es aquella que utiliza la energía potencial del agua (almacenada o caudal) y la convierte, primero en energía mecánica y luego en eléctrica. [1]

La central hidroeléctrica es el resultado actual de la evolución de los antiguos molinos, comenzó con los romanos y griegos que lo utilizaban para moler el trigo, en la edad media llegando a un máximo de cincuenta caballos de fuerzas con grandes ruedas hidráulicas, hasta que el británico John Smeaton[1] construyó por primera vez grandes ruedas hidráulicas de hierro colado, que son el principio básico de las centrales hidroeléctricas actuales.

En general estas centrales aprovechan la energía potencial que posee la masa de agua de un cauce natural en virtud de un desnivel, también conocido como salto geodésico. "El agua en su caída entre dos niveles del cauce se hace pasar por una turbina hidráulica la cual trasmite la energía a un generador donde se transforma en energía eléctrica"[2].

Las ventajas de las centrales hidroeléctricas son evidentes: [1]

- No requieren combustible.
- No contamina ni el aire ni el agua.
- A menudo puede combinarse con otros beneficios, como riego, protección contra las inundaciones, suministro de agua, caminos, navegación y aún ornamentación del terreno y turismo.
- Los costos de mantenimiento y explotación son bajos.
- Las obras de ingeniería necesarias para aprovechar la energía hidráulica tienen una duración considerable.
- La turbina hidráulica es una máquina sencilla, eficiente y segura, que puede ponerse en marcha y detenerse con rapidez y requiere poca vigilancia siendo sus costes de mantenimiento, por lo general, reducidos.

Contra estas ventajas deben señalarse ciertas desventajas: [1]

- Los costos de capital por kilovatio instalado son con frecuencia muy altos.
- El emplazamiento, determinado por características naturales, puede estar lejos del centro o centros de consumo y exigir la construcción de un

[1] John Smeaton (Austhorpe, 1724- id., 1792) Ingeniero británico. Reconstruyó el faro de Eddystone, cerca de Plymouth, y publicó (1759) sus estudios experimentales sobre la fuerza motriz del agua y del viento, considerados durante largo tiempo como una obra clásica en la materia.

[2] Wikipedia, Central Hidroeléctrica, fecha de acceso 01 Octubre 2014, http://es.wikipedia.org/wiki/Central_hidroel%C3%A9ctrica

sistema de transmisión de electricidad, lo que significa un aumento de la inversión y en los costos de mantenimiento y pérdida de energía.

- La construcción lleva, por lo común, largo tiempo en comparación con la de las centrales termoeléctricas.
- La disponibilidad de energía puede fluctuar de estación en estación y de año en año.

1.2. PRINCIPIO BÁSICO DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA.

La principal función de una central hidroeléctrica es utilizar la fuerza y la velocidad del agua ya sea por energía cinética natural de las corrientes de los ríos o mediante embalse para convertirla en energía mecánica mediante las turbinas las cuales hacen girar a los generadores los cuales producen la energía eléctrica por la ley de inducción electromagnética de Faraday[3].

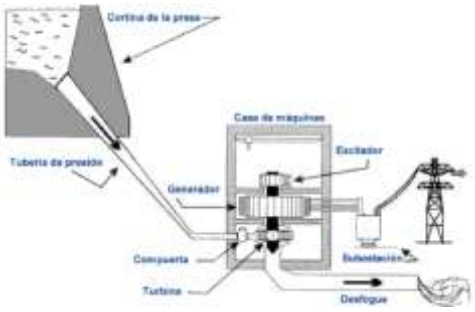


Figura 1.Esquema central hidroeléctrica[4]

Las turbinas son enormes engranajes que rotan sobre sí mismos una y otra vez, impulsados por una energía externa, mientras los generadores son aparatos que transforman la energía cinética -de movimiento- de una turbina, en energía eléctrica.

El agua de los ríos es retenida por medio de presas y luego es conducida por túneles y tuberías de alta presión hacia terrenos más bajos, al llegar a la planta generadora, el agua lleva ya una enorme cantidad de energía, la que se aprovecha para hacer girar turbinas que accionan el alternador y produce la corriente eléctrica.

Si se acumula agua en un embalse, por gravedad, tiende a bajar al nivel del mar, o sea, mientras el agua no tenga libertad de movimiento tiene almacenada energía potencial, la cual también se conoce como energía estática. [2] De esta forma el agua en movimiento transforma aquella capacidad de trabajo en fuerza viva o energía cinética, capaz de mover, por ejemplo, una rueda hidráulica.

Así las moléculas del agua corriente que bajan de la presa por gravedad, al ser desviadas por los álabes de la rueda hidráulica, pierden velocidad y ceden una parte de energía cinética, la cual, al hacer girar una turbina, se convierte en energía

[3] Michael Faraday, (Newington, 22 de septiembre de 1791 - Londres, 25 de agosto de 1867) fue un físico y químico británico que estudió el electromagnetismo y la electroquímica.

[4] Universidad Centroamericana UCA, Centrales Hidroeléctricas, fecha de acceso: 2 de octubre de 2014, http://www.uca.edu.sv/facultad/clases/ing/m200018/doc1.pdf

mecánica. A su vez la turbina acciona un alternador cuya rotación produce una corriente de electrones que, por haber cambiado de estado, desarrolla energía eléctrica.

Dependiendo de las condiciones se utilizan distintos tipos de turbinas. Si la caída de agua es importante se utilizan turbinas Pelton, si la caída es mediana turbinas Francis y si es pequeña turbinas Kaplan. Las turbinas a su vez hacen girar un generador que produce la electricidad, ésta pasa a los transformadores y luego es transportada a los sitios de consumo a través de las líneas de transmisión. [3]

1.2.1. Componentes principales de una central hidroeléctrica

Una central hidroeléctrica consta de varias partes, las cuales podemos dividir en dos grupos, el uno que es el encargado de almacenar el agua para así aprovechar la energía cinética de la misma y conseguir posteriormente una acción mecánica, la cual se suele identificar como Presa-Embalse; donde consta de las siguientes partes: [4]

- Embalse.
- Presa u Aliviadores.
- Tomas de carga.
- Canales, túneles y galerías.
- Tuberías forzadas.
- Chimeneas de equilibrio.

El otro grupo conforma todos los equipos, sistemas, etc., que se utilizan para realizar las diferentes transformaciones de la energía del agua en energía eléctrica, donde constituye la auténtica Central, las cuales son:

- Turbinas Hidráulicas.
- Alternadores o generadores.
- Transformadores.
- Sistemas eléctricos de media, alta y muy alta tensión.
- Sistema eléctrico de baja tensión.
- Sistema eléctrico de Corriente Continua.
- Sistemas Auxiliares.
- Tableros de Control.

1.3. TIPOS DE CENTRALES.

Las Centrales Hidroeléctricas se pueden clasificar bajo varios argumentos, como: [5]

- Arquitectura.
- Flujo de Agua.
- Caída de Agua.
- Especiales.

1.3.1. Arquitectura.

Centrales al aire libre:

Ubicadas a pie de la presa o relativamente alejadas de esta, y conectadas por medio de una tubería en presión.

Centrales en caverna:

Conectadas al embalse por medio de túneles, tuberías de presión, o por la combinación de ambas.

1.3.2. Flujo de Agua.

En primer lugar, hay que distinguir las que utilizan el agua según discurre normalmente por el cauce de un río, y aquellas otras a las que ésta llega, convenientemente regulada, desde un lago o pantano. Entonces tenemos:

- Centrales de agua Fluyente
- Centrales de agua embalsada.
- Centrales de Bombeo.

Centrales de agua Fluyente:

También denominadas centrales de filo de agua, de pasada, de agua corriente; es aquella que se construye en los lugares en que no existe una acumulación apreciable de agua "corriente arriba" y utilizan parte del flujo de un río para generar energía eléctrica en el instante en que se dispone de ella, para accionar las turbinas hidráulicas, en consecuencia el caudal oscila según las estaciones del año.

En la temporada de precipitaciones abundantes, desarrollan su potencia máxima, y dejan pasar el agua excedente. Durante la época seca, la potencia disminuye en función del caudal, llegando a ser casi nulo en algunos ríos en la época del estío. Su construcción se realiza mediante presas sobre el cauce de los ríos, para mantener un desnivel constante en la corriente de agua.

En estos casos las turbinas pueden ser de eje vertical, cuando el río tiene una pendiente fuerte u horizontal cuando la pendiente del río es baja. El esquema de una central de este tipo puede ser el siguiente:

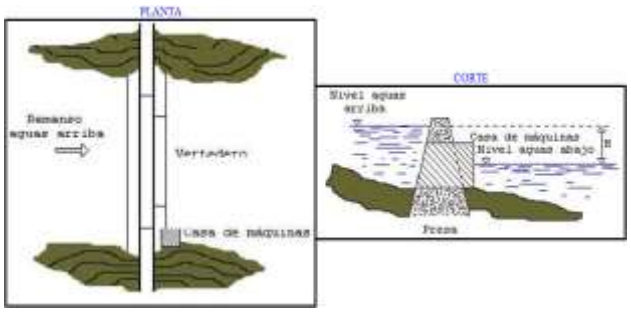


Figura 2.Esquema central hidroeléctrica de Pasada[5]

En la misma se aprovecha un estrechamiento del río, y la obra del edificio de la central (casa de máquinas) puede formar parte de la misma presa.
El desnivel entre "aguas arriba" y "aguas abajo", es reducido, y si bien se forma un remanso de agua a causa del azud, no es demasiado grande.
Este tipo de central, requiere un caudal suficientemente constante para asegurar a lo largo del año una potencia determinada.

Centrales de agua Embalsada:

Es el tipo más frecuente de central hidroeléctrica, en este tipo de proyecto se embalsa un volumen considerable de líquido "aguas arriba" de las turbinas mediante la construcción de una o más presas que forman lagos artificiales. El embalse es capaz de almacenar los caudales de los ríos afluentes, llegando a elevados porcentajes de captación de agua en ocasiones. El embalse permite graduar la cantidad de agua que pasa por las turbinas.

Con embalse de reserva puede producirse energía eléctrica durante todo el año aunque el río se seque por completo durante algunos meses, cosa que sería imposible en un proyecto de pasada.

Las centrales con almacenamiento de reserva exigen por lo general una inversión de capital mayor que las de pasada, pero en la mayoría de los casos permiten usar toda la energía posible y producir kilovatios-hora más baratos.

Pueden existir dos variantes de estas centrales hidroeléctricas:

a. ***La de casa de máquina a pie de presa:***

   En las figuras siguientes observamos en PLANTA y CORTE el esquema de una central de este tipo:

[5] Rafael Alejo García, Centrales Hiroeléctricas, fecha de acceso:2014-10-02, http://thales.cica.es/rd/Recursos/rd99/ed99-0226-01/capitulo3.html#1

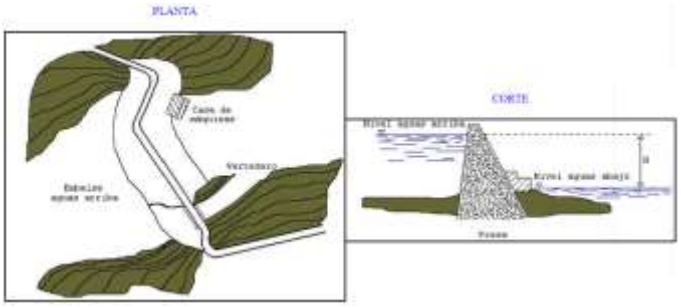


Figura 3.Central hidroeléctrica de agua Embalsamada a pie de presa[6]

La casa de máquinas suele estar al pie de la presa, como ilustra el dibujo, en estos tipos de central, el desnivel obtenido es de carácter mediano.

b. Aprovechamiento por derivación del agua:

En las figuras siguientes tenemos un esquema en PLANTA y CORTE de una central de este tipo:

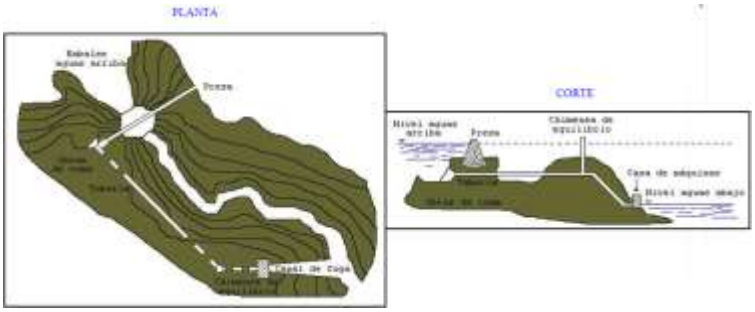


Figura 4. Esquema central hidroeléctrica de agua Embalsamada por derivación de agua[7]

En el lugar apropiado por la topografía del terreno, se ubica la obra de toma de agua, y el líquido se lleva por medio de canales, o tuberías de presión, hasta las proximidades de la casa de máquinas.

Allí se instala la chimenea de equilibrio, a partir de la cual la conducción tiene un declive más pronunciado, para ingresar finalmente a la casa de máquinas.

La chimenea de equilibrio es un simple conducto vertical que asegura al cerrar las válvulas de la central, que la energía cinética que tiene el agua en la conducción, se libere en ese elemento como un aumento de nivel y se transforme en energía potencial.

Los desniveles en este tipo de central suelen ser mayores comparados con los que se encuentran en los tipos anteriores de centrales.

Centrales de Bombeo:

[6] Rafael Alejo García, Art. Cit.
[7] Idem.

Se denominan 'de acumulación'. Acumulan caudal mediante bombeo, con lo que su actuación consiste en acumular energía potencial. Pueden ser de dos tipos, de turbina y bomba, o de turbina reversible. La alimentación del generador que realiza el bombeo desde aguas abajo, se puede realizar desde otra central hidráulica, térmica o nuclear.

Solo genera energía en horas pico y la consume en horas valle (noches y fines de semana), mediante un grupo electromecánico de bombeo y generación. De esta forma turbinan el agua en las horas de mayor demanda, la bombean en las horas en las que la energía no es tan demandada, como por la noche, hacia un depósito. Una vez el depósito esté cargado pueden volver a bajar el agua turbinándola y aprovechando de nuevo la energía. Su utilización para acumular energía puede ser muy interesante para apoyar a centrales que no pueden acumular, como las solares o eólicas. El beneficio que se consigue es la diferencia entre el precio de la energía en horas pico y horas valle. Distinguimos tres tipos; centrales puras de acumulación, centrales mixtas de acumulación y centrales de acumulación por bombeo diferencial.

Para ello la central dispone de grupos de motores-bomba o, alternativamente, sus turbinas son reversibles de manera que puedan funcionar como bombas y los alternadores como motores.

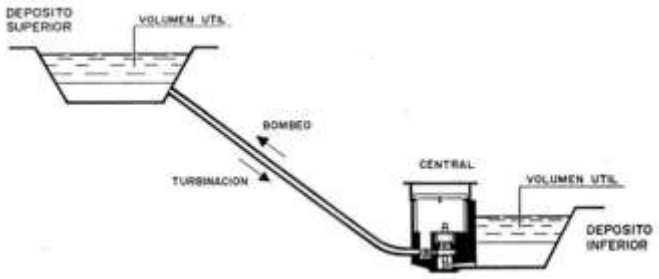


Figura 5. Esquema central hidroeléctrica de bombeo[8]

1.3.3. Caída de Agua.

Las Centrales hidroeléctricas se pueden dividir en:

- Alta Presión.
- Media Presión.
- Baja Presión.

<u>Centrales de Alta presión:</u>

Se incluyen aquellas centrales en las que el salto hidráulico es superior a los 200 metros de altura. Los caudales desalojados son relativamente pequeños, 20 m^3/s por

[8] Universidad Centroamericana UCA, Generación Hidroeléctrica, fecha de acceso : 2014-10-02, http://www.uca.edu.sv/facultad/clases/ing/m200018/doc1.pdf

máquina. Situadas en zonas de alta montaña, aprovechan el agua de torrentes, por medio de conducciones de gran longitud. Utilizan turbinas Pelton y Francis.

Centrales de Media presión:

Aquellas que poseen saltos hidráulicos de entre 20−200 metros aproximadamente. Utilizan caudales de 200m^3/s por turbina.

En valles de media montaña, dependen de embalses. Las turbinas son Francis y Kaplan, y en ocasiones Pelton para saltos grandes, siendo dominante el uso de turbinas Francis.

Centrales de Baja presión:

Sus saltos hidráulicos son inferiores a 20 metros. Cada máquina se alimenta de un caudal que puede superar los 300m^3/s. Las turbinas utilizadas son de tipo Francis y especialmente Kaplan.

1.3.4. Especiales

Centrales mareomotrices.

Utilizan el flujo y reflujo de las mareas. Pueden ser ventajosas en zonas costeras donde la amplitud de la marea es amplia, y las condiciones morfológicas de la costa permiten la construcción de una presa que corta la entrada y salida de la marea en una bahía. Se genera energía tanto en el momento del llenado como en el momento del vaciado de la bahía.

Centrales mareomotrices sumergidas.

Utilizan la energía de las corrientes submarinas. En 2002, en Gran Bretaña se implementó la primera de estas centrales a nivel experimental.

Centrales que aprovechan el movimiento de las olas.

Este tipo de central es objeto de investigación desde la década de los 80. A inicios de agosto de 1995, el "Ocean Swell Powered Renewable Energy (OSPREY)" construyó la primera central que utiliza la energía de las olas en el norte de Escocia. La potencia de esta central es de 2 MW. Lamentablemente fue destruida un mes más tarde por un temporal.

1.4. TIPOS DE TURBINAS

Hay tres tipos principales de turbinas hidráulicas: [1]

- La turbina Pelton.
- La turbina Francis.
- La de hélice o turbina Kaplan.

El tipo más conveniente dependerá en cada caso del salto de agua y de la potencia de la turbina.

En términos generales:

- La rueda Pelton conviene para saltos grandes
- La turbina Francis para saltos medianos
- La turbina de hélice o turbina Kaplan para saltos pequeños.

1.4.1. Turbina Pelton

Conocidas también como turbinas de presión, de chorro libre, de impulsión o de admisión parcial.

Entre sus principales características tenemos:

- Sentido de proyección del chorro de agua y sentido del rodete coinciden.
- La presión del agua permanece constante en los álabes.
- Rodete no inundado.

Su utilización es idónea en saltos de gran altura (200m y mayores), y caudales relativamente pequeños. Pueden ser instaladas con el eje en posición vertical u horizontal (más adecuada)

Figura 6. Turbina Pelton[9]

1.5. CENTRAL HIDROELÉCTRICA PAUTE

La central de generación hidroeléctrica Paute – Molino, administrada por La Corporación Eléctrica del Ecuador (CELEC EP). Se encuentra ubicada al sureste de la sierra oriental del Ecuador, en la provincia del Azuay, a 140 Km de la ciudad de Cuenca, específicamente en una zona conocida como Guarumales.

La central hidroeléctrica Paute-Molino, es uno de los más grandes proyectos hidroeléctricos del Ecuador, empieza con la compañía INECEL, al pasar de los años estuvo a cargo una compañía privada, para en la actualidad ser gestionada por la Corporación Eléctrica del Ecuador a través de su Unidad de Negocio Hidropaute.

[9] APOLO, Richard y ESPINOZA, Pedro, *Estudio y diseño del control de sistema Oleo-dinámico para la fase A/B en Hidropaute S.A.,* Tesis U.P.S. Facultad de Ing. Electrónica, Cuenca, 2007, http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/182/3/Capitulo2.pdf

Figura 7. Central hidroeléctrica Paute Molino[10]

Su misión[11] como la mayor generadora de Celec EP es generar bienestar y desarrollo nacional mediante la provisión de energía eléctrica a partir de fuentes renovables (energía hidráulica) con altos estándares de calidad y eficiencia, responsabilidad social y el aporte de su talento humano altamente comprometido y competente, respetando y protegiendo el ambiente.

La construcción de la fase A-B se la realizó en los años 1976 a 1983 y la fase C los años 1985 a 1991. Consta la central hidroeléctrica Paute Molino de una potencia instalada de 1100 MW entre las fases A-B y C. Toda la potencia generada se enlaza al Sistema Nacional Interconectado, aportando así con el desarrollo energético de nuestro país.

La Fase AB y La Fase C aprovechan el caudal regulado en el Embalse Amaluza, el esquema básico empieza en la toma de las aguas del embalse, creándose un salto de agua aprovechable y por ende formándose una altura potencial, la conducción del agua se la realiza mediante un túnel de carga y una tubería de presión desde el embalse hacia casa de máquinas transformándose la energía potencial o de altura en energía cinética del fluido, aumentando esta energía conforme va llegando a la tubería en espiral o caracol, para posteriormente producto del choque de agua a través de los seis inyectores sobre el rodete se produzca un torque mecánico, producto de la fuerza centrífuga, generándose así una energía mecánica. Este giro mecánico de la turbina es transmitido por medio de un eje al generador, creándose en este un campo magnético y transformándose en energía eléctrica.

[10] Corporación Eléctrica del Ecuador, Casa de máquinas Central Molino , fecha de acceso: 04 de Octubre de 2014, https://www.celec.gob.ec/hidropaute/index.php/molino

[11] Corporación Eléctrica del Ecuador, Filosofía Corporativa, fecha de acceso: 04 de Octubre de 2014, https://www.celec.gob.ec/hidropaute/index.php/perfil-corporativo/filosofia-corporativa

Figura 8. Presa Daniel Palacios, embalse Amaluza

De acuerdo a las condiciones físicas de caudal y altura se determinó el uso de turbinas Pelton de eje vertical para las dos Fases AB y C.

Figura 9. Turbina Pelton central hidroeléctrica Paute Molino[12]

La alimentación de los servicios Auxiliares tanto de Casa de Máquinas como de las Unidades utiliza la alimentación en 13,8 KV proveniente del devanado terciario del banco de autotransformadores (138/230 KV) que energiza una barra a través de los interruptores respectivos.

Entre el devanado terciario y la barra hay instalados transformadores con relación 1:1 (13,8/ 13,8 KV) con el fin de reducir la corriente de cortocircuito.

De esta barra y utilizando los interruptores 752-A 752-B alimentamos Centro de Fuerza de Casa de Máquinas C.F.C.M., a través de transformadores de 13,8/ 0,480 KV 750KVA, de donde se distribuye mediante los interruptores apropiados hacia los diferentes Centros de Carga de Unidades así como Auxiliares de Casa de Máquinas.

[12] APOLO, Richard y ESPINOZA,Art. Cit.

Capítulo 2 GAMA DE PLCS ABB AC500 (ADVANT CONTROLLER 500)

2.1 +PLC ABB AC500, introducción.

El autómata programable o PLC (Programable Logic Controller), es un conjunto de módulos o elementos industriales que constituyen un equipo electrónico mediante el cual pueden controlarse a tiempo real procesos secuenciales para aplicaciones industriales. [6] Actualmente es el corazón de la automatización de instalaciones, ha supuesto una innovación tecnológica muy importante sustituyendo a las funciones lógicas (circuitos eléctricos con relés, interruptores, etc.).

Independientemente del fabricante y modelo los bloques básicos que componen un PLC son los siguientes: [6]

1. Unidad Central de Proceso o CPU (Central Processing Unit), es el núcleo o corazón de la arquitectura del PLC.
2. Banco de memorias internas. Compuesto por tres tipos básicos de memoria
   a. Memoria de programa
   b. Memorias interna (contadores, temporizadores, relés internos, etc.)
   c. Memoria de imagen de entrada / salida (I/O)
3. Módulos o interfaces de I/O. Básicamente de tres tipos:
   a. Módulos I/O digitales
   b. Módulos I/O analógicos
   c. Módulos I/O especiales (contadores rápidos, para comunicaciones, para motores paso a paso, etc.)
4. Fuente de alimentación. Compuesta por serie de tensiones disponibles para la alimentación no solamente del PLC, sino en muchos casos la alimentación externa de sensores y actuadores.

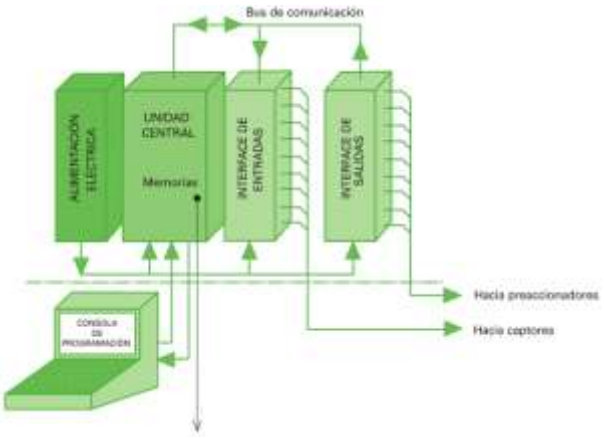


Figura 10. Estructura de un autómata programable[13]

[13] ROLDAN VILORIA, José, *Automatismos Industriales,*423 páginas, Ediciones Paraninfo, Madrid, 2011, p 208.

Utilizar PLCs tiene muchas ventajas, entre las que se puede citar: [6]

- Mayor y mejor automatismo y control en procesos.
- Facilidad en la operación de máquinas.
- Permite introducir cambios rápidos en los procesos que controla mediante el cambio de su programación sin cambiar cableado (costos adicionales).
- Ayuda con mensajes al control de averías (alarmas).
- Puede estar conectado a PCs o redes para el control de procesos.
- Obtiene mayor productividad de las máquinas
- Mayor seguridad en procesos controlados
- Mantenimiento de bajo costo
- Etc.

Presentan también los PLCs ciertas desventajas:

- Necesidad de contar con técnicos calificados y preparados específicamente para ocuparse de su buen funcionamiento.
- Alta incompatibilidad entre software y hardware para autómatas de diferentes fabricantes.
- Alto coste inicial (en autómatas de gama media y alta)
- Incompatibilidad relativa en comunicaciones entre autómatas (en los últimos años esta desventaja está siendo subsanada mediante la utilización de buses de campos industriales normalizados)

Existen en el mercado una gran variedad de PLCs, clasificados tanto por su funcionalidad, capacidad, aspecto físico, etc. Entre los más comunes tenemos: [7]

- Siemens
- Omrom
- Fatek
- Crouzet
- Toshiba
- Allen Bradley
- Festo
- Mitsubishi
- Abb
- Belkin
- Moeller
- Lg

La plataforma de ABB[14] AC500 es una gama de PLCs escalable, flexible y de alto rendimiento que tiene una gran capacidad de expansión, se compone de diferentes dispositivos que pueden ser combinados y expandidos de forma muy flexible para encajar con diversos requerimientos de sus clientes. Desde su lanzamiento en 2006,

[14] ABB (Asea Brown Boveri) es una corporación multinacional con sede central en Suiza, que sus mayores negocios en generación eléctrica y automatización industrial.

la plataforma AC500 ha obtenido el reconocimiento por su alto rendimiento, calidad y confiabilidad.

Figura 11. Plataforma AC500[15]

2.2 CONFIGURACIONES, COMUNICACIÓN Y PROGRAMACIÓN.

La gama de PLCs AC500 integra nuevas tecnologías en cuanto a capacidades, canales digitales configurables como entrada o salida, una gran variedad de comunicaciones, una amplia memoria de datos y programa, una tarjeta SD de memoria opcional y estándar para registrar datos y operaciones de mantenimiento (carga/descarga de programa o firmware,...).

Permiten los PLCs AC500 una multitud de combinaciones: entradas/salidas digitales y analógicas, bus de campo y/o redes de comunicación. Teniendo la posibilidad de funcionar simultáneamente a través de diferentes buses de campo en cualquier combinación, con un sencillo sistema de control.

Entre otros los PLCs AC500 de ABB admiten los siguientes protocolos de comunicación: PROFINET, PROFIBUS DP, CANopen, DeviceNet, CS31, Modbus RTU, RCOM, Ethernet e Internet, EtherCat.

En el PLC se puede elegir entre diferentes gamas de CPU que incluso pueden sustituirse fácilmente si los requerimientos y necesidades de la aplicación aumentan y lo requieren. Todas las CPUs tienen el mismo formato y disponen de ranura SD, FBP, 2 puertos RS232/485, pantalla teclado y zócalo para pila de litio.

Las Bases terminales de la CPU permiten la fácil conexión de la CPU, disponible en 3 versiones con conexión para uno, dos o cuatro módulos de comunicación. Los módulos de comunicación permiten conectarse a sistemas de bus de campo e integrarlos a las redes ya existentes.

Los módulos en E/S digitales y analógicos se adaptan a las necesidades reales de la aplicación usando por ejemplo canales digitales configurables de forma individual como entrada o salida o canales analógicos multirango. Pueden ser utilizados localmente (junto al PLC) en donde se enchufan fácilmente a las bases terminales (máx. 10 módulos) o remotamente (mediante cabeceras remotas).

[15] TFcontrol, AC500, 2014-11-02, http://www.tgcontrol.com/?p=95

Las bases terminales de los módulos de E/S se pueden utilizar tanto para módulos de E/S digitales como analógicos, permitiendo un pre cableado sencillo sin electrónica.

Figura 12. Configuración PLCs AC500[16]

El software Control Builder PS501 es la herramienta de ingeniería para todas las CPUs AC500, está diseñada para la programación normalizada (IEC 61131-3) en cinco lenguajes, se usa para:

- Programación.
- Test.
- Comisionamiento.
- Documentación.

De programas para el PLC AC500 de ABB.

La herramienta de configuración, programación y puesta en marcha Control Builder PS501 está basada en CoDeSys (Controller Development System) que es uno de los sistemas de programación del estándar IEC 61131-3.

2.3 HARDWARE DEL PLC ABB AC500.

Los siguientes módulos electrónicos son los componentes básicos del sistema AC500:

- CPUs de diferentes capacidades.
- Módulos de comunicación para diferentes sistemas de bus, como PROFIBUS, CANopen, Devicenet, PROFINET, EtherCAT.

[16] ABB, Catálogo Técnico PLC 2013,2014-11-28, http://www.abb.com.ec/cawp/seitp202/4daad42e19a247e9c1257b9600366ad8.aspx

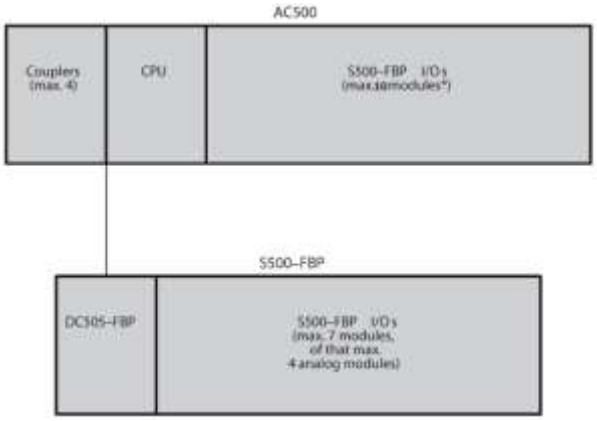


Figura 13. Estructura AC500[17]

La expansión en el AC500 puede realizarse las siguientes maneras:

- Expansión central: Una CPU soporta conexiones directas de hasta 10 dispositivos de entrada y salida.
- Expansión descentralizada: con el módulo de interface DC505 (para bus de campo PROFIBUS, CANopen, Devicenet. Modbus RTU) se pueden conectar hasta 7 dispositivos de E/S del sistema S500 FBP (con un máximo de 4 módulos analógicos)

Los PLCs AC500 han sido diseñados basados en la normas EN 61131-2 e IEC 61131-2 (Programmable Controllers), EN 61000 (Electromagnetic Compatibility EMC). La diferencia en datos de EN con respecto a IEC se debe a requisitos exigidos para aplicaciones navales (más estrictos).

En el Anexo 1 se observan los datos técnicos del sistema AC500.

2.3.1. CPU

La CPU es el elemento inteligente considerado el cerebro del PLC, lee e interpreta instrucciones cargadas en la memoria y sobre la base de los estados de las entradas, toma decisiones sobre las salidas [8]. Generalmente está basado en Microcontroladores de 8, 16 o 32 bits.

Está formado por:

1. Unidad de control. Genera todas las líneas de control y direcciones para el control y acceso correcto a los dispositivos conectados al CPU.
2. Unidad operativa. Realiza aquellas operaciones lógicas, aritméticas y de movimientos de datos necesarias para la correcta ejecución del programa.

[17] ABB, AC500 Control Builder Plus PS501- Complete Spanish Documentation V2.3.0, 2013-11-26, http://www.abb.com/product/db0094db009472/03cb2e16fae27001c1257bdc004439a2.aspx

Está formado por una serie de registros internos y un módulo principal llamado ALU (unidad aritmética lógica). Básicamente la ALU es el centro de cálculo lógico y aritmético del PLC.

Los Unidades centrales CPUs de la familia de PLCs AC500 están disponibles en 3 clases de rendimiento: PM57X, PM58X y PM59x. Diferenciándose estas por su velocidad, tamaño de memoria, etc.

Las CPU son fáciles de configurar por software mediante 5 lenguajes diferentes, existen para pequeñas, medianas y grandes aplicaciones, con memoria desde 64 KBytes hasta 4Mbyte, con diferentes interfaces para fácil comunicación. Utilizan alimentación de 24 Vdc.

Todas las CPU deben instalarse sobre una base de terminales adecuada. El tipo de base de terminales depende del número de módulos de comunicaciones que se utilizan junto con la CPU y del tipo de interfaz de red que corresponde a la CPU (Ethernet o ARCNET).Cada CPU puede admitir hasta 4 módulos de comunicaciones. El módulo de comunicaciones se instala en el lado izquierdo de la CPU, sobre la misma base de terminales .En el lado derecho de la CPU pueden conectarse hasta 10 módulos de ampliación de E/S (hasta 7 unidades de terminales de E/S anteriores a la versión 1.2 de PS501 y firmware de la CPU anterior a la versión 1.2.0), los cuales quedan interconectados automáticamente mediante el bus de E/S.

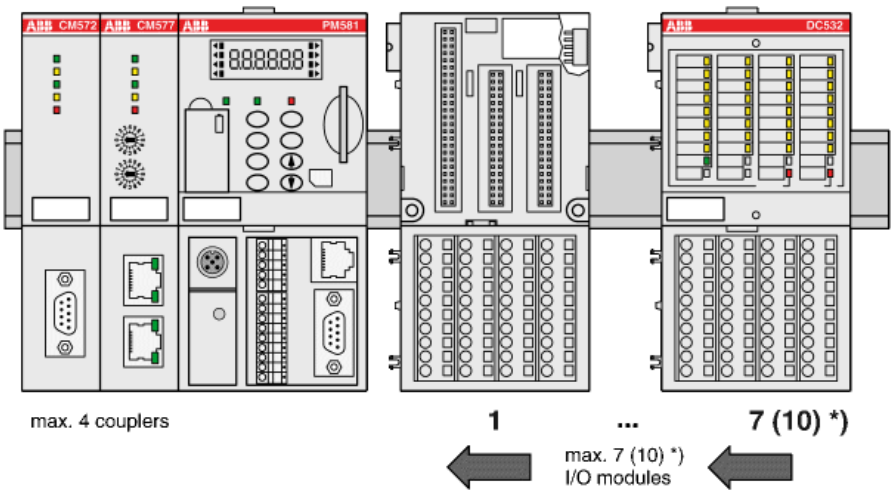


Figura 14. CPU AC500 con una base de terminales, módulos de comunicación y módulos de E/S[18]

En el Anexo 2 se observan los datos generales de las CPUs y bases terminales del PLC. AC500.

2.3.1.1 Comunicación

Los módulos de comunicaciones del AC500 hacen posible la comunicación entre los diferentes buses de campo. El módulo de comunicaciones se instala en el lado

[18] ABB, AC500 Control Builder Plus PS501- Complete Spanish Documentation V2.3.0. Art. Cit.

izquierdo de la CPU, sobre la misma base de terminales. La comunicación entre la CPU y los módulos de comunicaciones tiene lugar mediante el bus del módulo de comunicaciones, que forma parte de la base de terminales. Dependiendo de la base de terminales empleada, pueden utilizarse 1, 2 o 4 módulos de comunicaciones.

En el anexo 3 se observan los datos técnicos generales de los módulos de comunicaciones.

2.3.1.2 Display y elementos frontales

Todas las CPU del AC500 disponen de indicadores LED y una pantalla de cristal líquido para indicar el estado de funcionamiento y de los errores. La figura siguiente muestra el panel frontal de una CPU del AC500.

Figura 15. Panel frontal de CPU AC500[19]

El estado de la CPU se muestra en su panel frontal mediante 3 indicadores LED:

- PWR
- RUN
- ERR

Adicionalmente las CPU vienen equipadas con una pantalla retro iluminada, que contiene los siguientes indicadores:

- ■ Pequeños indicadores cuadrados de color negro que indican, igual que un LED, el estado del dispositivo cuyo nombre está descrito debajo.
- ► Pequeñas flechas de color negro que señalan el dispositivo seleccionado para configurar o leer
- 6 indicadores de 7 segmentos para mostrar texto o códigos de error

Normalmente, la retroiluminación de la pantalla está apagada, El estado de la CPU se muestra mediante las palabras "Run" o "Stop", que reflejan el estado del programa de la CPU. Al presionar uno de los pulsadores "RUN, DIAG, CFG o VAL", la pantalla

[19] ABB**,** New high-performance CPU and PROFINET bus interface module for AC500 PLC, 2014-10-15, http://www.abb.com/cawp/seitp202/457e593882461490c125794c002edc59.aspx

se ilumina y se realiza la función deseada. En caso de producirse un error de funcionamiento, la pantalla se ilumina igualmente y se muestra un código de error.

2.3.2 Módulos de entradas / salidas digitales

Los módulos de E/S digitales se pueden encontrar en diferentes versiones, se conectan fácilmente en sus bases terminales para expansión locales de la CPU y expansión remota descentralizada mediante la interface FBP.

Las Bases terminales o unidades terminales de E/S se pueden usar tanto para módulo de E/S digitales como analógicos. Se puede optar por versiones de tornillo o resorte en dos variantes: para 24 V DC y 230 V AC.

En el Anexo 4 se puede observar los diferentes tipos de módulos de E/S digitales con sus principales características:

2.3.2.1 Elementos

En la siguiente figura y tabla se pueden apreciar los principales elementos de los módulos de entradas / salidas digitales:

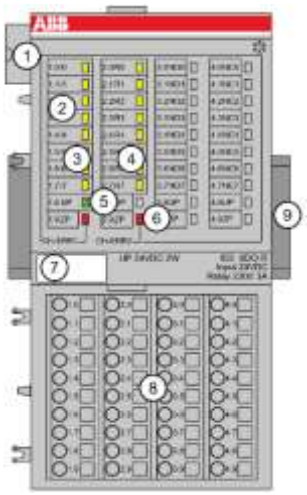


Figura 16. Principales elementos de Módulo de entradas / salidas digitales[20]

1	Bus de E/S
2	Asignación de número de terminal y nombre de señal
3	8 LED amarillos para indicar el estado de las señales de las entradas digitales (I0 - I7)
4	8 LED amarillos para indicar el estado de las señales de las salidas digitales de relé (R0 - R7)
5	1 LED verde para indicar el estado de la tensión de alimentación de proceso UP
6	2 LED rojos para indicación de errores
7	Etiqueta
8	Unidad de terminales de E/S con terminales de tornillo o resorte
9	Guía DIN

Tabla 1. Elementos del módulo de Entradas / Salidas digitales[21]

[20] ABB, *Hardware AC 500,* Heidelberg, 05- 2007, p 321.

2.3.3 Módulos de entradas / salidas analógicas

Los módulos de E/S analógicos al igual que los módulos digitales están disponibles también en varias versiones, igualmente se conectan en sus bases terminales para expansión local y remota descentralizada.

En el Anexo 5 se puede apreciar los tipos de módulos de E/S analógicos con sus principales características:

2.3.3.1 Elementos

En la siguiente figura y tabla se pueden apreciar los principales elementos de los módulos de entradas / salidas analógicas:

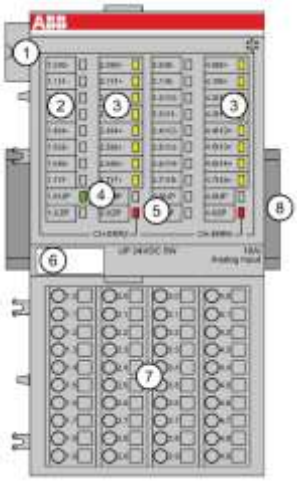


Figura 17. Módulo de entradas / salidas analógicas[22]

1	Bus de E/S
2	Asignación de número de terminal y nombre de señal
3	16 LED amarillos para indicar el estado de las señales de las entradas analógicas (I0-I15)
4	1 LED verde para indicar el estado de la tensión de alimentación de proceso UP
5	2 LED rojos para indicación de errores
6	Etiqueta
7	Unidad de terminales de E/S con terminales de tornillo o resorte
8	Guía DIN

Tabla 2. Elementos del módulo de Entradas / Salidas analógicas[23]

2.4 Control Builder PS501

Control Builder PS501 es un producto que combina todas las herramientas que se necesitan para configurar, programar, depurar y mantener un proyecto de automatización con una interface sencilla e intuitiva. Permite la configuración de

[21] ABB, *Hardware AC 500,* Art. Cit., p 321.
[22] Idem. p 321.
[23] Idem. p 321.

todos los dispositivos de automatización inteligentes estándares fabricados por ABB. Entre estos todas las clases de CPUs AC500.

Otras características incluidas son: configuración total del sistema (PLC local y E/S descentralizadas mediante buses y redes de comunicación), funciones de diagnóstico, manipulación de alarmas y tendencias, visualización integrada, simulador de proyectos.

2.4.1 Información básica

Control Builder PS501 es la herramienta de ingeniería para todas las clases de CPU AC500, diseñada para la programación normalizada IEC 61131-3. Esta norma internacional define:

- La estructura de un programa
- La declaración de datos
- La sintaxis y semántica de 5 diferentes lenguajes de programación:
    - Instruction List (IL)
    - Structured text (ST)
    - Function block diagram (FBD)
    - Ladder Diagram (LD)
    - Sequential flow chart (SFC)

El Software de programación Control Builder PS501 está basado en CoDeSys para:

- Programación
- Test
- Comisionamiento
- Documentación

De programas para AC500 de ABB.

CoDeSys es uno de los sistemas de programación del estándar IEC 61131-3 más comunes para PLCs, significa Controller Development System (Sistema de desarrollo del controlador).

2.4.2 Lenguajes de programación

La Comisión Electrotécnica Internacional IEC (*International Electrotechnical Commision*) elaboró la norma 61131-3 con el objeto de responder a la compleja creciente en los sistemas de control y a la diversidad de autómatas programables incompatibles entre sí. [9] IEC 61131-3 define las especificaciones de la sintaxis y semántica de los lenguajes de programación, incluyendo el modelo de software y la estructura del lenguaje.

Dicha norma constituye un sistema de programación formado por 2 tipos de lenguajes de programación diferentes: [9]

- Lenguajes Literales

Están formadas por letras, números y símbolos especiales. Son Lenguajes de este tipo:

- Lista de instrucciones IL *(Instruction list).*

  Este lenguaje consiste de un conjunto códigos simbólicos en secuencia, cada uno de los cuales corresponde a una o más instrucciones en lenguaje de máquina o *assembler* del autómata programable que lo utiliza. Por esto está especialmente indicado para usuarios familiarizados con la electrónica digital e informática.

  Generalmente son programas pequeños, fáciles de entender. Las operaciones trabajan con un registro especial (acumulador, LD, ST)

  Cada instrucción empieza en una nueva línea, contiene un operador y7, según el tipo de operación incluye uno o varios operandos separados por comas.

```
LD     17
ST     lint         (* Comentario *)
GE     5
JMPC   next
LD     idword
EQ     istruct.sdword
STN    test
next:
```

Figura 18. Ejemplo lenguaje Lista de instrucciones (IL)[24]

- Texto estructurado ST (*Structured Text)*

  Es un lenguaje de alto nivel con orígenes en Pascal y C, puede ser utilizado para codificar expresiones complejas e instrucciones anidadas. Se dispones en este lenguaje de estructuras para: bucles, ejecución condicional, funciones. Se puede ejecutar de forma condicionada o en bucles secuenciales. Posibilita una programación poderosa: Se puede escribir un bloque personalizado y llamarlo desde otro programa en FBD, CFC o LD

```
WHILE Zaehler<>0 DO
    Var1:=Var1*2;
    Zaehler:=Zaehler-1;
END_WHILE
```

Figura 19. Ejemplo lenguaje Texto Estructurado (ST)[25]

- Lenguajes gráficos

  Las instrucciones se representan mediante figuras geométricas. Son lenguajes de este tipo:

[24] MANDADO PEREZ, Enrique, *Autómatas Programables y Sistemas de Automatización,* Editorial Marcombo, Barcelona, 2009, p.211.
[25] Idem. P212.

- Esquema de contactos LD (*Ladder Diagram*)

  En este lenguaje la tarea que debe realizar el autómata se especifica gráficamente mediante un esquema de contactos. Representa las variables lógicas mediante relés y los contactos asociados a ellos. Dichos contactos pueden ser normalmente abiertos (abiertos cuando el relé está desactivado y cerrados en caso contrario) o normalmente cerrados (cerrados cuando el relé esta desactivado y abiertos en caso contrario).

  El programa de control para este lenguaje necesita de una unidad de programación con pantalla gráfica para visualizar el esquema de contactos

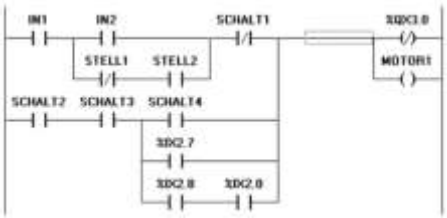


Figura 20. Ejemplo Lenguaje Esquema de contactos (LD)[26]

- Diagrama de bloque de funciones FBD (*Function Block Diagram*)

  Es un lenguaje simbólico orientado a gráficos donde las distintas combinaciones entre variables se representan mediante estructuras determinadas para bloques y operandos, pudiendo ser por ejemplo símbolos lógicos. Al igual que en el lenguaje Lista de Instrucciones (IL) está especialmente indicado para usuarios familiarizados con la Electrónica Digital. Y como el lenguaje Esquema de Contactos (LD) necesita una unidad de programación dotada de pantalla para la visualización del diagrama.

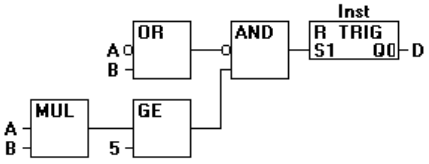


Figura 21. Ejemplo Lenguaje Diagrama de funciones (FBD)[27]

- Diagrama funcional de secuencias SFC (*Sequential Block Diagram*)

  Es un lenguaje orientado gráficos que permite describir el desarrollo en el tiempo de distintas acciones de un programa. Contiene pasos y transiciones. El programa se completa por pasos.

[26] MANDADO PEREZ, Enrique, Art.Cit., p.243.
[27] Idem., p.254.

SFC ayuda estructurar la organización interna de un programa y a descomponer un problema en partes manejables, manteniendo simultáneamente una visión global. Cada elemento puede ser programado en alguno de los lenguajes de la norma incluyéndose el propio SFC.

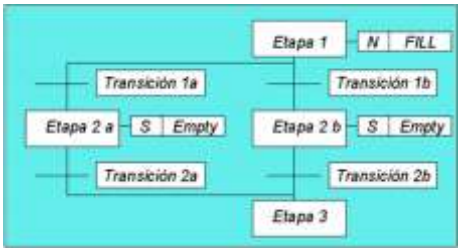


Figura 22. Ejemplo lenguaje Diagrama funcional de secuencias (SFC)[28]

2.4.3 POUs Y tipos de datos

En la norma 61131-3 están definidas 3 formas de "presentar" o crear programas de control para PLCs. [9]

Estas representaciones reciben el nombre de Unidades de Organización de Programa POUs (*Program Organization Units*)

- Programas

  En la norma se define a un programa como el "conjunto lógico de todos los elementos que son necesarios para el tratamiento de señales que se requieren para el control de un proceso mediante un PLC".

  Es un módulo que al ejecutarse, suministra uno o varios valores. Los programas pueden recibir llamadas de otros programas y Bloques de Funciones. Una función no admite llamadas a programas.

- Funciones

  Es un módulo que, cuando se ejecuta, suministra exactamente un dato, no tiene memoria. La norma especifica funciones estándar y funciones definidas por el usuario. Por ejemplo funciones estándar: ADD (suma), ABS(valor absoluto), SQRT(raíz cuadrada), SIN(seno) y COS (coseno). Las funciones definidas por el usuario, una vez implementadas pueden ser usadas indefinidamente en cualquier POU.

- Bloques de funciones

  Los bloques funcionales representan funciones de control especializadas. Tienen memoria, característica que les confiere un gran potencial de uso.

[28] MANDADO PEREZ, Enrique, Op.Cit, p.258.

Presentan una interface de entradas y salidas bien definido y un código interno oculto. Una vez definidos los Bloques de funciones pueden ser usados una y otra vez en el mismo programa, en diferentes programas o en distintos proyectos.

Pueden ser definidos por el usuarios, pero también existes bloques de funciones estándares (biestables, detección de flancos, contadores temporizadores, etc.)

Se pueden usar tipos de datos estándar y datos definidos por el usuario al programar. El tipo de dato determina la cantidad de espacio de memoria que será reservada y que tipo de valores almacena.

Los tipos comunes de datos son: boléanos, número entero, número real, byte y palabra, pero también fechas, horas del día y cadenas (*strings*). Basados en estos tipos de datos, el usuario puede definir sus propios tipos de datos, conocidos como tipos de datos derivados.

Los tipos de dato boleanos (BOOL) pueden tener los valores *TRUE* y *FALSE,* 8 bits de espacio de memoria serán reservados para este tipo de dato.

Los tipos de datos número entero (*INTEGER*) y sus diferentes variantes se pueden observar en la siguiente tabla:

Tipo	Límite inferior	Limite Superior	Espacio de memoria
BYTE	0	255	8 bits
WORD	0	65535	16 bits
DWORD	0	4294967295	32 bits
SINT	-128	127	8 bits
USINT	0	255	8 bits
INT	-32768	32767	16 bits
UINT	0	65535	16 bits
DINT	-2147483648	2147483647	32 bits
UDINT	0	4294967295	32 bits

Tabla 3. Tipos de datos entero[29]

Los tipos REAL y LREAL (*long real*) son los llamados punto flotante. Sirven para representar números racionales. Para tipo REAL se reservan 32 bits de espacio de memoria, mientras para el LREAL 64 bits.

Los valores válidos para REAL: 1.175494351e-38 a 3.402823466e+38

Los valores válidos para LREAL: 2.2250738585072014e-308 a 1.7976931348623158e+308

Una variable tipo *STRING* puede contener cualquier cadena de caracteres. El ingreso de tamaño en la declaración determina la cantidad de espacio de memoria que debe ser reservada para la variable, puede ser colocada entre paréntesis o corchetes. Si no se especifica el tamaño se asignará un predeterminado de 80 caracteres. No está limitada la longitud de cadena, pero las funciones de cadena solo procesan secuencias de 1-255 caracteres.

[29] MANDADO PEREZ, Enrique, Art. Cit..

Los tipos de dato TIME, TIME_OF_DAY (TOD), DATE y DATE_AND_TIME (DT) son manejados internamente como DWORD. El tiempo se expresará en milisegundos en TIME Y TOD y empezará a las 00:00 am.

2.4.4 **La estructura de un programa**

De acuerdo a la norma 61131-3 un programa consiste de los siguientes elementos:

- Estructuras (tipos de datos)
- POUs
- Variables Globales

Figura 23. Estructura de un programa.[30]

Un proyecto que abarca el programa del sistema de control se guarda en un archivo que lleva el nombre del proyecto (*.pro). Un proyecto contiene distintos tipos de objetos: Módulos, definiciones de tipos de datos, elementos de representación (visualización), recursos y bibliotecas.

Cada POU se compone de una parte declaratoria y una parte de código. La Parte de código está escrita en uno de los idiomas de programación IEC: IL, ST, SFC, FBD, LD O CFC.

El primer módulo que se crea en un nuevo proyecto se denomina PLC_PRG**.** Ahí empieza la ejecución (corresponde a la función principal en un programa C), y desde aquí se pueden llamar otros módulos (programas, bloques de funciones y funciones).

Para crear un proyecto, en primer lugar hay que establecer la configuración del sistema para su sistema de control.

Acto seguido hay que configurar el sistema de control comprobando si son correctas las direcciones de entradas y salidas utilizadas en el proyecto.

Finalmente se pueden crear los módulos necesarios y programar en los idiomas deseados.

[30] ABB, *Advant Controller 500 (AC500)*Control Builder PS501,Presentacion Power Point, Guarumales 16-12-2008.

Tras finalizar la programación se puede compilar el proyecto y eliminar posibles errores.

Una vez eliminados todos los errores hay que activar la simulación, registrarse en el sistema de control simulado y cargar el proyecto. Se encontrará en modo online.

2.4.5 Las diferentes librerías

Un proyecto puede enlazar una serie de bibliotecas cuyos módulos, tipos de datos y variables globales se puedan utilizar como autodefinidos. Las bibliotecas standard.lib y util.lib están a disposición por norma.

La biblioteca 'standard.lib' está disponible de forma estándar. Contiene todas las funciones y módulos de funciones que requiere la norma IEC61131-3 como módulos estándar para un sistema de programación IEC. La diferencia entre una función estándar y un operador es que el operador es implícitamente reconocido en el sistema de programación, mientras que los módulos estándar hay que enlazarlos al proyecto como bibliotecas (standard.lib).

Si un proyecto es compilado sin errores, se puede guardar como biblioteca mediante el comando 'Guardar como...' en el menú 'Archivo'. El proyecto se mantiene igual, se crea un archivo adicional con la extensión estándar ".lib", que a partir de ese momento estará disponible, por ejemplo, como biblioteca estándar con el nombre que se le haya dado.

Para poder utilizar los módulos de un proyecto en otro, se guarda el proyecto como Biblioteca interna *.lib. Esta librería después puede ser insertada en otros proyectos usando el administrador de librerías.

Si ha implementado módulos en otros idiomas de programación, por ejemplo C y los quiere enlazar con otro proyecto mediante una biblioteca, seleccione el tipo de datos Biblioteca externa *.lib al guardar el proyecto. Así se guardará un archivo adicional al de biblioteca, que también llevará el nombre de archivo de la biblioteca, esta vez con la extensión "*.h". Este archivo está construido como archivo de encabezamiento C y contiene las declaraciones de todos los módulos, tipos de archivo y variables globales disponibles de la biblioteca.

Mediante el comando ‘Insertar’ ‘Otras bibliotecas’ se puede enlazar otras bibliotecas al proyecto. El comando abre la ventana de diálogo destinada a abrir un documento. Si el directorio existente no contiene la biblioteca deseada, puede seleccionar otra en el campo ‘Directorio de biblioteca’, las cuales son definidas en "Proyecto / Opciones / Directorios / Bibliotecas, tras lo cual se indican los archivos de bibliotecas que allí se encuentran (tipo "*.lib"). Se debe Seleccionar la(s) biblioteca(s) deseada(s) (se pueden seleccionar varias) y confirme pulsando OK. La ventana de diálogo se cierra y la biblioteca se incorpora al administrador de bibliotecas. Entonces se podrán utilizar los objetos de la biblioteca como objetos autodefinidos.

Al abrir el proyecto se buscarán las bibliotecas inscritas en el administrador de biblioteca de acuerdo a las entradas que en él consten. Por lo tanto, una biblioteca

que se ha introducido sin ruta se buscará en los directorios de biblioteca definidos en las opciones de proyecto.

Si al abrir un proyecto no se encuentran bibliotecas, se le preguntará si hay que cambiar el directorio configurado en opciones de proyecto. Si lo niega, aparece una ventana de diálogo con información sobre la biblioteca que no se ha encontrado y las entradas del administrador de bibliotecas se presentan en rojo. En este caso, si una entrada en rojo está marcada, en el menú contextual tendrá a su disposición el comando Buscar... A través de este comando accederá a la ventana de diálogo por la que podrá abrir un archivo, de forma que, en caso que sea necesario, podrá cargar directamente la biblioteca que falta.

También se puede borrar una biblioteca de un proyecto y su administrador de bibliotecas mediante el comando 'Edición' 'Borrar'

2.5 COMUNICACIÓN MODBUS EN AC500

El protocolo Modbus es utilizado en todo el mundo. El MODICON Modbus® RTU está implementado en las CPUs AC500. [10] Modbus es un protocolo maestro-esclavo. El maestro envía una petición al esclavo y recibe su respuesta.

En los PLCs AC500 en modo de operación Modbus Maestro, el tráfico de telegramas con el esclavo (s) se realiza a través del Bloque de función MODMAST. El bloque de función MODMAST envía telegramas de solicitud Modbus al esclavo a través de la interfaz serie y recibe telegramas de respuesta Modbus del esclavo a través de esta interfaz. [10] Para Modbus en TCP / IP se utiliza el bloque de función ETH_MODMAST y para las interfaces seriales el bloque de función COM_MODMAST (el bloque de función ETH_MODMAST está en la biblioteca Ethernet_AC500_Vxx.lib y COM_MODMAST está en la biblioteca Modbus_AC500_Vxx.lib). [10]

El bloque Modbus transferido por el maestro contiene la siguiente información: [10]

- Dirección Modbus del esclavo interrogado (1 byte)
- Código de función que define la solicitud del maestro (1 byte)
- Dato a ser intercambiado (n bytes)
- Código de control CRC16 (2 bytes)

En modo de funcionamiento Modbus esclavo, no se requiere el bloque de función para la comunicación Modbus. El envío y recepción de telegramas Modbus se realiza automáticamente.

2.5.1 Modbus RTU

Las razones por las cuales el uso de Modbus es superior a otros protocolos de comunicaciones son: [12]

- Es público, no requiere licencias.
- Su implementación es relativamente fácil.
- Es muy seguro.

El protocolo Modbus define dos principales modos de transmisión: [13]

- Modbus RTU (Remote Terminal Unit). La comunicación entre dispositivos se realiza por medio de datos binarios. Esta es la opción más usada del protocolo.
- Modbus ASCII (American Standard Code for Information Interchange). La comunicación entre dispositivos se hace por medio de caracteres ASCII.

El formato RTU finaliza la trama con una suma de control de redundancia cíclica (CRC), mientras que el formato ASCII utiliza una suma de control de redundancia longitudinal (LRC).

Cada dispositivo de la red Modbus posee una dirección única. Cualquier dispositivo puede enviar órdenes Modbus, aunque lo habitual es permitirlo sólo a un dispositivo maestro. Cada comando Modbus contiene la dirección del dispositivo destinatario de la orden. Todos los dispositivos reciben la trama pero sólo el destinatario la ejecuta (salvo un modo especial denominado "*Broadcast*"). Cada uno de los mensajes incluye información redundante que asegura su integridad en la recepción. Los comandos básicos Modbus permiten controlar un dispositivo RTU para modificar el valor de alguno de sus registros o bien solicitar el contenido de dichos registros.

En el modo RTU, cada palabra transmitida posee 1 start bit, ocho bits de datos, 2 stop bits, sin paridad. De este modo, la secuencia de bits para la transmisión de un byte es la siguiente: [14]

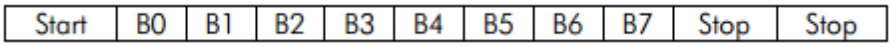


Figura 24. Trama Modbus Rtu[31]

En el modo RTU, cada byte de datos es transmitido como una única palabra con su valor directamente en hexadecimal.

La red Modbus-RTU utiliza el sistema maestro-esclavo para el intercambio de mensajes. En ambos los telegramas (pregunta y respuesta), la estructura utilizada es la misma: Dirección, Código de la Función, Datos y Checksum. Solo el contenido de los datos posee tamaño variable. [14]

[31] Modbus Organization, MODBUS over SERIAL LINE Specification and Implementation Guide, 20-12-2006, http://www.modbus.org/docs/Modbus_over_serial_line_V1_02.pdf

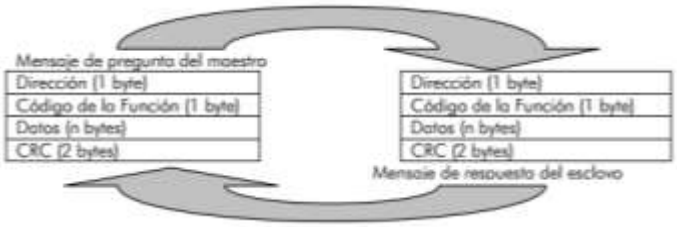


Figura 25. Estructura de los mensajes Modbus Rtu[32]

El maestro inicia la comunicación enviando un byte con la dirección del esclavo para el cual se destina el mensaje. Permite direccionar hasta 247 esclavos con las direcciones de 1d a 247d (0x00 a 0xF7). [14] Al enviar la respuesta, el esclavo también inicia el telegrama con el su propia dirección, posibilitando que el maestro conozca cual esclavo está enviándole la respuesta.

El maestro también puede enviar un mensaje destinado a la dirección "0" (cero), lo que significa que el mensaje es destinado a todos los esclavos de la red (*broadcast*). En este caso, ninguno esclavo contestará al maestro.

El Campo Código de la Función contiene un único byte, donde el maestro especifica el tipo de operación, [14] servicio o función solicitada al esclavo. Las funciones se pueden clasificar en dos tipos:

- De lectura / escritura en memoria: para consultar o modificar el estado de los registros del mapa de memoria del esclavo
- Ordenes de control del esclavo: para realizar alguna actuación sobre el esclavo

El código de función puede tomar cualquier valor comprendido entre el 0 y el 127 (el bit de más peso se reserva para indicar error). Cada código se corresponde con una determinada operación. Algunos de estos códigos se consideran estándar y son aceptados e interpretados por igual por todos los dispositivos que dicen ser compatibles con Modbus, mientras que otros códigos son implementaciones propias de cada fabricante. Es decir que algunos fabricantes realizan implementaciones propias de estos códigos "no estándar".

Es también mediante el código de función que el esclavo confirma si la operación se ha ejecutado correctamente o no. Si ha ido bien responde con el mismo código de operación que se le ha enviado, mientras que si se ha producido algún error, responde también con el mismo código de operación pero con su bit de más peso a 1 (0x80) y un byte en el campo de datos indicando el código de error que ha tenido lugar.

Los Datos son de tamaño variable. El formato y el contenido de este campo dependen de la función utilizada y de los valores transmitidos. Este campo contiene la información necesaria para realizar la operación indicada en el código de operación. Cada operación necesitará de unos parámetros u otros, por lo que el

[32] WEG, Manual del Comunicación Modbus – RTU, 12-2012, http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-srw01-manual-de-la-comunicacion-modbus-rtu-10000521680-4.0x-manual-espanol.pdf

número de bytes de este campo variará según la operación a realizar. En el caso del esclavo, este puede responder con tramas con o sin campo de datos dependiendo de la operación. En los casos en que se produzca algún error es posible que el esclavo responda con un byte extra para especificar el código de error.

La última parte del telegrama es el campo para el chequeo de errores de transmisión. El método utilizado es el CRC-16 (Cycling Redundancy Check) codificado en 2 bytes (16 bits).

Estándar soportado	EIA RS-232 / RS 485
Número de puntos de conexión	1 maestro Max. 1 esclavo con interface RS 232 Max. 31 slaves con RS 485
Protocolo	Modbus (maestro/esclavo)
Control de transmisión de datos	CRC16
Velocidad de transmisión de datos	Hasta 187500 baudios
Codificación	1 bit inicio 8 bits de datos 1 bit de paridad 1 o 2 bits de parada
Max. Largo del cable	Para RS 485: 1200m a 19200 baudios

Tabla 4. Descripción de protocolo Modbus[33]

2.5.2 Cableado Modbus

La CPU AC500 vienen equipadas con dos interfaces seriales: COM1 y COM2. Ambas interfaces seriales pueden trabajar como interfaces Modbus simultáneamente.

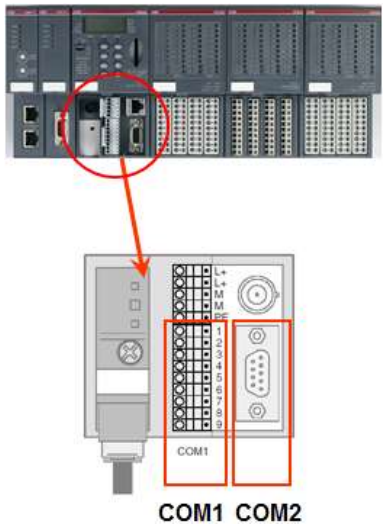


Figura 26. Puertos COM1 y COM2 integrados en CPUs AC500

La interfaz serial COM1 se conecta mediante un bloque de terminales desmontable de 9 polos. Es configurable para RS-232 o RS-485 y puede utilizarse para: [14]

[33] ABB, *AC500 System Technology, Heidelberg,* 08-2007, p. 171.

- el acceso en línea (interfaz de programación RS-232 para PC/Control Builder)
- un protocolo libre (comunicación a través de los bloques de función COM_SEND y COM_REC)
- Modbus RTU, maestro y esclavo, o
- un bus de sistema CS31 (RS-485), solamente como maestro

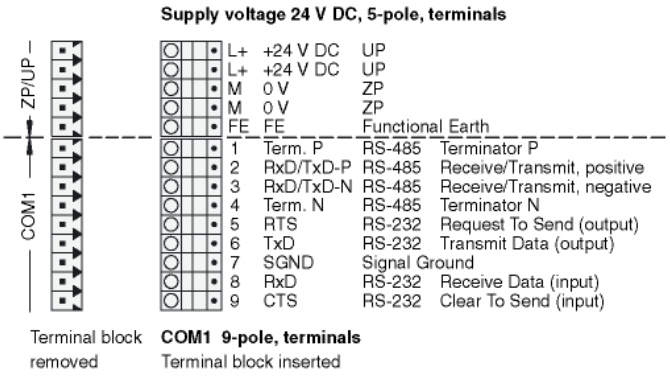


Figura 27.Interfaz serie COM1 PLC Ac500[34]

Si se utiliza el bus RS-485, todos los cables de bus interconectados (cada segmento de bus) deben tener una terminación eléctrica. Es necesario lo siguiente: [16]

- dos resistencias de 120 ohmios a ambos lados del cable (para evitar la reflexión de señales)
- también son necesarias, además, una resistencia pull-up en RxD/TxD-P y una resistencia pull-down en RxD/TxD-N. Estas dos resistencias mantienen un nivel alto definido en el bus cuando no hay intercambio de datos.

Es útil activar las resistencias tanto pull-up como pull-down, de las cuales solamente es necesaria una en cada cable de bus (en el maestro de bus). Por esta razón, estas dos resistencias ya están integradas en la interfaz COM1 de las bases de terminales del AC500. Pueden activarse conectando los terminales 1-2 y 3-4 de COM1.

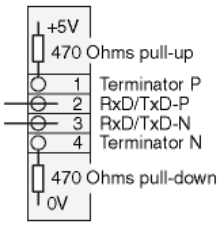


Figura 28. Resistencias (pull-up, pull-down) integradas en COM1[35]

El esquema siguiente muestra un bus RS-485 con el maestro de bus en un extremo del cable.

[34] ABB, *System Description AC500. Hardware,* Heidelberg, 05-2006, p 39.
[35] Idem., p 40.

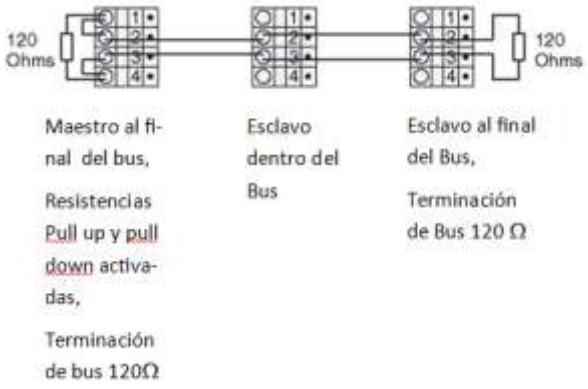


Figura 29. Bus RS-485, puerto COM1, con el maestro en un extremo del cable[36]

Si el maestro está situado en el cable de bus, no necesita una resistencia de terminación. Las resistencias pull-up y pull-down, sin embargo, deben activarse:

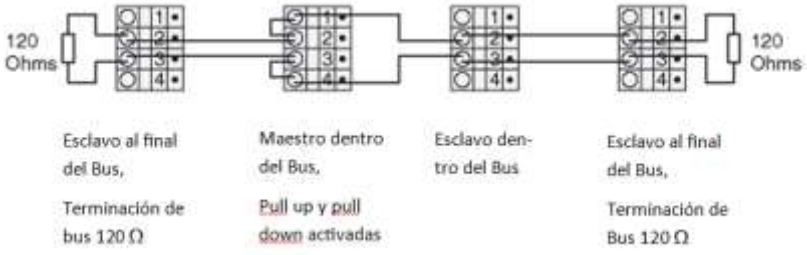
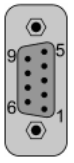


Figura 30.Bus RS-485, puerto COM1, con el maestro en el cable de bus[37]

La interfaz serie COM2 se conecta mediante un conector SUB-D de 9 polos. Es configurable para RS-232 o RS-485 y puede utilizarse para: [16]

- el acceso en línea (interfaz de programación RS-232 para PC/Control Builder)
- un protocolo libre (comunicación a través de los bloques de función COM_SEND y COM_REC)
- Modbus RTU, maestro y esclavo

[36] ABB, *System Description Hardware*, Art Cit., p40.
[37] Idem., p41.



1	FE	Tierra funcional		
2	TxD	RS-232	Transmisión de datos	salida
3	RxD/TxD-P	RS-485	Recepción/transmisión	positiva
4	RTS	RS-232	Petición de envío	salida
5	SGND	Tierra de señal	Suministro de 0 V finalizado	
6	+5 V		Suministro de 5 V finalizado	
7	RxD	RS-232	Recepción de datos	entrada
8	RxD/TxD-N	RS-485	Recepción/transmisión	negativa
9	CTS	RS-232	Listo para enviar	entrada
Pantalla	FE	Tierra funcional		

Figura 31.Asignación de pines de la interfaz serie COM2 (D-SUB de 9 polos, hembra) [38]

Si se utiliza el bus RS-485, todos los cables de bus interconectados (cada segmento de bus) deben tener una terminación eléctrica. Es necesario lo siguiente: [16]

- dos resistencias de 120 ohmios a ambos lados del cable (para evitar la reflexión de señales)
- también son necesarias, además, una resistencia pull-up en RxD/TxD-P y una resistencia pull-down en RxD/TxD-N. Estas dos resistencias mantienen un nivel alto definido en el bus cuando no hay intercambio de datos.

La figura siguiente muestra un bus RS-485 con el maestro de bus en un extremo del cable:

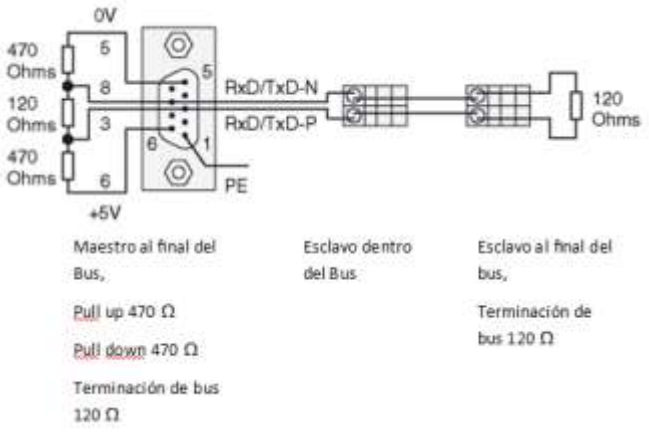


Figura 32. Bus RS485, puerto COM2, con maestro en el extremo del cable[39]

Si el maestro está situado en el cable de bus, no necesita una resistencia de terminación. Las resistencias pull-up y pull-down, sin embargo, son necesarias:

[38] ABB, *System Description Hardware*, Art Cit., p 46.
[39] Idem.

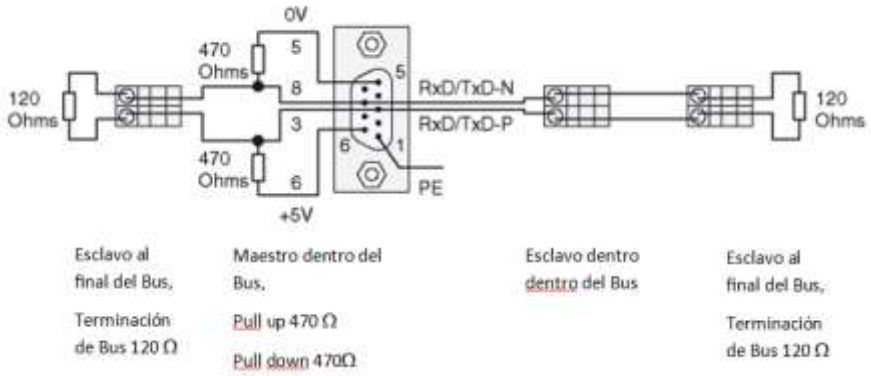


Figura 33. Bus RS-485, puerto COM2, con el maestro en el cable de bus[40]

2.5.3 Configuración Modbus con PS501

La Configuración del PLC en Control Builder PS501 se encuentra como un objeto en la pestaña 'Recursos' (*Resoruces)* dentro del Organizador de Objetos (*Object Organizer*).

La CPU AC500 está equipada con dos interfaces seriales COM1 y COM2 las cuales pueden operar como RS232 y RS485. La operación RS485 de una interface solamente es posible si el parámetro "RTS control" está ajustado a "*telegram*".

El protocolo de las interfaces seriales puede ser cambiado haciendo clic derecho en la interface COM1 o COM2 en el árbol de configuración y seleccionando el ítem del menú contextual 'Reemplazar módulo' (*Replace element*). El protocolo de la interface está directamente configurado en la Configuración del PLC(Configuración del mando, pestaña recursos).

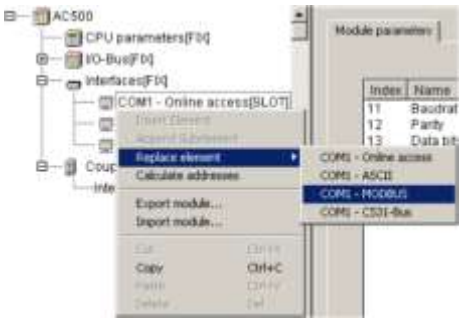


Figura 34. Protocolo interfaces seriales COM1, COM2[41]

Para el Protocolo Modbus la siguiente ventana es mostrada:

[40] ABB, *System Description AC500 System Technology,* Heidelberg, 04-2006, p 47.
[41] Idem, p 56.

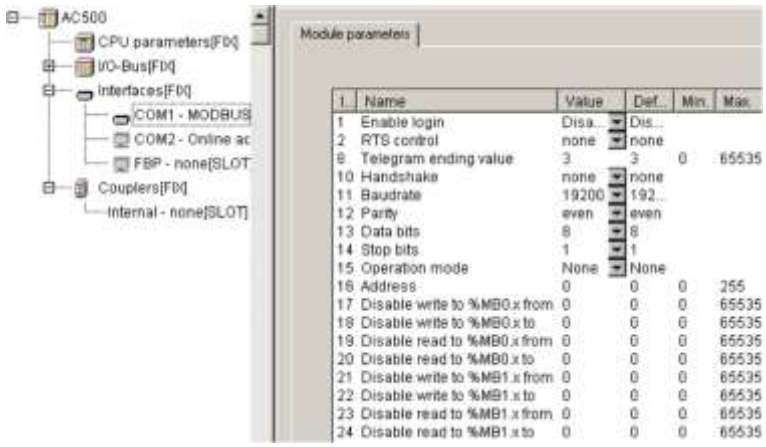


Figura 35. Configuraciones COMx - Modbus[42]

Las siguientes configuraciones son posibles:

Parámetro	Valor por defecto	Valor	Significado
Enable login	Disabled	Disabled	No hay comprobación en relación al telegrama de Inicio de Control Builder
		Enabled	Los telegramas recibidos son comprobados en relación a la secuencia lógica de Control Builder. Si la secuencia es detectada, la configuración del protocolo es cambiada a 'Online access'
RTS control	none	None	Sin control RTS
		Telegram	Control RTS para telegrama (RS 485)
Telegram ending value	3	0...65535	Número de caracteres para tiempo de espera de caracteres
Handshake	None	None	Sin control de flujo
		RTS/CTS	Hardware handshake
		XON/XOFF	Software handshake
Baudrate	19200	300 1200 4800 9600 14400 19200 38400 57600 115200 125000 187500	Largo del carácter en bits/s
Paryty	Even	None	Sin paridad
		Odd	Paridad impar
		Even	Paridad par
		Mark	Bit de paridad:= TRUE
		Space	Bit de paridad:=FALSE
Data Bits	8	5,6,7,8	Número de bits de datos, de 5 a 8
Stop Bits	1	1,2	Número de bits de parada, 1 o 2
Operation Mode	None	None	Ninguno
		Master	Maestro
		Slave	Esclavo
Address	0	0…255	Dirección para esclavo Modbus

Tabla 5. Configuración de parámetros COMx- Modbus[43]

2.5.4 Tablas Modbus

El área de banderas direccionables (*addressable flag area %M area*) en la AC500 se divide en varios segmentos con un tamaño de 64 Kbyte por segmento. Un máximo de 8 segmentos pueden ser direccionados. La disponibilidad de los segmentos depende de la CPU. [17] El tamaño del área % M se puede encontrar en los datos técnicos de las CPUs.(ver anexo 2.) y en la configuración del sistema de destino.

[42] ABB, *System Description AC500 System Technology of the CPUS,* 10-2005, p 57
[43] Idem, p 35.

Segmento	Operando	Tamaño(dec) acumulativo [kB]	Tamaño(hex) acumulativo [kB]
0	%MB0.0…%MB0.65535	64	16#10000
1	%MB1.0…%MB1.65535	128	16#20000
2	%MB2.0…%MB2.65535	192	16#30000
3	%MB3.0…%MB3.65535	256	16#40000
4	%MB4.0…%MB4.65535	320	16#50000
5	%MB5.0…%MB5.65535	384	16#60000
6	%MB6.0…%MB6.65535	448	16#70000
7	%MB7.0…%MB7.65535	512	16#80000

Tabla 6. Segmentos en área de bandera direccionables[44]

El protocolo Modbus RTU está implementado en el AC500. Con la ayuda del Protocolo Modbus, los segmentos 0 y 1 del área de banderas direccionables pueden ser accedidos. [17]

Un rango de 128 Kbyte es permitido para el acceso vía modbus, el segmento 0 y 1 del área de banderas direccionables (área %M) puede ser accedida. Así el rango de dirección completa 0000_{hex} a $FFFF_{hex}$ está disponible para Modbus. [18]

La asignación de direcciones para palabra y doble palabra es hecha de acuerdo a la siguiente tabla: [17]

Dirección Modbus		Byte	Bit	Word	Double Word
HEX	DEC	BYTE	BOOL	WORD	DWORD
LINEA 0					
0000	0	%MB0.0	%MX0.0.0…%MX0.0.7	**%MW0.0**	**%MD0.0**
		%MB0.1	%MX0.1.0…%MX0.1.7		
0001	1	%MB0.2	%MX0.2.0…%MX0.2.7	**%MW0.1**	
		%MB0.3	%MX0.3.0…%MX0.3.7		
0002	2	%MB0.4	%MX0.4.0…%MX0.4.7	**%MW0.2**	**%MD0.1**
		%MB0.5	%MX0.5.0…%MX0.5.7		
0003	3	%MB0.6	%MX0.6.0…%MX0.6.7	**%MW0.3**	
		%MB0.7	%MX0.7.0…%MX0.7.7		
…					
7FFE	32766	%MB0.65532	%MX0.65532.0 … %MX0.65532.7	**%MW0.32766**	**%MD0.16383**
		%MB0.65533	%MX0.65533.0… %MX0.65533.7		
7FFF	32767	%MB0.65534	%MX0.65534.0 … %MX0.65534.7	**%MW0.32767**	
		%MB0.65535	%MX0.65535.0 … %MX0.65535.7		
LINEA 1					
8000	32768	%MB1.0	%MX1.0.0…%MX1.0.7	**%MW1.0**	**%MD1.0**
		%MB1.1	%MX1.1.0…%MX1.1.7		
8001	32769	%MB1.2	%MX1.2.0…%MX1.2.7	**%MW1.1**	
		%MB1.3	%MX1.3.0…%MX1.3.7		
8002	32770	%MB1.4	%MX1.4.0…%MX1.4.7	**%MW1.2**	**%MD1.1**
		%MB1.5	%MX1.5.0…%MX1.5.7		
8003	32771	%MB1.6	%MX1.6.0…%MX1.6.7	**%MW1.3**	
		%MB1.7	%MX1.7.0…%MX1.7.7		
…					
FFFE	65534	%MB1.65532	%MX1.65532.0 … %MX1.65532.7	**%MW1.32766**	**%MD1.16383**
		%MB1.65533	%MX1.65533.0… %MX1.65533.7		
FFFF	65535	%MB1.65534	%MX1.65534.0 …	**%MW1.32767**	

[44] ABB, *System Description AC500 System Technology,* Heidelberg, Art. Cit. p.20.

			%MX1.65534.7		
		%MB1.65535	%MX1.65535.0 … %MX1.65535.7		

Tabla 7. Asignación de dirección para palabra y doble palabra[45]

La asignación de direcciones para acceso de bit, se hace de acuerdo a la siguiente tabla: [17]

Dirección Modbus		Byte	Bit	Word	Double Word
HEX	DEC	BYTE	BOOL	WORD	DWORD
LINEA 0					
0000	0	%MB0.0	**%MX0.0.0**	%MW0.0	%MD0.0
0001	1		**%MX0.0.1**		
0002	2		**%MX0.0.2**		
0003	3		**%MX0.0.3**		
0004	4		**%MX0.0.4**		
0005	5		**%MX0.0.5**		
0006	6		**%MX0.0.6**		
0007	7		**%MX0.0.7**		
0008	8	%MB0.1	**%MX0.1.0**		
0009	9		**%MX0.1.2**		
000A	10		**%MX0.1.3**		
000B	11		**%MX0.1.4**		
000C	12		**%MX0.1.5**		
000D	13		**%MX0.1.6**		
000E	14		**%MX0.1.7**		
000F	15		**%MX0.1.8**		
0010	16	%MB0.2	**%MX0.2.0**	%MW0.1	
0011	17		**%MX0.2.1**		
0012	18		**%MX0.2.2**		
0013	19		**%MX0.2.3**		
0014	20		**%MX0.2.4**		
00145	21		**%MX0.2.5**		
0016	22		**%MX0.2.6**		
0017	23		**%MX0.2.7**		
0018	24	%MB0.3	**%MX0.3.0**		
0019	25		**%MX0.3.1**		
001A	26		**%MX0.3.2**		
001B	27		**%MX0.3.3**		
001C	28		**%MX0.3.4**		
001D	29		**%MX0.3.5**		
001E	30		**%MX0.3.6**		
001F	31		**%MX0.3.7**		
0020	32	%MB0.4	**%MX0.4.0**	%MW0.23	%MD0.1
0021	33		**%MX0.4.1**		
0022	34		**%MX0.4.2**		
…	**…**	**…**	**…**	**…**	**…**
0FFF	4095	%MB0.511	**%MX0.511.7**	%MW0.255	%MD0.127
1000	4096	%MB0.512	**%MX0.512.0**	%MW0.256	%MD0.128
…	**…**	**…**	**…**	**…**	**…**
7FFF	32767	%MB0.4095	**%MX0.4095.7**	%MW0.2047	%MD0.1023
8000	32768	%MB0.4096	**%MX0.4096.0**	%MW0.2048	%MD0.1024
…	**…**	**…**	**…**	**…**	**…**
FFFF	65535	%MB0.8191	**%MX0.8191.7**	%MW0.4095	%MD0.2047

Tabla 8.Asignación de dirección para acceso de bit[46]

2.5.5 Áreas

Las áreas Modbus están restringidas y van de acuerdo al tipo de CPU:

PM571: 4 kb	
%MB0.0 … %MB0.4095	0000hex … 07FFhex
PM581: 128 KB	
%MB0.0 … %MB0.65535	0000hex … FFFFhex

[45] ABB, *System Description AC500 System Technology of the CPUS,* Art. Cit. p. 105.
[46] Idem., p. 106.

PM582: 128 KB	
%MB0.0 … %MB0.65535	0000hex … FFFFhex
PM590: 128 KB	
%MB0.0 … %MB0.65535	0000hex … FFFFhex
PM591: 128 KB	
%MB0.0 … %MB0.65535	0000hex … FFFFhex

Tabla 9. Áreas Modbus.

2.5.6 Transmisión Modbus

El protocolo serial Modbus es un protocolo Maestro/esclavo. Solo un maestro (a la vez) está conectado al bus y uno o varios esclavos (247 máximo) están conectados al mismo bus serial. Una comunicación Modbus siempre es iniciada por el Maestro. Los esclavos nunca transmitirán datos sin recibir una petición desde el maestro.

El maestro emite una petición Modbus a los esclavos en dos modos: [19]

- En **modo *Unicast***, el maestro direcciona a un esclavo individualmente. Luego de recibir y procesar la petición el esclavo responde un mensaje (una respuesta) al master.

  En este modo una transacción Modbus consiste de 2 mensajes: una petición del maestro y una respuesta del esclavo. Para lo cual cada esclavo debe tener una dirección única (de 1 a 247) de modo que pueda ser direccionado independientemente.

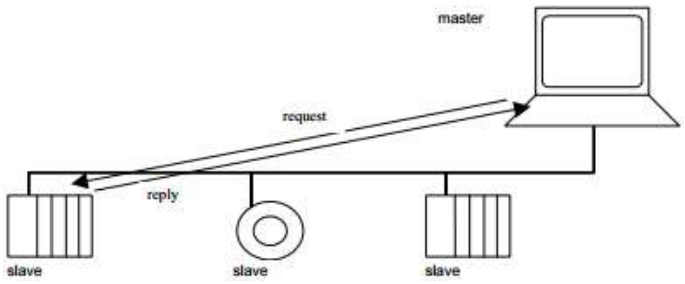


Figura 36. . Modo Unicast[47]

- En **modo *Broadcast*** (difusión), el maestro puede enviar una petición a todos los esclavos. Ninguna respuesta es regresada a una petición Broadcast. Las peticiones Broadcast son por lo tanto necesariamente comandos de escritura. La dirección 0 está reservada para identificar un intercambio Broadcast.

[47] Modbus Organization, , MODBUS over SERIAL LINE Specification and Implementation Guide, Art. Cit., p7.

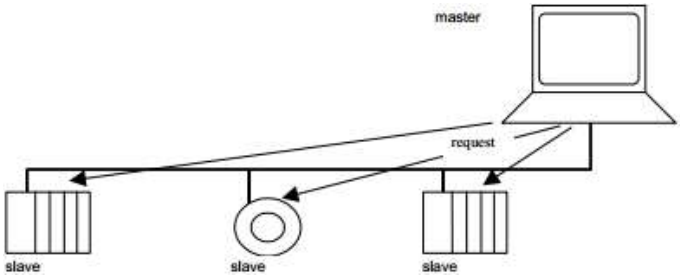


Figura 37. Modo Broadcast[48]

El espacio de direccionamiento Modbus comprende 256 direcciones diferentes.

0	Desde 1 a 247	Desde 248 a 255
Dirección Broadcast	Dirección individual Esclavo	Reservado

Tabla 10. Reglas direccionamiento Modbus[49]

La dirección 0 se reserva como dirección de difusión (*broadcast*). Esta deber ser reconocida por todos los esclavos. El Maestro no tiene dirección específica, solamente los esclavos tienen una dirección, la cual debe ser única.

El protocolo Modbus define una sencilla Unidad de datos de Protocolo PDU (*Protocol Data Unit*) independiente de las capas de comunicación. [19]

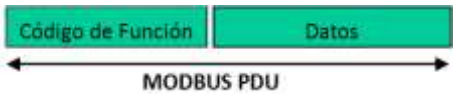


Figura 38. Unidad de datos de protocolo Modbus[50]

El mapeo de protocolo Modbus en un bus o red específico introduce algunos campos adicionales en la Unidad de datos de Protocolo PDU. El cliente que inicia una transacción Modbus construye el PDU Modbus, y agrega campos en orden para construir el apropiado PDU de comunicación.

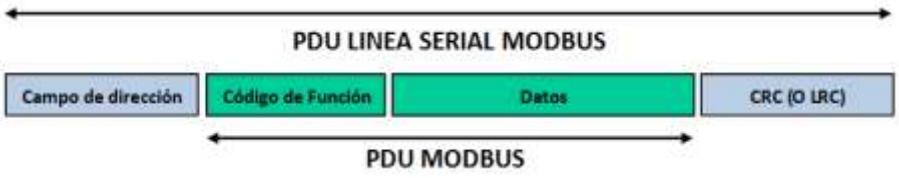


Figura 39.Trama Modbus sobre una línea Serial[51]

- Campo de dirección. En una línea serial Modbus contiene la dirección del esclavo.

[48] Modbus Organization, , MODBUS over SERIAL LINE Specification and Implementation Guide, Art. Cit., p 7.
[49] Idem, P8.
[50] Idem, P8.
[51] Idem, p8.

Como se describió anteriormente las direcciones de nodos esclavos válidos están en el rango de 0 – 247 decimal. Para los dispositivos esclavos individuales son asignadas direcciones en el rango de 1 – 247. El maestro direcciona un esclavo poniendo la dirección del esclavo en el campo de dirección del mensaje. Curando el esclavo devuelve su respuesta, pone su propia dirección en el campo de dirección de respuesta para dejarle saber al maestro cual esclavo está respondiendo.

- Código de función. Indica al servidor el tipo de acción a realizar. El Código de función puede ser seguido por campo de datos que contiene parámetros de petición y respuesta.
- Comprobación de errores. (*Error checking field*) es una comprobación de Redundancia, cálculo que es realizado en el contenido del mensaje. Dos clases de métodos de cálculo son usados dependiendo del modo de transmisión serial que está siendo usado (RTU o ASCII).

Los modos de transmisión serial definen los bits contenidos en los campo del mensaje. Determina como la información es empaquetada en los campos del mensaje y decodificada.

El modo de transmisión y los parámetros del puerto serial deben ser los mismos para todos los dispositivos en una línea serial Modbus. [19]

Cuando dispositivos se comunican en una línea serial Modbus usando el modo Unidad Terminal Remota RTU (*Remote terminal Unit*), cada byte de 8-bits en un mensaje contiene dos caracteres hexadecimales de 4-bits. La principal ventaja de este modo es que su mayor densidad de caracteres permite un mejor rendimiento que el modo ASCII para la misma tasa de transmisión. Cada mensaje debe ser transmitido en un flujo continuo de caracteres.

El formato (11 bits) para cada byte en modo RTU es: [19]

Sistema de codificación:	binario de 8 bits
Bits por byte:	1 bit de inicio
	8 bits de datos, el bit menos significante se envía primero
	1 bit para paridad
	1 bit de parada

Cada carácter o byte es enviado en este orden (de izquierda a derecha):

Bit menos significante LSB…….Bit más significante MSB

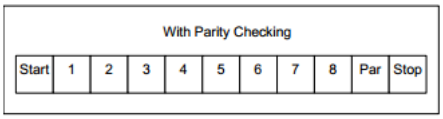
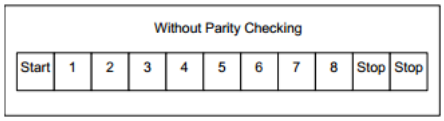


Figura 40.Secuencia de bits en modo RTU[52]

Los dispositivos pueden aceptar la configuración par, impar o sin paridad. Si se implementa sin paridad, un bit de parada adicional es transmitido para completar la trama de caracteres.

Figura 41.Secuencia de bits en modo RTU (caso sin paridad)[53]



El tamaño máximo de una trama RTU Modbus es 256 bytes:

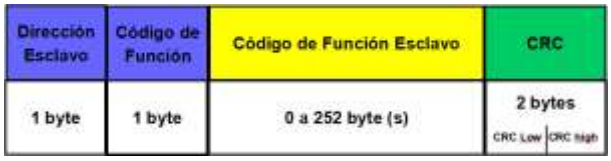


Figura 42. Trama mensaje RTU[54]

Un mensaje Modbus es colocado por el dispositivo de transmisión en una trama que tiene un principio y final conocido. Esto permite a los dispositivos que reciben una nueva trama comenzar en el inicio del mensaje y saber cuándo el mensaje está completo.

En modo RTU, las tramas de mensaje están separadas por intervalos de silencio de al menos 3,5 veces un carácter.

[52] Modbus Organization, , MODBUS over SERIAL LINE Specification and Implementation Guide, Art. Cit., p12.
[53] Idem, p12.
[54] Idem, p13.

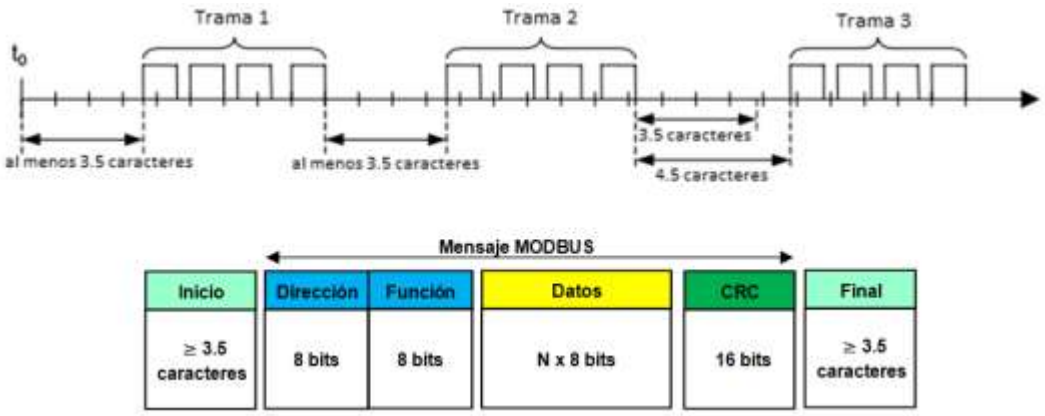


Figura 43. Trama mensaje RTU[55]

La trama del mensaje entero debe ser transmitida como un flujo continuo de caracteres. Si un intervalo de silencio de más de 1.5 veces un carácter ocurre entre dos caracteres, la trama de mensaje se declara incompleta y debería ser descartada por el receptor. [19]

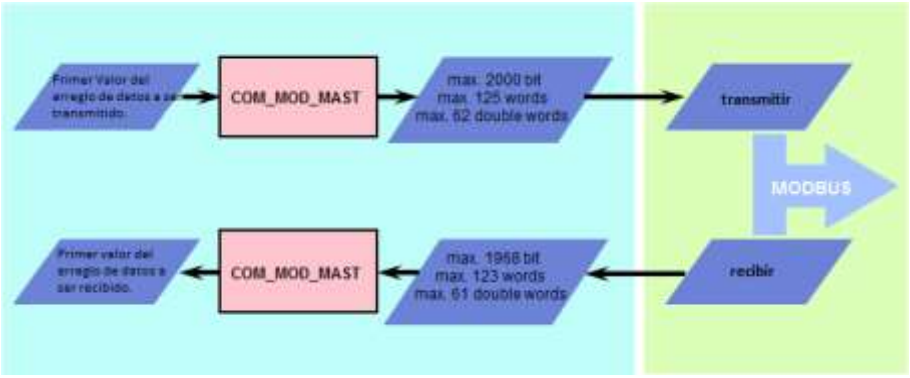


Figura 44. Transmisión Modbus[56]

El bloque de función COM_MOD_MAST solo es necesario en el PLC- Maestro. El maestro envía un requeriment (escritura o lectura de datos) al esclavo y recibe su respuesta.

En el modo de transmisión ASCII (*American Standard Code for Information Interchange*), cada byte de 8 bits es enviado como dos caracteres ASCII. Este modo es menos eficiente que RTU ya que cada byte necesita dos caracteres.

El formato (10 bits) para cada byte en modo ASCII es:

Sistema de codificación: Hexadecimal, ASCII caracteres 0-9, A-F

Un carácter hexadecimal contiene 4 bits de dato con cada carácter ASCII del mensaje.

[55] Modbus Organization, , MODBUS over SERIAL LINE Specification and Implementation Guide, Art. Cit., p13.
[56] ABB, *Advant Controller 500 Modbus RTU serial via COM1/ COM2,* 06-04-2005, p18.

Bits por byte: 1 bit de inicio

7 bits de datos, el menos significativo se envía primero

1 bit de paridad

1 bit de parada

Cada carácter o byte es enviado in este orden (desde izquierda a derecha):

Bit menos significante LSB…….Bit más significante MSB

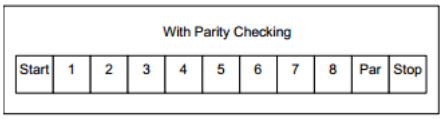
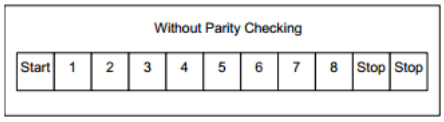


Figura 45. Secuencia de bits en modo ASCII[57]

Al igual que en modo RTU aquí en modo ASCII los dispositivos pueden aceptar la configuración par, impar o sin paridad. Si se implementa sin paridad, un bit de parada adicional es transmitido para completar la trama de caracteres.

Figura 46. Secuencia de bits en modo ASCII (caso sin paridad)[58]



Un mensaje Modbus es colocado por el dispositivo de transmisión en una trama que tiene un principio y final conocido. Esto permite a los dispositivos que reciben una nueva trama comenzar en el inicio del mensaje y saber cuándo el mensaje está completo.

El campo dirección de una trama de mensaje contiene 2 caracteres.

En modo ASCII, un mensaje está delimitado por caracteres específicos como Inicio y final de trama. Un mensaje debe comenzar con un carácter de dos puntos (:) carácter (ASCII 3A hex), y finalizar con un 'retorno de carro – avance de línea' (ASCII 0D y 0A hex). [19]

Los caracteres permitidos de transmisión para los otros campos son hexadecimales 0-9, A – F (código ASCII). Los dispositivos monitorean el bus constantemente por el carácter dos puntos (:). Cuando se recibe este carácter, cada dispositivo decodifica el siguiente carácter hasta que se detecta el fin de trama.

[57] Modbus Organization, MODBUS over SERIAL LINE Specification and Implementation Guide, Art. Cit, p16.
[58] Idem, p16.

Inicio	Dirección	Función	Datos	LRC	Fin
1 carácter	2 caracteres	2 caracteres	0 a 2 x 252 caracteres	2 caracteres	2 caracteres CR, LF

Figura 47. Trama mensaje ASCII[59]

2.5.7 Bloque de función Modbus

La librería Modbus_AC500_V10.LIB contiene el bloque de función COM_MOD_MAST que sirve para el procesamiento de telegramas Modbus maestro.

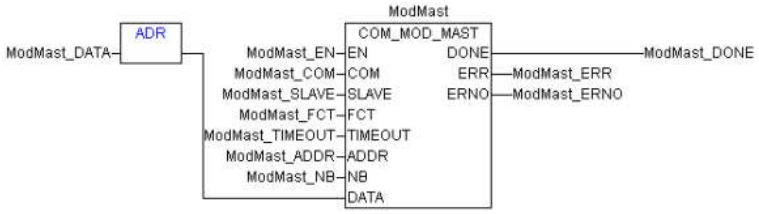


Figura 48. Procesamiento de telegramas Modbus maestro[60]

El bloque COM_MOD_MAST realiza la función Modbus maestro para las interfaces Modbus (COM1, COM2) especificadas en la entrada COM. Para cada interfaz, se debe utilizar un bloque COM_MOD_MAST separado. Antes de la utilización de COM_MOD_MAST para una interfaz, la interfaz en particular tiene que ser configurada a través de la configuración del controlador del Control Builder (PS501). [20]

Con cada transición de Falso > Verdadero a la entrada EN, el bloque de función COM_MOD_MAST lee los valores en las entradas, genera un telegrama acorde a las entradas y envía este telegrama al esclavo. El bloque COM_MOD_MAST tiene los siguientes parámetros: [20]

EN	Entrada	BOOL	Habilitación del procedo del bloque
COM	Entrada	BYTE	Identificador de interfaz (COM1, COM2)
SLAVE	Entrada	BYTE	Dirección de esclavo
FCT	Entrada	BYTE	Código de función
TIMEOUT	Entrada	WORD	Timeout del telegrama en ms
ADDR	Entrada	WORD	Dirección del operando/registro en el esclavo
NB	Entrada	WORD	Número de datos
DATA	Entrada	DWORD	Dirección de la primera área del operando en el maestro, del cual los datos son enviados al esclavo.
DONE	Salida	BOOL	Mensaje listo
ERR	Salida	BOOL	Mensaje de error del bloque
ERNO	Salida	WORD	Número de error.

Tabla 11. Parámetros bloque COM_MOD_MAST[61]

EN BOOL (enable). Si una transición de FALSO > VERDADERO es aplicada a la entrada EN, el resto de entradas son leídas, Si los valores de

[59] Modbus Organization, MODBUS over SERIAL LINE Specification and Implementation Guide, Art. Cit, p17.
[60] ABB, *Software Description AC500 Function Block Libraries,* Heidelberg, 01-2007, p 127.
[61] Idem

entrada son válidos, un telegrama de solicitud es enviado al esclavo. Si al menos una entrada no es válida, no se genera un telegrama y se muestra el error en las salidas ERR y ERNO.

COM BYTE (com). En la entrada COM, el número de interfaz Modbus es especificado.

COM=1: COM1

COM=2: COM2

SLAVE BYTE (slave). En esta entrada va la dirección del esclavo al cual se especifica que el telegrama será enviado.

FCT BYTE (function code). El código de función del telegrama de solicitud es especificado en la entrada FCT

01 o 02	Leer n bits
03 o 04	Leer n palabras
05	Escribir un bit
06	Escribir una palabra
07	Leer 8 bits
15	Escribir n bits
16	Escribir n palabras

Tabla 12. FCT Código de función[62]

Las siguientes restricciones se aplican a la longitud:

FCT	Nb max
01 o 02	2000 bits
03 o 04	125 words / 62 double words
05	1 bit
06	1 word
07	8 bits
15	1968 bis
16	123 words / 61 double words

Tabla 13. Restricciones a la longitud de FCT[63]

TIMEOUT WORD (timeout). El tiempo de espera del telegrama en milisegundos (ms) se especifica en esta entrada. Si no se recibe ninguna respuesta dentro del intervalo de tiempo especificado en el tiempo de espera, el proceso se abandona y se saca un identificador de error.

ADDR WORD (address). La dirección del operando / registro en el esclavo de la que los datos deben ser leídos o escritos se especifica en la entrada ADDR.

NB WORD (number). En la entrada NB el número de datos a ser escrito o leído es especificado.

[62] ABB, *Software Description AC500 Function Block Libraries,* Heidelberg, 01-2007, p128.
[63] Idem., p129.

DATA DWORD (data). En la entrada DATA, se especifica la dirección del primer operando en el maestro, de la que los datos son copiados / escritos al esclavo o al que se deben almacenar los datos leídos por el esclavo.

DONE BOOL (done). La salida done indica el estado del proceso de los trabajos. Después de completar o abortar el procesamiento (debido a un error), DONE se establece en TRUE durante un ciclo.

ERR BOOL (error). La salida ERR indica si se ha producido un error durante el proceso del bloque. Si DONE = TRUE u ERR = TRUE, un error ha ocurrido. En este caso el número de error puede ser leído en la salida ERNO.

ERNO WORD (error number). La salida ERNO proporciona un identificador de error si un valor inválido se aplicó a una entrada o si un error ocurrió durante el procesamiento. El valor de la salida en ERNO solamente es válido si DONE es TRUE y ERR es TRUE.

2.5.8 Códigos de función Modbus

Hay tres categorías de códigos de Funciones Modbus. Ellos son: [11]

Códigos de función Públicos:

- Son códigos de función bien definidos.
- Se garantiza que son únicos.
- Validados por la comunidad MODBUS.org.
- Documentado públicamente.
- Tienen disponible la prueba de conformidad.

Códigos de función definidos por el usuario:

- Hay 2 rangos de códigos definidos por el usuario, desde la dirección 65 a 72 y 100 a 110 decimal
- El usuario puede seleccionar e implementar un código de función que no sea compatible con la especificación.
- No hay garantía de que el uso del código de función seleccionado será único.
- Si el usuario quiere volver a posicionar la funcionalidad como un código de función pública, debe iniciar un RFC para introducir el cambio en la categoría de público y tener un nuevo código de función público asignado.
- Organización Modbus, se reserva expresamente el derecho a desarrollar el RFC propuesto.

Códigos de función reservados:

- Códigos de función utilizados actualmente por algunas empresas de productos y que no están disponibles para el uso público.

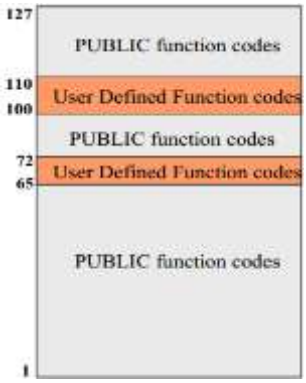


Figura 49. Categorías de Código de función Modbus.[64]

Las CPUs AC500 procesan solamente los siguientes códigos de función Modbus:

Código de Función		Descripción
DEC	**HEX**	
01 o 02	01 o 02	Leer n bits
03 o 04	03 o 04	Leer n palabras
05	05	Escribir un bit
06	06	Escribir una palabra
07	07	Lectura rápida del byte de estado del CPU
15	0F	Escribir n bits
16	10	Escribir n palabras

Tabla 14. Código de Función CPUs AC500[65]

[64] Modbus Organization, *Modbus Application Protocol Specification,* 26-04-2012, http://www.modbus.org/specs.php, p10.
[65] Idem., p11.

Capítulo 3: REVISIÓN DE NORMAS Y ESTANDARES

3.1 IEC 61131 AUTOMATAS PROGRAMABLES

IEC 61131 es un conjunto de normas publicados por la Comisión Electrotécnica Internacional con el objetivo de estandarizar los autómatas programables.

La norma se divide en 8 documentos independientes, de los cuales el 4 y el 8 aún no tienen rango de norma, sino de informe técnico. A continuación se indican los nombres, así como la versión y fecha de la última edición: [21]

- Parte 1: Información general. Ed. 2.0 (2003).
- Parte 2: Especificaciones y ensayos de los equipos. Ed. 3.0 (2007).
- Parte 3: Lenguajes de programación. Ed. 2.0 (2013).
- Parte 4: Guías de usuario. Ed. 2.0 (2004).
- Parte 5: Comunicaciones. Ed. 1.0 (2000).
- Parte 6: Seguridad funcional. Ed. 1.0 (2012).
- Parte 7: Programación de control borroso (fuzzy). Ed. 1.0 (2000).
- Parte 8: Directrices para la aplicación e implementación de lenguajes de programación. Ed. 2.0 (2003).

3.2 IEC 60870 TELECONTROL, EQUIPOS Y SISTEMAS

La norma IEC 60870 fue desarrollada por el Comité Técnico IEC 57 para definir estándares de comunicación para la electrónica con otros dispositivos como termostatos programables, con las redes eléctricas inteligentes o dispositivos de automatización de fabricación a los controladores centrales. [22] Es decir definen los sistemas usados para telecontrol (control de supervisión y adquisición de datos).

El estándar 60870 tiene seis partes, definiendo información general relativa al estándar, condiciones operativas, interfaces eléctricas, requerimientos de performance, y protocolos de transmisión de datos: [23]

- IEC 60870-1 da las consideraciones generales para la comunicación electrónica a través de redes.
- IEC 60870-2 define las condiciones operativas previstas.
- IEC 60870-3 da las características eléctricas de las comunicaciones de red.
- IEC 60870-4 enumera los requisitos de rendimiento para las comunicaciones electrónicas a través de las redes.

- IEC 60870-5 da los formatos de transmisión de datos entre dispositivos electrónicos tales como sensores y dispositivos programables; esto se llama un perfil de comunicación.
- IEC 60870- 6 proporciona los protocolos de telecontrol compatibles con la Organización Internacional de Normalización (ISO).

3.3 IEC 751 RTDs DE PLATINO

Las Resistencias Detectoras de Temperatura, son sensores usados para medir la temperatura correlacionando la resistencia del elemento RTD con la temperatura. La mayoría de elementos RTD consisten de un cable fino enroscado alrededor de un núcleo de vidrio o cerámica. El elemento usualmente es frágil, así que frecuentemente es colocado dentro de una sonda cubierta para protegerla. El RTD está hecho de un material puro, típicamente platino, níquel o cobre. El material tiene un cambio predecible en la resistencia dependiendo de los cambios de temperatura y es este cambio predecible es el que se utiliza para determinar la temperatura. [24]

El estándar internacional más usado para RTD es el IEC 751, Otros estándares internacionales como el BS1904 y el DIN 43760 también cumplen con este estándar. El IEC751 está basado en RTDs de platino con una resistencia de 100ohm. A 0°c y un parámetro de 0.00386. Dos clases de performance están definidos en el IEC751: Clase A y Clase B, estas clases de performance, también conocidas como DIN A y DIN B. [25]

Parámetro	IEC 751 Clase A	IEC 751 Clase A
Ro	100 Ω ± 0.06%	100 Ω ± 0.12%
Alpha, α	0.00385 ± 0.000063	0.00385 ± 0.000063
Rango	-200 °C a 650 °C	-200 °C a 850 °C
Tolerancia de temperatura	±(0.15 + 0.002°|T|)°C	±(0.3 + 0.005°|T|)°C

Tabla 15. Propiedades de clase RTD IEC751[66]

3.4 ISA-18 PROGRAMACIÓN DE ALARMAS

ISA-18-1-1979 Secuencias de Anunciador y Especificaciones. Este estándar está principalmente para uso con anunciadores eléctricos que llaman la atención en condiciones anormales de procesamiento mediante el uso de displays individuales iluminados y dispositivos audibles. Los anunciadores pueden ir en un rango desde un simple gabinete anunciador, hasta sistemas anunciadores complejos con muchos gabinetes de lámparas y gabinetes lógicos remotos. Las designaciones de secuencia que se proveen pueden usarse para describir las secuencias básicas de anunciador así como también para muchas variaciones de secuencias. [26]

ISA-18.2.2009. Gestión de Sistemas de Alarmas en Industrias de Procesos. Este estándar provee requisitos y recomendaciones para las actividades del ciclo de vida de la gestión de alarmas. Las etapas del ciclo de vida incluyen filosofía,

[66] IBRAHIM, Dogan, *Microcontroller-based Temperature Monitoring and Control*, Editorial Newnes, 2002

identificación, racionalización, diseño de detalles, implementación, operación, mantenimiento, monitoreo y valoración, gestión del cambio y auditoría. [26]

ISA-TR18.2.4-2012 Métodos Mejorados y Avanzados de Alarmas. Este reporte técnico provee dirección sobre los métodos mejorados y avanzados de alarmas y se enfoca en el alcance de la cláusula 12 del estándar ISA-18.2. El diseño mejorado de alarmas cubre dirección en lógica adicional, programación o modelado usado para modificar el comportamiento de las alarmas. Estos métodos pueden incluir: alarmas dinámicas, alarmas basadas en el estado, alarmas adaptivas, alarmas basadas en lógica, y alarmas predictivas, así como la mayoría de métodos de supresión diseñados. [26]

ISA-TR18.2.5-2012 Monitoreo, Valoración y Auditoría de sistemas de alarmas. Este reporte técnico provee dirección sobre monitoreo, valoración y auditoría de alarmas. El TR5 se concentra en el alcance de las cláusulas 16 y 18 del l estándar ANSI/ISA-18-02-2009.El Monitoreo, valoración y auditoría cubren el monitoreo continuo, valoración periódica del performance, y una auditoría recurrente del sistema de alarmas. [26]

ISA-TR18.2.6-2012. Sistemas de Alarma para Procesos por lote y procesos Discretos. Este Reporte Técnico cubre la aplicación de los principios de gestión de alarmas especificados en el estándar ISA-18-2 para procesos por lote y procesos discretos. Los principios generales y técnicas están destinados a su uso en la Gestión del ciclo de vida de un sistema de alarmas basado en un controlador electrónico Programable y tecnología de tipo HMI (Human Machine Interface) basada en computador. [26]

3.5 ISA 5.1 PARA LA ELABORACIÓN DEL DIAGRAMA P&ID (DIAGRAMA DE INSTRUMENTACIÓN DE PROCESO)

La Norma 5.1 de la ISA (Instrument Society of America) es una de las más generales y con mayor aplicación, y trata sobre la simbología e identificación de la instrumentación industrial.

El propósito de esta norma es establecer un medio uniforme de designación de los instrumentos y/o de los sistemas de la instrumentación usados para la medición y control. Con este fin, el sistema de designación incluye los símbolos y presenta un código de identificación. [27]

El estándar es recomendable emplearlo cada vez que se requiera cualquier referencia para un instrumento o para una función de control de un sistema con los propósitos de identificación y simbolización: [27]

- Esquemas diseño
- Ejemplos para enseñanza
- Fichas técnicas, literatura y discusiones

- Diagramas en sistemas de instrumentación, diagramas lógicos, diagramas de lazos en procesos
- Descripciones funcionales
- Diagramas de flujo en: procesos, sistemas, elementos mecánicos, tuberías de procesos e instrumentación
- Dibujos de construcción
- Especificaciones, órdenes de compra, manifiestos y otros listados
- Identificación (etiquetado o marcas) de instrumentos y funciones de control
- Instrucciones de manutención, operación, instalación, dibujos e informes

El estándar pretende dar la suficiente información, que habilite a cualquiera para revisar documento de representación, de medición y control de procesos. Para que entienda el significado y el control del proceso. [27]

La simbología y las identificaciones entregadas en este estándar son aplicables a toda clase de mediciones en instrumentación para control de procesos. Estas se pueden emplear no solo para describir instrumentos discretos y sus funciones sino que también funciones de sistemas análogos, donde aparecen términos como “display compartido”, “control compartido”, “control distribuido”, “control computarizado”.

La estandarización entrega la clave defunciones, para la identificación y simbología de un instrumento.

Los detalles técnicos adicionales para instrumentos se describen mejor en una hoja de especificaciones (Data Sheet) u otro documento dado para tales efectos.

El estándar cubre la identificación de todo instrumento o las funciones asociadas con los lazos de control.

El usuario está libre de aplicar identificación adicional ya sea por: Número de serie, Número de Unidad, Número de Área, Número de Planta u otros medios.

La norma ISA-S5.1 clasifica los instrumentos según los siguientes parámetros:

Según su función: [27]

- Instrumentos ciegos: Son aquellos que no tienen indicación visible de la variable; por ejemplo, instrumentos de alarma, tales como presostatos y termostatos; transmisores de caudal, presión, nivel y temperatura sin indicación.
- Instrumentos indicadores: Disponen de un índice y de una escala graduada en la que puede leerse el valor de la variable. Según la amplitud de la escala se dividen en indicadores concéntricos y excéntricos.
- Instrumentos registradores : Registran con trazo continuo o a puntos la variable y pueden ser circulares o de grafico rectangular o alargado, según sea la forma del gráfico

Según la variable que mide: [27]

- Esta clasificación corresponde específicamente al tipo de las señales medidas siendo independiente del sistema empleado en la conversión de la señal de proceso. Estos instrumentos se dividen en: instrumentos de caudal, nivel, presión, temperatura, densidad y peso específico, humedad y punto de roció, viscosidad, posición, velocidad, pH, conductividad, frecuencia, fuerza, turbidez, etc.

La identificación funcional de un instrumento o su equivalente funcional consiste de letras tomadas de la tabla, que incluye una primera letra (designando la medición o variable inicial) y una o más letras sucesivas (designan las funciones ejecutadas).

Tabla 16. Identificación funcional de Instrumentos[67]

	First-letter		Succeeding- Letters		
	Measured or Initiating variable	Modifier	Readout function	Output function	Modifier
A	Analysis				
C				Control	
D		Differential			
F	Flow Rate	Ratio			
H	Hand				High
I	Current		Indicate		
L	Level				Low
P	Pressure, vacuum				
Q	Quantity	Totalizer			
S		Safety		Switch	
T	Temperature			Transmit	
V	Vibration			Valve, Damper	
z	Position			Actuator	

[67] Lopez Jose, NORMAS ANSI / ISA S 5.1, 2003, http://www.monografias.com/trabajos-pdf4/normas-isa-5-1-controles-automaticos/normas-isa-5-1-controles-automaticos.pdf

Capítulo 4: REGISTRADOR DE TEMPERATURAS DE LAS UNIDADES DE GENERACIÓN DE LA CENTRAL PAUTE MOLINO

4.1 INTRODUCCION

La central hidroeléctrica Paute Molino con capacidad de generación de 1100 MW actualmente es la más grande dentro del Sistema Nacional Interconectado del Ecuador, dispone de 10 Unidades de Generación, estando dividida en dos Fases, la Fase AB: Generadores del 1 al 5 (operando desde 1983) y la fase C del 6 al 10 (operando desde 1991).

Todas las 10 Unidades de generación poseen desde su diseño original dispositivos, o sistemas que permiten el monitoreo de Temperatura de sus distintas partes como son:

- Transformador Principal.
- Cojinetes (Superior, Inferior, Turbina).
- Radiadores del Generador.
- Regulador oleodinámico de Velocidad.
- Transformadores de Excitación.
- Sistema de Agua de Enfriamiento (SAE).
- Temperatura rotor.

En las Unidades de Fase AB y Fase C el monitoreo de temperatura se lo realiza principalmente mediante el uso de sensores de temperatura RTDs (PT100). Para las alarmas de Unidad los sensores primarios (PT100) están conectados a termómetros con contactos a su vez conectados a relés auxiliares, los contactos de estos relés auxiliares se conectan al sistema de alarmas de unidad, relés de bloqueo y protección de las Unidades.

En las Unidades de Fase C, anteriormente se disponía de un Registrador de Temperaturas, marca *Tracor Westronic, tipo DDR10,* el cual constaba de: un display indicador de temperatura con alarmas configurables, una impresora, relés de salida para su conexión al sistema de alarmas de Unidad y relés de bloqueo.

Figura 50. Registrador de temperaturas original en Unidades Fase C[68]

En este tablero Registrador de Temperaturas se podían visualizar localmente las temperaturas de los distintos puntos medidos, siendo configurables alarmas. Este tablero también disponía de salida para alarma en el Sistema de alarmas de la Unidad, para señalización local y en el CAS (estación central de alarmas) y así notificar anomalías en las temperaturas.

En Junio del 2008 CELEC EP Hidropaute realiza la implementación del Centro de Control de Generación (CCG) con su sistema SCADA XA21 (General Electric) en la central hidroeléctrica Paute Molino, no se realiza ninguna modificación sobre los sistemas de adquisición y monitoreo de temperaturas de las Unidades de Generación, pero si son adquiridas por el SCADA alarmas de Unidad incluidas las alarmas correspondiente a temperaturas de distintas partes de las unidades, provenientes en su mayoría de contactos secos de relés auxiliares.

Posteriormente en el año 2012 se realiza la instalación del nuevo Sistema de adquisición y de monitoreo de temperaturas de las unidades de generación de la Central Paute Molino, dicho sistema es implementado por personal contratado por la Empresa y está constituido por un PLC ABB AC500 con su fuente, módulos de E/S y accesorios necesarios. Se instalan nuevos sensores en todos los sistemas a monitorear, dichas señales son procesadas por el PLC y enviados mediante protocolo Modbus RTU hacia la Unidad Terminal Remota (RTU) del SCADA, para su procesamiento y visualización en el Sistema SCADA.

[68] Westronics Repairs, Printable Repair Form, 2015-02-22,http://www.westronics-repair.com/index.php

Figura 51. Despliegue de temperaturas Unidad 01 en XA21

El nuevo Sistema de adquisición y monitoreo de temperaturas no dispone de ninguna interconexión hacia el Panel de alarmas de los tableros de Control de la Unidades.

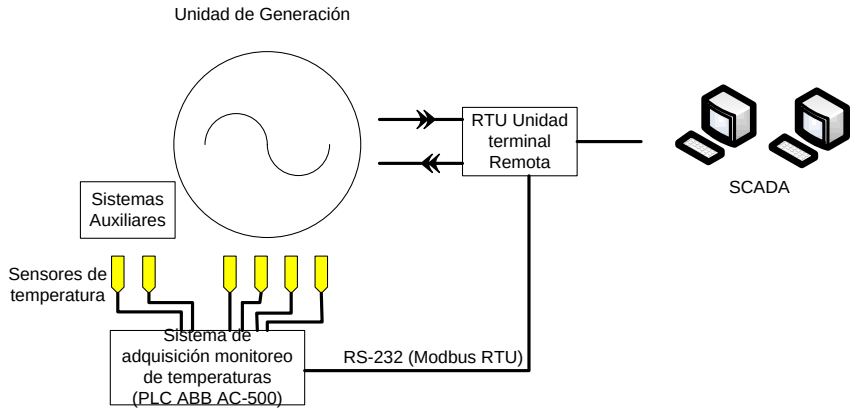


Figura 52. Sistema de adquisición y monitoreo de temperatura Unidades de Generación Paute Molino

El Sistema de adquisición y monitoreo de temperaturas en las Unidades de la Fase AB (U1-U5) está instalado en la parte posterior del Tablero PIT, junto al Tablero de control de unidad (UCB) en el nivel 1327 msnm de Casa de máquinas Central Paute molino.

Figura 53. Sistema de adquisición y monitoreo de temperaturas en Unidades Fase AB

En la Fase C el Sistema de adquisición y monitoreo de temperaturas fue instalado en primera instancia en el propio tablero del anterior Sistema Registrador de temperaturas, pero cuando se instaló en la Central un nuevo Sistema Registrador de Vibraciones todo este tablero fue reemplazado, por lo que actualmente se encuentra ubicado al interior del Tablero del Registrador de Vibraciones nivel 1327 msnm.

Figura 54. Sistema de adquisición y monitoreo de temperaturas en Unidades Fase C

4.2 CONCEPTOS BÁSICOS

La ciencia del control y medición automatizados se conoce como Instrumentación Industrial. [21]

El primer paso en la automatización es la medición, puede tomar las siguientes formas en la industria: [21]

- Presión de fluido
- Caudal de fluido
- Temperatura de un objeto
- Volumen de un fluido almacenado

- Concentración química
- Posición, movimiento y aceleración de una máquina
- Dimensiones físicas de un objeto
- Voltaje, corriente y resistencia

Luego se transmite la medición deseada en una señal que la representa hacia un dispositivo indicador o hacia un computador, en donde una acción humana o automatizada tendrá lugar, enviando una señal hacia un elemento final de control, el cual ejerce influencia sobre la magnitud que se está midiendo. Normalmente el dispositivo de control final toma las siguientes formas:

- Válvula de control
- Motor eléctrico
- Calentador eléctrico

Hay muchas formas en que se puede medir temperatura, desde un termómetro de mercurio hasta sistemas sofisticados de sensores ópticos infrarrojos: [21]

- Sensores de temperatura bimetálicos.
- Sensores de temperatura de bulbo cerrado.
- Detectores de temperatura Resistivos.

Los detectores resistivos son una de las clases más sensibles de sensores de temperatura, se basan en el cambio de la resistencia eléctrica ante variaciones de temperatura.

Dentro de este tipo de sensores tenemos:

- Termistores, son dispositivo hechos de óxido de metal cuya resistencia aumenta con un incremento de temperatura (coeficiente positivo) o disminuye con un incremento de temperatura (coeficiente negativo)
- RTDs, son dispositivos hechos de metal puro (normalmente platino o cobre) los cuales siempre aumentan su resistencia con el incremento de temperatura.

La mayor diferencia entre termistores y RTDs es la linealidad: los termistores son muy sensibles y no lineales, mientras que los RTDs son poco sensibles pero muy lineales

Los detectores de temperatura resistivos (RTDs) relacionan la variación de resistencia con la temperatura según la siguiente fórmula:

$$R_T = R_{ref}\left[1 + \alpha\left(T - T_{ref}\right)\right]$$

Ecuación 1 . Variación de la resistencia con la temperatura.[69]

Donde,

R_T = Resistencia de RTD a una temperatura dada T (ohms)

R_{ref} = Resistencia de RTD en la temperatura de referencia T_{ref} (ohms)

[69] ESPINOSA, Alexander, *Instrumentación Industrial, 4ta Ed., 2012,* p. 179.

α = Coeficiente de Temperatura de Resistencia (ohms por ohm / grado)

Tenemos a continuación algunos valores típicos de a para metales comunes:

- Níquel = 0.00672 Ω/Ω°C
- Tungsteno = 0.0045 Ω/Ω°C
- Plata = 0.0041 Ω/Ω°C
- Oro = 0.0040 Ω/Ω°C
- Platino 0.00392 Ω/Ω°C
- Cobre = 0.0038 Ω/Ω°C

Platino es el metal con el que se hacen los cables de los RTDs, tiene un α común de 0.003902. La resistencia de referencia de 100 Ω es una muy común (Rref a 0°C) al igual que la de 1000 Ω. Sin embargo algunos RTDs industriales tienen una resistencia de referencia de hasta 10Ω.

La conexión más comúnmente usada para la conexión de RTDs es el Circuitos de tres cables.

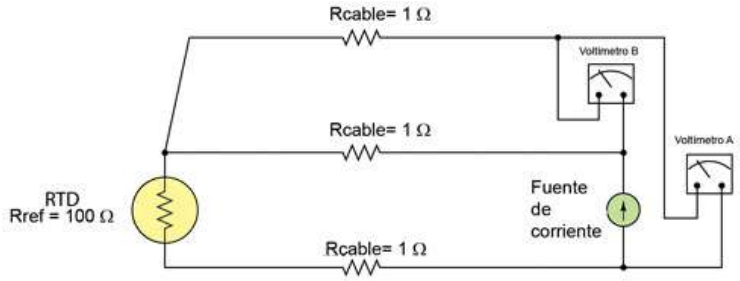


Figura 55. Conexión RTD de tres cables[70]

En un circuito RTD de tres cables, el voltímetro A mide la caída de voltaje a través de la RTD (más la caída de voltaje a través del cable transportador del corriente de abajo). El voltímetro B mide solamente el voltaje que cae a través del cable transportador de corriente superior. Asumiendo que ambos cables tengan casi la misma resistencia, se puede obtener la caída de voltaje a través de la RTD:

$$V_{RTD} = V_{multi\ A} - V_{multi\ B}$$

Ecuación 2. Voltaje en RTD de tres cables[71]

La corriente de instrumentación de 4 a 20 mA es la forma más popular para transmitir señales en instrumentación industrial. Esta corriente es usada proporcionalmente para representar señales de medidas o salidas de sistemas de control.

[70] ESPINOSA, Alexander, Art.Cit. p. 184.
[71] Idem.

El Valor de 4 miliamperios de corriente representa 0% de medida, y un valor de 20 miliamperios representa un 100% de la medida, cualquier otro valor entre 4 y 20 miliamperios representa un porcentaje entre 0% y 100 %. [22]

4.3 SISTEMAS DE MEDICIÓN.

Los Sistemas de adquisición y monitoreo de temperatura de las Unidades de Generación de la Central Paute Molino, controlados por el PLC ABB AC500 realizan la medición de temperaturas de las distintas partes constitutivas de las máquinas, adquiriendo principalmente los siguientes tipos de señales:

UNIDADES DE GENERACIÓN FASE AB:

- Detectores de temperatura RTDs PT100, -50…+400°C

Ubicación	Cant.
Estator	6
Cojinete de empuje	2
Cojinete Guía Superior	1
Cojinete Guía inferior	1
Cojinete Guía Turbina	1

Tabla 17. Detectores de temperatura Unidades Fase AB, RTD PT-100

- Detectores de temperatura RTDs PT100, salida 4-20mA.

Ubicación	Cant.
Cojinete de empuje	1
Cojinete Guía Superior	1
Cojinete Guía Inferior	1
Aceite Cojinete guía Turbina	1
Aceite Cuba del Gobernador	1
Entrada Sistema Agua enfriamiento SAE	1
Salida SAE de radiadores	1
Aceite cojinete guía turbina	1
Aceite cojinete combinado	1
Aceite cojinete guía inferior	1
salida SAE cojinete guía inferior	1
salida SAE cojinete guía turbina	1
Salida SAE regulador	
Recintos Transformador de Excitación, FA, FB, FC	3
Entrada Radiador 1-6	6
Salida Radiador 1-6	6
SAE Trafo entrada intercambiadores 1-2	2
SAE Trafo salida intercambiadores 1-2	2
Recinto transformador Servicios Auxiliares	1

Tabla 18.Detectores de Temperatura en Unidades Fase AB, RTD PT100, 4 - 20 mA

UNIDADES DE GENERACION FASE C:

- Detectores de temperatura RTDs PT100, -50°...+400°C

Ubicación	Cant.
Bobinado del estator P1-P9	9
Núcleo del estator P1 – P3	3

Aceite Transformador Trifásico 134 MVA, Fase A, B, C	3
Devanado Transformador Trifásico 134 MVA	1
Metal Cojinete de empuje	5
Aceite cojinete de empuje	1
Metal Cojinete guía inferior	2
Aceite Cojinete guía inferior	1
Metal Cojinete guía turbina	2
Aceite Cojinete guía turbina	1
Aire entrada radiador 1- 6	6
Aire salida radiador 1 - 6	6

Tabla 19.Detectores de temperatura Unidades Fase C, RTD, PT-100

- Detectores de temperatura RTDs PT100, salida 4-20mA (instalados 2012)

Ubicación	**Cant.**
Temperatura Rotor	1
Aceite cuba del gobernador	1
Entrada SAE	1
Salida SAE radiadores	1
Salida SAE cojinete combinado	1
Salida SAE cojinete inferior	1
Salida SAE cojinete guía turbina	1
Salida SAE Regulador	1
Recinto Transformador Trifásico 134 MVA fase A, B, C	3
Salida SAE Transformador trifásico 134 MVA, intercambiador 1,2	2
Aceite entrada Transformador Trifásico 134 MVA Intercambiador 1,2	2
Aceite salida Transformador trifásico 134 MVA Intercambiador 1,2	2
Recinto Transformador de Auxiliares	1

Tabla 20.Detectores de Temperatura Unidades Fase C, RTD PT100, 4 - 20 mA

Las señales de temperaturas provenientes de los detectores primarios de temperatura ingresan al módulo de entradas analógicas ABB AI523.

Figura 56. Módulo de entradas analógicas AI523

El ABB AI523 es un módulo de 16 entradas analógicas, que puede ser configurado mediante software, soporta entradas de voltaje (0…10V, -10V…+10V, corriente (0…20 mA, 4-20 mA), sensores de temperatura RTD (PT100, PT1000, Ni1000, a 2 y 3 hilos)

4.4 ANALISIS DE HARDWARE, CONEXIONES, VARIOS

El PLC AC500 del Sistema de adquisición y monitoreo de temperatura de temperatura de las Unidades de Generación de la Central paute Molino (Fases AB y C) está conformado por los siguientes elementos:

- Fuente de alimentación CP-S 24/5.0
- 1 base de terminal de CPU TB511
- 1 CPU PM581
- Módulos de entradas analógicas (5 para las Unidades de Fase AB, 7 para las Unidades de Fase C) AI523
- Unidades de terminales de E/S TU515
- Módulo de entrada/salida digitales DX522
- Unidad de terminales de E/S TU531

Fuente de alimentación CP-S 24/5.0

El suministro de energía para el Sistema de adquisición y monitoreo de temperaturas de las Unidades de Generación se lo realiza a través de la fuente de alimentación ABB gama CP-S 24/5.0. Esta fuente tanto en la Fase AB como en la Fase C se encuentra alimentada desde un breaker de los paneles de corriente continua de las Unidades. PCC-U*

Figura 57. Fuente de alimentación ABB CP-S 24/5.0[72]

La fuente ABB CP-S 24/5.0 es de montaje rápido, fácil sobre riel DIN. Poseen también un voltaje de salida ajustable, indicación por led de la salida ok, y un etiquetado claro de los terminales. [23]

Tensión de entrada		110–240 V AC
Rango de tensión de entrada	AC	85–264 V
	DC	100–350 V
Frecuencia de entrada (AC)		47–63 Hz
Intensidad con carga nominal		2,2 – 1,2 A
Fusible interno de entrada		4A
Rango ajustable		Fijo
Corriente de salida (TA<60°C)		5A
Rendimiento		>88%
Limitación de corriente cortocircuito		Aprox. 11A
Funcionamiento en paralelo		Si, hasta 5 dispositivos
Protección carcaza/terminales		IP20/IP20
Temperatura de funcionamiento		-10…+70°C
Dimensiones (mm)		56.6 x 130 x 137
Peso (kg)		Aprox. 0.96 kg

Tabla 21. Fuente de alimentación CP-S 24V/5A[73]

Base de terminal de CPU TB511

La base de terminal de CPU modelo TB511-ETH: con 1 ranura para CPU, una ranura para comunicación (libre) y con interfaz de red Ethernet RJ-45, sirve para la inserción del CPU del PLC AC500.

[72] CSE Industrial Electrical Distributors, ABB CP-C 24/5.0 Power Supply, http://www.csedistributors.com/acatalog/ABB-CP-C-24-5.0-Power-Supply-100-240-24VDC-24VDC-5.0A-1SVR427024R0000.html

[73] ABB, Fuentes de alimentación CP-E, CP-S y CP-C, http://www08.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/844171aad217d5bec125741d003ec3bd/$file/1TXA114005B0701.pdf

Figura 58. Base Terminal para CPU TB511-ETH[74]

Tiene como componentes las siguientes partes:

Bus de E/S. Los datos de E/S y de diagnóstico se transmiten entre la CPU del AC500 y los módulos de ampliación de E/S a través de este bus. Pueden agregarse hasta 10 unidades de terminales de E/S a una base de terminales. Las unidades de terminales de E/S tienen una entrada de bus en el lado izquierdo y una salida de bus en el lado derecho.

Alimentación. La alimentación de 24 VCC está conectada a un bloque de terminales desmontables de 5 polos. ZP y UP están duplicados. [14]

L+	+24VCC	UP
L+	+24VCC	UP
M	0V	ZP
M	0V	ZP
FE	FE	Tierra Funcional

Tabla 22. Descripción pines de alimentación en base de terminales de CPU[75]

Interfaz serie COM1. Se conecta a un bloque de terminales desmontable de 9 polos. Es configurables para RS-232 y RS-485, y puede utilizarse para: [14]

- El acceso en línea (interfaz de programación RS-232 para PC/Control Builder.
- Protocolo libre (comunicación a través de los bloques de función COM_SEND y COM_REC).
- Modbus RTU, maestro y esclavo.
- Un bus de sistema CS31 (RS-485), solamente como maestro.

Interfaz serie COM2. Se conecta a un conector D-SUB de 9 polos, configurable para RS-232 y RS-485, puede utilizarse para: [14]

[74] ABB, TB511-ETH, http://www.abb.com/productdetails/ABB1SAP111100R0270
[75] ABB, AC500 Control Builder Plus PS501- Complete Spanish Documentation V2.3.0, Art. Cit.

- El acceso en línea (interfaz de programación RS-232 para PC/control Builder.
- Protocolo libre (comunicación a través de los bloques de función COM_SEND y COM_REC).
- Modbus RTU, maestro y esclavo.

Interfaz de red Ethernet. Consiste en la conexión con el módulo de comunicaciones interno de las CPU PM57x-ETH, PM58x-ETH y PM59x-ETH. Sus aplicaciones son: [14]

- TCP/IP para PC/Control Builder (programación)
- UDP (comunicación por medio de los bloques de función ETH_UDP_SEND y ETH_UDP_REC
- Modbus sobre TCP/IP (maestro y esclavo)

Tabla 23. Asignación de pines de la Interfaz Ethernet[76]

CPU. PM581

El PLC AC550 del Sistema de adquisición y monitoreo de temperaturas de las Unidades de Generación de la Central Paute Molino usa el CPU PM581:

CPU	Memoria de programa	Tiempo de ciclo para 1 instrucción	Interfaz de Red		Otras interfaces	Bases de terminales adecuadas
			Ethernet	Arcnet		
PM581	256 kB	Binario: mín. 0,05 µs Palabra: mín. 0,06 µs Punto flotante: mín. 0,50 µs	--	--	Interfaz de serie COM1 Interfaz de serie COM2 Conector de bus de campo (FBP) Interfaz del módulo de comunicaciones Bus de E/S	TB5xx-ETH

Tabla 24. Resumen CPU PM581[77]

Módulos de entrada Analógicas AI523.

[76] ABB, AC500 Control Builder Plus PS501- Complete Spanish Documentation V2.3.0, Art. Cit.
[77] Idem.

Figura 59. Módulo de entrada Analógica ABB AI523[78]

El Sistema de adquisición y monitoreo de temperaturas, adquiere principalmente las temperaturas desde sensores de temperatura RTDs PT100 (configuración 3 hilos) y RTDs PT100 con salida de corriente de instrumentación (4-20mA) a través del módulo en E/S analógicas AI523.

El módulo AI523 tiene las siguientes características: [14]

- 16 entradas analógicas configurables, con la siguiente funcionalidad de los canales:

AI523: 16 entradas analógicas configurables para:	0 – 10 V
	-10V … +10V
	0 … 20 mA
	4 … 20 mA
	Pt100, -50°C…+400°C (2 hilos)
	Pt100, -50°C…+400°C (3 hilos) requiere 2 canales
	Pt100, -50°C…+70°C (2 hilos)
	Pt100, -50°C…+70°C (3 hilos) requiere 2 canales
	Pt1000, -50°C…+400°C (2 hilos)
	Pt1000, -50°C…+400°C (3 hilos) requiere 2 canales
	Ni1000, -50°C…+150°C (2 hilos)
	Ni1000, -50°C…+150°C (3 hilos) requiere 2 canales
	0…10V con entradas diferenciales, necesita 2 canales
	-10V…+10V con entradas diferenciales, necesita 2 canales
	Señales digitales (entrada digital)

Tabla 25. Configuración entradas analógicas AI523[79]

- Resolución de los canales analógicos:

- Voltaje -10V…+10V	12 bits con signo
- Voltaje 0…10V	12 bits
- Corriente 0…20mA, 4…20mA	12 bits
- Resolución	0.1 °C
- Visualización led	19 leds para señales y mensajes de error
- Suministro interno de energía	A través de la interface de expansión de bus (I/0 Bus)
- Suministro externo de energía	A través de los terminales ZP y UP (Voltaje de proceso 24 Vdc

Tabla 26. Resolución de los canales analógicos[80]

- Los terminales de Voltaje de proceso corresponden a los terminales 1.8 a 4.8 y 1.9 a 4.9, están eléctricamente interconectados con las Unidades Terminales

[78] ABB, AI523, http://www.abb.com/productdetails/ABB1SAP250300R0001
[79] ABB, AC500 Control Builder Plus PS501- Complete Spanish Documentation V2.3.0, Art. Cit.
[80] Idem.

y tienen siempre la misma asignación independientemente del módulo insertado:

Terminales 1.8 a 4.8	Voltaje de proceso UP = +24 VDC
Terminales 1.9 a 4.9	Voltaje de proceso ZP = 0 V

Tabla 27. Terminales de Voltaje de Proceso en Unidades de terminales[81]

- Asignación de los otros terminales:

Terminal	Señal	Significado
1.0 a 1.7	I0- a I7-	Polo negativo de las primeras 8 entradas analógicas
2.0 a 2.7	I0+ a I7+	Polo positivo de las primeras 8 entradas analógicas
3.0 a 3.7	I8- a I15-	Polo negativo de las siguientes 8 entradas analógicas
4.0 a 4.7	I8+ a I15+	Polo positivo de las siguientes 8 entradas analógicas

Tabla 28. Asignación de terminales AI523[82]

La Conexión eléctrica de los módulos analógicos AI523 se puede observar en la siguiente figura:

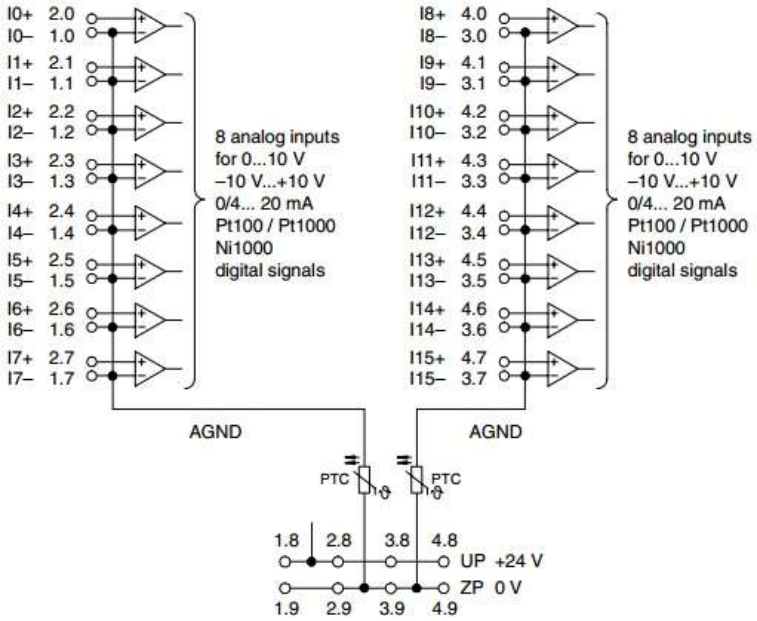


Figura 60. Asignación de terminales de módulo de entradas analógicas AI523[83]

Para la conexión de detectores de temperatura en configuración de 2 hilos, como por ejemplo detectores de temperatura resistivos (PT100, PT1000, Ni1000), una corriente constante debe fluir a través de ellos para construir la caída de voltaje necesario para la evaluación. Para ello el módulo AI523 proporciona una fuente de corriente constante que se multiplexa en los 8 canales analógicos. [14]

[81] ABB, AC500 Control Builder Plus PS501- Complete Spanish Documentation V2.3.0, Art. Cit.
[82] Idem.
[83] Idem.

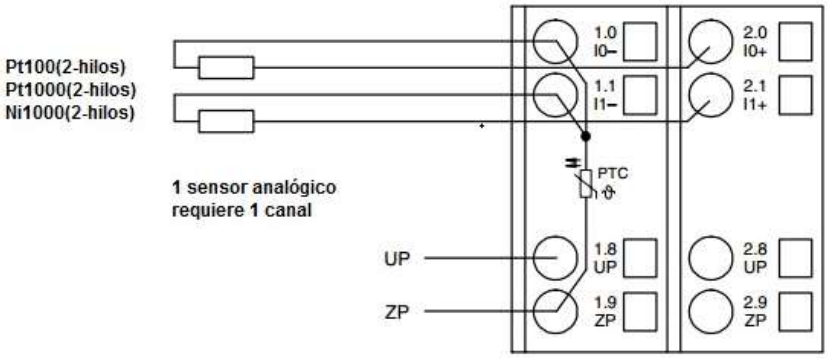


Figura 61. Conexión detector de temperatura en configuración 2-hilos[84]

Los siguientes rangos de medición de detectores de temperatura resistivos pueden ser configurados: [15]

Pt100	-50°C …+70°C	Configuración 2-hilos, un canal usado
Pt100	-50°C …+400°C	Configuración 2-hilos, un canal usado
Pt1000	-50°C …+400°C	Configuración 2-hilos, un canal usado
Ni1000	-50°C …+150°C	Configuración 2-hilos, un canal usado

Tabla 29. Rango de configuración detectores de temperatura[85]

Para la conexión de detectores de temperatura en configuración de 3 hilos, dos canales analógicos permanecen juntos (por ejemplo canal 0 y 1), en este caso ambos están configurados de acuerdo al modo de funcionamiento deseado.
La corriente constante de un canal fluye a través del detector de temperatura. La corriente del otro canal fluye a través de uno de los núcleos. El módulo calcula el valor medido de la caída de los dos voltajes y lo almacena en la entrada con número de canal más alto.

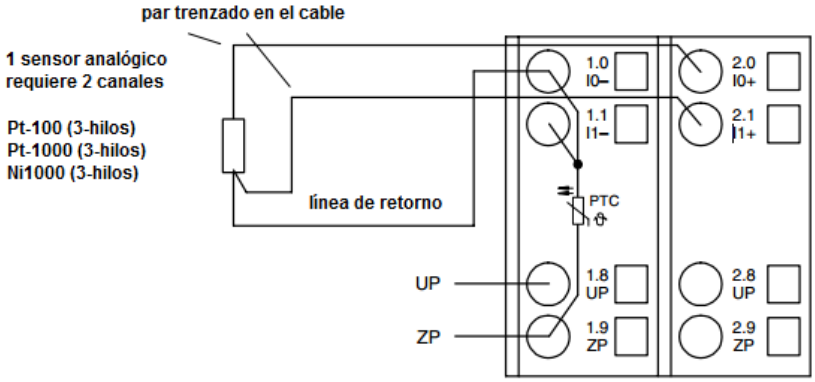


Figura 62. Conexión detector de temperatura en configuración 3-hilos Nota al pie[86]

Para la conexión de sensores analógicos de corriente la conexión es como se muestra en la siguiente figura:

[84] ABB, AC500 Control Builder Plus PS501- Complete Spanish Documentation V2.3.0, Art. Cit.
[85] Idem.
[86] Idem.

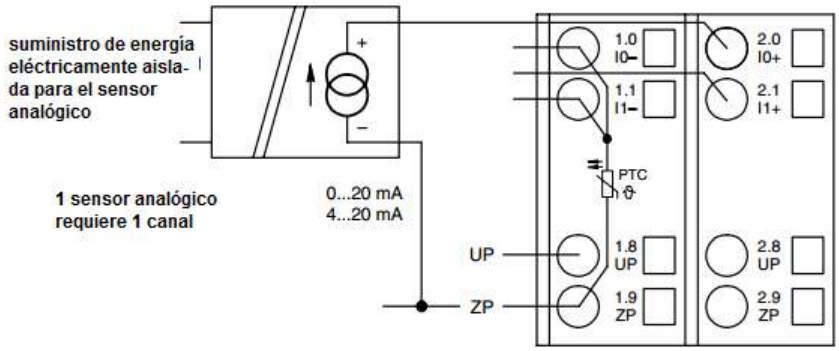


Figura 63.Conexión de sensores analógicos tipo-activo (corriente)

con suministro de energía aislada eléctricamente.[87]

Pueden ser configurados los siguientes rangos de medición:

Corriente	0…20 mA	1 canal usado
Corriente	4…20 mA	1 canal usado

Tabla 30. Rango de medición sensores analógicos de corriente tipo-activo.[88]

Para la conexión de sensores analógicos de corriente Tipo pasivo

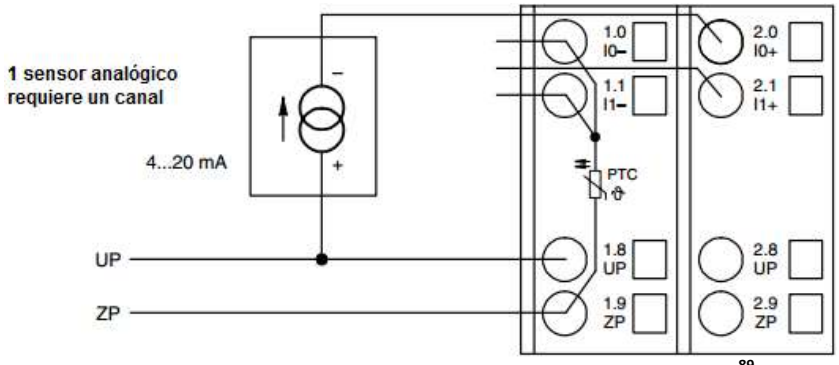


Figura 64. Conexión de Sensor Analógico de corriente tipo-pasivo[89]

Pueden ser configurados lo siguientes rangos de medición:

Corriente	4…20 mA	1 canal usado

Tabla 31. Rango de medición sensores de corriente tipo-pasivo[90]

Unidad de Terminales de E/S TU515

En el Sistema de adquisición y monitoreo de temperaturas de las Unidades de Paute Molino se usan unidades de terminales ABB TU515 para el montaje de los módulos AI523. Posee 40 terminales de tornillo para señales y tensión de alimentación.

[87] ABB, AC500 Control Builder Plus PS501- Complete Spanish Documentation V2.3.0, Art. Cit.
[88] Idem.
[89] Idem.
[90] Idem.

Figura 65. Unidad de terminales de E/S TU515[91]

Los módulos de entrada/salida AI523 se conectan a la unidad de terminales de E/S. Todas las conexiones eléctricas se efectúan a través de la unidad de terminales, lo que permite retirar o reemplazar los módulos de E/S sin perturbar las conexiones de la unidad de terminales. Las unidades terminales se montan en riel DIN (Anexo 6.)

Módulo de entrada/salida digitales DX522

El Sistema de adquisición y monitoreo de temperaturas de las Unidades de Generación de la Central Paute Molino (Fase AB y Fase C), dispone de un módulo de entradas/salidas digitales ABB DX 522.

Figura 66. Módulo de E/S digitales DX522[92]

Contiene 16 canales con las siguientes características: [14]

- 8 entradas digitales de 24V CC en un grupo (1.0 … 1.7)
- 8 salidas de relé digitales con contacto de conmutación cada una, los canales están aislados eléctricamente entre sí

Entradas digitales	8 (24 V CC)
Salidas digitales	8 salidas de relé con un contacto de conmutación cada una
Fast Counter	Integrado, con numerosos modos de funcionamiento configurables (solamente con AC500)

[91] ABB, TU515, http://www.abb.com/productdetails/ABB1SAP212200R0001
[92] ABB, DX522, http://www.abb.com/productdetails/ABB1SAP245200R0001

Indicadores LED	Para informar del estado de las señales, errores y tensión de alimentación
Alimentación interna	Mediante la interfaz del bus de ampliación (bus de E/S)
Fuente de alimentación externa	Mediante los terminales ZP y UP (tensión de proceso de 24 V CC)

Tabla 32. Funciones del módulo DX522[93]

Unidad de terminales E/S TU531

Figura 67. Unidad de terminales de E/S TU531[94]

El Sistema de adquisición y monitoreo de temperaturas de las Unidades de Generación de la Central Paute Molino utiliza la unidad de terminales TU531(terminales de tornillo) para el uso del Módulo de entrada/salida digitales DX522, con los siguientes datos técnicos: [15]

Número de canales por módulo	32
Distribución de los canales en grupos	4 grupos de 8 canales cada uno (1.0...1.7, 2.0...2.7, 3.0...3.7, 4.0...4.7); la asignación de los canales viene determinada por el módulo de ampliación de E/S insertado
Tensión nominal	230 V CA
Intensidad total máx. permitida	10 A (entre los terminales 1.8...4.8 y 1.9...4.9)
Conexión a tierra	Conexión directa a la guía DIN (conectada a tierra) o mediante los tornillos si se instala en pared
Tipo de terminales de tornillo	Terminal frontal, conexión vertical del conductor con respecto a la tarjeta de circuitos impresos

Tabla 33. Datos técnicos Unidad de terminales TU531[95]

4.5 SOFTWARE

Para la configuración, programación, depuración y mantenimiento de la de la CPU del Sistema de adquisición y monitoreo de temperaturas en las Unidades de Generación de la Central Paute Molino (Unidades Fase AB y Unidades Fase C) se usa el software PS Control Builder, versión 1.2.1., el cual está basado en CoDeSys que es uno de los sistemas de programación del estándar IEC 61131-3.

[93] ABB, AC500 Control Builder Plus PS501- Complete Spanish Documentation V2.3.0, Art. Cit.
[94] ABB, TU531, http://www.abb.com/productdetails/ABB1SAP217200R0001
[95] ABB, AC500 Control Builder Plus PS501- Complete Spanish Documentation V2.3.0, Art. Cit.

La norma 61131-3 define 3 formas para "presentar" o crear programas de control para PLCs:

- Programas
- Funciones
- Bloques de Funciones

Estas formas son denominadas Unidades de Organización de Programa, POUs (*Program Organization Units*)

El primer POU creado en un nuevo proyecto será automáticamente llamado PLC_PRG. El proceso empieza en este POU (equivalente a *main function* en un Programa en C). [24]

Un proyecto contiene todos los objetos en de un programa del PLC y se guarda con la extensión *.pro.

Los pasos para configurar un programa son: [24]

1. Configuración de PLC, tipo de CPU(sistema de destino),
2. Configuración de módulos E/S necesarios
3. Creación de POUs necesarios
4. Programación de POUs en lenguaje deseado.
5. Compilación del proyecto y eliminación de errores

4.5.1 Análisis del programa actual

El Sistema de adquisición y monitoreo de Temperaturas de las Unidades de Generación de la Central Paute Molino Fase AB y Fase C, tiene como componentes los mismos elementos: CPU PM581, base terminal de CPU, módulos de entradas Analógicas AI523 módulo E/S digital DX522, unidades de terminales de E/S.

En las Unidades de Fase AB tenemos 5 módulos AI523 y 1 módulo DX522, como se observa a continuación:

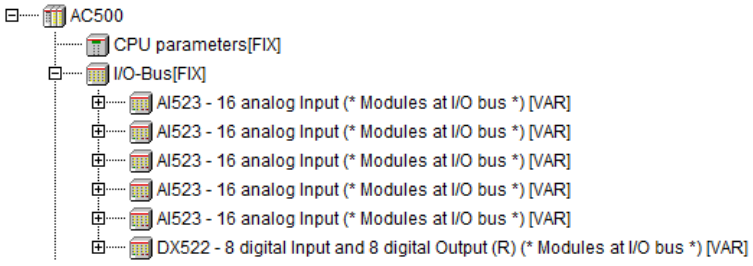


Figura 68. Módulos E/S en Unidades Fase AB

En las Unidades de Fase C tenemos 7 módulos AI523 y 1 módulo DX522, como se observa a continuación:

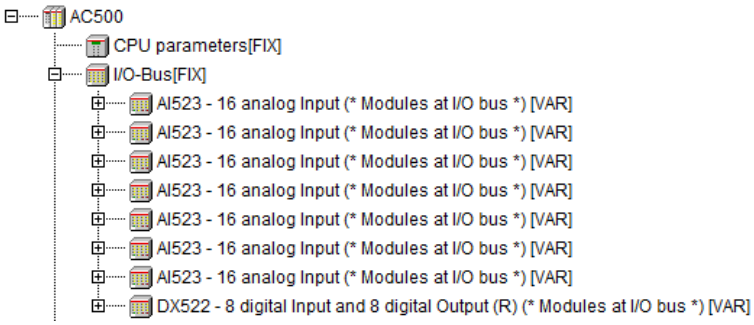


Figura 69. Módulos E/S en Unidades Fase C

En las tablas a continuación se puede observar para cada módulo AI523 instalado, su respectivo punto de medición, su nombre simbólico, dirección de indicador direccionable y el tipo de señal, de las Unidades de Fase AB y Fase C:

Módulo analógico AI523	**Punto de medición**	**Nombre simbólico**	**Área de indicadores direccionable**	**Tipo de señal**
Slot 0	Estator 1	EST1	%MW0.0	Pt100
	Estator 2	EST2	%MW0.1	Pt100
	Estator 3	EST3	%MW0.2	Pt100
	Estator 4	EST4	%MW0.3	Pt100
	Estator 5	EST5	%MW0.4	Pt100
	Estator 6	EST6	%MW0.5	Pt100
	Cojinete Empuje Lado 1	MCEP1	%MW0.6	Pt100
	Cojinete Empuje Lado 2	MCEP2	%MW0.7	Pt100
Slot 1	Cojinete guía superior	MCGS	%MW0.8	Pt100
	Cojinete guía inferior	MCGI	%MW0.9	Pt100
	Cojinete guía turbina	MCGT	%MW0.10	Pt100
	Aceite cojinete combinado	ACC	%MW0.11	4…20 mA
	Aceite cojinete guía inferior	ACGI	%MW0.12	4…20 mA
	Aceite cojinete guía turbina	ACGT	%MW0.13	4…20 mA
	Rotor	ROT	%MW0.14	4…20 mA
	Aceite cuba del gobernador	ACR	%MW0.15	4…20 mA
	Devanado 1 Trafo Principal	D1T	%MW0.16	No usada
	Devanado 2 Trafo Principal	D2T	%MW0.17	No usada
	Devanado 3 Trafo Principal	D3T	%MW0.18	No usada
	Aceite Transformador	ATP	%MW0.19	No usada
	SAE entrada total	SAEE	%MW0.20	4…20 mA
Slot 2	Agua de enfriamiento salida radiadores	AESR	%MW0.21	4…20 mA
	Agua de enfriamiento salida cojinete combinado	AESCC	%MW0.22	4…20 mA
	Agua de enfriamiento salida cojinete guía inferior	AESCGI	%MW0.23	4…20 mA
	Agua de enfriamiento salida cojinete guía turbina	AESCGT	%MW0.24	4…20 mA
	Agua de enfriamiento salida del regulador	AESRG	%MW0.25	4…20 mA
	Transformador excitación fase A	RTRE_A	%MW0.26	4…20 mA
	Transformador excitación fase B	RTRE_B	%MW0.27	4…20 mA
	Transformador excitación fase C	RTRE_C	%MW0.28	4…20 mA
	Aire entrada radiador 1	AER1	%MW0.29	4…20 mA

	Aire salida radiador 1	ASR1	%MW0.30	4…20 mA
	Aire entrada radiador 2	AER2	%MW0.31	4…20 mA
	Aire salida radiador 2	ASR2	%MW0.32	4…20 mA
	Aire entrada radiador 3	AER3	%MW0.33	4…20 mA
	Aire salida radiador 3	ASR3	%MW0.34	4…20 mA
	Aire entrada radiador 4	AER4	%MW0.35	4…20 mA
	Aire salida radiador 4	ASR4	%MW0.36	4…20 mA
Slot 3	Aire entrada radiador 5	AER5	%MW0.37	4…20 mA
	Aire salida radiador 5	ASR5	%MW0.38	4…20 mA
	Aire entrada radiador 6	AER6	%MW0.39	4…20 mA
	Aire salida radiador 6	ASR6	%MW0.40	4…20 mA
	Agua de enfriamiento salida intercambiador 1 trafo	AGSI1T	%MW0.41	4…20 mA
	Agua de enfriamiento salida intercambiador 2 trafo	AGSI2T	%MW0.42	4…20 mA
	Aceite entrada intercambiador 1 transformador	ACEI1T	%MW0.43	4…20 mA
	Aceite entrada intercambiador 2 transformador	ACEI2T	%MW0.44	4…20 mA
	Aceite salida intercambiador 1 transformador	ACSI1T	%MW0.45	4…20 mA
	Aceite salida intercambiador 2 transformador	ACSI2T	%MW0.46	4…20 mA
	Devanados transformador servicios auxiliares	RTSA	%MW0.47	4…20 mA
Slot 4				No usado

Tabla 34. Canales de entrada módulo analógico AI523 unidades Fase AB

Módulo analógico AI523	**Punto de medición**	**Nombre simbólico**	**Área de indicadores direccionable**	**Tipo de señal**
Slot 0	Bobinados del estator punto 1	ESTB1	%MW0.0	Pt100
	Bobinados del estator punto 2	ESTB2	%MW0.1	Pt100
	Bobinados del estator Punto 3	ESTB3	%MW0.2	Pt100
	Bobinados del estator Punto 4	ESTB4	%MW0.3	Pt100
	Bobinados del estator Punto 5	ESTB5	%MW0.4	Pt100
	Bobinados del estator Punto 6	ESTB6	%MW0.5	Pt100
	Bobinados del estator Punto 7	ESTB7	%MW0.6	Pt100
	Bobinados del estator Punto 8	ESTB8	%MW0.7	Pt100
Slot 1	Bobinados del estator Punto 9	ESTB9	%MW0.8	Pt100
	Núcleo del estator Punto 1	ESTN1	%MW0.9	Pt100
	Núcleo del estator Punto 2	ESTN2	%MW0.10	Pt100
	Núcleo del estator Punto 3	ESTN3	%MW0.11	Pt100
	Aceite transformador fase A	AT_A	%MW0.12	Pt100
	Aceite transformador fase B	AT_B	%MW0.13	Pt100
	Aceite transformador fase C	AT_C	%MW0.14	Pt100
	Devanado del transformador	DTR	%MW0.15	Pt100
Slot 2	Metal Cojinete combinado Punto 5 -Guía 1	MCCG1	%MW0.16	Pt100
	Metal Cojinete combinado Punto 6 -Guía 2	MCCG2	%MW0.17	Pt100
	Metal Cojinete combinado Punto 5 -Empuje 1	MCCE1	%MW0.18	Pt100
	Metal Cojinete combinado Punto 6 -Empuje 2	MCCE2	%MW0.19	Pt100
	Metal Cojinete combinado Punto 7 -Empuje 3	MCCE3	%MW0.20	Pt100

	Aceite cojinete combinado	ACC	%MW0.21	Pt100
	Metal cojinete guía generador Punto 26	MCGI1	%MW0.22	Pt100
	Metal cojinete guía generador Punto 27	MCGI2	%MW0.23	Pt100
Slot 3	Aceite cojinete guía generador	ACGI	%MW0.24	Pt100
	Metal (cojinete guía turbina) Punto 4	MCGT1	%MW0.25	Pt100
	Metal (cojinete guía turbina) Punto 5	MCGT2	%MW0.26	Pt100
	Aceite (cojinete guía turbina)	ACGT	%MW0.27	Pt100
	Aire entrada radiador 1	AER1	%MW0.28	Pt100
	Aire salida radiador 1	ASR1	%MW0.29	Pt100
	Aire entrada radiador 2	AER2	%MW0.30	Pt100
	Aire salida radiador 2	ASR2	%MW0.31	Pt100
Slot 4	Aire entrada radiador 3	AER3	%MW0.32	Pt100
	Aire salida radiador 3	ASR3	%MW0.33	Pt100
	Aire entrada radiador 4	AER4	%MW0.34	Pt100
	Aire salida radiador 4	ASR4	%MW0.35	Pt100
	Aire entrada radiador 5	AER5	%MW0.36	Pt100
	Aire salida radiador 5	ASR5	%MW0.37	Pt100
	Aire entrada radiador 6	AER6	%MW0.38	Pt100
	Aire salida radiador 6	ASR6	%MW0.39	Pt100
Slot 5	Rotor	ROT	%MW0.40	4...20 mA
	Aceite cuba del gobernador	ACR	%MW0.41	4...20 mA
	Agua de enfriamiento entrada (Total del SAE)	SAE_E	%MW0.42	4...20 mA
	Agua de enfriamiento salida radiadores	AESR	%MW0.43	4...20 mA
	Agua de enfriamiento salida Cojinete combinado	AESCC	%MW0.44	4...20 mA
	Agua de enfriamiento salida Cojinete guía generador	AESCGI	%MW0.45	4...20 mA
	Agua de enfriamiento salida Cojinete guía turbina	AESCGT	%MW0.46	4...20 mA
	Agua de enfriamiento salida del regulador	AESRG	%MW0.47	4...20 mA
	Transformador excitación fase A	RTRE_A	%MW0.48	4...20 mA
	Transformador excitación fase B	RTRE_B	%MW0.49	4...20 mA
	Transformador excitación fase C	RTRE_C	%MW0.50	4...20 mA
	Agua enfriamiento salida intercambiador 1 Trafo	AGSI1T	%MW0.51	4...20 mA
	Agua enfriamiento salida intercambiador 2 Trafo	AGSI2T	%MW0.52	4...20 mA
	Aceite entrada intercambiador 1 Trafo	ACEI1T	%MW0.53	4...20 mA
	Aceite entrada intercambiador 2 Trafo	ACEI2T	%MW0.54	4...20 mA
	Aceite salida intercambiador 1 Trafo	ACSI1T	%MW0.55	4...20 mA
Slot 6	Aceite salida intercambiador 2 Trafo	ACSI2T	%MW0.56	4...20 mA

Tabla 35. Canales de entrada módulo analógico AI523 unidades Fase C

En las tablas a continuación se puede observar el módulo DX522 instalado, con su respectiva salida, su nombre simbólico, y el tipo de salida, de las Unidades de Fase AB y Fase C:

Módulo digital DX522	Salida	Nombre simbólico	Tipo de salida
Slot 5	0	Alarma1	Digital Salida de relé
	1	Alarma2	
	2	Alarma3	

	3	Alarma4	
	4	Alarma5	
	5	Alarma6	
	6	Alarma7	
	7	Alarma8	

Tabla 36. Canales de salida módulo digital DX522 Unidades Fase AB

Módulo digital DX522	Salida	Nombre simbólico	Tipo de salida
Slot 7	0	Alarma1	
	1	Alarma2	
	2	Alarma3	
	3	Alarma4	Digital
	4	Alarma5	Salida de relé
	5	Alarma6	
	6	Alarma7	
	7	Alarma8	

Tabla 37.Canales de salida módulo digital DX522 Unidades Fase C

En las Unidades de Fase AB y Fase C el puerto serial COM1 se encuentra configurado para comunicación Modbus, sobre RS-485 con una velocidad de 38400, sin paridad, 8 bits de datos y 1 bit de parada, en modo de operación Esclavo (*slave*), por medio de este puerto se establece la comunicación la RTU (Master) del Scada de la central, como se observa en la siguiente figura:

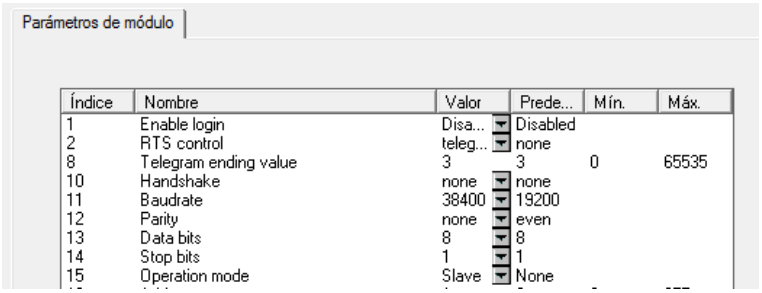


Figura 70. Configuración de COM1 en PLC AC500

En las Unidades de Fase AB y Fase C el puerto serial COM2 está configurado como Online Access, es decir para el acceso en línea o configuración del PLC, en la siguiente figura se puede observar sus parámetros:

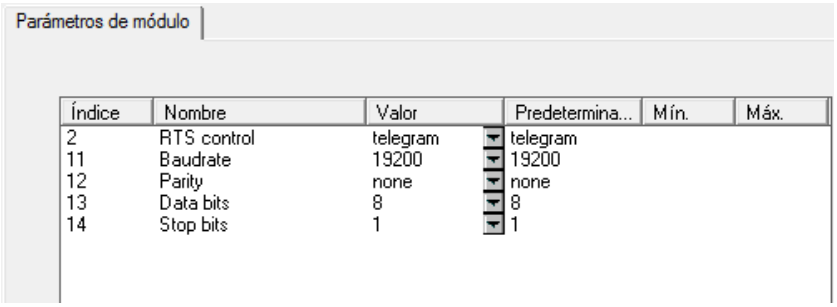


Figura 71. Configuración de puerto COM2 en PLC AC500

En el Sistema de adquisición y monitoreo de temperaturas se usa principalmente el lenguaje de programación de Diagrama de Bloques de Función (FBD), Gráfico de flujo secuenciales (SFC) y Texto estructurado (ST)

En el programa de las unidades de la Fase AB y Fase C, tenemos los siguientes POUs:

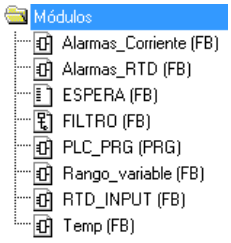


Figura 72.Unidades de organización de programas POUs usados

Alarmas Corriente, Alarmas_RTD, Rango_variable, RTD_INPUT, Temp, son Bloques de Funciones escritos en lenguaje Diagrama de funciones (FBD).

ESFERA, es un Bloque de funciones escrito en lenguaje Lista de Instrucciones (IL).

FILTRO, es un Bloque de funciones escrito en lenguaje Diagrama funcional de Secuencias (SFC)

PLC_PROG, es un Programa escrito en Lenguaje Diagrama de Funciones. Se trata del Programa Principal.

El programa del Sistema de adquisición y monitoreo inicia con su POU principal PLC_PROG en donde se lee cada una de las entradas mediante las entradas de los módulos analógicos AI523, le es asignado un nombre simbólico y dirección del área de indicadores direccionable en donde será almacenada la lectura. Se usa para la lectura el Bloque de Función RTD_INPUT o Rango_variable dependiendo si es una RTD o valor de corriente de 4-20mA respectivamente.

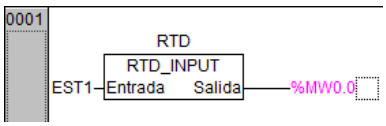


Figura 73. Lectura de sensor RTD PT100, medición EST1 en Unidades Fase AB

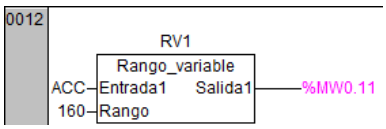


Figura 74. Lectura temperatura 4-20mA, Unidades Fase AB

Luego de las lecturas correspondientes de todas las entradas desde los diversos sensores de temperatura a través de sus correspondientes módulos de entrada, usamos los bloques de funciones Alarmas_RTD y Alarmas_Corriente, en estos bloques de funciones se agrupan temperaturas relacionadas y se las compara con un nivel de alarma, si cualquier temperatura del grupo supera su respectivo nivel de alarma se activará la Salida del grupo (Alarma x).

En Fase AB se usan bloques de funciones de 7 entradas, mientras que en Fase C son de 12 entradas. A continuación se puede observar el Grupo1 de alarmas de las Unidades de Fase AB:

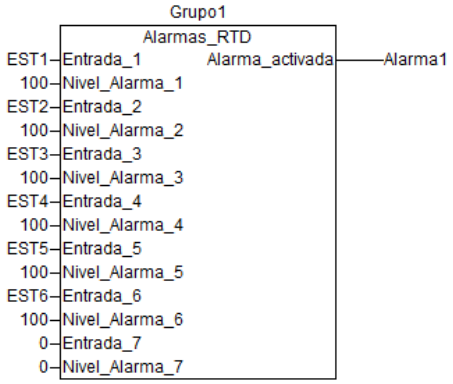


Figura 75. Bloque de Función Alarmas_RTD Unidades Fase AB

Existen 7 grupos de alarmas en la Fase AB y 8 grupos en la Fase C:

Grupo	Punto de medición	Simbólico	Alarma	Alarma
#1	Estator 1	EST1	100	Alarma1
	Estator 2	EST2	100	
	Estator 3	EST3	100	
	Estator 4	EST4	100	
	Estator 5	EST5	100	
	Estator 6	EST6	100	
#2	Cojinete Empuje Lado 1	MCEP1	100	Alarma2
	Cojinete Empuje Lado 2	MCEP2	100	
	Cojinete guía superior	MCGS	100	
	Cojinete guía inferior	MCGI	100	
	Cojinete guía turbina	MCGT	100	
#3	Aceite cojinete combinado	ACC	100	Alarma3
	Aceite cojinete guía inferior	ACGI	100	
	Aceite cojinete guía turbina	ACGT	100	
#4	Agua de enfriamiento salida radiadores	AESR	100	Alarma4
	Agua de enfriamiento salida cojinete combinado	AESCC	100	
	Agua de enfriamiento salida cojinete guía inferior	AESCGI	100	
	Agua de enfriamiento salida cojinete guía turbina	AESCGT	100	
	Agua de enfriamiento salida del regulador	AESRG	100	
	Agua de enfriamiento salida intercambiador 1 trafo	AGSI1T	100	
	Agua de enfriamiento salida intercambiador 2 trafo	AGSI2T	100	
#5	Transformador excitación fase A	RTRE_A	100	Alarma5
	Transformador excitación fase B	RTRE_B	100	
	Transformador excitación fase C	RTRE_C	100	
#6	Aire entrada radiador 1	AER1	100	Alarma6
	Aire entrada radiador 2	AER2	100	
	Aire entrada radiador 3	AER3	100	
	Aire entrada radiador 4	AER4	100	
	Aire entrada radiador 5	AER5	100	
	Aire entrada radiador 6	AER6	100	
#7	Aceite entrada intercambiador 1 transformador	ACEI1T	100	Alarma7
	Aceite entrada intercambiador 2 transformador	ACEI2T	100	
	Aceite salida intercambiador 1 transformador	ACSI1T	100	
	Aceite salida intercambiador 2 transformador	ACSI2T	100	

Tabla 38. Grupos de alarmas Fase AB

Grupo	Punto de medición	Simbólico	Alarma	Alarma
#1	Bobinados del estator punto 1	ESTB1	100	Alarma1
	Bobinados del estator punto 2	ESTB2	100	
	Bobinados del estator Punto 3	ESTB3	100	
	Bobinados del estator Punto 4	ESTB4	100	
	Bobinados del estator Punto 5	ESTB5	100	
	Bobinados del estator Punto 6	ESTB6	100	
	Bobinados del estator Punto 7	ESTB7	100	
	Bobinados del estator Punto 8	ESTB8	100	
	Bobinados del estator Punto 9	ESTB9	100	
#2	Núcleo del estator Punto 1	ESTN1	100	Alarma2
	Núcleo del estator Punto 2	ESTN2	100	
	Núcleo del estator Punto 3	ESTN3	100	
#3	Aceite transformador fase A	AT_A	100	Alarma3
	Aceite transformador fase B	AT_B	100	
	Aceite transformador fase C	AT_C	100	
	Devanado del transformador	DTR	100	
#4	Metal Cojinete combinado Punto 5 -Guía 1	MCCG1	100	Alarma4
	Metal Cojinete combinado Punto 6 -Guía 2	MCCG2	100	
	Metal Cojinete combinado Punto 5 -Empuje 1	MCCE1	100	
	Metal Cojinete combinado Punto 6 -Empuje 2	MCCE2	100	
	Metal Cojinete combinado Punto 7 -Empuje 3	MCCE3	100	
	Aceite cojinete combinado	ACC	100	
	Metal cojinete guía generador Punto 26	MCGI1	100	
	Metal cojinete guía generador Punto 27	MCGI2	100	
	Aceite cojinete guía generador	ACGI	100	
	Metal (cojinete guía turbina) Punto 4	MCGT1	100	
	Metal (cojinete guía turbina) Punto 5	MCGT2	100	
	Aceite (cojinete guía turbina)	ACGT	100	
#5	Aire entrada radiador 1	AER1	100	Alarma5
	Aire entrada radiador 2	AER2	100	
	Aire entrada radiador 3	AER3	100	
	Aire entrada radiador 4	AER4	100	
	Aire entrada radiador 5	AER5	100	
	Aire entrada radiador 6	AER6	100	
#6	Agua de enfriamiento salida radiadores	AESR	100	Alarma6
	Agua de enfriamiento salida Cojinete combinado	AESCC	100	
	Agua de enfriamiento salida Cojinete guía generador	AESCGI	100	
	Agua de enfriamiento salida Cojinete guía turbina	AESCGT	100	
	Agua de enfriamiento salida del regulador	AESRG	100	
	Agua enfriamiento salida intercambiador 1 Trafo	AGSI1T	100	
	Agua enfriamiento salida intercambiador 2 Trafo	AGSI2T	100	
#7	Transformador excitación fase A	RTRE_A	100	Alarma7
	Transformador excitación fase B	RTRE_B	100	
	Transformador excitación fase C	RTRE_C	100	
#8	Aceite entrada intercambiador 1 Trafo	ACEI1T	100	Alarma8
	Aceite entrada intercambiador 2 Trafo	ACEI2T	100	
	Aceite salida intercambiador 1 Trafo	ACSI1T	100	
	Aceite salida intercambiador 2 Trafo	ACSI2T	100	

Tabla 39. Grupos de alarmas Fase C

Cada una de las salidas Alarma1-Alarma7 en Fase AB y Alarma1-Alarma8 están asignadas a las salidas del módulo DX522 como se observa en la figura a continuación:

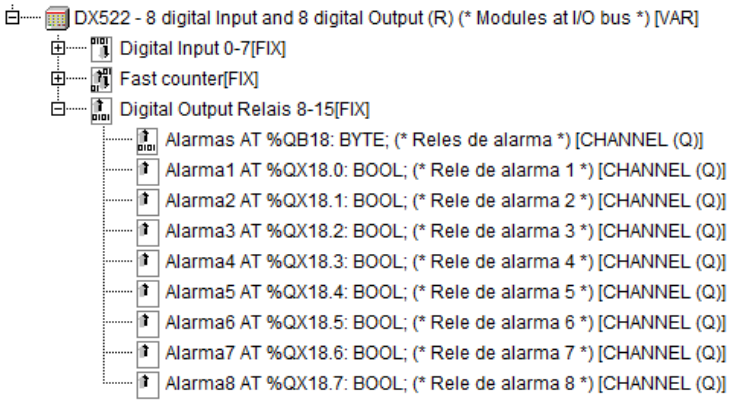


Figura 76. Asignaciones de salidas de alarma en módulo DX522.

Se puede decir que si existe implementada una lógica de alarmas de temperatura en el programa de Adquisición y monitoreo de temperaturas de las Unidades Fase AB y Fase C, todos los niveles de alarma están configurados en 100 y además físicamente no están conectadas las salidas del Módulo DX522 hacia ningún sistema o hacia el Panel de Alarmas de las Unidades.

4.6 Diseño de adecuaciones

En base a lo estudiado del actual Sistema de adquisición y monitoreo de temperaturas de las Unidades de Generación de la Central Paute Molino, se proponen las siguientes adecuaciones:

- Alarma local en el Panel de Control de Unidad (UCB *Unit Control Board)*
- Diseño de interface de usuario HMI

4.6.1 Diagramas de bloque

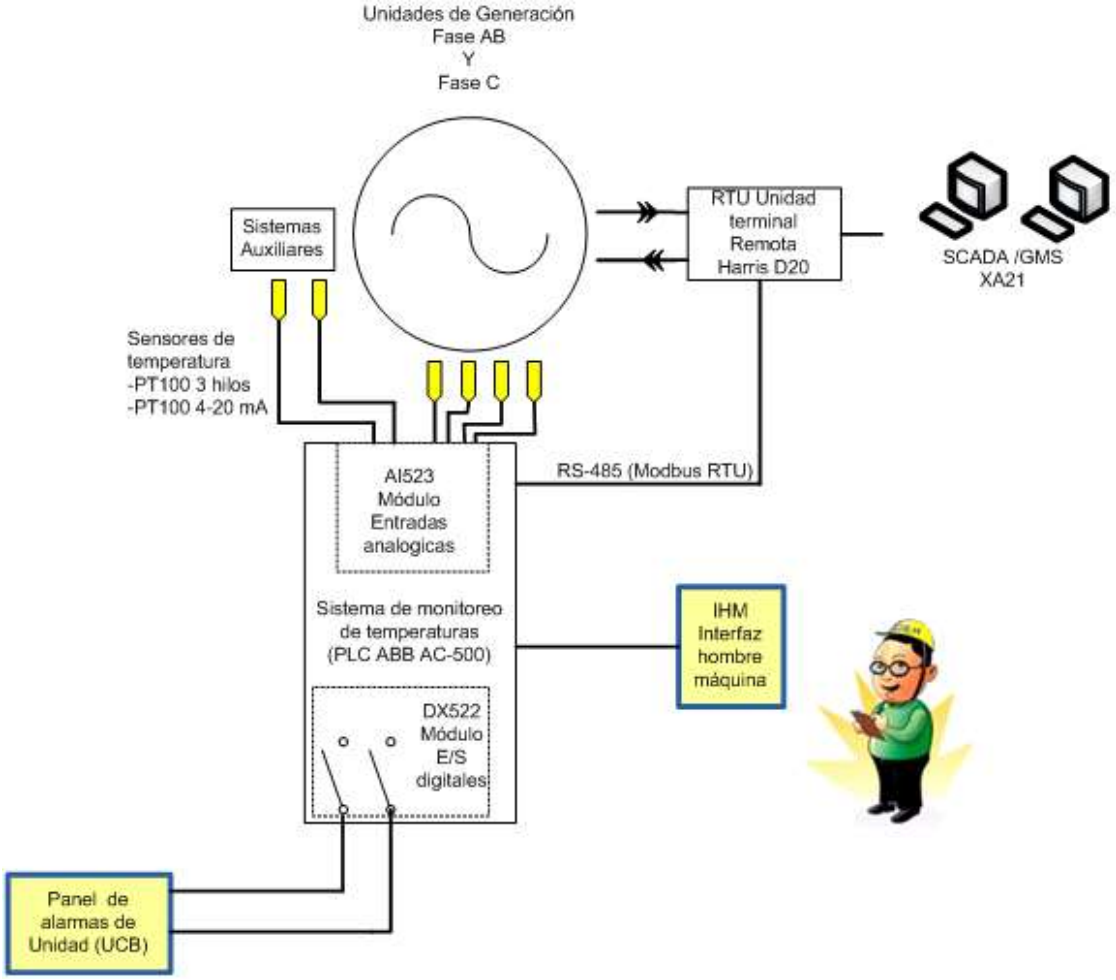


Figura 77. Diagrama de bloques de modificaciones propuestas.

4.6.2 Diagramas de flujo

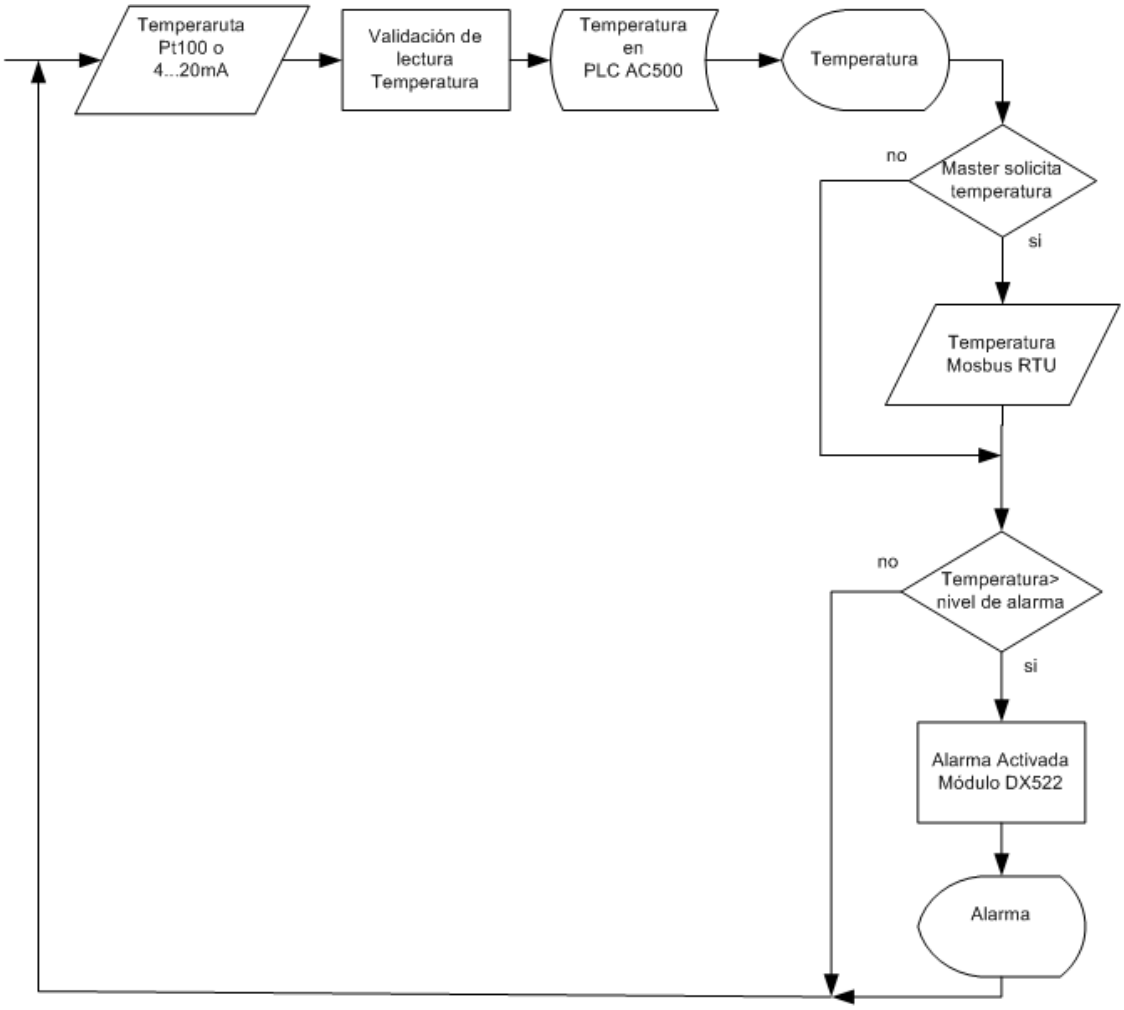


Figura 78.Diagrama de flujo modificaciones propuestas

4.6.3 Alarma Local en el Panel de control de Unidad

El Panel de control de las Unidades (UCB) está ubicado en Casa de máquinas en el nivel 1327 msnm, principalmente tenemos en el UCB el Control master de la Unidad que nos permite seleccionar el modo de arranque y operación de la Unidad: Off, Manual, Local – Automático, Remoto, diversos controles de distintos sistemas, panel de alarmas, señalización y varios instrumentos de medición.

El Panel de alarmas se utiliza para anunciar un problema que requiere acción por parte de un operador, [22] dispone de señalización Visual y Sonora, además existe un duplicado del Panel de alarmas por cada Unidad en la Estación central de Alarmas (CAS), lugar donde pasa personal de operación en turnos rotativos 365 días al año.

Figura 79. Panel de alarmas Unidades Fase AB

El Panel de alarmas de las Unidades de Fase AB dispone en total de 48 alarmas correspondientes a diferentes partes de los Generadores y sus sistemas auxiliares, de las cuales 4 son alarmas relativas a temperaturas:

#	Descripción de alarma	Relé	Sensor primario	
25	Temp Aire del Generador	726 GMCA-X	726-GMCA1.... 726-GMCA-6	Termostatos a la salida radiadores del generador
26	Sobre Temp Estator	749-GMS-X	749-GMS	Temperatura del estator tomada de PT100 en la caja de terminales del Generador Ranura 94
46	Sobre Temp del Transformador	749 TM-X	F15, F16,F17,F18	Temperaturas aceite y devanados Transformador
71	Sobre Temp Cojinetes	738GTMT-X 738GUMT-X 738GUQT-X 738GLMT-X 738GLQT-X 738TGMT-X 738TGQT-X 738GBMT-X	738GTMT 738GUMT 738GUQT 738GLMT 738GLQT 738TGMT 738TGQT 738GBMT	Temperaturas metal y aceite de Cojinetes guía turbina, soporte inferior y turbina

Tabla 40. Alarmas de temperatura en Unidades Fase AB

El Panel de alarmas de las Unidades de Fase C dispone en total de 100 alarmas, correspondientes a diferentes partes de los Generadores y sus sistemas auxiliares, de las cuales 16 pertenecen a alarmas relativas a temperaturas:

Figura 80. Panel de alarmas Unidades Fase C

#	Descripción de alarma	Referencia	Tipo	Ubicación	Esquema
18	Sobre temperatura Arroll Estator	UR*-K1	Relé Aux	URP*	FB014 hoja 14
19	Sobre Temp. Hierro Estator	UR*-K2	Relé Aux	URP*	FB014 hoja 14
35	Sobre Temp Aire Gen.	49 G-A	Relé Aux	UCBP*/3	DW010 hoja L10
69	Temp. Metal. Cojin. de Empuje 1° paso	38GTMT1-2 GU*-K146	Ter. Relé Aux	CT-GP-U* UCB*/1	UG-903 FB006 hoja 99
70	Temp. Metal. Cojin. de Empuje 2° paso	GU*-K145	Relé Aux	UCB*/1	FB006 hoja 99
71	Temp. Aceite Cojin Combinado 1° paso	38GTQ-T1 GU*-K148	Ter. Relé Aux	CT-GP-U* UCB*/1	UG-903 FB006 hoja 99
72	Temp. Aceite Cojin Combinado 2° paso	GU*-K147	Relé Aux	UCB*/1	FB006 hoja 100
82	Temp. Aceite Cojin. Guía Inf. Generador	38GLQT1 GU*-K152	Ter. Relé Aux	TIP. UCB*/1	UG-903 FB006 hoja 100
83	Temp. Metal Cojin. Guía Sup. Generador 1° paso	38GUMT1-2 GU*-K144	Ter. Relé Aux	CT-GP-U* UCB*/1	UG-903 FB006 hoja 99
84	Temp. Metal Cojin. Guía Sup. Generador 2° paso	GU*-K143	Relé Aux	UCB*/1	FB006 hoja 99
85	Temp. Metal. Cojin. Guía. Inf. Generador 1° Paso	38GLMT1-2 GU*-K153	Ter. Relé Aux	TIP. UCB*/1	UG-903 FB006 hoja 100
86	Temp. Metal. Cojin. Guía. Inf. Generador 2° Paso	GU*-K154	Relé Aux	UCB*/1	FB006 hoja 100
90	Alarma Registrador Temperatura	TR-U*	Relé Aux	*-URP	FB014 hoja 8
96	Temp. Aceite Cojin. Guía Turbina	38TGQT1	Ter.	TIP. U*	UG903
97	Temp. Metal Cojin. Guía Turbina 1° paso	38TGB1 GU*-K141	Ter. Relé Aux	TIP.U* UCB*/1	UG903 FB006 hoja 100
98	Temp. Metal Cojin. Guía Turbina 2° paso	GU*-K154	Relé Aux	UCB*/1	FB006 hoja 100

Tabla 41. Alarmas de temperatura en Unidades Fase C

En el caso de las Alarmas de las Unidades Fase C estas son gestionadas por un Generador de secuencias de alarmas *(Smart Alarm Management)*, Fabricante: Carlo Gavazzi y Tipo: SAM64.:

Figura 81. Administrador inteligente de Alarmas SAM 64 Carlo Gavazzi Unidades Fase C

SAM (*Smart alarm manager*) es un generador de secuencias de alarma completamente programables, dando la posibilidad tanto de señalización visual y acústico de condiciones de proceso anómalas.

La programabilidad se refiere a las secuencias de Alarma (de acuerdo con ISA S 18.1) que se puede programar para cada módulo de alarma (4 puntos de alarmas) por medio de interruptores DIP.

Las siguientes secuencias ISA pueden ser programados para la versión estándar de SAM: A, A-4, A-5, A-4-5, A-13, R-8, R-11, M, M-5, M-13, F1A, F2M-1, F3A. Cada SAM puede estar equipado con un máximo de 64 puntos de alarma distribuidos en 16 módulos, cada uno con 4 entradas. [26]

La conexión entre el SAM y las pantallas visuales en el panel frontal se llevan a cabo por cables con conectores pre cableados.

Como se puede observar las distintas alarmas de temperatura de las Unidades de Generación de la Fase AB y C, están implementadas desde el inicio de operación de las mismas, usan sensores originales y relés auxiliares. Teniendo estos sensores gran tiempo de operación.

En el Sistema actual de adquisición y monitoreo de temperaturas (PLC ABB AC500) las distintas partes de los generadores son monitoreadas por 2 tipos de sensores de temperatura RTDs:

- RTDs 3 hilos, PT 100, -50…+400°C
- Sensores de temperatura ABB TSP121, -50 a +400°C,salida de 4-20 mA, grado de protección IP66, en concordancia con norma IEC60751.

Figura 82. Sensor de temperatura ABB TSP121

En el PLC, luego de leer las diferentes temperaturas por medio de sus correspondientes canales ya configurados para el tipo de entrada correspondiente, se procede a comparar los mismos usando los Bloques de Funciones: Alarmas_RTD y Alarmas_Corriente en grupos organizados, como se indica en las siguientes tablas:

Grupo #	Punto de medición	Nombre simbólico	Tipo	Salida
1	Estator(1)	EST1	RTD	Alarma1
	Estator(2)	EST2		
	Estator(3)	EST3		
	Estator(4)	EST4		
	Estator(5)	EST5		
	Estator(6)	EST6		
2	Metal del cojinete empuje Punto 1	MCEP1	RTD	Alarma2
	Metal del cojinete empuje Punto 1	MCEP2		
	Metal del cojinete guía superior	MCGS		
	Metal del cojinete guía inferior	MCGI		
	Metal del cojinete guía turbina	MCGT		
3	Aceite del cojinete combinado	ACC	4…20mA	Alarma3
	Aceite del cojinete guía inferior	ACGI		
	Aceite del cojinete guía turbina	ACGT		
4	Agua de enfriamiento salida radiadores	AESR	4…20mA	Alarma4
	Agua de enfriamiento salida cojinete combinado	AESCC		
	Agua de enfriamiento salida cojinete guía inferior	AESCGI		
	Agua de enfriamiento salida cojinete guía turbina	AESCGT		
	Agua de enfriamiento salida del regulador	AESRG		
	Agua de enfriamiento salida intercambiador 1 trafo	AGSI1T		
	Agua de enfriamiento salida intercambiador 2 trafo	AGSI2T		
5	Transformador excitación fase A	RTRE_A	4…20mA	Alarma5
	Transformador excitación fase B	RTRE_B		
	Transformador excitación fase C	RTRE_C		
6	Aire entrada radiador 1	AER1	4…20mA	Alarma6
	Aire entrada radiador 2	AER2		
	Aire entrada radiador 3	AER3		
	Aire entrada radiador 4	AER4		
	Aire entrada radiador 5	AER5		
	Aire entrada radiador 6	AER6		
7	Aceite entrada intercambiador 1 transformador	ACEI1T	4…20mA	Alarma6
	Aceite entrada intercambiador 2 transformador	ACEI2T		
	Aceite salida intercambiador 1 transformador	ACSI1T		
	Aceite salida intercambiador 2 transformador	ACSI2T		

Tabla 42. Grupos para alarmas Fase AB

Grupo #	Punto de medición	Nombre simbólico	Tipo	Salida
1	Bobinados del estator punto 1	ESTB1	RTD	Alarma1
	Bobinados del estator punto 2	ESTB2		
	Bobinados del estator Punto 3	ESTB3		
	Bobinados del estator Punto 4	ESTB4		
	Bobinados del estator Punto 5	ESTB5		
	Bobinados del estator Punto 6	ESTB6		
	Bobinados del estator Punto 7	ESTB7		
	Bobinados del estator Punto 8	ESTB8		
2	Núcleo del estator Punto 1	ESTN1	RTD	Alarma2
	Núcleo del estator Punto 2	ESTN2		
	Núcleo del estator Punto 3	ESTN3		

3	Aceite transformador fase A	AT_A	RTD	Alarma3
	Aceite transformador fase B	AT_B		
	Aceite transformador fase C	AT_C		
	Devanado del transformador	DTR		
4	Metal Cojinete combinado Punto 5 -Guía 1	MCCG1	RTD	Alarma4
	Metal Cojinete combinado Punto 6 -Guía 2	MCCG2		
	Metal Cojinete combinado Punto 5 -Empuje 1	MCCE1		
	Metal Cojinete combinado Punto 6 -Empuje 2	MCCE2		
	Metal Cojinete combinado Punto 7 -Empuje 3	MCCE3		
	Aceite cojinete combinado	ACC		
	Metal cojinete guía generador Punto 26	MCGI1		
	Metal cojinete guía generador Punto 27	MCGI2		
	Aceite cojinete guía generador	ACGI		
	Metal (cojinete guía turbina) Punto 4	MCGT1		
	Metal (cojinete guía turbina) Punto 5	MCGT2		
	Aceite (cojinete guía turbina)	ACGT		
5	Aire entrada radiador 1	AER1	RTD	Alarma5
	Aire entrada radiador 2	AER2		
	Aire entrada radiador 3	AER3		
	Aire entrada radiador 4	AER4		
	Aire entrada radiador 5	AER5		
	Aire entrada radiador 6	AER6		
6	Agua de enfriamiento salida radiadores	AESR	4…20mA	Alarma6
	Agua de enfriamiento salida Cojinete combinado	AESCC		
	Agua de enfriamiento salida Cojinete guía generador	AESCGI		
	Agua de enfriamiento salida Cojinete guía turbina	AESCGT		
	Agua de enfriamiento salida del regulador	AESRG		
	Agua enfriamiento salida intercambiador 1 Trafo	AGSI1T		
	Agua enfriamiento salida intercambiador 2 Trafo	AGSI2T		
7	Transformador excitación fase A	RTRE_A	4…20mA	Alarma7
	Transformador excitación fase B	RTRE_B		
	Transformador excitación fase C	RTRE_C		
8	Aceite entrada intercambiador 1 Trafo	ACEI1T	4…20mA	Alarma8
	Aceite entrada intercambiador 2 Trafo	ACEI2T		
	Aceite salida intercambiador 1 Trafo	ACSI1T		
	Aceite salida intercambiador 2 Trafo	ACSI2T		

Tabla 43.Grupos para alarmas Fase C

Los Bloques de funciones Alarmas_RTD y Alarmas_Corriente tienen una salida lógica que se activará si una temperatura de su grupo sobrepasa el nivel de alarma correspondiente.

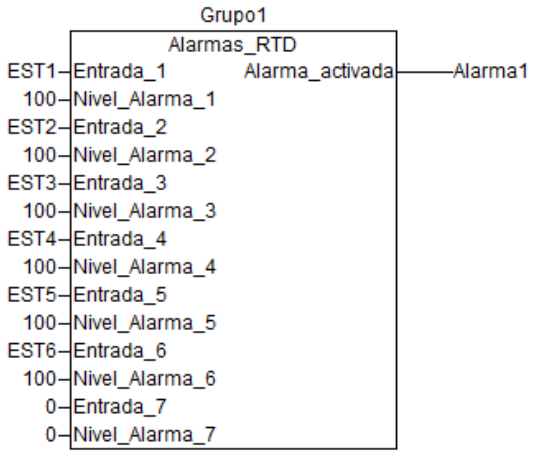


Figura 83. Grupo1 de alarmas temperaturas del estator.

Cada una de las salidas de los grupos de alarma: Alarma1….Alarma7 (Fase AB) y Alarma1….Alarma8 (Fase C) se asignan a las salidas digitales del módulo DX522.

Figura 84. Salidas digitales en módulo DX522

Entonces para activar una alarma del panel de alarmas de Unidad en el UCB sería necesario conectar estas salidas del Módulo DX522 hacia los respectivos relés de alarma, en la siguiente configuración:

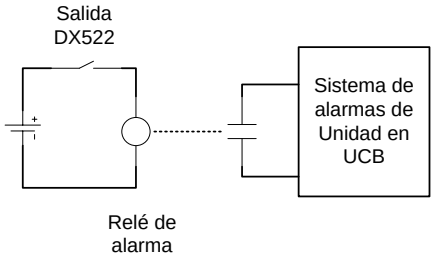


Figura 85. Alarma en Panel de alarmas de UCB

Alarma local en panel de control unidades Fase AB

Se propone el cambio de las alarmas de UCB de Fase AB como se muestra en la tabla a continuación:

#	Descripción de alarma	Relé en UCB para alarma	Entradas en módulo AI523	Grupo alarma	Salida en Módulo DX522
25	Temp Aire del Generador	726 GMCA-X	Módulo 2 entradas: 9, 11, 13, 15 Módulo 3 entradas: 1, 3	Grupo8	Módulo 5, Salida 7 Alarma8 %QX18.7
26	Sobre Temp Estator	749-GMS-X	Módulo 0 entradas: 0-6	Grupo1	Módulo 5 Salida 0 Alarma1 %QX18.0
46	Sobre Temp del Transformador	749 TM-X	Módulo 1 entradas: 11,12,13,14	Grupo9	Módulo 6 Salida 0 Alarma9 %QX38.0
71	Sobre Temp Cojinetes	738GTMT-X 738GUMT-X 738GUQT-X 738GLMT-X 738GLQT-X 738TGMT-X 738TGQT-X 738GBMT-X	Temperaturas metal y aceite de Cojinetes guía de empuje, superior, inferior y turbina	Grupo 2 Grupo 3	Módulo 5 Salida 1 Alarma2 %QX18.1 Módulo 5 Salida 2 Alarma3 %QX18.2

Tabla 44. Alarmas modificadas UCB Unidades Fase AB.

- Para la Alarma #25 "Temp Aire del Generador", disponemos de 6 sensores ubicados a la salida de los 6 radiadores del Generador, se propone modificar agrupando estas 6 señales en un Bloque de Función Grupo8 Alarmas_Corriente, como se observa a continuación:

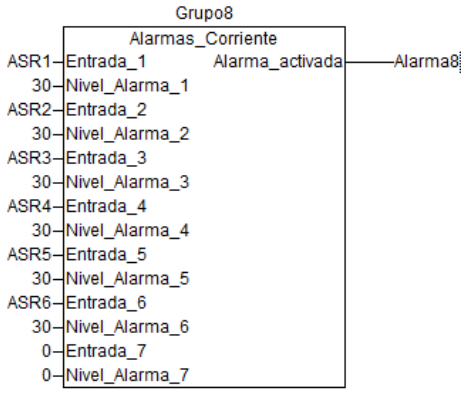


Figura 86. Modificación para alarma #25

La salida de este Bloque de función Alarma8 está asignada al Módulo 5 DX522 salida7, la cual tendría que ser cableado hacia el relé 726 GMCA-X para la activación de la alarma "Temp Aire Generador"

- Para la Alarma #26 "Sobre Temp Estator", disponemos de 6 sensores, ubicados en 6 partes del estator, no sería necesario realizar ninguna modificación en el programa del PLC, pues las entradas nombradas EST1-EST6 están ya agrupadas en el Bloque de Función Grupo1 Alarmas_RTD teniendo como salida la señal Alarma1.

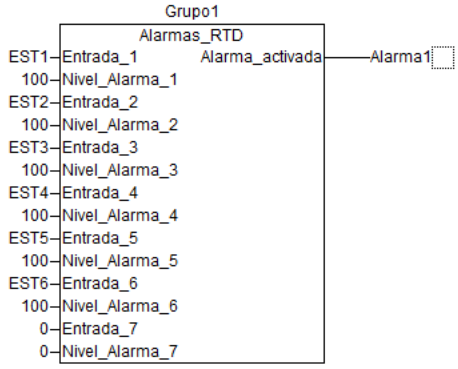


Figura 87.Agrupación temperaturas de Estator

La salida de este Bloque de función Alarma1 está asignada al Módulo 5 DX522 salida0, siendo únicamente necesario el cableado hacia el relé 749-GMS-X para la activación de la alarma "Sobre Temp Estator"

- La Alarma #46 "Sobre Temp del Transformador", es debido a una sobre temperatura en cualquier devanado o en el aceite del Transformador principal, no se dispone en la Fase AB de sensores en los devanados y aceite del transformador principal conectados al PLC AC500, se puede observar en el módulo 1 AI523 que las entradas: D1T devanado 1, D2T devanado 2, D3T devanado 3 y ATP Aceite transformador principal, tienen su "Channel configuration" como no usados.

  Sería necesario para la modificación primero la instalación de los respectivos sensores para los devanados y aceite del transformador, y luego su cableado y conexión hacia el PLC AC550 Modulo 1.

  Además sería necesario un módulo adicional DX522 que pasaría a ser el módulo 6.

  También sería necesario la siguiente agrupación de las señales D1T, D2T, D3T y ATP en un Bloque de funciones Alarmas_RTD nombrado como Grupo9, que tiene como salida Alarma9, tal y como se observa a continuación:

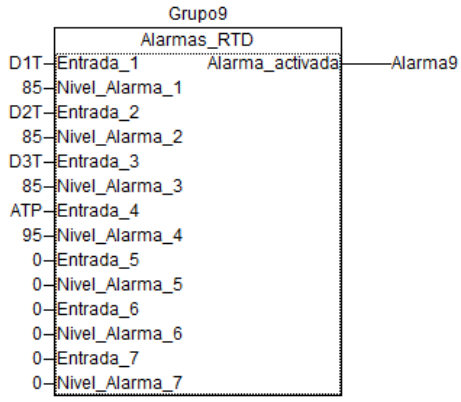


Figura 88. Modificación para alarma #46 Unidades Fase AB

Los niveles de alarma_1 a 6 son configurados acorde los valores configurados en los termómetros locales de devanados y aceite del transformador principal

La salida Alarma9 sería asignada al Módulo 5 DX522 salida0, siendo únicamente necesario el cableado hacia el relé 749 TM-X para la activación de la alarma "Sobre Temp del Transformador"

- La alarma #71 "Sobre Temp Cojinetes" se debe a un exceso de temperatura en el metal de los cojinetes: de empuje, superior, inferior y turbina o también al exceso de temperatura en el aceite de los cojinetes: combinado, inferior y turbina.
  Si se dispone en el PLC AC500 de estas señales denominadas: MCEP1, MCEP2, MCGS, MCGI, MCGT, ACC, ACGI, ACGT

- Se encuentran agrupadas las temperaturas del metal de los cojinetes en Bloque de Función Grupo2 Alarmas_RTD teniendo como salida la señal Alarma2, como se puede apreciar a continuación:

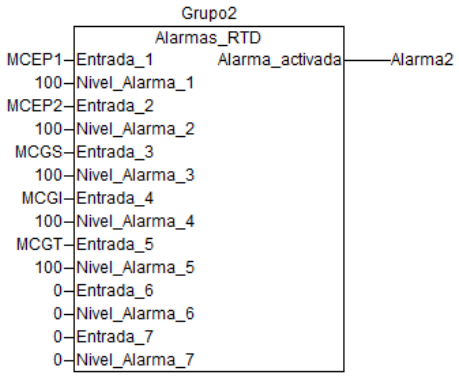


Figura 89. Agrupación de temperaturas metal de cojinetes

Las temperaturas de aceite de los cojinetes también están agrupadas en el Bloque de función Grupo 3 Alarmas_RTD teniendo como salida la señal Alarma3, como se puede apreciar a continuación:

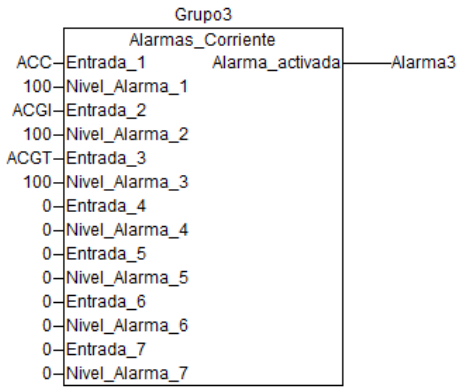


Figura 90. Agrupación de temperaturas aceite de cojinetes

Tanto la salida Alarma2 como Alarma3 se encuentran asignados al Módulo5 DX522, entonces ambas salidas debería ser cableadas hacia el relé correspondiente para la alarma.

Alarma local en panel de control unidades Fase C

Para que las alarmas de la Fase C relativas de temperatura sean comandadas desde el PLC AC500 es necesario 2 módulos adicionales de E/S digitales DX522, pasarían a ser los módulos 8 y 9. Se propone el cambio de las alarmas de UCB de Fase C como se muestra en la tabla a continuación:

#	Descripción de alarma	Referencia	Entradas en AI523	Grupo de alarma	Salida en DX522
18	Sobre temperatura Arroll Estator	UR*-K1	Módulo 0 entradas: 0 a 15 Módulo 1 entradas: 0	Grupo1	Módulo 7, Salida 0 Alarma1 %QX18.0
19	Sobre Temp. Hierro Estator	UR*-K2	Módulo 1 entradas: 3, 5, 7	Grupo2	Módulo 7, Salida 1 Alarma2 %QX18.1
35	Sobre Temp Aire Gen.	49 G-A	Módulo 3 entradas: 11, 15 Módulo 4 entradas: 3, 7, 11, 15	Grupo9	Módulo 8, Salida 0 Alarma9 %QX38.0
69	Temp. Metal. Cojin. de Empuje 1° paso	38GTMT1-2 GU*-K146	Módulo 2 entradas: 5, 7, 9	Grupo 10	Módulo 8, Salida 1 Alarma10 %QX38.1
70	Temp. Metal. Cojin. de Empuje 2° paso	GU*-K145	Módulo 2 entradas: 5, 7, 9	Grupo 11	Módulo 8, Salida 2 Alarma11 %QX38.2
71	Temp. Aceite Cojin Combinado 1° paso	38GTQ-T1 GU*-K148	Módulo 2 entrada: 11	Grupo 12	Módulo 8, Salida 3 Alarma12 %QX38.3
72	Temp. Aceite Cojin Combinado 2° paso	GU*-K147	Módulo 2 entrada: 11	Grupo 13	Módulo 8, Salida 4 Alarma13 %QX38.4
82	Temp. Aceite Cojin. Guía Inf. Generador	38GLQT1 GU*-K152	Módulo 3 entrada: 1	Grupo 14	Módulo 8, Salida 5 Alarma14 %QX38.5
83	Temp. Metal Cojin. Guía Sup. Generador 1° paso	38GUMT1-2 GU*-K144	Módulo 2 entrada: 1 2	Grupo 15	Módulo 8, Salida 6 Alarma15 %QX38.6
84	Temp. Metal Cojin. Guía Sup. Generador 2° paso	GU*-K143	Módulo 2 entrada: 1 2	Grupo 16	Módulo 8, Salida 7 Alarma16 %QX38.7
85	Temp. Metal. Cojin. Guía. Inf. Generador 1° Paso	38GLMT1-2 GU*-K153	Módulo 2 entrada: 13 15	Grupo 17	Módulo 9, Salida 0 Alarma17 %QX58.0
86	Temp. Metal. Cojin. Guía. Inf. Generador 2° Paso	GU*-K154	Módulo 2 entrada: 13 15	Grupo 18	Módulo 9, Salida 1 Alarma18 %QX58.1
96	Temp. Aceite Cojin. Guía Turbina	38TGQT1	Módulo 3 entrada: 7	Grupo 19	Módulo 9, Salida 2 Alarma19 %QX58.2
97	Temp. Metal Cojin. Guía Turbina 1° paso	38TGB1 GU*-K141	Módulo 3 entrada: 3 5	Grupo 20	Módulo 9, Salida 3 Alarma20 %QX58.3
98	Temp. Metal Cojin. Guía Turbina 2° paso	GU*-K154	Módulo 3 entrada: 3 5	Grupo 21	Módulo 9, Salida 4 Alarma21 %QX58.4

Tabla 45.Alarmas modificadas UCB Unidades Fase C.

- Para la alarma #18 "Sobre temperatura Arroll Estator", se dispone de 9 señales que llegan al PLC AC500 de los bobinados del estator: ESTB1-9, estas señales se encuentran agrupadas en el Bloque de Función Grupo1 Alarmas_RTD teniendo como salida la señal Alarma1, como se puede ver a continuación:

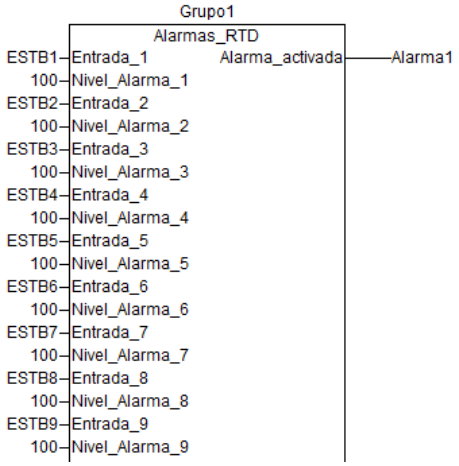


Figura 91. Agrupación temperaturas bobinados del estator Unidades Fase C

La salida de este Bloque de función Alarma1 está asignada al Módulo 7 DX522 salida0, siendo únicamente necesario el cableado de esta salida hacia el relé UR*-K1 para la activación de la alarma "Sobre temperatura Arroll Estator"

- Para la alarma #19 "Sobre Temp. Hierro Estator" se dispone de 3 señales que llegan al PLC AC500 de distinto puntos del núcleo del estator: ESTN1-3, estas señales se encuentran agrupadas en el Bloque de Función Grupo2 Alarmas_RTD teniendo como salida la señal Alarma2, como se puede observar a continuación:

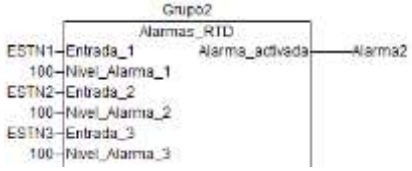


Figura 92. Agrupación temperaturas núcleo del estator Unidades Fase C

La salida de este Bloque de función Alarma2 está asignada al Módulo 7 DX522 salida1, siendo únicamente necesario el cableado de esta salida hacia el relé UR*-K2 para la activación de la alarma "Sobre Temp. Hierro Estator"

- Para la alarma #35 "Sobre Temp Aire Gen." se dispone de 6 señales que llegan al PLC AC500 de la salida de aire de los radiadores del generador: ASR1-6, estas señales no se encuentran agrupadas en ningún Bloque de Función Alarmas_RTD por lo que esta parte de programa tendrá que ser implementada tal como se observa a continuación:

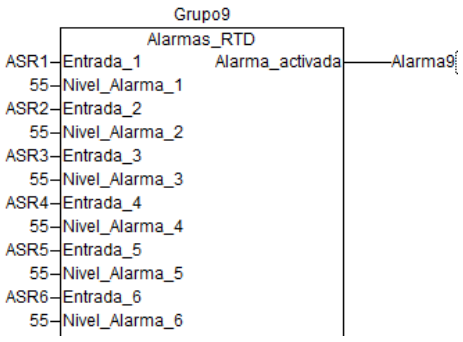


Figura 93. Modificación para alarma #35 Unidades Fase C

También nos hace falta la inserción de un módulo adicional DX522, cuando sea insertado, pasará a ser el módulo 8.

La salida del Bloque de función: Alarma9 está asignada al Módulo 8 DX522 salida0, siendo únicamente necesario el cableado de esta salida hacia el relé 49 G-A para la activación de la alarma "Sobre Temp Aire Gen"

- Para la alarma #69 "Temp. Metal. Cojin. de Empuje 1° paso", se dispone de 3 señales que llegan al PLC AC500 del metal del cojinete de empuje: MCCE1-MCCE3, estas tendrían que ser agrupadas en un Bloque de Función Alarmas_RTD por lo que esta parte de programa tendrá que ser implementada tal como se observa a continuación:

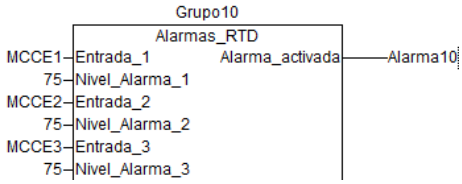


Figura 94. Modificación para alarma #69 Unidades Fase C

La salida del Bloque de función: Alarma10 está asignada al Módulo 8 DX522 salida1, siendo únicamente necesario el cableado de esta salida hacia el relé GU*-K146 para la activación de la alarma "Temp. Metal. Cojin. de Empuje 1° paso"

- Para la alarma #70 "Temp. Metal. Cojin. de Empuje 2° paso", se usan las mismas señales de la alarma #69, estas son: MCCE1-MCCE3, y se las agrupa en un Bloque de Función Alarmas_RTD por lo que esta parte de programa tendrá que ser implementada tal como se observa a continuación:

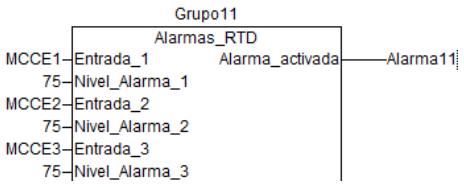


Figura 95. Modificación para alarma #70 Unidades Fase C

La salida del Bloque de función: Alarma11 está asignada al Módulo 8 DX522 salida2, siendo únicamente necesario el cableado de esta salida hacia el relé GU*-K145 para la activación de la alarma "Temp. Metal. Cojin. de Empuje 2° paso"

- Para la alarma #71"Temp. Aceite Cojin Combinado 1° paso" se dispone de 1 señal que llegan al PLC AC500 del aceite del cojinete combinado: ACC, esta tendría que ser agrupadas en un Bloque de Función Alarmas_RTD para su comparación con un nivel de alarma, al no existir esta parte de programa tendrá que ser implementada tal como se observa a continuación:

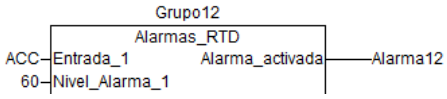


Figura 96. Modificación para alarma #71 Unidades Fase C

La salida del Bloque de función: Alarma12 está asignada al Módulo 8 DX522 salida3, siendo únicamente necesario el cableado de esta salida hacia el relé GU*-K148 para la activación de la alarma "Temp. Aceite Cojin Combinado 1° paso"

- Para la alarma #72 "Temp. Aceite Cojin Combinado 2° paso" se usará la misma señal que se usó en la alarma #71 del aceite del cojinete combinado: ACC, esta tendría que ser agrupadas en un Bloque de Función Alarmas_RTD para su comparación con un nivel de alarma, al no existir esta parte de programa tendrá que ser implementada tal como se observa a continuación:

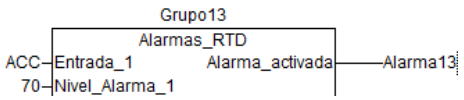


Figura 97. Modificación para alarma #72 Unidades Fase C

La salida del Bloque de función: Alarma13 está asignada al Módulo 8 DX522 salida4, siendo únicamente necesario el cableado de esta salida hacia el relé GU*-K147 para la activación de la alarma "Temp. Aceite Cojin Combinado 2° paso"

- Para la alarma #82 "Temp. Aceite Cojin. Guía Inf. Generador" se dispone de 1 señal que llegan al PLC AC500 del aceite del cojinete guía inferior:

ACGI, esta seña tendría que ser agrupadas en un Bloque de Función Alarmas_RTD para su comparación con un nivel de alarma, al no existir esta parte de programa tendrá que ser implementada tal como se observa a continuación:

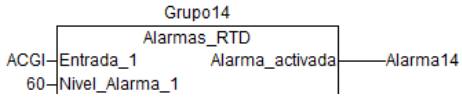


Figura 98. Modificación para alarma #72 Unidades Fase C

La salida del Bloque de función: Alarma14 está asignada al Módulo 8 DX522 salida5, siendo únicamente necesario el cableado de esta salida hacia el relé GU*-K152 para la activación de la alarma "Temp. Aceite Cojin. Guía Inf. Generador"

- Para la alarma #83"Temp. Metal Cojin. Guía Sup. Generador 1° paso" se dispone de 2 señales que llegan al PLC AC500 del metal del cojinete combinado: MCCG1 Y MCCG2, estas señales tendrían que ser agrupadas en un Bloque de Función Alarmas_RTD para su comparación con un nivel de alarma, al no existir esta parte de programa tendrá que ser implementada tal como se observa a continuación:

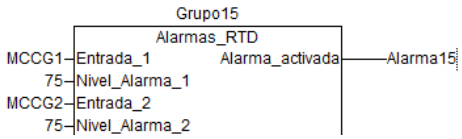


Figura 99. Modificación para alarma #83 Unidades Fase C

La salida del Bloque de función: Alarma15 está asignada al Módulo 8 DX522 salida6, siendo únicamente necesario el cableado de esta salida hacia el relé GU*-K144 para la activación de la alarma "Temp. Metal Cojin. Guía Sup. Generador 1° paso"

- Para la alarma #84 "Temp. Metal Cojin. Guía Sup. Generador 1° paso" se usarán la mismas señales que se usaron en la alarma #83 del aceite del metal del cojinete combinado: MCCG1 Y MCCG2, estas señales tendrían que ser agrupadas en un Bloque de Función Alarmas_RTD para su comparación con un nivel de alarma, al no existir esta parte de programa tendrá que ser implementada tal como se observa a continuación:

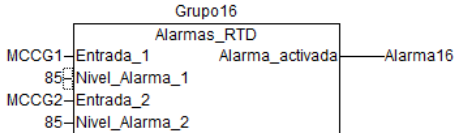


Figura 100. Modificación para alarma #84 Unidades Fase C

La salida del Bloque de función: Alarma15 está asignada al Módulo 8 DX522 salida7, siendo únicamente necesario el cableado de esta salida

hacia el relé GU*-K143 para la activación de la alarma “Temp. Metal Cojin. Guía Sup. Generador 2° paso”

- Para la alarma #85“Temp. Metal. Cojin. Guía. Inf. Generador 1° Paso” se dispone de 2 señales que llegan al PLC AC500 del metal del cojinete inferior: MCGI1 Y MCGI2, estas señales tendrían que ser agrupadas en un Bloque de Función Alarmas_RTD para su comparación con un nivel de alarma, al no existir esta parte de programa tendrá que ser implementada tal como se observa a continuación:

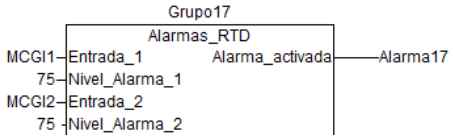


Figura 101. Modificación para alarma #85 Unidades Fase C

La salida del Bloque de función: Alarma17 está asignada al Módulo 9 DX522 salida0, siendo únicamente necesario el cableado de esta salida hacia el relé GU*-K143 para la activación de la alarma “Temp. Metal. Cojin. Guía. Inf. Generador 1° Paso”

- Para la alarma #86 “Metal. Cojin. Guía. Inf. Generador 2° Paso” se usarán la mismas señales que se usaron en la alarma #85 del metal del cojinete inferior: MCGI1 Y MCGI2, estas señales tendrían que ser agrupadas en un Bloque de Función Alarmas_RTD para su comparación con un nivel de alarma, al no existir esta parte de programa tendrá que ser implementada tal como se observa a continuación:

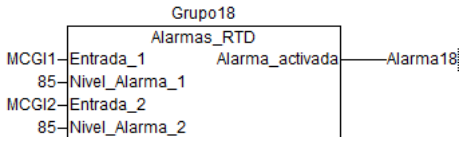


Figura 102. Modificación para alarma #86 Unidades Fase C

La salida del Bloque de función: Alarma18 está asignada al Módulo 9 DX522 salida1, siendo únicamente necesario el cableado de esta salida hacia el relé GU*-K144 para la activación de la alarma “Temp. Metal. Cojin. Guía. Inf. Generador 2° Paso”

- Para la alarma #96“Temp. Aceite Cojin. Guía Turbina” se dispone de 1 señales que llegan al PLC AC500 del aceite del cojinete turbina: ACGT , esta señal tendría que ser agrupadas en un Bloque de Función Alarmas_RTD para su comparación con un nivel de alarma, al no existir esta parte de programa tendrá que ser implementada tal como se observa a continuación:

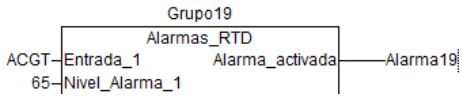


Figura 103. Modificación para alarma #96 Unidades Fase C

La salida del Bloque de función: Alarma19 está asignada al Módulo 9 DX522 salida2, siendo únicamente necesario el cableado de esta salida en lugar del contacto del termómetro 38TGQT1para la activación de la alarma "Temp. Aceite Cojin. Guía Turbina"

- Para la alarma #97"Temp. Metal Cojin. Guía Turbina 1° paso" se dispone de 2 señales que llegan al PLC AC500 del metal del cojinete turbina: MCGT1 Y MCGT2, estas señales tendrían que ser agrupadas en un Bloque de Función Alarmas_RTD para su comparación con un nivel de alarma, al no existir esta parte de programa tendrá que ser implementada tal como se observa a continuación:

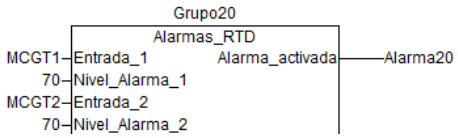


Figura 104. . Modificación para alarma #97 Unidades Fase C

La salida del Bloque de función: Alarma18 está asignada al Módulo 9 DX522 salida3, siendo únicamente necesario el cableado de esta salida hacia el relé GU*-K141 para la activación de la alarma "Temp. Metal Cojin. Guía Turbina 1° paso"

- Para la alarma #98 "Temp. Metal Cojin. Guía Turbina 2° paso" se usarán la mismas señales que se usaron en la alarma #97 del metal del cojinete turbina: MCGT1 Y MCGT2, estas señales tendrían que ser agrupadas en un Bloque de Función Alarmas_RTD para su comparación con un nivel de alarma, al no existir esta parte de programa tendrá que ser implementada tal como se observa a continuación:

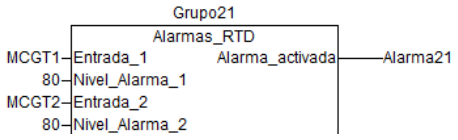


Figura 105. Modificación para alarma #98 Unidades Fase C

La salida del Bloque de función: Alarma21 está asignada al Módulo 9 DX522 salida4, siendo únicamente necesario el cableado de esta salida hacia el relé GU*-K154 para la activación de la alarma "Temp. Metal Cojin. Guía Turbina 2° paso"

4.6.4 Diseño de interface de Usuario HMI

La Sigla HMI es la abreviación en ingles de Interface Hombre Máquina. Los sistemas HMI podemos pensarlos como una "ventana" de un proceso, esta ventana puede estar en dispositivos especiales como paneles de operador o en una computadora. [27]

Funciones de un HMI: [27]

- Monitoreo. Es la habilidad de obtener y mostrar datos del sistema en tiempo real. Estos datos se pueden mostrar como número, texto o gráficos que permitan una lectura más fácil de interpretar.
- Supervisión. Permite junto con el monitoreo la posibilidad de ajustar las condiciones de trabajo.
- Alarmas. Es la capacidad de reconocer eventos excepcionales dentro dl proceso y reportar estos eventos

Los terminales de operador (HMI) de ABB se distinguen por su robustez y facilidad de uso, proporcionando toda la información pertinente de las plantas de producción y máquinas en un solo toque. [31]

La oferta HMI consta de dos gamas de producto:

- La gama de terminales de operador CP600 ofrece terminales táctiles en color desde 4,3" hasta 15". [35]

Resolución	Tamaño pantalla	Tipo	Peso (1 pieza) kg
480 x 272	4.3"	CP620	0.95
320 x 240	5.7"	CP630	1.15
800 x 480	7.0"	CP635	1.1
800 x 600	10.4"	CP650	2.1
800 x 600	12.1"	CP660	2.9
1024 x 768	15.0"	CP675	3.8
480 x 272	4.3"	CP620-WEB	0.95
320 x 240	5.7"	CP630-WEB	1.15
800 x 480	7.0"	CP635-WEB	1.1
800 x 600	10.4"	CP650-WEB	2.1
800 x 600	12.1"	CP660-WEB	2.9
1024 x 768	15.0"	CP675-WEB	3.8

Tabla 46. Terminales de operador series CP600

Descripción	Tipo	Peso (1 pieza) kg
Cable de comunicación RS232 CP600-AC500	TK681	0.13

Tabla 47. Cable de comunicación terminal de operador CP600 <-> PLC

- La gama de terminales de operador CP400 cuenta con terminales táctiles monocromáticos de 3,5" y 5,7". [35]

Resolución	Tamaño pantalla	Tipo	Peso (1 pieza) kg
240 x 240	3.5", 16 niveles de gris	CP415M	0.23
320 x 240	5.7", 16 niveles de azul	CP430M	0.810

Tabla 48. Terminales de operador series CP400

Conexión en lado de	Descripción	Tipo	Peso (1 pieza) kg

CP400			
Sub-D 9	Conexión para COM1, largo 4 m	TK401	0.18
Sub-D25	Conexión para COM2, largo 4m	TK402	0.23

Tabla 49. Cables de programación terminales de operador series CP400

Conexión en lado de PLC	PLC	Tipo	Peso (1 pieza) kg
Sub-D 9	AC500	TK405	0.13

Tabla 50. Cables de comunicación terminal de operador CP400 <-> PLC

En el PLC ABB AC500 del Sistema de adquisición y monitoreo de las temperaturas de las Unidades de generación de la Central Paute tenemos disponible el puerto DB9 COM2, ya que el puerto COM1 se utiliza para establecer comunicación Modbus con la RTU del SCADA, se propone usar un terminal de operador de la serie CP600, específicamente el CP635.

El terminal CP635 es un terminal de operador de 7", pantalla TFT *touchscreen*, 64K colores, resolución 800 x 480 pixeles ,posee luz de fondo LED con una vida útil de 40000 h a 25°C, tiene protección frontal I66 y protección posterior IP20, posee un puerto serie RS-232, RS-485, RS-422 programable vía software, una tensión de alimentación de 24V con un consumo de corriente de0,7A, [28] las demás características se pueden observar en el anexo 7.

Figura 106. Terminal de operador CP635[96]

La conexión al PLC AC500 se la hará en protocolo Modbus RTU y conectado al puerto COM2 del PLC, a través del cable TK681.

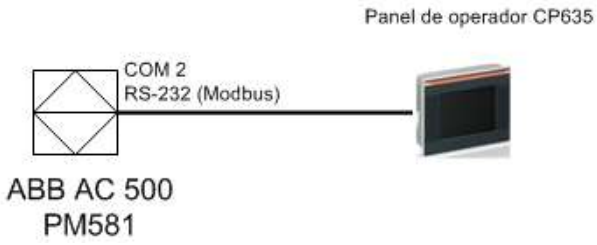


Figura 107. Conexión PLC AC500 a panel de operador CP635

El cable TK681 es el cable de comunicación usado por los terminales de operador de la serie CP600 para comunicación serial.

[96] ABB, CP600 dispositivos,2015-03-30, http://www.abb.com.ec/product/db0094db009472/0bd27af63030129dc1257d2e003d0bfa.aspx?tabKey=2&gid=ABB1SAP535100R0001&cid=9AAC177489

Figura 108. Cable TK681 para terminal de Operador CP635[97]

Para la programación de terminales de operador CP600 el software es "Panel builder 600", el cual viene incluido con el terminal de operador y con la correspondiente documentación correspondiente.

A continuación se puede observar las diferentes pantallas de visualización de la propuesta de HMI, realizadas y simuladas en visualización del PS Control Builder:

En primer lugar se muestra la pantalla principal, desde esta podemos acceder a las diferentes partes de las Unidades de generación:

Figura 109. Pantalla principal de HMI propuesto

La siguiente pantalla es la del generador propiamente, en ella se pueden apreciar las distintas partes del generador, a las cuales se puede ir accediendo para que nos indique los valores de temperaturas correspondientes, también dispone de opción para regresar a la pantalla principal:

[97] ABB, CP600 Accesorios,2015-03-30, http://www.abb.com/product/db0094db009472/b082f4f6c7d20d7cc1257c5200258683.aspx?tabKey=2&gid=ABB1SAP500981R0001&cid=9AAC177498

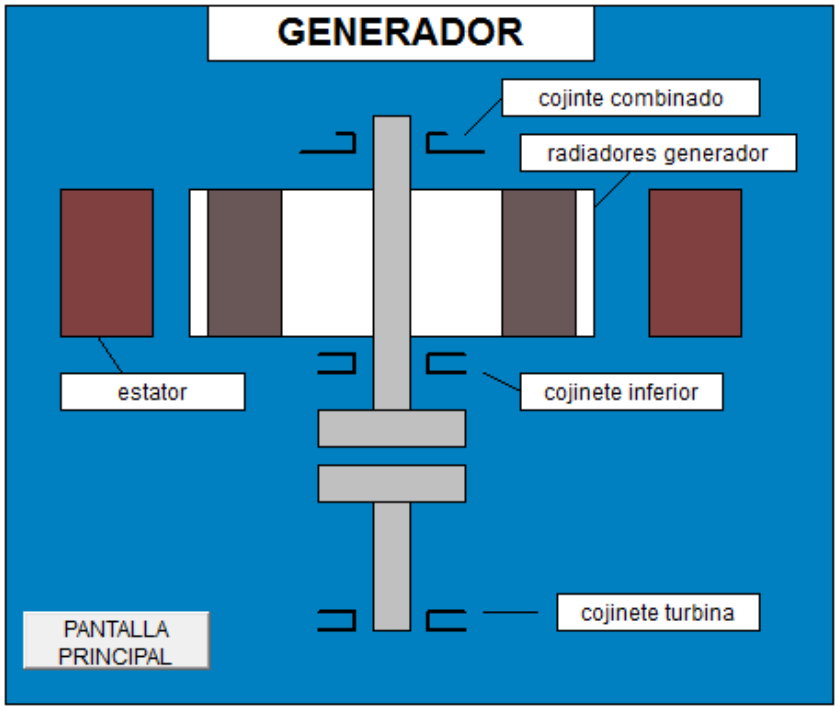


Figura 110. Pantalla del Generador en HMI

Se puede acceder desde la pantalla del Generador a sus diferentes partes, para así visualizar los valores de temperaturas, por ejemplo del estator:

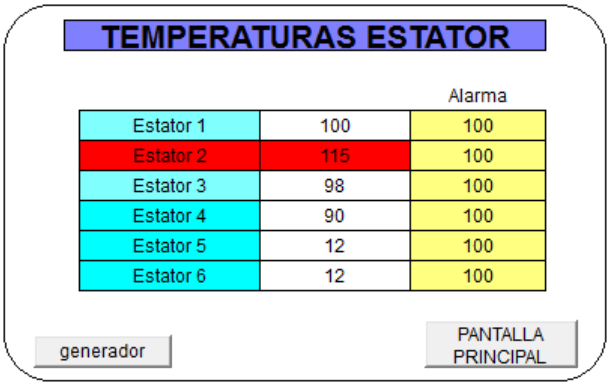


Figura 111. Pantalla de temperaturas del Estator

A continuación tendríamos la pantalla del transformador, en ella se podrá visualizar las temperaturas de los devanados y del aceite, como se observa a continuación:

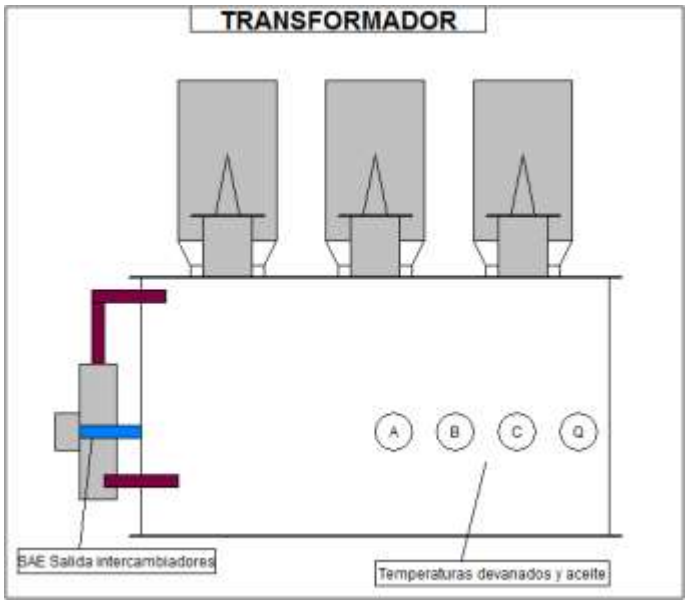


Figura 112. Pantalla del Transformador en HMI

También tenemos pantalla para el regulador :

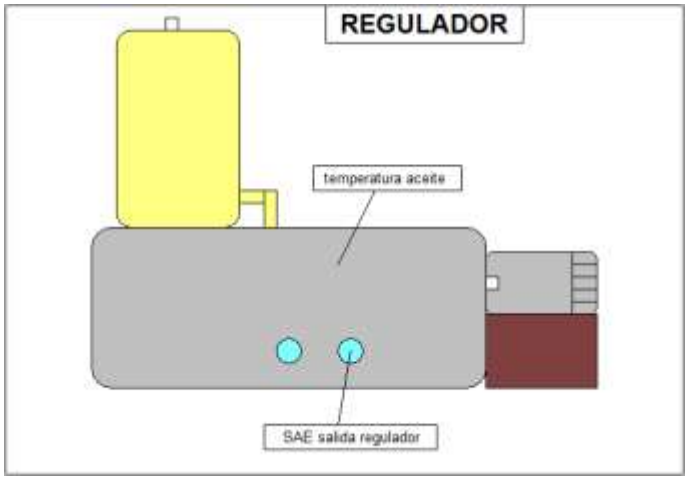


Figura 113. Pantalla del regulador en HMI

Por último la pantalla del Sistema de Agua de enfriamiento(SAE):

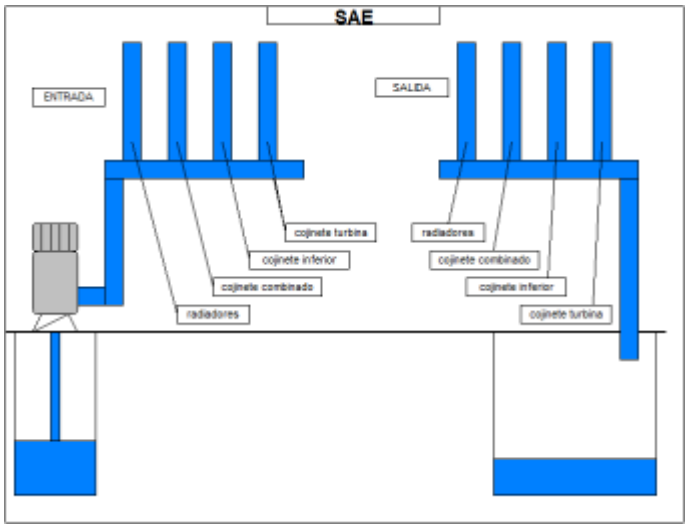


Figura 114. Pantalla del SAE en HMI

Todas las medidas se alarmarán (fondo rojo) cuando la medida supere el nivel de alarma correspondiente.

A continuación en la siguiente tabla se tiene un precio de lista de ABB Ecuador del HMI CP635:

Código	Tipo	Descripción	PVP
CP635-WEB	1SAP535200R0001	- 7", 800x480 pix, TFT color, 64K colores, LED, protección frontal IP66, protección posterior IP20, 24 Vdc (18 a 30), 256MB RAM tipo DDR, OPC. '- 2x100Mbits(función switch integrada) ethernet, 2 puertos USB, 1 puerto serial RS232-RS485-RS422 configurable por software, 2 slot para módulos de expansión, 1 slot para tarjeta SD,	$ 1.955,79

Tabla 51. Precio de lista HMI CP635

4.7 Procedimientos de mantenimiento para los registradores de temperatura

Mantenimiento es el conjunto de operaciones que se realizan para que un equipamiento reúna las condiciones para el propósito para el que fue construido [28], existen dos tipos de mantenimiento:

- Mantenimiento Preventivo. Tiene por misión mantener un nivel de servicio determinado en los equipos, programando las intervenciones de sus puntos vulnerables en el momento más oportuno, se interviene aunque el equipo no haya dado ningún síntoma de tener un problema con la finalidad de prevenir averías en el sistema. [29]

  El PLC es un componente electrónico y como tal la probabilidad de avería es alta en el momento de la instalación y las primeras veces de funcionamiento, pero una vez pasado ese periodo la probabilidad de daño baja constantemente. [30]

El PLC ABB AC500 como cualquier otra máquina, necesita de un mantenimiento preventivo o inspección periódica, aunque estos equipos tienen una fiabilidad alta. [30]

Para el Sistema de adquisición y monitoreo de temperaturas se propone un sencillo programa de mantenimiento, para tener al día el sistema y evitar posibles contratiempos. Básicamente se propone limpieza y revisión de hardware, con una periodicidad anual (12 meses), durante los mantenimientos anuales programados que se realizan a los diferentes equipos de las Unidades de generación, principalmente el mantenimiento puede ser:

- INSPECCION VISUAL.

  Realizar una inspección visual de la carcasa exterior de la Fuente, CPU y Módulos de E/S del PLC AC500, para detectar algún conector que esté a punto de soltarse, estado de suciedad, detectar humedad, y el estado de las borneras y cables que van al PLC.

- LIMPIEZA

  La Acumulación de polvo y la condensación de aceite de Casa de máquinas de la central son muy perjudiciales para el PLC AC500, ya que aunque no trabaja con tensiones elevadas se puede llegar a perder el aislamiento de las conexiones y provocar pequeños cortocircuitos.

  Sobre un PLC limpio siempre es más fácil detectar una avería y más confortable trabajar sobre él.

- REAJUSTE DE CONEXIONES

  Debido a las vibraciones propias de una central de generación se pueden aflojar borneras y conexiones por lo que es recomendable un reajuste de todas las conexiones de los dispositivos de entradas y salidas, tanto analógicas como digitales. Previniéndose con esto futuras averías inesperadas.

- MEDICION FUENTE DE ALIMENTACIÓN

  Realizar la medición de los voltajes de entrada y salida de la Fuente ABB CP-S 24/5.0 registrando estos valores y verificando que se encuentren dentro de su rango normal de operación.

- REVISIÓN DE PARAMETROS

  Una revisión de todos los parámetros es importante para verificar que todos los valores de trabajo estén correctamente en el PLC. ALMACENAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

  Como sabemos, una de las ventajas de los PLCs sobre la lógica cableada es la posibilidad de introducir, borrar y modificar los programas, pero

también la de poder grabarlos y almacenarlos, mediante los utilitarios provistos por los fabricantes.

Por ello, una vez realizado un programa, verificado y simulado, para ponerlo en funcionamiento, es necesario grabarlo, y crear un archivo de programas perfectamente identificables.

Las herramientas y aparatos necesarios para esta labor de Mantenimiento preventivo serían:

- Limpia contactos electrónicos (OMYA ECT-39)
- Aspiradora / sopladora
- Algún tipo de desengrasante o solvente, donde lo amerite
- Herramientas de instalador (desarmadores, pinzas, cortadora, alicate)
- Multímetro digital.
- Osciloscopio.
- Etc.

- Mantenimiento Correctivo. Es el conjunto de tareas destinadas a corregir los defectos que se van presentando en el sistema y que son comunicados al departamento de mantenimiento por los usuarios. [29]

  El principal elemento del Sistema de adquisición y monitoreo de temperaturas es el PLC ABB AC500 que para el mantenimiento es considerado como una caja estanca o negra a la que no se puede acceder por dentro para efectuar una reparación, ya que ésta siempre deber ser realizada por personal autorizado por el fabricante. [30]

  Lo normal es que frente a una avería del PLC se proceda a su sustitución y programación de nuevo. Si se puede observar que la avería está en uno de los módulos se puede sustituir solo este módulo dejando el resto del PLC operativo.

  La detección de averías imputables al PLC se determina generalmente por la lista de mensajes de error correspondientes:

  El PLC AC500 posee un sistema de diagnóstico que permite administrar un máximo de 100 mensajes de error. Se puede usar cualquiera de las diferentes formas de acceder a los mensajes de error que son:

  - Diagnóstico en el PLC mediante el LED “ERR”, el teclado y pantalla
  - Visualización en texto plano de mensajes de erros en la línea de estado de Control Builder en el modo en línea.
  - Diagnóstico con los comandos del explorador del PLC de Control Builder
  - Diagnóstico con ayuda del programa del usuario y empleando los bloques de diagnóstico de la biblioteca SysInt_AC500_Vxx.LIB

Luego de verificar el error o alarma correspondiente, se procederá con ayuda de planos y manuales a la revisión del sistema o parte alarmada, para la resolución del problema.

4.8 Elaboración del manual de operaciones

El Sistema de adquisición y monitoreo de temperaturas de las Unidades de Generación de la Central Paute Molino está controlado por un PLC ABB AC500, con una CPU PM581 el cual está montado en una base de terminal de CPU TB511 (1 slot para 1 módulo de comunicaciones).

Para la lectura de las temperaturas desde los diferentes sensores de temperatura, dispone de cinco módulos de entradas analógicas AI523 para las Unidades de Fase AB y 7 módulos AI523 en las Unidades de Fase C, y tanto en las Unidades de Fase AB como en las de la Fase C dispone de un módulo E/S digitales DX522.

Los módulos AI523 están montados en Unidades terminales TU515 y el módulo DX522 se monta en Unidad de terminal TU531

Fuente de alimentación

El Sistema de adquisición y monitoreo de temperaturas de las Unidades de Generación de la central hidroeléctrica Paute Molino tiene como tensión de proceso 24 VCC, voltaje suministrado por la fuente ABB CP-S 24/5.0 (120W). Esta fuente se alimenta se alimenta desde el panel de Corriente Continua de cada Unidad PCC-U*.

Indicadores y elementos operativos del panel frontal de la CPU PM581

La CPU PM581 tiene los siguientes indicadores y elementos operativos: [14]

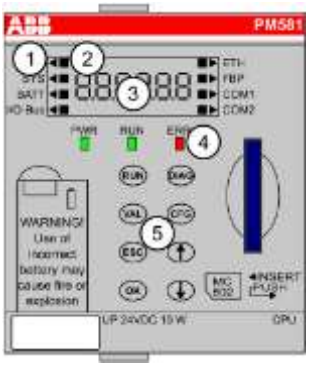


Figura 115. Indicadores y elementos operativos del panel frontal de la CPU PM581[98]

Pantalla LCD retro iluminada.

1.Pantalla de estado con seis elementos de 7 segmentos para visualización de: estado de la CPU (ejemplo: RUN [marcha] o STOP [paro]), códigos y tipos de error, y modificaciones de las direcciones y parámetros de los módulos de comunicación integrados.

[98]ABB, AC500 Control Builder Plus PS501- Complete Spanish Documentation V2.3.0, Art. Cit.

2.Indicadores triangulares. Que Señalan el elemento seleccionado más reciente (activo)
3.Indicadores cuadrados. Que indican que existe comunicación entre la CPU y el bus
4. Led de estado. Con el siguiente significado:

LED	Color	Función
PWR	Verde	indica que la alimentación de la CPU está conectada
RUN	Verde	indica que la CPU está funcionando (se apaga con la orden de paro)
ERR	Rojo	indica que se ha producido un error (se apaga después de confirmar el error)

Tabla 52.Significado de los led de estado CPU PM581[99]

5. Pulsadores. Sirven para controlar manualmente La CPU desde el panel frontal:

Botón	Significado
RUN	Permite poner en marcha (modo RUN) y detener (modo STOP) la CPU
VAL	Reservado para usos futuros
ESC	ESCAPE, abandonar el menú sin guardar los cambios
OK	ACEPTAR, abandonar el menú después de guardar los cambios
DIAG	Diagnóstico, evaluación detallada de un mensaje de error
CFG	Establezca una dirección para ARCNET, CS31 y FBP y una dirección IP para Ethernet
↑	Desplace la selección hacia arriba o incrementar el valor (p. ej., de la dirección) en 1
↓	Desplace la selección hacia abajo o reducir el valor (p. ej., de la dirección) en 1

Tabla 53. Significado de los pulsadores de CPU PM581[100]

Visualización de mensajes de error (códigos de error) en la CPU PM581 del AC500

La pantalla LCD normalmente está apagada, cuando se produce un error, se ilumina de color rojo el LED de error, se ilumina la pantalla y se muestra un código de error.

Un error siempre se compone de una categoría de error (E1 a E4) y un número (de 0 a 63) que indica el identificador del error, lo que permite reconocerlo directamente.

Es posible visualizar las siguientes categorías de error: [14]

Categoría de error	Tipo	Significado	Ejemplo
E1	Error fatal	No puede garantizarse el correcto funcionamiento del sistema operativo.	Error en la suma de comprobación de la memoria Flash o error de RAM
E2	Error grave	El sistema operativo funciona sin problemas, pero no es posible garantizar la correcta ejecución del programa de usuario.	Error en la suma de comprobación de la memoria Flash de usuario, con independencia de la duración de la tarea
E3	Error leve	La interrupción del programa de usuario por parte del sistema operativo	No ha sido posible programar la memoria

[99] ABB, AC500 Control Builder Plus PS501- Complete Spanish Documentation V2.3.0, Art. Cit..
[100] Idem.

		dependerá de la aplicación en cuestión. El usuario debe elegir la opción que considere necesaria.	flash, fallo en el módulo de E/S.
E4	Aviso	Error en periférico (p. ej., E/S) que podría tener otros efectos en el futuro. El usuario debe decidir qué medida adoptar.	Cortocircuito en un módulo de E/S, pila gastada o ausente.

Tabla 54. Categoría de errores CPU PM581[101]

A continuación los identificadores de error:

Error	Significado		Error	Significado
0	General		33	Wait reset (espera de restauración)
1	Wrong value (valor incorrecto)		34	Wait ready (espera de estado "listo")
2	Invalid value (valor no válido)		35	Wait run (espera de marcha)
3	Timeout (tiempo de espera)		36	Wait com (espera de comunicación)
4	Highest level (nivel máximo)		37	Cycle time (tiempo de ciclo)
5	High level (nivel alto)		38	Exception (excepción)
6	Low level (nivel bajo)		39	Unknown POU (POU desconocido)
7	Lowest level (nivel mínimo)		40	Version (versión)
8	Empty or missing (agotada o no instalada)		41	Transmit (transmisión)
9	Full (llena)		42	Receive (recepción)
10	Too big / overflow (Demasiado grande / desbordamiento)		43	Internal (interno)
11	Too small (demasiado pequeña)		44	No adjustment values (no hay valores de ajuste)
12	Read (lectura)		45	Cut wire (rotura de cable)
13	Write (escritura)		46	Overload (sobrecarga)
14	Delete (borrado)		47	Short circuit (cortocircuito)
15	Alloc memory (asignación de memoria)		48	Overload / Cut wire (sobrecarga/rotura de cable)
16	Free memory (memoria libre)		49	Short-circuit / Cut wire (cortocircuito/rotura de cable)
17	Access (acceso)		50	Overload / Short-circuit (sobrecarga/cortocircuito)
18	Test (prueba)		51	Overload / Short-circuit / Cut wire (sobrecarga/cortocircuito/rotura de cable)
19	Checksum (suma de comprobación)		52	Lost value (valor perdido)
20	Message (mensaje)		53	Changed (cambiado)
21	Put message (envío de mensaje)		54	Conflict (conflicto)
22	Get message (recepción de mensaje)		55	Tolerance (tolerancia)
23	Wait message (espera de mensaje)		56	
24	Message deleted (mensaje borrado)		57	
25	Wait answer (espera de respuesta)		58	
26	Config data (datos de configuración)		59	
27	No config (no hay configuración)		60	
28	Different config (diferente configuración)		61	
29	Write config (escritura de configuración)		62	
30	Read config (lectura de configuración)		63 (máx.)	others (otros)
31	Wrong type or model (tipo o modelo incorrecto)			
32	Unknown type or model (tipo o			

[101] ABB, AC500 Control Builder Plus PS501- Complete Spanish Documentation V2.3.0, Art. Cit.

	modelo desconocido)			

Tabla 55. Identificador de error[102]

Hay otros cuatro códigos de error detallados (d1 a d4) que definen el error con más precisión:

E1...E4 = 00...63 (identificador de error)		P. ej., valor incorrecto, error en la suma de comprobación, cortocircuito, pila gastada o ausente, etc., visualizado directamente en la pantalla LCD
->	d1 = 000...015	Indica el componente del que proviene el error (módulo de comunicaciones, CPU, COM1, FBP, bus de E/S, etc.)
	d2 = 000...255	Señala el dispositivo del componente que presenta el error
	d3 = 000...030	Señala la parte del módulo que presenta el error (ranura)
	d4 = 000...031	Señala el canal del módulo

Tabla 56. Códigos de error detallados[103]

Configuración del PLC

La selección de la CPU PM581 se lo realiza en "Configuraciones del Sistema del Destino" en la pestaña "recursos" dentro del "Organizador de Objetos" del programa Control Builder PS501.

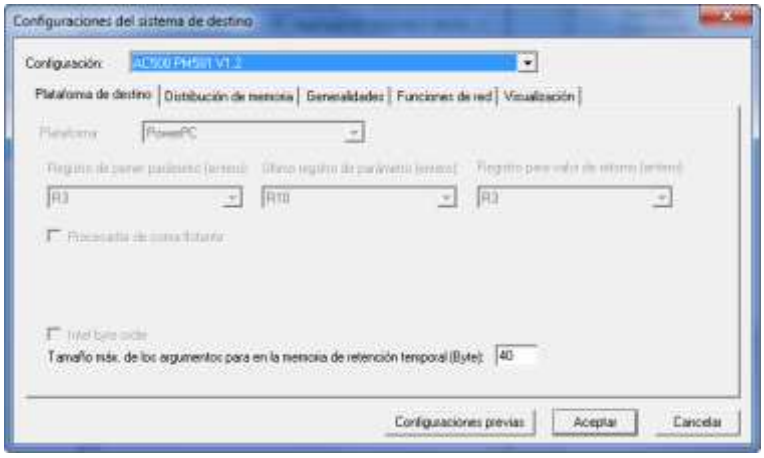


Figura 116. Selección de CPU de PLC AC500

Se emplean parámetros para configurar los siguientes elementos:

Elemento	Configuración
Parámetros de la CPU	Parámetros de la CPU
E/S	E/S digitales y analógicas integradas, por ejemplo, 6 DI + 6 DO + 2 AI + 1 AO.
Bus de E/S	Módulos de E/S conectados directamente a la CPU.
Interfaces	Interfaces serie COM1 y COM2.

Tabla 57. Elementos a configurarse según parámetros[104]

[102] ABB, AC500 Control Builder Plus PS501- Complete Spanish Documentation V2.3.0, Art. Cit.
[103] Idem.
[104] Idem.

Las reglas siguientes se aplican en todas las ventanas que contengan parámetros de módulos:

- ***Index:*** es un número consecutivo (i) que numera los parámetros del módulo.
- ***Name:*** Nombre del parámetro.
- ***Value:*** Valor del parámetro; puede modificarse. Inicialmente se muestra el valor por defecto. Los valores pueden ajustarse directamente o mediante nombres simbólicos. Para modificar un valor, haga clic en el campo de edición o seleccione una de las entradas de la lista desplegable.
- ***Default:*** Valor por defecto del parámetro.
- ***Min.:*** Valor mínimo del parámetro
- ***Max.:*** Valor máximo del parámetro

Para configurar los parámetros de la CPU es necesario seleccionar "CPU parameters" en el árbol de configuración, se abre la configuración como se muestra en la siguiente figura:

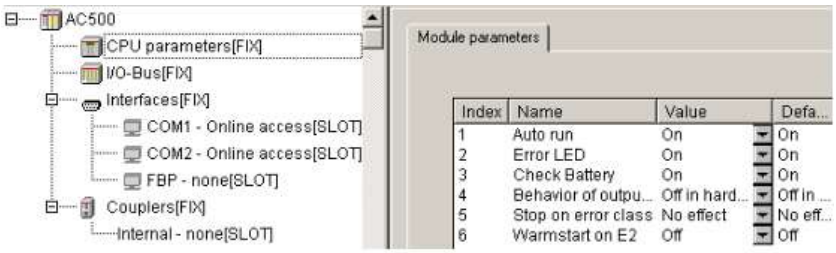


Figura 117.Configuración parámetros de CPU

Pueden ajustarse los siguientes parámetros:

Parámetro	Valor por defecto	Valor	Significado
Auto run / Start of user program when voltage ON	On	On	Si la memoria flash contiene un proyecto válido, este se carga en la RAM y se ejecuta cuando se conecta la alimentación del controlador.
		Off	Si la memoria flash contiene un proyecto válido, este se carga en la RAM, pero no se ejecuta, cuando se conecta la alimentación del controlador.
Error LED	On	On	El LED de error se ilumina con todas las categorías de error.
		Off_by_E4	El LED de error no indica los avisos (E4).
		Off_by_E3	El LED de error no indica los avisos (E4) ni los errores leves (E3).
Check battery	On	On	Se comprueba la disponibilidad y estado de la pila. Si no hay ninguna pila disponible o está agotada, se genera un aviso (E4) y el LED ERR se ilumina.
		Off	No se comprueba la pila. No se genera ningún aviso (E4). El resultado es el mismo incluso si hay instalada una pila agotada.
Behavior of outputs in case of stop	Off in hardware and	Off in hardware and online	En caso de paro, todas las salidas del hardware y de la visualización en línea adoptan el valor FALSE o 0.

	online	Off in hardware and actual state online	En caso de paro, todas las salidas del hardware adoptan el valor FALSE o 0. La visualización en línea indica el estado del último ciclo del programa de usuario.
		Actual state in hardware and online	Las salidas del hardware y la visualización en línea se mantienen en el estado del último ciclo del programa de usuario.
Stop un error clases	No efecto	No efecto	El programa de usuario no se detiene en caso de producirse un error (excepción: las clases de error E1 y E2 siempre detienen el PLC).
		E1	El programa de usuario se detiene si se produce un error fatal (E1).
		E2	El programa de usuario se detiene si se produce un error fatal o grave (E1 o E2, respectivamente).
		E3	El programa de usuario se detiene si se produce un error fatal, grave o leve (E1-E3).
		E4	El programa de usuario se detiene si se produce un error fatal, grave o leve (E1-E3), o bien un aviso (E4).
Warmstart on E2	Off	Off	El arranque en caliente no se lleva a cabo en caso de producirse un error fatal (E2).
		On	El arranque en caliente se lleva a cabo automáticamente en caso de producirse un error fatal (E2). (V1.2.0 o superior)

Tabla 58.Parámetros de CPU[105]

Módulos de entrada analógicos AI523, Módulo E/S digitales DX 522

Los Módulos de E/S tanto analógicos como digitales se ajustan en "configuración del mando" en la pestaña de recursos del "organizador de objetos" del Software Control Builder PS501.

Para que las entradas o salidas de los módulos de entradas y salidas conectadas al bus de E/S estén disponibles en el proyecto, es necesario reproducir el hardware en la configuración del PLC. [14] Esto se lo realiza haciendo clic con el botón derecho del ratón en el elemento "I/O Bus" del árbol de configuración, se abre un menú contextual en el que se puede cambiar el modo del bus de E/S. Seleccione "Anexar Subelemento". El submenú muestra todos los módulos de entradas y salidas disponibles:

[105] ABB, AC500 Control Builder Plus PS501- Complete Spanish Documentation V2.3.0, Art. Cit.

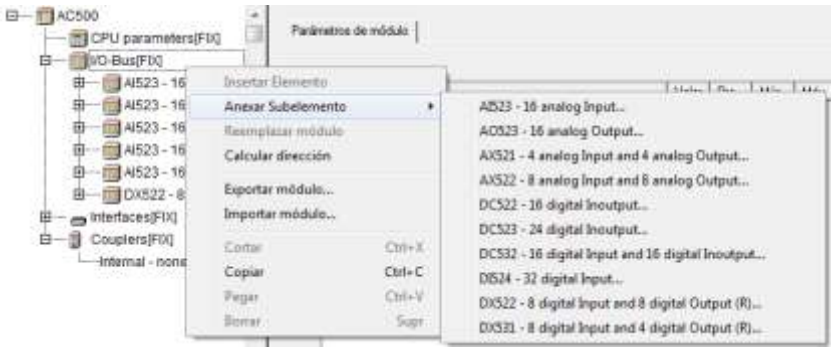


Figura 118. Inserción de módulos de E/S

Se selecciona el módulo deseado en función de la configuración del hardware y se repite este paso para todos los módulos. Es posible añadir un máximo de 10 módulos de entradas y salidas al bus de E/S.

Si se añade el número máximo de módulos, la opción " Anexar Subelemento " del menú contextual deja de ser seleccionable. Es posible modificar la configuración eliminando módulos e insertando o añadiendo otros.

Todas las entradas o salidas del módulo se crean cuando este se inserta. En el caso de los módulos digitales, los canales están disponibles como WORD, BYTE y BOOL. Desde la versión V1.2 de Control Builder, se abre la pestaña "Base parameters". Donde es posible introducir el nombre del módulo en el Campo Comentario. Este nombre también aparece en el árbol.

Figura 119. Parámetros de base de módulos de E/S[106]

El módulo de entradas analógica AI523 contiene 16 canales analógicos configurables. Debido a que las entradas analógicas también pueden configurarse como entradas digitales, el bit 0 de cada canal está igualmente disponible como BOOL.

Para la configuración de los canales, tenemos que seleccionar el canal correspondiente, y seleccionar la pestaña “Parámetros de Canal”:

[106] ABB, AC500 Control Builder Plus PS501- Complete Spanish Documentation V2.3.0, Art. Cit.

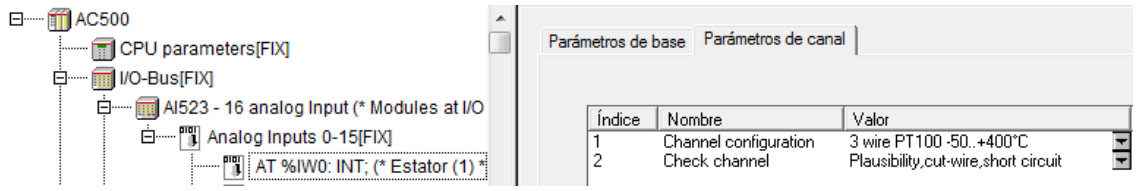


Figura 120. Configuración de Canal de módulo analógico AI523

Para los 16 canales de entrada del módulo AI 523 se tienen los siguientes parámetros:

- Channel configuration

Valor interno	Modos de funcionamiento de las entradas analógicas
0	Sin utilizar (por defecto)
1	Entrada analógica 0...10 V
2	Entrada digital
3	Entrada analógica 0...20 mA
4	Entrada analógica 4...20 mA
5	Entrada analógica -10 V...+10 V
8	Entrada analógica Pt100, -50 °C...+400 °C (dos hilos)
9	Entrada analógica Pt100, -50 °C...+400 °C (tres hilos), requiere 2 canales)
10	Entrada analógica 0...10 V mediante entradas diferenciales, requiere dos canales)
11	Entrada analógica -10 V...+10 V mediante entradas diferenciales, requiere dos canales)
14	Entrada analógica Pt100, -50 °C...+70 °C (dos hilos)
15	Entrada analógica Pt100, -50 °C...+70 °C (tres hilos), requiere 2 canales)
16	Entrada analógica Pt1000, -50 °C...+400 °C (dos hilos)
17	Entrada analógica Pt1000, -50 °C...+400 °C (tres hilos), requiere 2 canales)
18	Entrada analógica Ni1000, -50 °C...+150 °C (dos hilos)
19	Entrada analógica Ni1000, -50 °C...+150 °C (tres hilos), requiere 2 canales)

Tabla 59. Channel configuration de las entradas analógicas módulo AI523[107]

El Sistema de adquisición y monitoreo de temperaturas de las Unidades de Generación de la Central Paute Molino básicamente utiliza 2 tipos modos de funcionamiento de las entradas analógicas: Entrada analógica Pt100, -50°C … + 400°C (tres hilos) y Entrada analógica de 4…20 mA

- Channel monitoring

Valor interno	Monitorización
0	Factibilidad, circuito abierto (rotura de hilo) y cortocircuito
1	Circuito abierto y cortocircuito
2	Factibilidad
3	Sin monitorización

Tabla 60. Channel monitoring de las entradas analógicas módulo AI523

Los canales de entradas analógicas del módulo AI523 del Sistema de adquisición y monitoreo de temperaturas tienen en su configuración de "Channel monitoring" seleccionado el valor de "Factibilidad, circuito abierto (rotura de hilo) y cortocircuito".

El módulo de entradas/salidas digitales DX522 contiene 16 canales con las siguientes características:

- 8 entradas digitales de 24 V CC
- 8 salidas de relé digitales

Ajuste del protocolo de las interfaces serie

Las interfaces serie están ajustadas, por defecto, para "Online access", lo que significa que el acceso se realiza con ayuda de Control Builder.

El protocolo de las interfaces serie se cambia haciendo clic con el botón derecho del ratón en la interfaz "COM1" o "COM2", en el árbol de configuración y seleccionando la opción "Reemplazar módulo" en el menú contextual, pudiéndose escoger las opciones mostradas a continuación: [14]

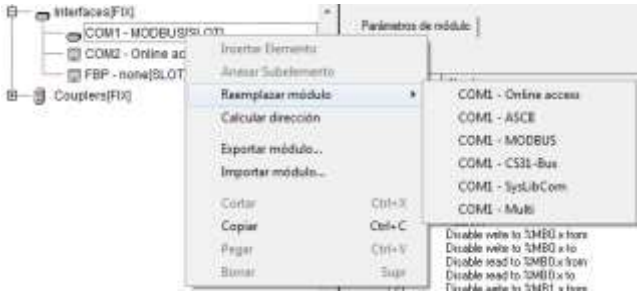


Figura 121. Configuración de protocolo en Interfaces serie.[108]

Si un puerto es seleccionado para el protocolo MODBUS se pueden ajustar los siguientes valores:

Parámetro	Valor por defecto	Valor	Significado
Enable login	Disabled	Disabled	No se realiza ninguna comprobación del telegrama de inicio de sesión de Control Builder.
		Enabled	Los telegramas recibidos se comprueban en relación con la secuencia de inicio de sesión de Control Builder. Si se detecta la secuencia, el ajuste del protocolo cambia a "Online access". -> disponible desde la versión V1.2.0 del firmware
RTS control	None	None	No hay control RTS (no para las CPU PM55x y PM56x)
		Telegram	Se activa el control RTS del telegrama -> disponible desde la versión V1.2.0 del firmware
TLS	0	0...65535	Tiempo de funcionamiento del soporte en ms o caracteres (TLS > CDLY) -> disponible desde la versión V1.2.0 del firmware
CDLY	0	0...65535	Tiempo de retardo del soporte en ms o caracteres (CDLY <= TLS) -> disponible desde la versión V1.2.0 del firmware
Telegram ending value	3	0...65535	Número de caracteres del tiempo de espera de carácter

[108] ABB, AC500 Control Builder Plus PS501- Complete Spanish Documentation V2.3.0, Art. Cit.

Handshake	None	None	No hay control de flujo
		RTS/CTS	Enlace de hardware -> disponible desde la versión V1.2.0 del firmware
		XON/XOFF	Enlace del software -> Pendiente de implementación
Baudrate	19200	300 1200 4800 9600 14400 19200 38400 57600 115200 125000 187500	Longitud de los caracteres en bits/s
Parity	Even	None	Sin paridad
		Odd	Paridad impar
		Even	Paridad par
		Mark	Bit de paridad = TRUE
		Space	Bit de paridad = FALSE
Data bits	8	5, 6, 7, 8	Número de bits de datos, 5 a 8
Stop bits	1	1, 2	Número de bits de parada, 1 o 2
Operation mode	None	None	None
		Master	Master
		Slave	Slave
Dirección	0	0...255	Dirección del esclavo Modbus
Disable write to %MB0.x from	0	0...65535	Deshabilitar acceso de escritura en el segmento 0 desde %MB0.x
Disable write to %MB0.x to	0	0...65535	Deshabilitar acceso de escritura en el segmento 0 hasta %MB0.x
Disable read to %MB0.x from	0	0...65535	Deshabilitar acceso de lectura en el segmento 0 desde %MB0.x
Disable read to %MB0.x to	0	0...65535	Deshabilitar acceso de lectura en el segmento 0 hasta %MB0.x
Disable write to %MB1.x from	0	0...65535	Deshabilitar acceso de escritura en el segmento 1 desde %MB1.x
Disable write to %MB1.x to	0	0...65535	Deshabilitar acceso de escritura en el segmento 1 hasta %MB1.x
Disable read to %MB1.x from	0	0...65535	Deshabilitar acceso de lectura en el segmento 1 desde %MB1.x
Disable read to %MB1.x to	0	0...65535	Deshabilitar acceso de lectura en el segmento 1 hasta %MB1.x

Tabla 61.Ajustes de protocolo MODBUS[109]

En el Sistema de adquisición y monitoreo de temperaturas de las Unidades de la Central Paute Molino COM1 se encuentra configurado como Modbus slave, a una tasa de baudios de 38400, sin bit de paridad, con 8 bits de datos y uno de parada. Es por este puerto por donde se entregara la información hacia la RTU Harris D20 para intercambio de información con el sistema SCADA XA21 de la Central.

[109] ABB, AC500 Control Builder Plus PS501- Complete Spanish Documentation V2.3.0, Art. Cit.

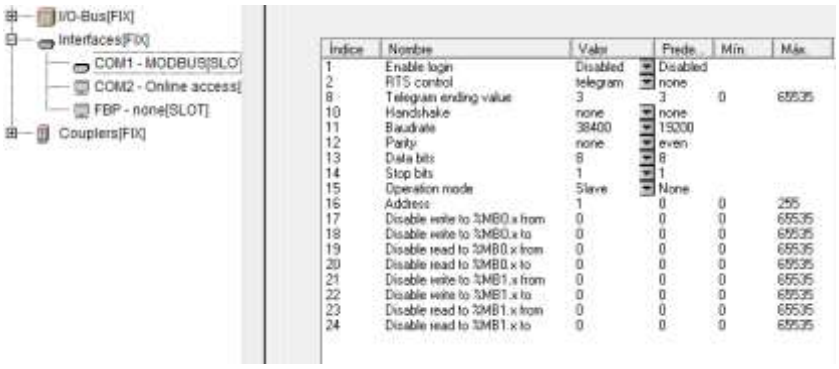


Figura 122.Configuración de puerto serie COM1

El puerto COM 2 en nuestro proyecto tiene su configuración por defecto de "Online access", con una tasa de baudios de 19200, sin bit de paridad, 8 bits de datos y 1 bit de parada.

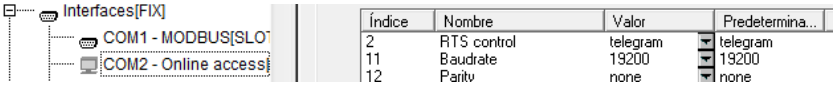


Figura 123. Configuración de puerto serie COM2

Compilación del proyecto.

Asegúrese de haber guardado el proyecto antes de compilarlo. La compilación del programa se realiza con las opciones de menú "Proyecto/Compilar" o "Proyecto/Compilar todo". [32]

- Si se utiliza el comando "Compilar" solamente se recompilan las POU modificadas.
- Si se ejecuta el comando "Compilar todo" se recompila todo el proyecto (todas las POU).

```
Implementación del módulo 'ETH_OWN_IP'
Implementación del módulo 'ETH_OWN_IP_INFO'
Implementación del módulo 'ETH_UDP_INFO'
Implementación del módulo 'ETH_UDP_REC'
Implementación del módulo 'ETH_UDP_SEND'
Implementación del módulo 'ETH_UDP_STO'
Implementación del módulo 'IP_ADR_DWORD_TO_STRING'
Implementación del módulo 'IP_ADR_STRING_TO_DWORD'
Implementación del módulo 'PLC_PRG'
Configuración de hardware
Índice de módulos: 199 (19%)
Tamaño de los datos consumidos: 1161 de 131072 bytes (0.89%)
Tamaño de los datos Retain consumidos: 0 de 32768 bytes (0.00%)
Código: 10 bytes
0 error, 0 advertencia(s)
```

Figura 124. Compilación de proyecto.

Cables de programación.

Se utiliza para fines de programación el cable TK501, conecta la interface serie COM de 9 polos de un PC con la interfaz serie COM2 de la CPU AC500 PM581, en la figura a continuación se puede observan su configuración:

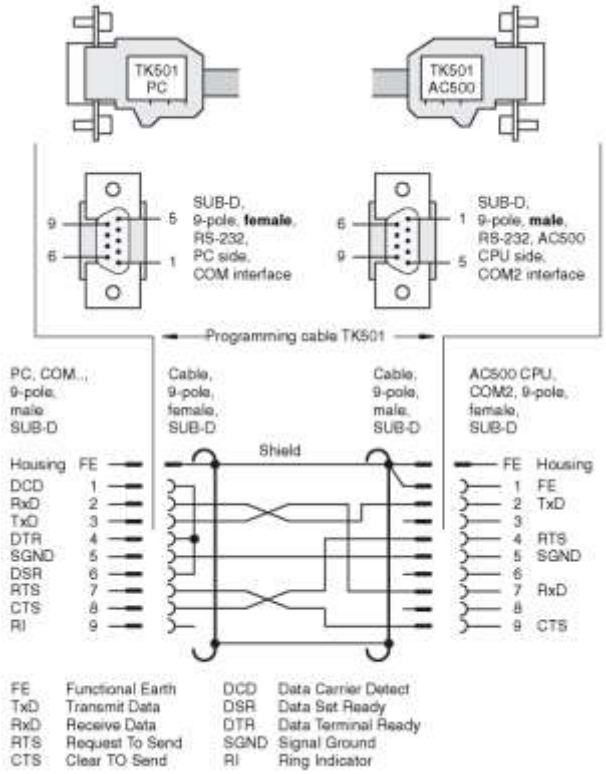


Figura 125. Cable de programación TK501[110]

Conector PC (interfaz COM)	SUB-D, 9 polos, hembra
Conector CPU del AC500 (COM2)	SUB-D, 9 polos, macho
Longitud de los cables	5 m
Tipo de cable	LiYCY 5 x 0,14 mm², apantallado
Peso	220 g

Tabla 62. Datos técnicos cable de programación TK501[111]

El cable TK502 se usa para fines de programación, conecta la interfaz serie COM de 9 polos de un PC con la interfaz serie COM1 de las CPU AC500 PM581.A continuación se puede observar su configuración:

[110] ABB, AC500 Control Builder Plus PS501- Complete Spanish Documentation V2.3.0, Art. Cit.
[111] Idem.

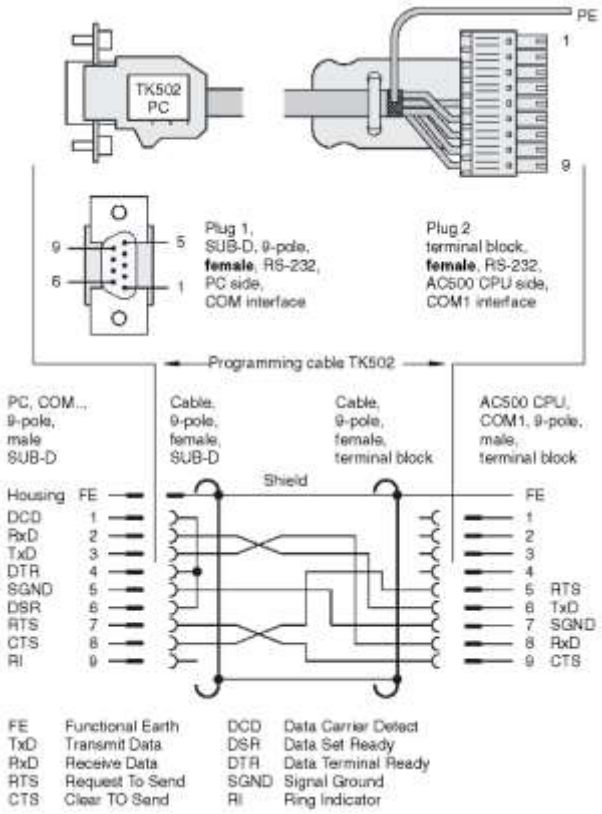


Figura 126. Cable de programación TK502[112]

Conector PC (interfaz COM)	SUB-D, 9 polos, hembra
Conector CPU del AC500 (COM1)	Bloque de terminales, 9 polos, hembra
Longitud de los cables	5 m
Tipo de cable	LiYCY 5 x 0,14 mm², apantallado
Peso	220 g

Tabla 63. Datos técnicos cable de programación TK502[113]

Usado también para fines de programación, el cable de programación TK503 conecta la interfaz USB de un PC con la interfaz serie de una CPU AC500. Para su uso en la PC es necesario instalar el controlador de dispositivo.

Conector PC (interfaz USB)	Conector USB de tipo A
Conector CPU del AC500	SUB-D, 9 polos, macho
Longitud:	3 m

Tabla 64. Datos técnicos cable de programación TK503[114]

Utilizado para fines de programación, el cable de programación TK504 conecta la interface USB de un PC con la interface serie de una CPU AC500 PM581

Conector PC (interfaz USB)	Conector USB de tipo A
Conector CPU del AC500	Conductores simples
Longitud:	3 m

Tabla 65. Datos técnicos cable de programación TK504

[112] ABB, AC500 Control Builder Plus PS501- Complete Spanish Documentation V2.3.0, Art. Cit.
[113] Idem.
[114] Idem.

Configuración de los parámetros de comunicación

Antes de poder descargar el programa compilado desde el ordenador al PLC, debe configurar los parámetros de comunicación: [32]

1. Seleccione el menú “En línea/ Parámetros de comunicación/Gateway” y a continuación “Local” en la lista “Connection”

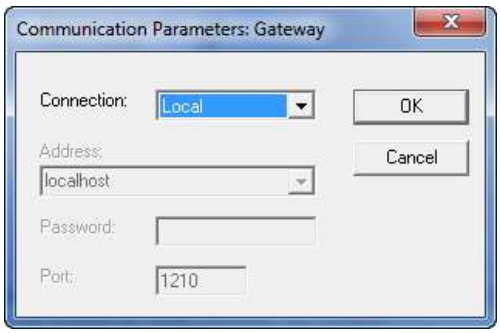


Figura 127. Parámetros de comunicación Gateway

2. Seleccione el menú “En línea/ Parámetros de comunicación” el botón “New” para añadir un nuevo canal, en el cuadro de dialogo *New Channe*l, rellene el campo nombre, seleccione Serial (RS232) y confirme con OK.
3. Seleccione el canal adecuado y configure los canales, como se muestra a continuación, confirme haciendo clic en OK.

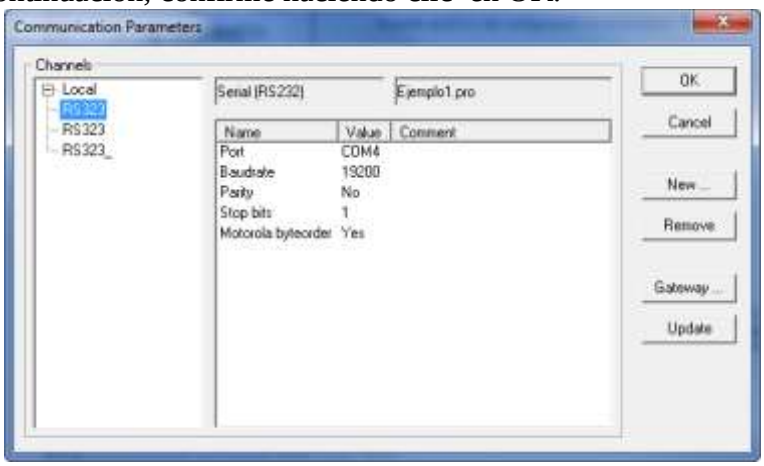


Figura 128.Parámetros de comunicación, canal RS232

Prueba del programa sin conexión con el hardware del PLC

Se puede probar el programa en modo “simulación”. En este modo el hardware del PLC no es necesario: [32]

1. Seleccione el menú “En línea/Simulación”. El símbolo √ delante de la opción de menú
2. Selecciones el menú “En línea/ Inicio de sesión”
3. Para simular el programa del PLC, seleccione el menú “En línea/Inicio”
4. Al abrir la vista “Configuración de mando” en la pestaña “Recursos”, aquí cada entrada y salida tiene un cuadro. Para cambiar el estado de una entrada haga clic con el botón izquierdo en el cuadro de la entrada deseada.

Un cuadro azul indica estado Verdadero.

En el sistema de adquisición y monitoreo de temperaturas, en el PLC AC550 el puerto serial COM2 está configurado como "Online Access", tasa de baudios 19200, sin bit de paridad, 8 bits de datos, 1 bit de parada. Se dispone en la Central Paute del cable TK501 para la programación del PLC a través del puerto COM2 del AC500 y mediante un puerto serial DB9 en el PC.

Descarga del programa en el PLC AC500

Antes de descargar el programa en el PLC:

- Es necesario la compilación correcta del proyecto
- Si no lo ha hecho ya, conecte el PLC (interfaz serie) al ordenador (interfaz serie) utilizando el cable de programación TK501
- Coloque al PLC en Run mediante su pulsante respectivo.
- Sin estar en modo "Simulación", proceda de la siguiente manera:

1. Seleccione el menú "En línea/Inicio de sesión"
2. En el cuadro de dialogo que se abre, haga clic en Yes para confirmar y descargue el proyecto en el PLC
3. Si es que se desea grabar el programa a la memoria no volátil del PLC hay que seleccionar el menú "En Línea/Crear proyecto de inicio"
4. Seleccione el menú "En línea/Inicio" para comenzar a ejecutar el programa en el PLC.

Capítulo 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Una vez concluido el estudio del Sistema de adquisición y monitoreo de temperatura de las Unidades de Generación de la central hidroeléctrica Paute Molino se concluye lo siguiente:

- El sistema es robusto y confiable. El PLC ABB AC500 con su CPU PM581 es de gran calidad y es usado correctamente para el fin que fue instalado: adquisición de valores de temperatura desde los diferentes sensores de temperatura de las partes de las Unidades y comunicación con el sistema Scada de la Central.
- En las Unidades de Fase AB, se encuentran instalados 5 módulos de entradas analógicas AI523, quedando disponibles luego de su uso 5 canales del módulo #4 AI523 y los 16 canales del módulo #5 AI523, en total 21 canales.
- En las Unidades de Fase C, se encuentran instalados 7 módulos de entradas analógicas AI523, quedando disponibles luego de su uso 15 canales del módulo #7 AI523.
- Para ambos casos: Unidades Fase AB y Fase C, el programa del PLC presenta una sección destinada a generar alarmas, si es que las mediciones superan determinados niveles de alarma configurados, estas alarmas ya en su salida a través del módulo DX522 no están cableadas hacía ningún circuito.
- En ambos casos, tanto Unidades Fase AB como Fase C, no dispone de una Interface Hombre máquina (*HMI*) que permita la interacción local entre el Operador y el Sistema.
- El sistema en un futuro no muy lejano tendrá que adaptarse a una modernización del control de la planta.
- No se realiza ningún tipo de mantenimiento sobre el Sistema, durante los mantenimientos anuales se realizan calibraciones de los sensores por parte de Metrología. Esto lo realiza el área Metrológica con un software simulador de Modbus (Master) el cual se conecta al PLC, procediéndose a calibrar los sensores, observando el valor medido en el software para cada punto.
- Existen fallas en los planos, que no corresponden a la realidad, como por ejemplo están invertidas las conexiones de sensores de temperatura.
- Existen en los despliegues de temperaturas de las Unidades en el Scada muchos errores de lecturas, como valores variables e incorrectos, valores fuera de rangos etc.
- En las unidades de Fase AB y Fase C, no existen medidas de los devanados y aceites del transformador principal.
- En la Central se dispone del cable TK501 para acceso al PLC y del software PS Control Builder pero nunca se lo ha usado para ningún fin.

5.2 Recomendaciones

Al final del presente estudio se tienen las siguientes recomendaciones:

- La instalación del HMI CP630 propuesto en este estudio que servirá para la revisión de por parte de personal de operación de datos de temperaturas de las Unidades en forma local y cuando sea necesario, por ejemplo en el arranque de Unidades post mantenimientos programados o mantenimientos correctivos.
- La conexión de salidas digitales de alarma del PLC hacia el Sistema de alarmas de Unidad. Para que personal de Operación de pueda tomar las acciones correctivas necesarias ante una alarma. Para esta conexión es necesario la adquisición de:
    - Fase AB: 1 módulo E/S DX522.
    - Fase C: 2 módulos E/S digitales DX522.
- Si algún sensor de temperatura RTD necesitaré de un factor de ajuste luego de ser calibrado, este cambio se debe realizar en el Sistema de adquisición y monitoreo de temperaturas (PLC AC 500), no en el sistema SCADA.
- Verificar el correcto aterramiento en las Unidades Terminales de E/S del riel DIN de montaje.
- Cubrir con un módulo de comunicación simulado TA 524 la ranura libre en la base terminal de CPU TB511 en las Unidades de ambas Fases, actualmente existe un riesgo de fallo y daño personal ya que no se encuentra protegida contra contacto accidental, pudiendo el polvo y suciedad provocar problemas.
- Verificar la tensión de la fuente en mantenimiento preventivo para que no supere los 30Vcc, tanto la CPU como la base de terminales pueden resultar dañadas por tensiones mayores a la especificada.
- Por intensidades muy elevadas existe riesgo para las Bases de terminales, pueden resultar dañadas, asegurarse que la corriente a través de los terminales extraíbles no supere los 8A.
- Se pudiera usar también las entradas digitales del módulo DX522 para algún fin, por ejemplo mientras la máquina no está arrancada el sistema permanezca en modo stand-bye hasta el arranque de la unidad y empiece con las mediciones.
- Las pantallas de los cables de los sensores, deben estar conectados a tierra en ambos extremos del cable.
- Adquirir un equipo de medición como por ejemplo el Fluke 125 con capacidad de medir y analizar la calidad de la señal en buses industriales.
- Comprar los siguientes equipos para repuesto y pruebas:
    - 1 base para CPU TB511
    - 1cpu PM581
    - 1 base para terminal E/S TU515
    - 1 base para terminal E/S TU531
    - 1 Módulo AI523
    - 1 módulo DX522
    - 1 fuente de poder CP-S 24/5.0

- Cambiar la configuración de CPU desactivando la opción “Check battery” a off para no tener error de batería en el display, puesto que no se tiene instalada la batería.
- Adquirir una licencia actualizada del software de ingeniera de ABB para la programación de sus equipos.
- Planificar y realizar mantenimiento preventivo al PLC AC500 con todos sus componentes
- Leer el Manual de Operación y análisis del programa del Sistema a toda persona o técnico que intervenga en el equipo, puede ser para personal de Mtto. y metrología.
- Hacer uso del cable de programación TK501 y del software PS Control Builder disponible, para realizar revisiones en línea con el PLC de distintos inconvenientes, como por ejemplo corrección de valores mostrados en pantalla de temperaturas en sistema Scada.
- Realizar una copia del programa del Sistema tanto en las Unidades Fase AB y Fase C y almacenarlo en servidores o el software gestor de documentos que posee Celec Ep Hidropaute.

Capítulo 6: Bibliografía

[1] R. A. García, «Centrales Hidroeléctricas,» [En línea]. Available: http://thales.cica.es/rd/Recursos/rd99/ed99-0226-01/capitulo3.html#1. [Último acceso: 02 10 2014].

[2] Rincondelvago, «Central Hidroeléctrica,» [En línea]. Available: http://html.rincondelvago.com/central-hidroelectrica.html. [Último acceso: 01 10 2014].

[3] Universidad Centroamericana, «Centrales Hidroeléctricas,» [En línea]. Available: http://www.uca.edu.sv/facultad/clases/ing/m200018/doc1.pdf. [Último acceso: 02 10 2014].

[4] A. Richard, «Estudio y Diseño del control de sistema Oleo-dinámico para la Fase A/B en Hidropaute S.A.,» [En línea]. Available: http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/182/3/Capitulo2.pdf.

[5] Wikipedia, «Central Hidroeléctrica,» [En línea]. Available: http://es.wikipedia.org/wiki/Central_hidroel%C3%A9ctrica#Tipos_de_centrales_hidroel.C3.A9ctricas. [Último acceso: 01 10 2014].

[6] J. Roldan Viloria, Automatismos industriales: instalaciones eéctricas y automáticas, 1° ed., Madrid: Ediciones Paraninfo, 2011, p. 423.

[7] Taringa, «Controladores Lógicos Programables,» [En línea]. Available: http://www.taringa.net/posts/ciencia-educacion/9678139/Controladores-Logicos-Programables.html. [Último acceso: 14 03 2011].

[8] G. Ordoñez, «ARQUITECTURA DE LOS CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMABLES (PLC),» [En línea]. Available: http://www.oocities.org/gabrielordonez_ve/ARQUITECTURA_PLC.htm. [Último acceso: 27 10 2014].

[9] E. Mandado Perez, Autómatas Programables y Sistemas de Automatización, Segunda ed., Barcelona: Marcombo, 2009.

[10] ABB, «Control Systems Application and Knowledge Store,» [En línea]. Available: http://www402.abbext.com/DownloadFile.aspx?file=UserFiles/Answers201308/ABB-Ac500-Modbus.pdf&filename=ABB-Ac500-Modbus.pdf. [Último acceso: Enero 2014].

[11] P. Merced, «Mecatrónica ittoluca 2013,» 16 05 2013. [En línea]. Available: http://marcopablom.blogspot.com/2013/05/modbus-modbus-es-un-protocolo-de.html.

[12] Tecnologia digital del Bajio, «MODBUS parte III: ¿Qué es el MODBUS?,» [En línea]. Available: http://tecdigitaldelbajio.com/productos1/industria-del-gas/blog/27-modbus-parte-iii-que-es-el-modbus.html.

[13] WEG, «WEG Selección de Productos,» 12 2012. [En línea]. Available: http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-srw01-manual-de-la-comunicacion-modbus-rtu-10000521680-4.0x-manual-espanol.pdf.

[14] ABB, «AC500 Control Builder Plus PS501- Complete Spanish Documentation V2.3.0,» 04 11 2013. [En línea]. Available: http://www.abb.com/product/db0094db009472/03cb2e16fae27001c1257bdc004439a2.aspx.

[15] ABB, «System Description AC500. Hardware,» Heidelberg, 2006.

[16] ABB, «System Description AC500. System Technology of the Cpus,» 2005.

[17] ABB, «AC500 System Technology,» Heidelberg, 2007.

[18] Modbus Organization, «Modbus over Serial Line Protocol and Implementation Guide V1.02,» 20 12 2006. [En línea]. Available: http://www.modbus.org/docs/Modbus_over_serial_line_V1_02.pdf.

[19] ABB, «Software Description AC500 Function Block Libraries,» 2007.

[20] Modbus Organization, «Modbus Protocol Specification,» 26 04 2012. [En línea]. Available: http://www.modbus.org/docs/Modbus_Application_Protocol_V1_1b3.pdf.

[21] Wikipedia, «IEC 61131,» 23 02 2015. [En línea]. Available: http://es.wikipedia.org/wiki/IEC_61131.

[22] Conocimientos informáticos - kilbot.net , 17 12 2013. [En línea]. Available: http://www.kilbot.net/stag/formato-del-iec-60870-5-2/.

[23] Wikipedia, «IEC 60870,» 28 07 2013. [En línea]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/IEC_60870.

[24] Wikipedia, «Resistance thermometer,» 16 02 2015. [En línea]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Resistance_thermometer.

[25] D. Ibrahim, Microcontroller-based Temperature Monitoring and Control, Newnes, 2002, p. 260.

[26] ISA ORG, «ISA18, Instrument Signals and Alarms,» [En línea]. Available: https://www.isa.org/isa18/. [Último acceso: 31 03 2015].

[27] J. Lopez, «Monografias.com,» 2003. [En línea]. Available: http://www.monografias.com/trabajos-pdf4/normas-isa-5-1-controles-automaticos/normas-isa-5-1-controles-automaticos.pdf.

[28] A. Espinosa, Instrumentación Industrial, Cuarta ed., Alexsoft, 2012.

[29] Instrumentación y control., «La señal 4-20mA y su proporción a variables físicas,» 23 01 2011. [En línea]. Available: http://www.instrumentacionycontrol.net/cursos-libres/instrumentacion/curso-practico-de-instrumentacion/item/345-la-se%C3%B1al-4-20ma-y-su-proporci%C3%B3n-a-variables-fisicas-nunca-esta-de-mas-repasarlo.html.

[30] ABB, «Fuentes de alimentación CP-E, CP-S y CP-C,» [En línea]. Available: https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CB0QFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww08.abb.com%2Fglobal%2Fscot%2Fscot209.nsf%2Fveritydisplay%2F844171aad217d5bec125741d003ec3bd%2F%24file%2F1TXA114005B0701.pdf&ei=z8YQVf2xBtKH.

[31] ABB, «Software Description, 3S Software,» Kempten, 2007.

[32] G. Zoratti, «Gestion de alarmas,» 01 08 2014. [En línea]. Available: https://es.scribd.com/doc/235611005/Gestion-de-Alarmas.

[33] GIE Gruppo Industrie Elettro Meccaniche per implanti all'estero, «Proyecyo Hidroeléctrico Paute Fase C: Manual de instrucción Seccion 6, Tomo 1, Parte 3,» Milano.

[34] Universidad Nacional de Quilmes, «Ingenieria en automatizacion y control industrial,» 02 07 2008. [En línea]. Available: http://iaci.unq.edu.ar/materias/laboratorio2/HMI%5CIntroduccion%20HMI.pdf.

[35] ABB, «Terminales de operador,» 2015. [En línea]. Available: http://www.abb.com.ec/product/es/9AAC177473.aspx?country=EC.

[36] ABB, «CP600- Dispositivos , CP630,» [En línea]. Available:

] http://www.abb.com/product/db0094db009472/60ef8ab9f3bb2d66c1257c520025cb16.aspx?tabKey=2&gid=ABB1SAP530100R0001&cid=9AAC177489. [Último acceso: 30 03 2015].

[37] Wikipedia, «Mantenimiento,» [En línea]. Available: http://es.wikipedia.org/wiki/Mantenimiento#Tipos_de_mantenimiento.. [Último acceso: 27 03 2015].

[38] Renovetec, «Tipos de mantenimiento,» [En línea]. Available: http://www.renovetec.com/590-mantenimiento-industrial/110-mantenimiento-industrial/305-tipos-de-mantenimiento. [Último acceso: 27 03 2015].

[39] A. Nieves, Montaje y mantenimiento de los sistemas de control y regulación de parque eólico, Malaga: Vértice, 2011.

[40] N. Molinari, «Curso PLC,» [En línea]. Available: http://www.edudevices.com.ar/download/articulos/PLC/CURSO_PLC_007.pdf. [Último acceso: 27 03 2015].

[41] ABB, «Manual de primeros pasos, kit de iniciación AC500-eCo,» 01 2010. [En línea]. Available: http://www08.abb.com/global/scot/scot397.nsf/veritydisplay/a7fbb28dc49a3692c1257c22002e8de2/$file/Manual%20de%20primesos%20pasos_Kit%20de%20inicio%20AC500_eCo.pdf. [Último acceso: 29 03 2015].

ANEXOS.

Anexo1. Datos de sistema del AC500

Condiciones de funcionamiento y ambientales

Tensiones conforme a EN 61131-2		
24 V CC	Tensión de proceso y de alimentación	24 V CC (-15%, +20% sin rizado)
	Límites absolutos	19,2 V...30 V incluyendo rizado
	Rizado	< 5%
	Protección contra inversión de polaridad	10 s
120 V CA	Tensión de red	120 V CA (-15%, +10%)
	Frecuencia	47...62,4 Hz / 50...60 Hz (-6%, +4%)
230 V CA	Tensión de red	230 V CA (-15%, +10%)
	Frecuencia	47...62,4 Hz / 50...60 Hz (-6%, +4%)
120-240 V CA	Amplio rango de alimentación	
	Tensión de red	102...264 V / 120...240 V (-15%, +10%)
	Frecuencia	47...62,4 Hz / 50...60 Hz (-6%, +4%)
Interrupciones del suministro eléctrico permitidas conforme a EN 61131-2		
	Alimentación de CC	Interrupción < 10 ms, tiempo entre 2 interrupciones > 1 s, PS2
	Alimentación de CA	Interrupción < 0,5 ms, tiempo entre 2 interrupciones > 1 s

Importante: Si se supera el valor máximo (>30 V CC) de la tensión de proceso o de alimentación, el sistema podría sufrir daños irreparables. El sistema podría quedar inservible.

Temperatura		
	Funcionamiento	0 °C...+60 °C (instalación horizontal de los módulos) 0 °C...+40 °C (instalación vertical de los módulos y reducción de la carga de salida en un 50% por grupo)
	Almacenamiento	-40 °C ... +70 °C
	Transporte	-40 °C ... +70 °C
Humedad		Máx. 95%, sin condensación
Presión del aire		
	Funcionamiento	> 800 hPa / < 2000 m
	Almacenamiento	> 660 hPa / < 3500 m

Distancias y márgenes de descarga

Las distancias y márgenes de descarga cumplen los requisitos de la categoría de sobretensión II, grado de contaminación 2.

Tensiones en la prueba de aislamiento, prueba de rutina conforme a EN 61131-2

Circuitos de 230 V con respecto a los demás circuitos	2500 V	1,2/50 µs
Circuitos de 120 V con respecto a los demás circuitos	1500 V	1,2/50 µs
Circuitos de 120 V a 240 V con respecto a los demás circuitos	2500 V	1,2/50 µs
Circuitos de 24 V (alimentación, entradas/salidas de 24 V), si están aislados eléctricamente con respecto a los demás circuitos	500 V	1,2/50 µs

Interfaces COM, aisladas eléctricamente	500 V	1,2/50 µs
Interfaces COM, sin aislamiento eléctrico	No aplicable	No aplicable
Interfaz FBP	500 V	1,2/50 µs
Ethernet	500 V	1,2/50 µs
ARCNET	500 V	1,2/50 µs
Circuitos de 230 V con respecto a los demás circuitos	1350 V	CA 2 s
Circuitos de 120 V con respecto a los demás circuitos	820 V	CA 2 s
Circuitos de 120 V a 240 V con respecto a los demás circuitos	1350 V	CA 2 s
Circuitos de 24 V (alimentación, entradas/salidas de 24 V), si están aislados eléctricamente con respecto a los demás circuitos	350 V	CA 2 s
Interfaces COM, aisladas eléctricamente	350 V	CA 2 s
Interfaces COM, sin aislamiento eléctrico	No aplicable	No aplicable
Interfaz FBP	350 V	CA 2 s
Ethernet	350 V	CA 2 s
ARCNET	350 V	CA 2 s

Unidades de alimentación

Compatibilidad electromagnética

Protección	
Contra descargas electrostáticas (ESD)	Conforme a EN 61000-4-2, zona B, criterio B
Tensión electrostática en caso de descarga aérea	8 kV
Tensión electrostática en caso de descarga por contacto	4 kV, 6 kV en un armario de control cerrado [1])
ESD para los conectores de comunicación	Para evitar fallos en el funcionamiento es recomendable que el personal adopte medidas para reducir la tensión estática antes de tocar los conectores de comunicación con el fin de reducir los efectos de las descargas electrostáticas.
Sistema de desconexión de emergencia para los conectores de las bases de terminales	No deben tocarse los conectores que unen las bases de terminales y las CPU o los módulos de comunicaciones durante el funcionamiento. Esto es igualmente válido para el bus de E/S y todos los módulos conectados a éste.
Protección	
Contra la influencia de las radiaciones (radiaciones CW)	Conforme a EN 61000-4-3, zona B, criterio A
Intensidad de campo durante las pruebas	10 V/m
Protección	
Contra tensiones de interferencia transitorias (ráfagas)	Conforme a EN 61000-4-4, zona B, criterio B
Fuentes de alimentación (CA/CC)	4 kV
Entradas/salidas digitales (24 V CC)	2 kV
Entradas/salidas digitales (120/230 V CA)	2 kV
Entradas/salidas analógicas	1 kV
Bus de sistema CS31	2 kV
Interfaces serie RS-485 (COM)	2 kV
Interfaces serie RS-232 (COM, no para PM55x y PM56x)	1 kV
ARCNET	1 kV
FBP	1 kV
Ethernet	1 kV
Alimentación E/S, salida de CC	1 kV

Protección	
Contra la influencia de interferencias conducidas por cable (conducción CW)	Conforme a EN 61000-4-6, zona B, criterio A
Tensión de prueba	3 V zona B; también con 10 V
Sobrecargas	Conforme a EN 61000-4-5, zona B, criterio B
Alimentación de CC	1 kV MC* / 0,5 kV MD*
Alimentación de CC de E/S	0,5 kV MC* / 0,5 kV MD*
Buses apantallados	1 kV MC*
E/S de CA sin pantalla	2 kV MC* / 1 kV MD*
E/S analógicas, E/S de CC sin pantalla	1 kV MC* / 0,5 kV MD*
	* MC = Modo común, * MD = Modo diferencial
Radiación (radiointerferencia)	Conforme a EN 55011, grupo 1, clase A

[1]) Los requisitos más estrictos para las categorías de transporte se cumplen mediante medidas específicas adicionales (véase la documentación específica).

Datos mecánicos

Métodos de conexión/terminales	
Instalación	Horizontal
Nivel de protección	IP20
Carcasa	Conforme a UL 94
Resistencia a la vibración conforme a EN 61131-2	En los tres ejes 2 Hz...15 Hz, continua: 3,5 mm 15 Hz...150 Hz, continua: 1 g (valores mayores a petición)
Resistencia a la vibración con tarjeta de memoria SD insertada	15 Hz...150 Hz, continua: 1 g
Prueba de resistencia a golpes	En los tres ejes 15 g, 11 ms, semisinusoidal PM55x y PM56x a petición
Requisitos específicos de transporte	
Instalación de los módulos	
Guía DIN conforme a DIN EN 50022	35 mm, profundidad: 7,5 o 15 mm
Montaje con tornillos	Tornillos de 4 mm de diámetro
Par de apriete	1,2 N·m

© Copyright 2005-2013 ABB. All rights reserved. Documentation Revision V2.3.0 Date of issue: 2013-11-04

Anexo 2. CPU PM57X, PM58X, PM59X

Conexión de la tensión de alimentación de 24 V CC a la base de terminales de la CPU	Bloque de terminales desmontable de 5 polos con conexión de resorte
Intensidad con 24 V CC	PM57x:50 mA PM57x-ETH:110 mA
	PM58x50 mA PM58x-ETH:110 mA PM58x-ARCNET:110 mA
	PM59x:90 mA PM59x-ETH:150 mA PM59x-ARCNET:150 mA
Intensidad de entrada con 24 V CC	PM57x, PM58x y PM59x (todas las variantes):1 A^2s *)
Disipación de potencia máxima en el módulo	10 W
Ranuras de las bases de terminales	TB511:1 CPU, 1 módulo de comunicaciones
	TB521:1 CPU, 2 módulos de comunicaciones
	TB541:1 CPU, 4 módulos de comunicaciones
Interfaces de CPU de las bases de terminales	Bus de E/S, COM1, COM2, FBP
Interfaces de red de la CPU de las bases de terminales	TB5xx-ETH / PM5xx-ETH:Ethernet
	TB5xx-ARCNET / PM5xx-ARCNET:ARCNET
Sistema de conexión	Véase Sistema de conexión
Dimensiones	Véanse los Datos de sistema del AC500 para más detalles
Anchura x altura x profundidad	TB511 con CPU:95,5 x 135 x 75 mm
	TB521 con CPU:123,5 x 135 x 75 mm
	TB541 con CPU:179,5 x 135 x 75 mm
Peso (CPU sin base de terminales)	PM571:135 g PM571-ETH:150 g
	PM581:135 g PM581-ETH:150 g PM581-ARCNET:160 g
	PM582:135 g PM582-ETH:150 g
	PM59x:135 g PM59x-ETH:150 g PM59x-ARCNET:160 g
Posición de instalación	Horizontal o vertical con derrateo (reducción de la carga de salida en un 50 , reducción de la temperatura a 40 °C)

*1) La integral de fusión de la CPU depende de su fuente de alimentación integrada, del número y el tipo de módulos de comunicaciones y de los módulos de E/S conectados a los buses de E/S.

Datos detallados de las CPU

CPU	**PM571**	**PM571-ETH**	**PM572**	**PM573-ETH (R0271)**	**PM58x**	**PM58x-ETH**	**PM581-ARCNET**	**PM583-ETH**	**PM59x**	**PM59x-ETH**	**PM59x-ARCNET**	**PM59x-ETH (R0271)**
Memoria del programa EPROM	64 Kb		128 KB	512 kB	PM581:256 kB PM582:512 kB			1024 kB	PM590:2048 kB PM591/PM592:4096 kB			

Flash y RAM							
Memoria integrada para datos	28 kB, incl. 12 kB guardados	128 kB, incl. 12 kB guardados	512 kB, incl. 288 kB guardados	416 kB, incl. 288 kB guardados	1024 kB, incl. 288 kB guardados	PM590:2560 kB, PM591:3584 kB, incl. 1536 kB guardados	PM590:3072 kB, PM591/592:5632 kB, incl. 1536 kB guardados
Memoria ampliable	Ninguna						
Memoria de almacenamiento masivo integrada	Ninguna						PM592-ETH:Disco de memoria flash de 4 GB
Tarjeta de memoria SD extraíble para: - Almacenamiento de datos de usuario - Almacenamiento de programas - Actualización de firmware	x						
Tiempo de ciclo para 1 instrucción - Binarias - Palabra - Punto flotante	mín. 0,06 µs mín. 0,09 µs mín. 0,70 µs			mín. 0,05 µs mín. 0,06 µs mín. 0,50 µs		mín. 0,002 µs mín. 0,004 µs mín. 0,004 µs	
N.º máx. de entradas y salidas centrales (hasta	224 168 112 112			224 168 112 112		224 168 112 112	

7 módulos de ampl.): - Entradas digitales - Salidas digitales - Entradas analógicas - Salidas analógicas			
N.º máx. de entradas y salidas centrales (10 módulos de ampl.): *) - Entradas digitales - Salidas digitales - Entradas analógicas - Salidas analógicas320 240 160 160		320 240 160 160	320 240 160 160
Número de entradas y salidas descentralizadas	depende del bus de campo utilizado (como ejemplo para el bus CS31: hasta 31 estaciones con un máximo de 120 entradas digitales/120 salidas digitales cada una)		
Copia de seguridad de	Pila		

datos												
Tiempo de conservación de datos a 25 ºC	Aprox. 3 años											
Indicación de pila baja	Aviso emitido unas dos semanas antes de que la pila se encuentre a un nivel demasiado bajo											
Reloj de tiempo real - con respaldo de la pila	X											
Ejecución de programas - cíclica - controlada por tiempo - multitarea	x x x											
Protección del programa de usuario mediante contraseña	X											
Interfaz serie COM1 - Enlace físico: - Conexión: - Uso:	configurable para RS-232 o RS-485 (de 0,3 a 187,5 kB/s) bloque terminales extraíble, conexión de resorte para programación, como Modbus (maestro/esclavo), como comunicación ASCI serie, como maestro CS31											
Interfaz serie COM2 - Enlace físico: - Conexión: - Uso:	configurable para RS-232 o RS-485 (de 0,3 a 187,5 kb/s) conector SUB-D para programación, como Modbus (maestro/esclavo), como módulo de comunicaciones Comunicación ASCII											
serie integrado, ETH =	-	ETH	-	ETH integrado con	-	ETH	ARCNET	ETH integrado con	-	ETH	ARCNET	ETH integrado con

Ethernet RJ45 ARCNET = ARCNET BNC				servidor web, SNTP y protocolo IEC60870-5-104				servidor web, SNTP y protocolo IEC60870-5-104				servidor web, SNTP y protocolo IEC60870-5-104
Número de módulos de comunicaciones externos	hasta cuatro módulos de comunicaciones como PROFIBUS® DP, Ethernet, CANopen®, DeviceNet™.No hay ninguna restricción en cuanto a los tipos de módulo de comunicaciones y las combinaciones de éstos (p. ej., es posible conectar hasta cuatro módulos de comunicaciones PROFIBUS® DP)											
LED, pantalla LCD, 8 teclas de función	Para marcha/paro, indicación de estado y diagnóstico											
Número de temporizadores	Ilimitado											
Número de contadores	Ilimitado											
Lenguajes de programación - Lista de instrucciones IL - Diagrama de bloques de función FBD - Diagrama de escalera LD - Función secuencial Gráfica SFC - Gráfica de función continu	X X X X X			X X X X X				X X X X X				

a (CFC)			
Certific aciones	CE, GL, DNV, BV, RINA, LRS, CUL		

***)** hasta siete unidades de terminales de E/S anteriores a la V1.2 de PS501 y firmware de la CPU anterior a V1.2.0

Información de pedido

Cód. de pedido	**Descripción del artículo**	**Estado del ciclo de vida del producto**
CPU		
1SAP 130 100 R0200	PM571, CPU, memoria de 64 kB, 24 V CC, ranura para tarjeta de memoria, interfaces RS-232/485 (programación, Modbus/CS31) x 2, FBP x 1, pantalla	Clásico *)
1SAP 130 100 R0270	PM571-ETH, CPU, memoria de 64 kB, 24 V CC, ranura para tarjeta de memoria, 2 interfaces RS-232/485 (programación, Modbus/CS31), 1 FBP, pantalla, módulo de comunicaciones Ethernet TCP/IP integrado	Clásico *)
1SAP 130 200 R0200	PM572, CPU, memoria de 128 kB, 24 V CC, ranura para tarjetas de memoria, 2 interfaces RS-232/485 (programación, Modbus/CS31), 1 FBP, pantalla	Active
1SAP 130 300 R0271	PM573-ETH, CPU, memoria de 512 kB, 24 V CC, ranura para tarjetas de memoria, 2 interfaces RS-232/485 (programación, Modbus/CS31), 1 FBP, pantalla, servidor web Ethernet TCP/IP integrado, SNTP, protocolos IEC60870-5-104	Active
1SAP 330 300 R0271	PM573-ETH, CPU, memoria de 512 kB, 24 V CC, ranura para tarjetas de memoria, 2 interfaces RS-232/485 (programación, Modbus/CS31), 1 FBP, pantalla, Ethernet TCP/IP integrado con servidor web, SNTP, protocolos IEC60870-5-104, versión XC	Active
1SAP 140 100 R0200	PM581, CPU, memoria de 256 kB, 24 V CC, ranura para tarjeta de memoria, interfaces RS-232/485 (programación, Modbus/CS31) x 2, FBP x 1, pantalla	Clásico *)
1SAP 140 100 R0260	PM581-ARCNET, CPU, memoria de 256 kB, 24 V CC, ranura para tarjetas de memoria, 2 interfaces RS-232/485 (programación, Modbus/CS31), 1 FBP, pantalla, módulo de comunicaciones ARCNET integrado	Clásico *)
1SAP 140 100 R0270	PM581-ETH, CPU, memoria de 256 kB, 24 V CC, ranura para tarjeta de memoria, 2 interfaces RS-232/485 (programación, Modbus/CS31), 1 FBP, pantalla, módulo de comunicaciones Ethernet TCP/IP integrado	Clásico *)
1SAP 140 200 R0200	PM582, CPU, memoria de 512 kB, 24 V CC, ranura para tarjetas de memoria, 2 interfaces RS-232/485 (programación, Modbus/CS31), 1 FBP, pantalla	Clásico *)
1SAP 140 200 R0201	PM582, CPU, memoria de 512 kB, 24 V CC, ranura para tarjetas de memoria, 2 interfaces RS-232/485 (programación, Modbus/CS31), 1 FBP, pantalla	Active
1SAP 340 200 R0201	PM582-XC, CPU, memoria de 512 kB, 24 V CC, ranura para tarjeta de memoria, 2 interfaces RS-232/485 (programación, Modbus/CS31), 1 FBP, pantalla, versión XC	Active
1SAP 140 200 R0270	PM582-ETH, CPU, memoria de 256 kB, 24 V CC, ranura para tarjeta de memoria, 2 interfaces RS-232/485 (programación, Modbus/CS31), 1 FBP, pantalla, módulo de comunicaciones Ethernet TCP/IP integrado	Clásico *)
1SAP 140 300 R0271	PM583-ETH, CPU, memoria de 1.024 kB, 24 V CC, ranura para tarjetas de memoria, 2 interfaces RS-232/485 (programación, Modbus/CS31), 1 FBP, pantalla, servidor web Ethernet TCP/IP integrado, SNTP, protocolos IEC60870-5-104	Active
1SAP 340 300 R0271	PM583-ETH-XC, CPU, memoria de 1024 kB, 24 V CC, ranura para tarjetas de memoria, 2 interfaces RS-232/485 (programación, Modbus/CS31), 1 FBP, pantalla, Ethernet TCP/IP integrado con servidor web, SNTP, protocolos IEC60870-5-104, versión XC	Active
1SAP 150	PM590, CPU, memoria de 2 MB, 24 V CC, ranura para tarjeta de	Clásico *)

000 R0200	memoria, interfaces RS-232/485 (programación, Modbus/CS31) x 2, FBP x 1, pantalla	
1SAP 150 000 R0260	PM590-ARCNET, CPU, memoria de 2 MB, 24 V CC, ranura para tarjetas de memoria, 2 interfaces RS-232/485 (programación, Modbus/CS31), 1 FBP, pantalla, módulo de comunicaciones ARCNET integrado	Clásico *)
1SAP 150 000 R0270	PM590-ETH, CPU, memoria de 2 MB, 24 V CC, ranura para tarjeta de memoria, 2 interfaces RS-232/485 (programación, Modbus/CS31), 1 FBP, pantalla, módulo de comunicaciones Ethernet TCP/IP integrado	Clásico *)
1SAP 150 000 R0271	PM590-ETH, CPU, memoria de 2 MB, 24 V CC, ranura para tarjetas de memoria, 2 interfaces RS-232/485 (programación, Modbus/CS31), 1 FBP, pantalla, servidor web Ethernet TCP/IP integrado, SNTP, protocolos IEC60870-5-104	Active
1SAP 150 100 R0200	PM591, CPU, memoria de 4 MB, 24 V CC, ranura para tarjeta de memoria, interfaces RS-232/485 (programación, Modbus/CS31) x 2, FBP x 1, pantalla	Clásico *)
1SAP 150 100 R0260	PM591-ARCNET, CPU, memoria de 4 MB, 24 V CC, ranura para tarjetas de memoria, 2 interfaces RS-232/485 (programación, Modbus/CS31), 1 FBP, pantalla, módulo de comunicaciones ARCNET integrado	Clásico *)
1SAP 150 100 R0270	PM591-ETH, CPU, memoria de 4 MB, 24 V CC, ranura para tarjeta de memoria, 2 interfaces RS-232/485 (programación, Modbus/CS31), 1 FBP, pantalla, módulo de comunicaciones Ethernet TCP/IP integrado	Clásico *)
1SAP 150 100 R0271	PM591-ETH, CPU, memoria de 4 MB, 24 V CC, ranura para tarjetas de memoria, 2 interfaces RS-232/485 (programación, Modbus/CS31), 1 FBP, pantalla, servidor web Ethernet TCP/IP integrado, SNTP, protocolos IEC60870-5-104	Active
1SAP 350 100 R0271	PM591-ETH-XC, CPU, memoria de 4 MB, 24 V CC, ranura para tarjetas de memoria, 2 interfaces RS-232/485 (programación, Modbus/CS31), 1 FBP, pantalla, Ethernet TCP/IP integrado con servidor web, SNTP, protocolos IEC60870-5-104, versión XC	Active
1SAP 150 200 R0271	PM592-ETH, CPU, memoria de 4 MB/disco de memoria flash de 4 GB, 24 V CC, ranura para tarjetas de memoria, 2 interfaces RS-232/485 (programación, Modbus/CS31), 1 FBP, pantalla, Ethernet TCP/IP integrado con servidor web, SNTP, protocolos IEC60870-5-104	Active
1SAP 350 200 R0271	PM592-ETH-XC, CPU, memoria de 4 GB/disco de memoria flash de 4 GB, 24 V CC, ranura para tarjetas de memoria, 2 interfaces RS-232/485 (programación, Modbus/CS31), 1 FBP, pantalla, Ethernet TCP/IP integrado con servidor web, SNTP, protocolos IEC60870-5-104, versión XC	Active
Accesorios		
1SAP 180300R0001	TA521, pila de litio	
1SAP 180100R0001	MC502, tarjeta de memoria SD	
1SAP 180200R0001	TK501, cable de programación SUB-D / SUB-D, longitud:5 m	
1SAP 180 200 R0101	TK502, cable de programación, bloque de terminales/SUB-D, longitud:5 m	
1TNE 968 901 R1100	TK503, cable de programación USB / SUB-D (RS-485), longitud: 3 m	
1SAP 180800R0001	TA526, accesorio para instalación en la pared	
Bases de terminales		
Para información de pedido sobre las bases de terminales, véase el capítulo Bases de terminales de CPU TB511 a TB541 - Información de pedido		

*) Éstas CPU no deben utilizarse para la planificación o la puesta en funcionamiento de nuevas instalaciones.

NOTA	Las CPU PM57x-ETH, PM58x-ETH y PM59x-ETH con cód. de pedido1SAPxxxxxxR0271 pueden utilizarse únicamente con bases de terminales cuyo cód. de pedido sea1SAPxxxxxxR0270.

© Copyright 2005-2013 ABB. All rights reserved. Documentation Revision V2.3.0 Date of issue: 2013-11-04

Anexo 3. Datos técnicos generales módulos de comunicación

	CM572-DP	**CM574-RCOM**	**CM574-RS**	**CM575-DN**	**CM577-ETH**	**CM578-CN**	**CM588-CN**	**CM579-ETHCAT**	**CM579-PNIO**
Bus de campo	PROFIBUS® DP	RCOM/RCOM+	Serie (ASCII/Modbus)	DeviceNet™	2 x Ethernet	CANopen®	CANopen®	EtherCAT®	PROFINET®
Velocidad de transmisión	9,6 kb/s a 12 Mb/s		9,6 kb/s a 187,5 kb/s	125 kb/s 250 kb/s 500 kb/s	10 Mb/s o 100 Mb/s	10 kb/s a 1 Mb/s	10 kb/s a 1 Mb/s	10 Mb/s o 100 Mb/s	10 Mb/s o 100 Mb/s
Conector de bus de campo	D-SUB, 9 polos, hembra, capsular	MC 0.5/9-G-2.5, 9 polos, macho	MC 0.5/9-G-2.5, 9 polos, macho	COMBICON 5 polos, capsular	2 x RJ45	COMBICON 5 polos, capsular	COMBICON 5 polos, capsular	2 x RJ45	2 x RJ45
Procesador	EC1, 160 pines								
Frecuencia de reloj	48 MHz								
Temperatura ambiente	0 °C...55 °C								
Interfaz del módulo de comunicaciones	Memoria de puerto dual, 8 kB								
Consumo de corriente de la fuente de alimentación de 24 V CC en la base de terminales de la CPU	hab. 50 mA	hab. 80 mA	hab. 80 mA	hab. 50 mA	hab. 85 mA	hab. 50 mA	hab. 50 mA	hab. 150 mA	hab. 150 mA
Memoria RAM interna (EC1)	256 kB		256 kB	256 kB	256 kB	256 kB	256 kB		
Memoria	-		-	-	2 x 128	-	-		

RAM externa					kB (para la opción de servidor web)				
Memoria flash externa	512 kB (firmware)		512 kB (firmware) + 2 x 64 kB (datos de usuario)	512 kB (firmware)	512 kB (firmware), 2 MB (para la opción de servidor web)	512 kB (firmware)	512 kB (firmware)		
Indicación de estado	PWR, RDY, RUN, STA, ERR	PWR, RDY, RUN, STA, ERR	PWR, RDY, RUN, STA, ERR	PWR, RDY, RUN, NET, MOD	PWR, RDY, RUN, STA, ERR, 2 x LINK, 2 x ACT	PWR, RDY, RUN, STA, ERR	PWR, RDY, RUN, CAN-RUN, CAN-ERR	PWR, RDY, RUN, STA, ERR	PWR, RDY, RUN, STA, ERR
Peso	150 g								

Anexo 4. Principales características de módulos de E/S digitales

TIPO	AX521	AX522	AI523	AO523	AI531
Número de Canales por módulo					
Entradas analógicas (AI), configuración individual	4	8	16	-	8
Salidas analógicas (AO), configuración individual	4	8	-	16	-
Resolución de señal para configuración del canal					
-10 V … + 10 V	12 bits + signo				15 bits + signo
0 … 10 V	12 bits				15 bits
0 … 20 mA, 4 … 20 mA	12 bits				15 bits
Entradas Analógicas (AI)					
0 … 10 V	4/4	8/8	16/16	-	8/8
-10 V … + 10 V	4/4	8/8	16/16	-	8/8
0 … 20 mA	4/4	8/8	16/16	-	8/8
4 … 20 mA	4/4	8/8	16/16	-	8/8
PT100					
-50°C … +400°C (2 hilos)	4/4	8/8	16/16		8/8
-50°C … +400°C (3 hilos), 2 canales	4/2	8/4	16/8	-	8/8
-50°C … +400°C (4 hilos)	-	-	-	-	8/8
-50°C … +70°C (2 hilos)	4/4	8/8	16/16		8/8
-50°C … +70°C (3 hilos), 2 canales	4/2	8/4	16/8	-	8/8
PT1000					
-50°C … +400°C (2 hilos)	4/4	8/8	16/16		8/8
-50°C … +400°C (3 hilos), 2 canales	4/2	8/4	16/8	-	8/8
-50°C … +400°C (4 hilos)	-	-	-	-	8/8
NI1000					
-50°C … +150°C (2 hilos)	4/4	8/8	16/16		8/8
-50°C … +150°C (3 hilos), 2 canales	4/2	8/4	16/8	-	8/8
-50°C … +150°C (4 hilos)	-	-	-	-	8/8
Termopares tipo J, K, T, N, S	-	-	-	-	•
Señales digitales (entradas digitales)	4/4	8/8	16/16	-	8/8
Resistencia por entrada de canal	Tensión: > 100 kΩ; corriente: aprox. 330 Ω			-	Tensión: >100 kΩ Corriente: aprox. 330 Ω
Ciclo de conversión	2 ms (por 8 AI + 8 AO), 1s (Pt/Ni)…			-	1ms(para 8AI + 8AO), 1s (en Pt/Ni)…
Protección contra sobretensión	•	•	•	–	•
Datos del uso del AI como entrada digital					
Tiempo de retardo de entrada	Típico de 8 ms, configurable de 0.1 a 32 ms			-	Típico de 8 ms, Configurable de 0.1 a 32 ms
Tensión de la señal de entrada	24 V CC			-	24 V CC
Señal 0	- 30 V … + 5 V			-	- 30 V … + 5 V
Señal 1	+13 V … +30 V			-	+13 V … +30 V
Salidas Analógicas (SA)					
-10 V … +10 V	4	8	-		16
0 … 20 mA	4	4	-		8
4 … 20 mA	4	4	-		8
Resistencia de salida (carga). Como salida de corriente	0 … 500 Ω		-	0 … 500Ω	-
Capacidad de carga de salida como salida de tensión	± 10 mA máx.		-	± 10 mA máx.	-
Tensión de proceso UP					
Tensión nominal	24 VCC	24 VCC	24 VCC	24 VCC	24 VCC
Rizado máximo	5%	5%	5%	5%	5%
Protección contra inversión de polaridad	•	•	•	•	•
Longitud máx. de los cables analógicos, sección > 0.14 mm^2	100				

Anexo 5. Principales características de módulos de E/S analógicos

TIPO	AX521	AX522	AI523	AO523	AI531
Número de Canales por módulo					
Entradas analógicas (AI), configuración individual	4	8	16	-	8
Salidas analógicas (AO), configuración individual	4	8	-	16	-
Resolución de señal para configuración del canal					
-10 V … + 10 V	12 bits + signo				15 bits + signo
0 … 10 V	12 bits				15 bits
0 … 20 mA, 4 … 20 mA	12 bits				15 bits
Entradas Analógicas (AI)					
0 … 10 V	4/4	8/8	16/16	-	8/8
-10 V … + 10 V	4/4	8/8	16/16	-	8/8
0 … 20 mA	4/4	8/8	16/16	-	8/8
4 … 20 mA	4/4	8/8	16/16	-	8/8
PT100					
-50°C … +400°C (2 hilos)	4/4	8/8	16/16		8/8
-50°C … +400°C (3 hilos), 2 canales	4/2	8/4	16/8	-	8/8
-50°C … +400°C (4 hilos)	-	-	-	-	8/8
-50°C … +70°C (2 hilos)	4/4	8/8	16/16		8/8
-50°C … +70°C (3 hilos), 2 canales	4/2	8/4	16/8	-	8/8
PT1000					
-50°C … +400°C (2 hilos)	4/4	8/8	16/16		8/8
-50°C … +400°C (3 hilos), 2 canales	4/2	8/4	16/8	-	8/8
-50°C … +400°C (4 hilos)	-	-	-	-	8/8
NI1000					
-50°C … +150°C (2 hilos)	4/4	8/8	16/16		8/8
-50°C … +150°C (3 hilos), 2 canales	4/2	8/4	16/8	-	8/8
-50°C … +150°C (4 hilos)	-	-	-	-	8/8
Termopares tipo J, K, T, N, S	-	-	-	-	•
Señales digitales (entradas digitales)	4/4	8/8	16/16	-	8/8
Resistencia por entrada de canal	Tensión: > 100 kΩ; corriente: aprox. 330 Ω			-	Tensión: >100 kΩ Corriente: aprox. 330 Ω
Ciclo de conversión	2 ms (por 8 AI + 8 AO), 1s (Pt/Ni)…			-	1ms(para 8AI + 8AO), 1s (en Pt/Ni)…
Protección contra sobretensión	•	•	•	–	•
Datos del uso del AI como entrada digital					
Tiempo de retardo de entrada	Típico de 8 ms, configurable de 0.1 a 32 ms			-	Típico de 8 ms, Configurable de 0.1 a 32 ms
Tensión de la señal de entrada	24 V CC			-	24 V CC
Señal 0	- 30 V … + 5 V			-	- 30 V … + 5 V
Señal 1	+13 V … +30 V			-	+13 V … +30 V
Salidas Analógicas (SA)					
-10 V … +10 V	4	8	-		16
0 … 20 mA	4	4	-		8
4 … 20 mA	4	4	-		8
Resistencia de salida (carga). Como salida de corriente	0 … 500 Ω		-	0 … 500Ω	-
Capacidad de carga de salida como salida de tensión	± 10 mA máx.		-	± 10 mA máx.	-
Tensión de proceso UP					
Tensión nominal	24 VCC	24 VCC	24 VCC	24 VCC	24 VCC
Rizado máximo	5%	5%	5%	5%	5%
Protección contra inversión de polaridad	•	•	•	•	•
Longitud máx. de los cables analógicos, sección > 0.14 mm^2	100				

Anexo 6. Principales características Unidades Terminales de E/S

Número de canales por módulo	32
Distribución de los canales en grupos	4 grupos de 8 canales cada uno (1.0...1.7, 2.0...2.7, 3.0...3.7, 4.0...4.7); la asignación de los canales viene determinada por el módulo de ampliación de E/S insertado
Tensión nominal	24 V CC
Intensidad total máx. permitida	10 A (entre los terminales 1.8...4.8 y 1.9...4.9)
Conexión a tierra	Conexión directa a la riel DIN (conectada a tierra) o mediante los tornillos si se instala en la pared
Terminales de tornillo	
Tipo	Terminal frontal, conexión vertical del conductor con respecto a la tarjeta de circuitos impreso
Nivel de protección	IP20
Extremo pelado del conductor	9mm, min 8 mm
Par de apriete	0,6 Nm
Herramienta necesaria	Destornillador plano
Terminales de resorte	
Tipo	Terminal frontal, conexión vertical del conductor con respecto a la tarjeta de circuitos impreso
Nivel de protección	IP20
Extremo pelado del conductor	9mm, min 8 mm
Par de apriete	0,6 Nm
Herramienta necesaria	Destornillador plano

Anexo 7 Terminales de operador Gama CP600

		CP620 CP620-WEB	CP630 CP630-WEB	CP635 CP635-WEB	CP650 CP650-WEB	CP660 CP660-WEB	CP675 CP675-WEB
Pantalla							
Diámetro exacto	pulg.	4.3 panorámica	5.7	7 panorámica	10.4	12.1	15
Resolución	píxeles	480 x 272	320 x 240	800 x 480	800 x 600	800 x 600	1024 x 768
Tipo de pantalla		TFT color					
Material de la pantalla táctil		cristal con película de plástico					
Tipo de pantalla táctil		analógica resistiva					
Colores		64K					
Tipo de luz de fondo		LED				CCFL	
Vida útil luz de fondo	h	tip. 40 000 a 25 °C			tip. 50 000 a 25 °C		
Brillo	cd/m²	150	200	300			
Carcasa							
Clase de protección frontal		IP 66					
Clase de protección posterior		IP 20					
Material frontal		zamak			aluminio		
Material posterior		zamak	aluminio				
Recursos del sistema							
Tipo de procesador	MHz	ARM Cortex A8 - 600			MIPS-FPU - 600		
Sistema operativo, versión		Microsoft Windows CE 6.0					
Software HMI		PB610 Panel Builder 600					
Tecnología OPC		sí					
Visualización web CoDeSys		sí					
Tipo de memoria de usuario, capacidad	MB	Disco Flash 128					
Tipo de RAM, capacidad	MB	256 DDR					
Interfaces							
Número de puertos Ethernet, tipo		2 - 100 Mbits (con función de conmutador integrado)			1 - 10/100 Mbits		
Número de puertos USB, tipo		1 - interfaz tipo host, versión 2.0	2 - interfaz tipo host, versión 2.0	2 - interfaz tipo host, versión 2.0	1 - interfaz tipo host, versión 2.0		
Número de puertos serie, tipo		1 - RS-232, RS-485, RS-422, configurables por software			2 - RS-232, RS-485, RS-422, configurables por software		
Número de puertos adicionales, tipo		1 - ranura de expansión para módulos opcionales	2 - ranura de expansión para módulos opcionales	2 - ranura de expansión para módulos opcionales	1 - puerto aux.		
Número de ranuras para tarjeta, tipo		1 - ranura para tarjeta SD					
Módulos enchufables opcionales, tipo		módulos de bus de campo y controladores opcionales; conectados a la ranura de expansión (en preparación)			módulos de bus de campo y controladores opcionales; conectados al puerto aux. (en preparación)		
Tensión de alimentación nominal + tol.	V CC	24 (18 a 30)					
Consumo	A	0.4	0.7	0.7	1.0	1.1	1.2
Tipo de pila		pila de litio recargable, no puede sustituirla el usuario					
Peso	kg	aprox 1.0	aprox. 1.3	aprox. 1.3	aprox. 2.1	aprox. 2.8	aprox. 3.4
Sección frontal (An x Al)	mm	149 x 100	187 x 147	187 x 147	287 x 232	337 x 287	392 x 307
Sección de corte (An x Al)	mm	136 x 96	176 x 136	176 x 136	276 x 221	326 x 258	381 x 298
Condiciones ambientales							
Temperatura de servicio	°C	0 a 50					
Humedad rel. de servicio	%	del 5 al 85%, sin condensación					
Temperatura de almacenamiento	°C	-20 a 70					
Humedad rel. de almacenamiento	%	del 5 al 85%, sin condensación					

Para la gama entera:

- Gráficos vectoriales
- Objetos dinámicos (tipos)
- Fuentes True Type
- Comunicación entre varios drivers: 2
- Capacidad Unicode
- Juegos de caracteres para chino
- Capacidad multidioma
- Cambio de idioma durante la ejecución
- Recetas (capacidad): almacenamiento en memoria Flash limitado solamente por la memoria disponible
- Alarmas
- Obtención + capacidad de datos: almacenamiento en memoria Flash limitado solamente por la memoria disponible
- Presentación + capacidad de tendencias: almacenamiento en memoria Flash limitado solamente por la memoria disponible
- Lista de eventos históricos
- Usuarios/contraseñas
- Reloj en tiempo real de hardware con pila
- Salvapantallas
- Integración en CoDeSys
- Certificaciones: RoHS, (cUL), (DNV), (C-Tick)