UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE CONCEPCIÓN - REY BALDUINO DE BÉLGICA

DISEÑO DE UN SISTEMA DE MONITOREO DE CALIDAD DE AIRE INTERIOR Y CONTROL DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN EN UN SUBMARINO CONVENCIONAL

Trabajo de Titulación para optar al Título de Ingeniero de Ejecución en CONTROL E INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL

Alumno:
Rodrigo Andrés Olate Vergara

Profesor Guía:
Nelson Vásquez Concha

2018

DEDICATORIA

El presente trabajo de título está dedicado a mis padres de quienes recibí la educación más importante como es la del hogar y la inquietud de siempre tratar de mejorar.

A mis amigos y compañeros Cesar Morales y Gabriel Villalobos con quienes logre formar un excelente grupo humano durante el transcurso de esta carrera.

A mis profesores por la vocación demostrada y en especial a mi profesor guía el Sr. Nelson Vásquez por su constante apoyo y disposición para responder inquietudes.

Y sobre todo a mi esposa Paulina San Martín y a mis hijas Isabel y Amanda quienes comprendieron cada vez que tuve que ausentarme de actividades familiares, por apoyarme y ser la voz de aliento cada vez que necesite fuerzas para seguir adelante.

RESUMEN

Este trabajo de título está orientado a mejorar algo tan importante como el monitoreo de la calidad del aire interior y en especial el cálculo utilizado para determinar en cuánto tiempo se alcanzaran los niveles permisibles de oxígeno y dióxido de carbono al interior de un submarino convencional, además se busca satisfacer la necesidad de automatizar el sistema de ventilación con el propósito de disminuir los tiempos de operación.

Los tópicos del presente texto tendrán el siguiente orden:

En el capítulo uno se describe el problema que existe en algunos submarinos convencionales del orbe, mencionando a grandes rasgos los métodos utilizados comúnmente para efectuar proyecciones de tiempo y la importancia de operar las válvulas del sistema de ventilación de manera oportuna.

En el segundo capítulo se plantean los objetivos generales que son: “Diseñar un sistema de monitoreo con el propósito de centralizar la información referente a la calidad del aire en un submarino convencional” y “Proveer un control centralizado para las distintas configuraciones de las válvulas del sistema de ventilación a bordo de un submarino convencional”.

En el tercer capítulo se profundizan en los contenidos referentes a los tipos de sensores existentes, los actuadores y su funcionamiento, y los principales métodos de comunicación industrial con el propósito de contar con los conocimientos previos para evaluar la mejor solución a los problemas presentados.

El capítulo número cuatro abarca los elementos utilizados para brindar la solución.

En el capítulo número cinco se mencionan las consideraciones que se deben tener como requisitos mínimos al momento de analizar y definir la programación lógica para la solución presentada.

En el capítulo número seis se explica de manera muy detallada la programación lógica utilizada y las funciones que cumplen cada uno de los bloques.

Por ultimo llegamos a la conclusión donde se ve reflejada la importancia de adoptar una solución de este tipo y ampliarlo en la medida de lo posible con el propósito de mejorar aspectos de seguridad de las personas que desempeñan funciones al interior de los submarinos.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN 1

CAPITULO I 2

1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA 2

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA. 3

1.2 ALCANCES 5

1.3 LÍMITES 5

CAPITULO II 6

2. OBJETIVOS 6

2.1 OBJETIVOS GENERALES 7

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 7

CAPITULO III 8

3. MARCO TEÓRICO 8

3.1 DETECTORES DE GASES 9

3.1.1 Principio de los sensores electroquímicos 9

3.1.2 Principio de los sensores catalíticos 10

3.1.3 Principio de los sensores infrarrojo 13

3.1.4 Principio de sensores de difusión controlada 15

3.2 ACTUADORES 17

3.2.1 Actuadores mecánicos 18

3.2.2 Actuadores eléctricos 18

3.3 PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN 19

3.3.1 Profibus 20

3.3.2 Capa física 21

3.3.3 Especificación de los cables 22

3.3.4 Fieldbus foundation 23

3.3.5 Modbus 23

3.3.6 DeviceNet 23

3.3.7 Profinet 24

3.3.8 Hart 26

3.4 TRANSMISIÓN DE DATOS 27

3.4.1 Formas de transmisión de datos 27

3.4.2 Medios de transmisión industrial 27
3.4.3 Interfaz RS-232 28
3.4.4 Interfaz RS-485 28
3.4.5 Terminadores de bus 29
CAPITULO IV 30
4. ELEMENTOS UTILIZADOS 30
4.1 SENSOR DRÄGER POLYTRON 7000 31
4.2 SENSOR DRÄGER POLYTRON IR CO_2. 32
4.3 SENSOR MSA SERIE ULTIMAX XE. 33
4.4 MÓDULO GIRATORIO FESTO DSM-FW 63 33
4.5 VÁLVULA DE CONTROL DE 4/2 VÍAS. 34
4.6 AUTÓMATA 35
4.6.1 PLC siemens S7-1200 35
4.6.2 Módulo SM 1223 36
4.6.3 Módulo SM 1231 AI 36
4.6.4 Módulo PM 1207 37
CAPITULO V 38
5. CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO 38
5.1 MONITOREO DE LA CALIDAD DE AIRE INTERIOR 39
5.2 CONTROL DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN 39
5.2.1 Submarino navegando sumergido 40
5.2.2 Submarino navegando sumergido cargando baterías 40
5.2.3 Submarino en puerto 40
5.2.4 Submarino en puerto cargando baterías 40
5.2.5 Submarino durante una emergencia 41
CAPITULO VI 42
6. PROGRAMACIÓN 42
6.1 DESCRIPCIÓN GENERAL 43
6.2 DESCRIPCIÓN BLOQUE DE ENTRADAS ANÁLOGAS 46
6.3 DESCRIPCIÓN BLOQUE CONFIGURACIÓN PUERTO Y SUMERGIDO. 48
6.4 DESCRIPCIÓN BLOQUE PROYECCIÓN CO_2 49
6.5 MATRIZ DE MEMORIA Y VARIABLES 54
6.6 PANTALLAS DE LA HMI 55

CONCLUSIÓN 61

BIBLIOGRAFÍA 62

ANEXO A 64

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3-1. Proceso del sensor electroquímico.....10

Figura 3-2. Proceso del sensor catalítico.....11

Figura 3-3. Sensor catalítico compensado.....12

Figura 3-4. Proceso del sensor IR.....14

Figura 3-5. Sensor IR compensado.....15

Figura 3-6. Movimiento molecular en gases.....16

Figura 3-7. Ejemplo de barrera de gas.....17

Figura 3-8. Pirámide de la automatización.....19

Figura 3-9. Protocolo PROFIBUS.....21

Figura 3-10. Protocolo PROFINET RT/IRT.....25

Figura 3-11. Protocolo HART.....26

Figura 4-1. Sensor de oxigeno.....31

Figura 4-2.Sensor electroquímico.....32

Figura 4-3. Sensor de CO_2.....32

Figura 4-4. Sensor de hidrogeno.....33

Figura 4-5. Actuador neumático FESTO.....34

Figura 4-6. Electro válvula FESTO.....35

Figura 4-7. PLC Siemens S7-1214 AC/DC/RLY.....35

Figura 4-8. Módulo SM 1223.....36

Figura 4-9. Módulo SM 1231.....36

Figura 4-10. Fuente de poder PM 1207.....37

Figura 6-1. Vista general TIA PORTAL V14.....43

Figura 6-2. PLC SIM V14.....43

Figura 6-3. Estación PC.....43

Figura 6-4.Vista de configuración del dispositivo.....44

Figura 6-5. Vista general bloques de programa.....44

Figura 6-6. Vista general bloques de sistema.....45

Figura 6-7. Información general del programa.....45

Figura 6-8. Contador simulador del consumo de oxígeno. 46

Figura 6-9. Normalización y escalado de Oxigeno. 47

Figura 6-10. Contador simulador del consumo de CO_2. 47

Figura 6-11. Normalización y escalado de CO_2. 47

Figura 6-12. Contador simulador del consumo de Hidrogeno. 48

Figura 6-13. Normalización y escalado del Hidrogeno. 48

Figura 6-14. Bloque de configuración puerto. 49

Figura 6-15. Contador para ajuste de cantidad personas. 50

Figura 6-16. Contador para ajuste de nivel CO_2 50

Figura 6-17. Bloque de cálculo manual. 51

Figura 6-18. Fórmula para cálculo manual. 51

Figura 6-19. Contador para ajuste de tiempo de muestreo..... 51

Figura 6-20. Contador para base de tiempo automático. 52

Figura 6-21. Toma de muestra valor mínimo CO_2. 52

Figura 6-22. Toma de muestra valor máximo CO_2 52

Figura 6-23. Bloque de cálculo automático. 53

Figura 6-24. Fórmula para calcular proyección automática de CO_2..... 53

Figura 6-25.Configuración sistema de ventilación en puerto con ventilador de babor. .. 55

Figura 6-26. Configuración sistema de ventilación sumergido con ventilador de babor. 56

Figura 6-27. Configuración sistema de ventilación en emergencia..... 57

Figura 6-28. Monitoreo en tiempo real de los niveles de O_2 y CO_2. 58

Figura 6-29. Proyección y grafica de CO_2..... 59

Figura 6-30. Proyección y grafica de CO_2..... 60

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1. Efectos fisiológicos v/s % oxigeno. 4

Tabla 1-2. Efectos fisiológicos v/s % de dióxido de carbono. 4

Tabla 5-1. Matriz de configuración de válvulas de ventilación. 41

Tabla 6-1. Representación de entradas analógicas para intensidad. 46

Tabla 6-2.Variables utilizadas en el proyecto. 54

SIGLAS

AIP	**:**	Propulsión Independiente de Aire
AWG	**:**	American Wire Gauge (calibre de alambre estadounidense)
CC	**:**	Corriente Continua
HART	**:**	Highway Addressable Remote Transducer
IEC	**:**	Comisión Electrotécnica Internacional
IR	**:**	Radiación Infrarroja
LEL	**:**	Limites inferiores explosivos
RTU	**:**	Unidad de Transmisión Remota
SCADA	**:**	Supervisión, Control y Adquisición de Datos
TI	**:**	Tecnología de la Información

SIMBOLOGÍA

µm	**:**	micrómetro
mm	**:**	milímetro
mm^2	**:**	milímetro cuadrado
m	**:**	metro
km	**:**	kilometro
ms	**:**	milisegundo
khz	**:**	kilohertz
Mhz	**:**	megahertz
dB	**:**	decibel
pF	**:**	picofaradio
kbps	**:**	kilobits por segundo

INTRODUCCIÓN

El gran desarrollo tecnológico ocurrido después de la Segunda Guerra Mundial también se ha visto reflejado en el diseño y sistemas de los submarinos, es así como hoy en día se habla de submarinos con sistema de propulsión convencional, A.I.P., y nuclear.

Los submarinos convencionales poseen un motor propulsor eléctrico el cual es alimentado por bancos de baterías, estas baterías son recargadas a través de generadores arrastrados por motores diésel. El tiempo entre cargas está directamente relacionado con la razón de descarga de las baterías, que dependen de la velocidad a la que se desplaza el submarino.

En los submarinos convencionales uno de los problemas es la capacidad de renovar el aire, esto se realiza cada vez que el submarino está cargando sus baterías donde estando próximo a la superficie y a través de un mástil llamado snorkel, ingresa el aire necesario para el funcionamiento de los motores diésel y la renovación del aire interior.

Una vez que el submarino finaliza su carga de baterías, se sumerge, comenzando así la cuenta regresiva para alcanzar los niveles permisibles para la salud del ser humano en lo que respecta a porcentaje de oxígeno y dióxido de carbono.

La velocidad a la que disminuye el nivel de oxígeno y aumentan los niveles de dióxido de carbono en la atmosfera interior dependen principalmente de la cantidad de personas que se encuentren a bordo del submarino y de la actividad que estén realizando, así como también la eventualidad de un incendio.

CAPITULO I

DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

El monitoreo de la calidad del aire en algunos tipos de submarinos convencionales, está limitado a sensores capaces de detectar el porcentaje de oxígeno, dióxido de carbono, e hidrogeno, contando además con indicaciones locales, estos sensores además tienen la capacidad de entregar esta información a través de una señal de 4 a 20 mA de las cuales solo las de oxígeno y dióxido de carbono son utilizadas para una indicación remota.

Los datos anteriormente mencionados son indicadores en tiempo real, sin embargo, para el caso de monitorear la calidad del aire en espacios confinados, es de mucha importancia saber en cuanto tiempo se alcanzaran los valores límites de los gases de carácter vital.

De acuerdo a estudios realizados, se han establecido como limites aptos para la salud de las personas la concentración de CO_2 en un 1% como valor máximo siendo el valor límite de 1,5% en espacios interiores (ver tabla 1-2), sin embargo a pesar de ser perjudicial para la salud desde un 5%, las molestias se pueden percibir desde el 0,8%.

Por otra parte la concentración de oxigeno presente en la atmosfera es del 21%, y cuando ésta disminuye hasta el 19,5% comienza a ser perjudicial para la salud (ver tabla 1-1).

Para proyectar el tiempo en el cual se alcanzaran los valores límites se usan modelos matemáticos de comportamiento lineal, en estos modelos los valores utilizados corresponden a un promedio del consumo de oxígeno y de generación de dióxido de carbono por persona, lo que inevitablemente lleva a generar un error en el resultado producto de las diferencias de producción de CO_2 y consumo de O_2 que existen entre una persona y otra.

Por otra parte uno de los mayores riesgos al interior de un submarino es la generación de un incendio, en esta circunstancia se producen gases tóxicos y además producto de la combustión aumenta el consumo de oxígeno, en estos casos es de mucha importancia el buen uso del sistema de ventilación el que se compone de ductos, válvulas y ventiladores, ya que en el caso de un incendio pueden ser perjudicial al propagar los gases tóxicos y contaminar hasta en un 100% el volumen del submarino en el caso de no ser operado en forma correcta y rápida.

Las válvulas y ventiladores mencionados anteriormente, al ser operados en forma manual, producen una pérdida de minutos valiosos para volver a la normalidad la calidad del aire interior. Cabe mencionar que para estos casos existen sistemas de respiración de emergencia.

En la eventualidad que el submarino no pueda renovar el aire interior, existen sistemas asociados para contrarrestar este problema, es así como se encuentran ubicados a bordo de los submarinos sistemas de inyección de oxígeno para mantener de forma controlada los niveles adecuados para la salud de sus tripulantes, y sistemas de absorción de CO_2 los cuales tienen prioridad de uso en caso de emergencias.

Tabla 1-1. Efectos fisiológicos v/s % oxigeno.

% OXIGENO	EFECTO FISIOLÓGICO
19,5 - 16	Sin efectos visibles
16 - 12	Ritmo respiratorio en aumento. Latido del corazón acelerado. Atención, pensamiento, y coordinación afectados.
14 - 10	Juicio defectuoso y pobre coordinación muscular. Esfuerzo muscular que causa fatiga rápida. Respiración intermitente.
10 - 6	Nauseas, vómitos, inhabilidad de realizar movimientos vigorosos o la pérdida de capacidad para moverse. Inconsciencia, seguida por muerte.
Debajo de 6	Dificultad para respirar. Movimientos convulsivos. Muerte en minutos.

Tabla 1-2. Efectos fisiológicos v/s % de dióxido de carbono.

% CO_2	EFECTO FISIOLÓGICO
1 – 1,5	Leve efecto en el metabolismo químico tras una exposición de varias horas.
3	El gas es ligeramente narcótico a estos niveles, dando lugar a una respiración más profunda y rápida, reducción de la capacidad auditiva, dolor de cabeza e incremento de la presión sanguínea y el pulso.
4 - 5	Respiración más profunda y más rápida como resultado de la estimulación del aparato respiratorio. Aparecen signos evidentes de intoxicación tras 30 minutos de exposición.
5 - 10	La respiración se vuelve pesada, con dolor de cabeza y pérdida de la razón.
10 - 100	Inconsciencia en menos de un minuto y, a menos que se tomen medidas inmediatas, el resultado puede ser mortal.

1.2 ALCANCES

- El sistema de monitoreo puede ser utilizado en cualquier sector considerado como espacio confinado y que requiera monitoreo de calidad de aire interior, para lo cual solo se deben modificar algunos parámetros relacionados al espacio físico disponible.
- La lógica de programación está pensada para ampliar fácilmente la cantidad de gases a monitorear.
- La configuración del sistema de ventilación va a depender del tipo de submarino en el que se desee adaptar este sistema.

1.3 LÍMITES

- En conformidad al tiempo del proyecto de titulación se utilizaran solo 3 sensores siendo posible expandir de forma rápida en un futuro cercano.
- Los actuadores a controlar están enfocados solo a las válvulas del sistema de ventilación.
- La presentación del proyecto se realizara en dependencias de la universidad por lo que no será posible presenciar en primera persona.
- Los datos enunciados en el proyecto corresponden a información referencial de submarinos convencionales a nivel mundial.

CAPITULO II

OBJETIVOS

2.1 OBJETIVOS GENERALES

- Diseñar un sistema de monitoreo con el propósito de centralizar la información referente a la calidad del aire en un submarino convencional.
- Proveer un control centralizado para las distintas configuraciones de las válvulas del sistema de ventilación a bordo de un submarino convencional.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar un levantamiento de información, sobre los tipos de sensores de gases disponibles en el mercado.
- Realizar un levantamiento de información, sobre los elementos asociados al sistema de ventilación y sus actuadores.
- Investigar qué factores afectan la calidad del aire de interior cuando el submarino se encuentra sumergido, cuales son monitoreados a la fecha y cuales sería conveniente agregar.
- Definir los elementos necesarios para implementar este sistema.
- Generar un cuadro de alarmas que permitan identificar los niveles de los gases y su proyección.
- Realizar una lógica de control que permita operar las válvulas del sistema de ventilación en las diferentes configuraciones.
- Describir el funcionamiento de la propuesta.

CAPITULO III

MARCO TEÓRICO

3.1 DETECTORES DE GASES

En una primera aproximación los equipos de detección de gases son productos de tecnología de seguridad y son utilizados preferentemente para proteger a las personas y garantizar la seguridad en el lugar de trabajo. Los sistemas de detección de gases están dedicados a detectar concentraciones de gases peligrosas, para así activar alarmas y hasta donde sea posible activar contramedidas antes de que se pueda producir una situación peligrosa para los empleados, las instalaciones y el medioambiente.

Los sensores para la detección de gases y vapores son transductores que usan ciertas propiedades de los gases para la conversión en una señal eléctrica adecuada.

Especialmente tres principios de medición se han hecho dominantes en la detección industrial de gases, los sensores electroquímicos, sensores de perla catalítica y sensores infrarrojos.

3.1.1 Principio de los sensores electroquímicos

Muchos gases tóxicos también son muy reactivos, y en condiciones adecuadas cambian con reacciones químicas. El sensor electroquímico es un micro-reactor, que con la presencia de gases reactivos produce electrones exactamente como una batería. El flujo de electrones es una corriente eléctrica muy baja pero medible.

Un sensor electroquímico posee como mínimo dos electrodos (electrodo de medida y contra electrodo) que tienen contacto eléctrico de dos maneras diferentes: por un lado vía un medio eléctricamente conductivo llamado electrolito (un líquido pastoso para transportar iones), por otro lado vía un circuito de corriente eléctrica externo (un simple cable de cobre para transportar electrones), como se puede ver en la figura 3-1.

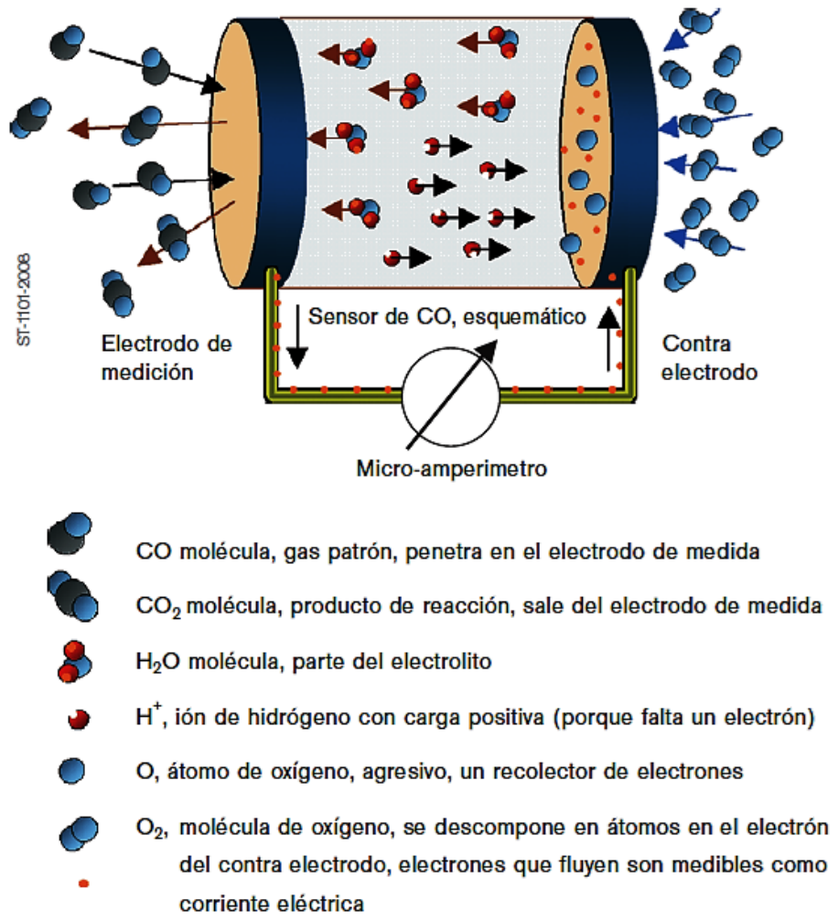


Figura 3-1. Proceso del sensor electroquímico.

Los electrodos están fabricados de un material especial que también tiene características catalíticas haciendo posible reacciones químicas en la llamada zona de 3 fases, donde hay presencia de gas, catalizador sólido y electrolito líquido. El recolector de electrones necesario para esta reacción (denominación para el átomo de oxígeno), proviene del aire ambiente en forma de molécula de oxígeno (O_2). Se conocen más recolectores de electrones, por ejemplo cloro, flúor, ozono o dióxido de nitrógeno. Así la corriente de los sensores utilizados para estos gases fluye en dirección invertida. La corriente se puede medir con un micro-amperímetro.

3.1.2 Principio de los sensores catalíticos

Bajo ciertas circunstancias los gases y vapores inflamables se pueden oxidar mediante el oxígeno del aire para liberar calor de la reacción. Normalmente esto se consigue por medio de un material catalizador especial, el que, en presencia de gases inflamables aumentan ligeramente su temperatura por el calor de la reacción. Este aumento de temperatura es una medida para la concentración de gas.

Los llamados pellistores son perlas cerámicas minúsculas y muy porosas (diámetro aproximado de 1 mm) rodeadas por una pequeña bobina de hilo de platino. Una corriente eléctrica fluye a través de la bobina de platino de tal manera que el pellistor se calienta a unos cientos de grados Celsius.

Si la perla cerámica es de un material catalizador adecuado, la temperatura del pellistor aumentará con la presencia de gas inflamable, y por consiguiente la resistencia de la bobina del hilo de platino aumentara. Este cambio en la resistencia con respecto a la resistencia en aire limpio se utiliza para la evaluación electrónica (ver figura 3-2).

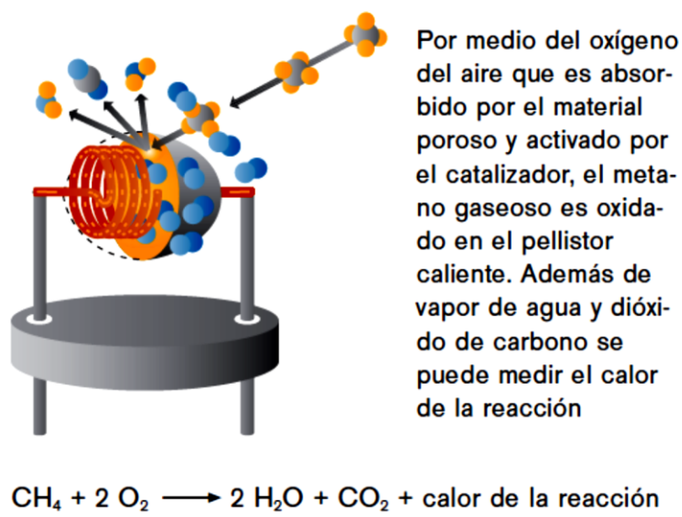


Figura 3-2. Proceso del sensor catalítico.

Para eliminar influencias por cambios de la temperatura ambiente se utiliza un segundo pellistor, su construcción es muy similar, pero no reacciona al gas debido a que no contiene el material catalizador o se encuentra inhibido (ver figura 3-3).

Integrando los dos pellistores en un circuito de puente Wheatstone se tiene como resultado un sensor para la medición de concentración de gases inflamables, en gran medida independiente de la temperatura ambiente.

Un pellistor solo, no es adecuado para la detección de gases y vapores inflamables. Hace falta un segundo para compensar los parámetros ambientales (especialmente temperatura y humedad). Y debe estar protegido contra explosiones.

Mediante una carcasa antideflagrante y un disco sinterizado se obtiene un sensor de perlas catalíticas útil. El pellistor compensador está fabricado de manera muy similar al pellistor activo, pero no contiene material catalizador para que no pueda oxidar. Si la

temperatura ambiente cambia, la resistencia de ambos pellistores cambiarán y no hay señal puente. Sin embargo, si hay presencia de gas, solo la resistencia del pellistor activo cambia y el puente Wheatstone se desequilibra.

Ya que los pellistores del sensor de perla catalítica son calentados hasta unos 450 °C, estos pueden actuar como una fuente de ignición si el LEL es sobrepasado y si la temperatura de ignición del gas es inferior a 450 °C., para esto y mediante un disco sinterizado se evita lo siguiente:

Si en el interior del sensor de perla catalítica se produce una ignición, la carcasa del sensor resistirá la presión de la explosión, la llama será enfriada por debajo de la temperatura de ignición del gas, y ninguna llama pasara al exterior.

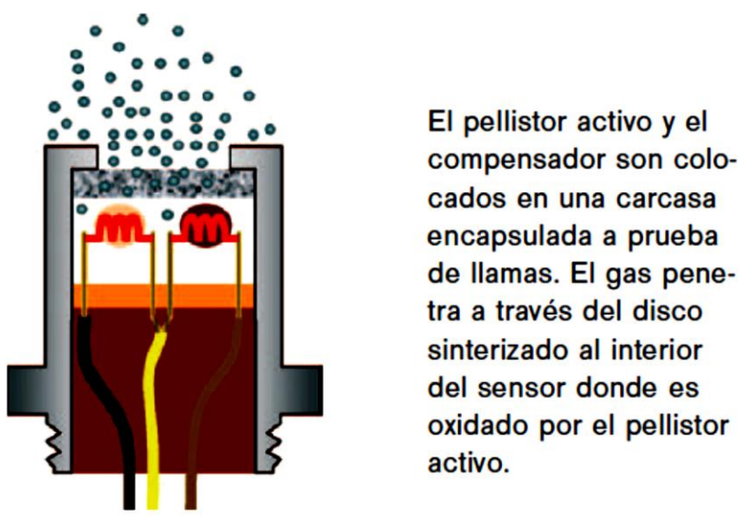


Figura 3-3. Sensor catalítico compensado.

Estas son las características de la llamada encapsulación antideflagrante.

Los sensores de perla catalítica funcionan con un circuito electrónico llamado puente Wheatstone, que es adecuado para convertir cambios de resistencia muy pequeños en voltajes medibles.

Si la segunda mitad del puente Wheatstone es colocado en la unidad de control, el sensor de perla catalítica puede ser conectado a las unidades de control mediante cables muy largos. Sin embargo, son cortos cuando el sensor es instalado en un transmisor.

3.1.3 Principio de los sensores infrarrojo

Considerando el amplio margen de gases y vapores inflamables, la mayoría de estas sustancias son compuestos químicos que principalmente consisten en carbono, hidrógeno, oxígeno, y a veces nitrógeno. Estos compuestos orgánicos se denominan hidrocarburos. Los hidrocarburos tienen propiedades especiales que pueden ser usados para medir su concentración a través de infrarrojos.

Todos los gases absorben radiación de una manera característica, algunos incluso en el rango visible (0,4 a 0,8 μm). Esto es por lo que el cloro es verde-amarillo, el dióxido de bromo y el de nitrógeno son marrón-rojo, el iodo es violeta, etc. Sin embargo, estos colores solo se pueden ver en concentraciones muy altas y letales. Los hidrocarburos absorben radiación a un rango determinado de longitud de onda, aproximadamente de 3,3 a 3,5 μm, y, puesto que el oxígeno, el nitrógeno y el argón no absorben, esto puede ser usado para la medición de concentración de hidrocarburos en aire.

Un sistema óptico conteniendo una mezcla de por ejemplo metano o propano en el aire atenuará una intensidad de infrarrojo entrante de una manera predecible, y para un gas dado esta atenuación depende solamente de su concentración (ver figura 3-4).

En el aire ambiente sin concentraciones de gases inflamables, los infrarrojos pasan sin ser atenuados, no hay intensidad reducida, no hay señal de medida

En el aire ambiente con presencia de gases inflamables, los infrarrojos pasan atenuados, intensidad reducida, la señal de medida corresponde a la concentración de gas actual.

Este principio de fotómetro es la base de un equipo de medición por infrarrojos. La correlación de reducción de intensidad medida por un lado y la concentración de gas en el sistema óptico por otro es realizada por el proceso de calibración, una concentración de gas definida siempre provoca la misma reducción de intensidad y en consecuencia siempre la misma señal de medida.

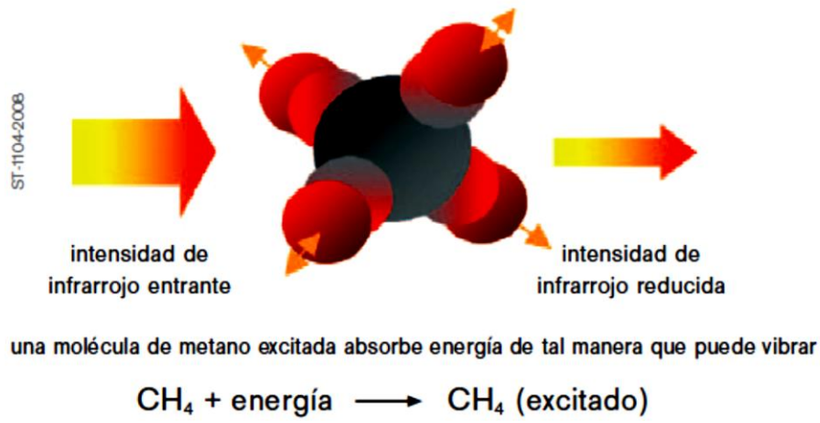


Figura 3-4. Proceso del sensor IR.

La mayoría de los gases y vapores inflamables son hidrocarburos que casi siempre son detectables por su absorción de infrarrojos característica.

El principio de medición es sencillo, los hidrocarburos absorben la radiación de infrarrojos (IR) en el rango de longitud de ondas de 3,3 a 3,5 µm, más o menos, dependiendo del espectro de absorción del gas en cuestión. Sin embargo, la atenuación de la radiación infrarroja es muy pequeña y un reto con respecto a la técnica de medición. Desafortunadamente, la reducción de la intensidad también puede ocurrir por otras circunstancias, por ejemplo por óptica contaminada o reducción de la intensidad de la fuente de radiación de infrarrojos.

La fuente de radiación de un sensor por infrarrojo es una lámpara de filamentos parpadeante, activada con bajo voltaje, teniendo un alto porcentaje de infrarrojos. Atravesando una ventana IR transparente esta radiación es dividida en dos partes mediante un divisor de rayos (ver figura 3-5), una parte para el detector de medida, otra parte para el detector de referencia. Un detector consiste en un cristal piroeléctrico encapsulado que convierte la energía de la radiación recibida en un voltaje medible. Sin embargo, los detectores son diferentes debido a sus filtros de interferencia óptica: el cristal del detector de medida solo recibe por ejemplo radiación de 3,4 µm, y el detector de referencia de por ejemplo 4,0 µm de longitud de onda. Los gases generalmente no absorben a 4,0 µm. Así si ambos detectores detectan una energía de radiación reducida, los gases probablemente no sean la causa. Por medio del detector de referencia es posible hacer que en cierto grado la medición no se vea afectada por la contaminación de la óptica e incluso automáticamente solicite mantenimiento preventivo.

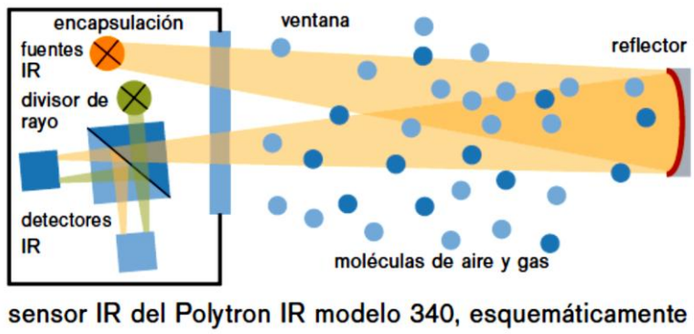


Figura 3-5. Sensor IR compensado.

Los transmisores IR están equipados con sensores IR de este tipo. La señal de medición de ambos detectores está condicionada en consecuencia y finalmente está disponible como una señal de 4 a 20 mA en la salida del transmisor. Debido a su larga vida los transmisores IR son preferidos en la medición industrial. Al contrario de los sensores electroquímicos y de perla catalítica, los sensores de tipo IR no entran en contacto con los gases a detectar. Mientras que no haya condensación y esto se inhibe mediante superficies calentadas los transmisores IR funcionan tan bien que se les encuentra cada vez más en procesos de aplicaciones industriales.

3.1.4 Principio de sensores de difusión controlada

La alta velocidad de las moléculas de gas es la causa de que los gases se expandan rápidamente y también se mezclen a gran velocidad con otros gases, algunos de ellos no se vuelvan a separar nunca. Mientras que existan diferencias de concentración en la mezcla completa, el proceso de mezcla está incompleto y no finaliza.

Estas diferencias de concentración también pueden actuar como una micro-bomba. Si la diferencia de concentración se mantiene constante habrá un flujo continuo de moléculas en la dirección de la concentración más baja y este efecto es utilizado para los sensores en la tecnología de detección de gas, los llamados sensores de difusión controlada.

El truco, con el sensor de perla catalítica y el sensor electroquímico, el gas patrón es consumido por la reacción química, directamente en el lugar de la reacción tenemos una concentración de gas cercana a cero, produciendo una zona de reducción. Así entonces, hay una diferencia de concentración forzada y las moléculas de gas fluyen en la zona de reacción del sensor.

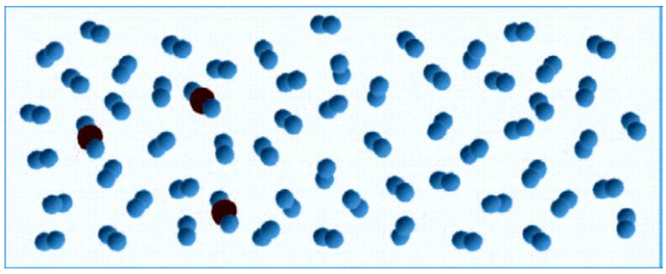


Figura 3-6. Movimiento molecular en gases.

Debido al movimiento molecular de los gases por su naturaleza (figura 3-6) no se detiene hasta que las tres moléculas mayores estén homogéneamente dispersas por todo el volumen de gas. Después de la distribución uniforme el proceso de difusión finaliza.

Mientras que el gas esencialmente llega al sensor mediante convección natural, la penetración al interior del sensor vía disco sinterizado o filtro de polvo es un proceso de difusión controlada, porque los poros contienen aire en calma donde no se produce ninguna convección. No son las paredes de los poros sino el aire en calma es el que inhibe la penetración.

Los sensores de difusión controlada no necesitan una bomba.

Si se piensa en un sensor de infrarrojos con una barrera óptica extendida varias veces, esto sería un sistema de detección de gases con barrera, las moléculas de gas que penetran en esta barrera causaran una absorción IR medible. Sistemas de detección de gases como éste son algo como una barrera de luz para moléculas de gas, y no solo para unos pocos metros, esto es válido para longitudes de barreras de hasta 200 metros.

Este resultado ideal de una medida con barrera es un poco inusual, mientras que el sistema óptico de un sensor de infrarrojos se supone estable con una concentración de gas definida, esto nunca es el caso con una barrera de detección larga.

Básicamente no se puede diferenciar si hay una concentración de gas alta a lo largo de una pequeña parte de la barrera, a la mitad o a un largo de dos veces el largo de la barrera, en todos los casos la señal de medida es la misma, porque cada molécula absorbente en la barrera contribuye a la señal de medida, independientemente de su distribución.

Sin embargo, en aplicaciones especiales la probabilidad de que la nube de gas derive a través de la barrera es mayor que sea detectada por un detector puntual.

En términos de seguridad se abandona la medición de concentración habitual en aras de una mayor probabilidad de detección.

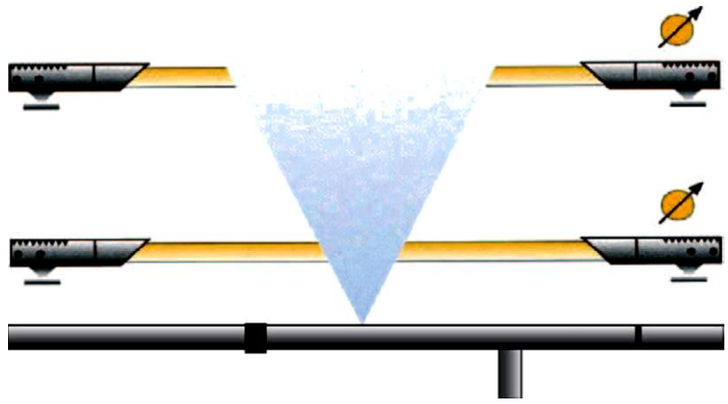


Figura 3-7. Ejemplo de barrera de gas.

Mientras que la nube de gas esté en el camino del haz (ver figura 3-7), existe una señal de medición independientemente de la dilución en aire. Se puede decir que una barrera es un contador de moléculas independientemente de su distancia.

Así, un detector de barrera es un indicador del peligro del gas más fiable que un equipo de medición de concentración. En aplicaciones con un alto riesgo de escapes de gas (por ejemplo exploración de gas natural) la información "presencia de gas" se considera suficiente para activar contramedidas de seguridad relevantes.

3.2 ACTUADORES

Un actuador es un dispositivo inherentemente mecánico cuya función es proporcionar fuerza para mover o "actuar" otro dispositivo mecánico. La fuerza que provoca el actuador proviene de tres fuentes posibles: Presión neumática, presión hidráulica, y fuerza motriz eléctrica (motor eléctrico o solenoide). Dependiendo del origen de la fuerza el actuador se denomina "neumático", "hidráulico" o "eléctrico".

El actuador más común es el actuador manual o humano. Es decir, una persona mueve o actúa un dispositivo para promover su funcionamiento.

Con el tiempo, se hizo conveniente automatizar la actuación de dispositivos, por lo que diferentes dispositivos hicieron su aparición. Actualmente hay básicamente dos tipos de actuadores.

• Lineales

• Rotatorios

Los actuadores lineales generan una fuerza en línea recta, tal como haría un pistón. Los actuadores rotatorios generan una fuerza rotatoria, como lo haría un motor eléctrico.

3.2.1 Actuadores mecánicos

Los Actuadores Mecánicos son dispositivos que utilizan energía mecánica para su funcionamiento. En función de la fuente de energía utilizada pueden ser neumáticos o hidráulicos.

- Actuadores hidráulicos

Los actuadores hidráulicos son los que han de utilizar un fluido a presión, generalmente un tipo de aceite. Los actuadores hidráulicos presentan mayor velocidad y mayor resistencia mecánica. Los actuadores hidráulicos se clasifican en dos grande grupos: cilindros y motores.

- Actuadores neumáticos

Los actuadores neumáticos son mecanismos que convierten la energía del aire comprimido en trabajo mecánico por medio de un movimiento lineal de vaivén, o de motores. Los actuadores neumáticos se clasifican en dos grande grupos: cilindros y motores.

3.2.2 Actuadores eléctricos

La estructura de un actuador eléctrico es simple en comparación con la de los actuadores hidráulicos y neumáticos, ya que sólo requieren de energía eléctrica como fuente de poder. Como se utilizan cables eléctricos para transmitir electricidad y las señales, es altamente versátil y prácticamente no hay restricciones respecto a la distancia entre la fuente de poder y el actuador.

Dentro de los actuadores eléctricos pueden distinguirse:

- Motor de corriente continua
- Motor de corriente alterna (asíncrono, jaula de ardilla)
- Motor de corriente alterna (rotor bobinado)
- Motor paso a paso
- Servomotores

3.3 PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN

La revolución de la comunicación industrial en la tecnología de la automatización viene revelando el enorme potencial de la optimización de sistemas de proceso, y ha contribuido en gran medida para la mejoría del uso de recursos.

La tecnología de la información ha sido determinante al desarrollo de la tecnología de la automatización, alterando jerarquías y estructuras de los más distintos ambientes industriales (ver figura 3-8), además de sectores desde las industrias de procesos y manufactura, hasta edificios y sistemas logísticos. La capacidad de comunicación entre dispositivos y el uso de mecanismo estandarizados, abiertos y transparentes, son componentes indispensables al concepto actual de automatización. La comunicación se expandió rápidamente en el sentido horizontal en los niveles inferiores (de campo), como también en sentido vertical integrando todos los niveles jerárquicos. Según las características de la aplicación y el costo máximo a alcanzar, una mezcla gradual de distintos sistemas de comunicación pueden ofrecer las condiciones ideales para las redes abiertas en procesos industriales.

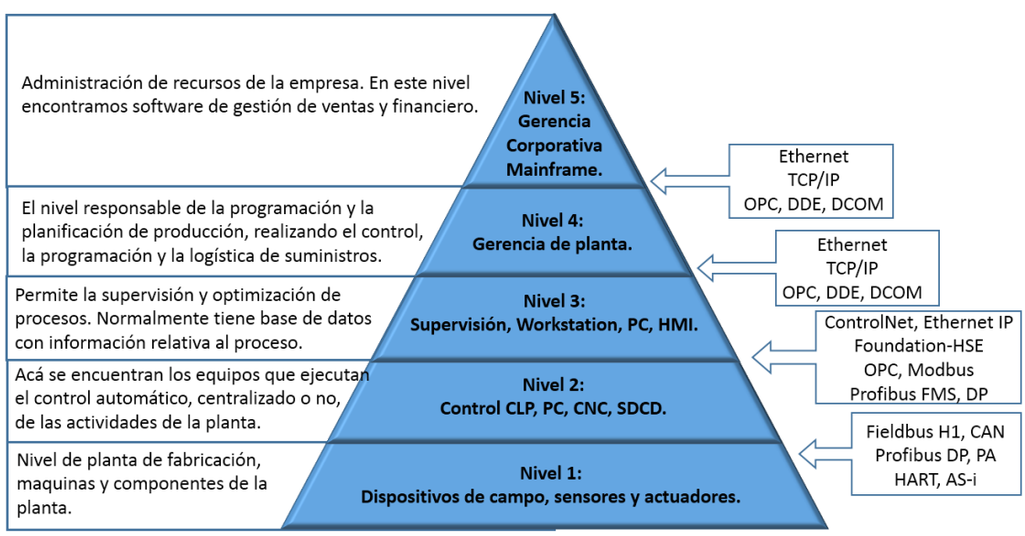


Figura 3-8. Pirámide de la automatización.

A continuación se verán algunos detalles y redes industriales que proveerán una explicación detallada sobre cómo estas redes actúan como eslabón principal en el flujo de informaciones de la automatización.

3.3.1 Profibus

Profibus es un estándar de comunicaciones para bus de campo, deriva de las palabras PROcessFieldBUS. Fue un proyecto desarrollado entre los años 1987-1990 por las empresas alemanas Bosch, KlöcknerMöller y Siemens, y por otras como ABB, AEG, Honeywell, Landis&Gyr, Phoenix Contact, Rheinmetall, RMP, Sauter-cumulus y Schneicher. En 1989 la norma alemana DIN19245 adoptó el estándar Profibus y en 1993 siendo la última Profibus- DP. Profibus fue confirmada como norma europea en 1996 como EN50170.

Profibus tiene tres versiones o variantes:

- DP-V0: Provee las funcionalidades básicas incluyendo transferencia cíclica de datos, diagnóstico de estaciones, módulos y canales, y soporte de interrupciones
- DP-V1: Agrega comunicación acíclica de datos, orientada a transferencia de parámetros, operación y visualización
- DP-V2: Permite comunicaciones entre esclavos. Está orientada a tecnología de drives, permitiendo alta velocidad para sincronización entre ejes en aplicaciones complejas.

Además existen tres perfiles:

- Profibus DP (DecentralizedPeriphery): Orientado a sensores y actuadores enlazados a procesadores (PLC’s) o terminales.
- Profibus PA (ProcessAutomation): Para control de proceso, cumple normas especiales de seguridad para la industria química IEC 1 1 15 8-2 sobre seguridad intrínseca.
- Profibus FMS (FieldbusMessageSpecification): Para comunicación entre células de proceso o equipos de automatización.

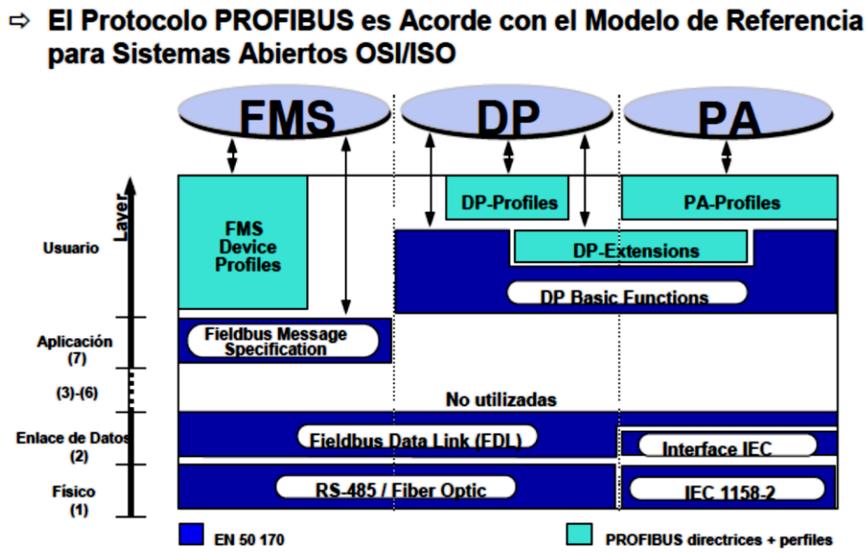


Figura 3-9. Protocolo PROFIBUS.

Las tres versiones Profibus es decir, DP, PA y FMS utilizan el mismo protocolo de capa de enlace de datos (capa 2). Las versiones DP y PA no utilizan la misma capa física (capa 1), la versión DP utiliza RS-485, mientras que PA utiliza una variación de la misma (según IEC 61158-2) con el fin de adaptarse a los requisitos de seguridad intrínseca.

3.3.2 Capa física

La capa física del estándar Profibus DP está basada en RS-485 y tiene las siguientes características:

- La topología de la red es un bus lineal, terminado en ambos extremos.
- El medio es un cable de par trenzado, con blindaje condicionalmente omitido dependiendo de la aplicación. Se prefiere cable de tipo A para velocidades de transmisión superiores a 500 KBaudios. Tipo B sólo se debe utilizar para bajas velocidades y distancias cortas. Estos son los tipos de cable muy específicas que los detalles se dan a continuación.
- La velocidad de datos puede variar entre 9,6 Kbps y 12 Mbps, dependiendo de la longitud del cable. Los valores son los siguientes:
    - 9,6 Kbps 1.200 m.
    - 19,2 kbps 1.200 m.
    - 93,75 kbps 1.200 m.

- 187,5 kbps 600 m.
- 500 kbps 200 m.
- 1,5 Mbps 200 m.
- 12 Mbps 100 m.

La capa física del estándar Profibus PA está definida en IEC 61158-2 y tiene las siguientes características:

- La topología de la red es un bus lineal, o topología en forma de árbol
- El medio es un cable bifilar que puede transmitir tanto los datos, como la alimentación (MBP).
- Velocidad fija de 31,25 Kbps.
- MBP (Manchester Coding y Bus Powered).
- Conexión de hasta 32 dispositivos por segmento.

3.3.3 Especificación de los cables

Las especificaciones para los dos tipos de cables son las siguientes:

Cable Tipo A

- Impedancia: 135 hasta 165 Ω (para frecuencia de 3-20 MHz).
- Capacidad de cable: <30 pF por metro.
- Diámetro del núcleo:> 0,34 mm^2 (AWG 22)
- Tipo de cable: cable de par trenzado 1 × 2 o 2 × 2 o 1 × 4.
- Resistencia: <110 Ω por km.
- La atenuación de la señal: máx. 9 dB en la longitud total de la línea de corte.
- Blindaje: blindaje trenzado de cobre o trenza de blindaje y el blindaje de aluminio.

Cable Tipo B

- Impedancia: 135 hasta 165 Ω (Frecuencia> 100 kHz).
- Capacidad de cable: <60 pF por metro.
- Diámetro del núcleo:> 0,22 mm^2 (AWG 24).
- Tipo de cable: cable de par trenzado. 1 × 2 o 2 × 2 o 1 × 4.
- Resistencia: <110 Ω por km.
- La atenuación de la señal: Max. 9 dB en la longitud total de la línea de corte.
- Blindaje: blindaje trenzado de Cobre o blindaje trenzado y blindaje de aluminio.

3.3.4 Fieldbus foundation

FieldbusFoundation (FF) es un protocolo de comunicación digital para redes industriales, específicamente utilizado en aplicaciones de control distribuido. Puede comunicar grandes volúmenes de información, ideal para aplicaciones con varios lazos complejos de control de procesos y automatización. Está orientado principalmente a la interconexión de dispositivos en industrias de proceso continuo.

Los dispositivos de campo son alimentados a través del bus Fieldbus cuando la potencia requerida para el funcionamiento lo permite.

Otros protocolos ampliamente usados aunque de menor alcance son:

- Modbus
- DeviceNet

3.3.5 Modbus

Modbus es un protocolo de transmisión para sistemas de control y supervisión de procesos (SCADA) con control centralizado, puede comunicarse con una o varias Estaciones Remotas (RTU) con la finalidad de obtener datos de campo para la supervisión y control de un proceso.

Las interfaces de capa física pueden estar configurada en RS-232, RS-422 y RS-485.

En el protocolo Modbus los datos pueden intercambiarse en dos modos de transmisión:

- Modo RTU y Modo ASCII

3.3.6 DeviceNet

DeviceNET se basa en una red de bajo nivel adecuada para conectar dispositivos simples como sensores fotoeléctricos, sensores magnéticos, pulsadores, etc. y dispositivos de alto nivel como PLC´s, controladores, computadores, HMI, entre otros. Provee información adicional sobre el estado de la red, cuyos datos serán desplegados en la Interfaz del usuario.

3.3.7 Profinet

Profinet está basado en Ethernet Industrial, TCP/IP y algunos estándares de comunicación pertenecientes al mundo TI. Entre sus características destaca que es Ethernet en tiempo real, donde los dispositivos que se comunican por el bus de campo acuerdan cooperar en el procesamiento de solicitudes que se realizan dentro del bus.

Partiendo de una conectividad básica, como es el cable Ethernet, y unas tramas de comunicaciones establecidas que correspondería a los niveles 1 y 2 del modelo OSI, PROFINET va incorporando nuevas funcionalidades denominadas “perfiles” de utilidad como ProfiSafe o ProfiEnergy, mediante una interpretación específica para cada caso de los datos transmitidos, modificando el nivel 7 (de aplicación). En el caso de Profisafe, se transmiten datos de seguridad (safety), y en el caso de ProfiEnergy, datos y comandos para el ahorro y control energético.

Con PROFINET es posible conectar dispositivos, sistemas y celdas (conjuntos de dispositivos aislados entre sí), mejorando tanto la velocidad como la seguridad de sus comunicaciones, reduciendo costos y optimizando la producción. Por sus características, PROFINET permite la compatibilidad con comunicaciones Ethernet más propias de entornos TI, aprovechando todas las características de éstas, salvo la diferencia de velocidad que posee una comunicación Ethernet situada en una red corporativa frente al rendimiento en tiempo real que necesita una red industrial.

PROFINET utiliza 3 servicios de comunicación:

- **Standard TCP/IP:** Este servicio se utiliza para funciones no deterministas, como parametrización, transmisiones de vídeo/audio y transferencia de datos a sistemas TI de nivel superior.
- **Real Time:** Las capas TCP/IP no son utilizadas para dar un rendimiento determinista a las aplicaciones de automatización, funcionando con unos tiempos de retardo en el rango 1-10 ms. Este hecho representa una solución basada en software adecuada para aplicaciones típicas de E/S, incluyendo control de movimiento y requisitos de alto rendimiento.
- **Isochronous Real Time:** La priorización de señal y la conmutación programada proporcionan una sincronización de alta precisión para aplicaciones como el control de movimiento. Las velocidades de ciclo en rangos de sub-milisegundos son posibles, con jitter (variabilidad temporal durante el envío de señales digitales) en el rango de sub-microsegundos.

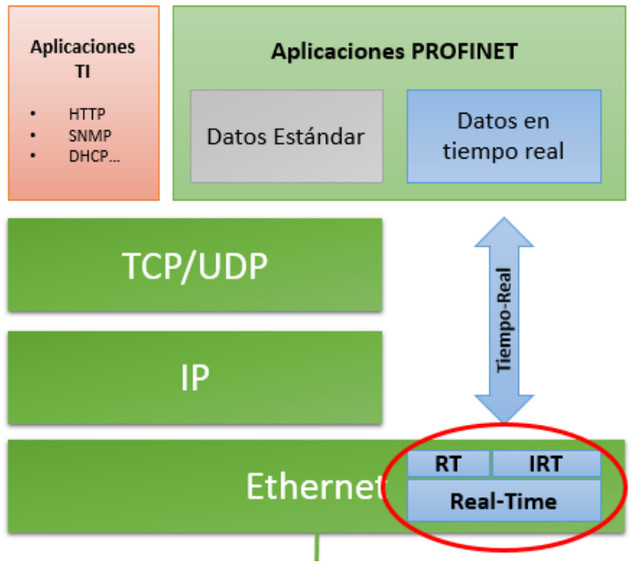


Figura 3-10. Protocolo PROFINET RT/IRT.

Existen varios protocolos definidos dentro del contexto PROFINET. Una lista de estos protocolos junto con su uso concreto es la siguiente:

- **PROFINET/CBA:** Protocolo asociado a las aplicaciones de automatización distribuida en entornos industriales.
- **PROFINET/DCP:** Descubrimiento y configuración básica. Es un protocolo basado en la capa de enlace, utilizado para configurar nombres de dispositivos y direcciones IP. Se restringe a una red y se usa principalmente en aplicaciones pequeñas o medianas que no disponen de un servidor DHCP.
- **PROFINET/IO:** A veces llamado PROFINET-RT (RealTime), es utilizado para comunicaciones con periferias descentralizadas (ver figura 3-10).
- **PROFINET/MRP:** Protocolo utilizado para la redundancia de medios. Utiliza los principios básicos para la reestructuración de las redes en caso de sufrir un fallo cuando la red posee una topología en anillo. Este tipo de protocolo es utilizado en redes en las que la disponibilidad ha de ser máxima.
- **PROFINET/MRRT:** Su objetivo es dar soluciones a la redundancia de medios para PROFINET/RT.
- **PROFINET/PTCP:** Protocolo de Control de Precisión de Tiempo basado en la capa de enlace, para sincronizar señales de reloj/tiempo en varios PLC.
- **PROFINET/RT:** Transferencia de datos en tiempo real.
- **PROFINET/IRT:** Transferencia de datos isócrono en tiempo real.
- **Seguridad**

La accesibilidad proporcionada por PROFINET lo hace un protocolo muy expuesto a Internet, por lo que es necesario mejorar la ciberseguridad de las redes en las que se despliega.

Como se ha podido leer, PROFINET es un protocolo que proporciona grandes ventajas con respecto a la disponibilidad de las comunicaciones en entornos industriales, pero dadas sus características utilizando Ethernet la exposición que tienen los sistemas con PROFINET es elevado y por ello es necesaria una buena segmentación de red además del uso de buenas prácticas.

3.3.8 Hart

El protocolo HART utiliza el estándar Bell 202, (MODEM) por los cambios de frecuencia de conmutación (FSK Frequency Shift Keying, modulación por desplazamiento de frecuencia) para superponer las señales digitales de comunicación a una señal análoga convencional de 4 a 20mA. Como la señal digital FSK es simétrica a cero, no existe un nivel de CC asociada a la señal y por lo tanto no interfiere con la señal 4- 20 mA. La lógica "1" es representada por una frecuencia de 1.200 Hz y la lógica "0" es representada por una frecuencia de 2.200 Hz. El HART de la señal FSK permite la comunicación digital de dos vías, lo que hace posible la transmisión y recepción de información, más allá de que es la variable del proceso normal de los dispositivos de campo inteligentes. El HART posee una tasa de 1.200 bits por segundo, sin interrumpir la señal 4-20 mA y permite una aplicación como "maestro" para que dos o más actualizaciones por segundo procedente de un instrumento único campo.

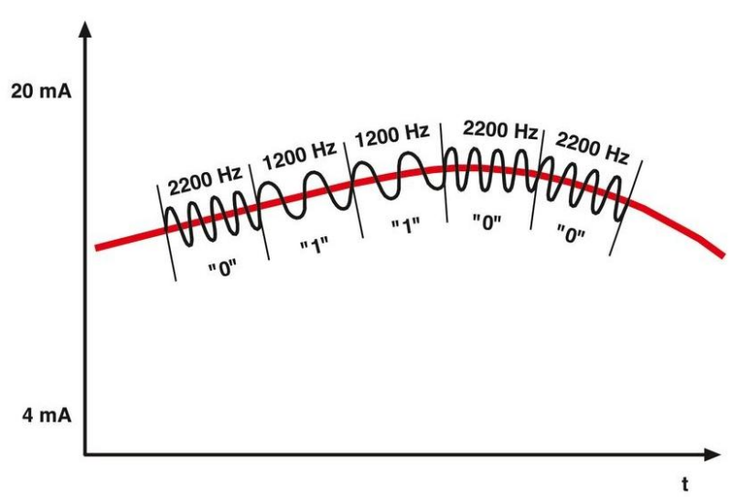


Figura 3-11. Protocolo HART.

3.4 TRANSMISIÓN DE DATOS

Cuando se refiere a la transmisión de datos, transmisión digital o comunicaciones digitales es la transferencia física de datos, es decir, un flujo digital de bits por un canal de comunicación punto a punto o de punto a multipunto. Ejemplos de estos canales son cables de par trenzado, fibra óptica, los canales de comunicación inalámbrica y medios de almacenamiento. Los datos se representan como una señal electromagnética, una señal de tensión eléctrica, ondas radioeléctricas, microondas o infrarrojos.

3.4.1 Formas de transmisión de datos

- Transmisión analógica: Estas señales se caracterizan por el continuo cambio de amplitud de la señal. En ingeniería de control de procesos la señal oscila entre 4 y 20 mA, y es transmitida en forma puramente analógica. En una señal analógica el contenido de información es muy restringida, tan solo el valor de la corriente y la presencia o no de ésta puede ser determinado.
- Transmisión digital: Estas señales no cambian continuamente, sino que es transmitida en paquetes discretos. No es tampoco inmediatamente interpretada, sino que debe ser primero decodificada por el receptor. El método de transmisión también es otro como pulsos eléctricos que varían entre dos niveles distintos de voltaje. En lo que respecta a los procesos, no existe limitación en cuanto al contenido de la señal y cualquier información adicional.

3.4.2 Medios de transmisión industrial

Lo que se busca en la comunicación industrial, es mayor información transmitida a mayor velocidad de transmisión. Por lo que la demanda de mejores características para estos medios es mayor. Esto es particularmente cierto para las redes industriales de comunicación, en donde las condiciones distan mucho de ser ideales debido a las posibles interferencias de máquinas eléctricas y otros. Por esta razón el mejor medio de transmisión depende mucho de la aplicación.

Algunos de los más habituales medios de transmisión son:

- Cables trenzados
- Cables coaxiales
- Fibra óptica

Los modos de transmisión que se utilizan son la transmisión paralela, que se define como el envío de datos de byte en byte, sobre un mínimo de ocho líneas paralelas a través de una interfaz paralela. Otro modo es la transmisión serie que es el envío de datos bit a bit sobre una interfaz serie.

Para elegir una interfaz física se toma en cuenta la confiabilidad de transmisión y los costos, por lo tanto a pesar de las altas velocidades de transmisión que se puede obtener con una interfaz paralela, su instalación es muy costosa. Por esta razón la interfaz estándar para el campo industrial es la serie. Los bajos costos de la instalación, líneas más largas y transmisión más segura, compensan las menores velocidades de transmisión. Algunas interfaces tipo serie que se pueden encontrar en el campo industrial son RS-232 y RS-485.

3.4.3 Interfaz RS-232

Eléctricamente el sistema está basado en pulsos positivos y negativos de 12 voltios, en los cuales los datos son codificados sobre cable multifilar. Mecánicamente este estándar tiene conectores de 9 a 25 pines, las señales principales que llevan a los datos de un terminal a otro son líneas de Transmitted Data y Recieved Data, para ser posible la transmisión, se requiere una tercera línea que lleva el potencial común de referencia, el resto de líneas no son imprescindibles, pero llevan información del estado de los terminales de comunicación.

3.4.4 Interfaz RS-485

Esta interfaz permite que actúen hasta 32 dispositivos en calidad de transmisores o receptores, los cuales pueden ser conectados a un cable de dos hilos, es decir a una verdadera operación de bus. El direccionamiento y respuesta a los comandos debe ser resuelta por el software. La máxima longitud de las líneas de transmisión para esta interfaz varía entre 1.200 metros a una velocidad de 93,75 kbps hasta 2.000 metros a una velocidad de 500 kbps.

Esta interfaz usa tres estados lógicos '0', '1' y Non Data, esta última es usada para el control o sincronización del flujo de datos; esta interfaz es encontrada con frecuencia en el campo industrial. Al utilizar pares de cables trenzados y blindados, se asegura una comunicación confiable y económica.

3.4.5 Terminadores de bus

El terminador es un dispositivo que suministra resistencia eléctrica al final de una línea de transmisión para absorber las señales de la línea, evitando de este modo que reboten y que vuelvan a ser recibidas por las estaciones de red.

Los terminadores de bus crean la carga que convierte la señal de bus de campo transmitida como un cambio de corriente en una tensión detectada en el cable. Esto acentúa la importancia de una terminación de bus correcta y fiable, que desempeña una función importante en la disponibilidad del sistema. El terminador de bus debe estar configurado para una disponibilidad muy alta.

CAPITULO IV

ELEMENTOS UTILIZADOS

4.1 SENSOR DRÄGER POLYTRON 7000

El sensor Dräger Polytron 7000 (ver figura 4-1) utilizado para este proyecto, posee una capacidad de medición de 100 gases bajo el concepto de plug-and-play, donde se utiliza un transmisor universal y dependiendo del tipo de gas a monitorear varia el cartucho correspondiente al sensor electroquímico (ver figura 4-2) el que en su interior posee un microchip donde se almacenan las curvas de calibración de fábrica.

Figura 4-1. Sensor de oxigeno.

La gran cantidad de salidas de los datos que ofrece este dispositivo permite adaptarlo a cualquier circunstancia, siendo en este caso utilizada para el proyecto la salida de 4 a 20 mA para indicar los valores correspondientes al porcentaje de oxígeno. Las distancias entre el sensor y el PLC son pequeñas por lo que no se presentan mayores inconvenientes, además posee una pantalla de visualización la cual se puede utilizar como medida de campo y realizar comparaciones con los valores disponibles en la HMI.

Figura 4-2.Sensor electroquímico.

4.2 SENSOR DRÄGER POLYTRON IR CO_2.

El sensor Dräger Polytron IR CO_2 como se puede ver en la figura 4-3, posee una pantalla para visualizar los valores en forma local y además opciones de salidas de las cuales se utilizaran en este proyecto la de 4 a 20 mA, este sensor como su nombre lo indica será el elemento de campo encargado de medir el porcentaje de dióxido de carbono presente en la atmosfera del interior del submarino y transmitir estos datos al PLC donde serán procesados y representados en una HMI. Corresponde a tipo de sensores que utiliza el método de medición de la atenuación de un haz infrarrojo descrito en el marco teórico.

Figura 4-3. Sensor de CO_2.

4.3 SENSOR MSA SERIE ULTIMAX XE.

El sensor MSA Ultimax XE (ver en la figura 4-4), es un sensor del tipo catalítico y en este proyecto cumplirá la función de monitorear el porcentaje de hidrogeno, al igual que los demás posee un indicador local que puede ser utilizado para medición de campo. De las salidas disponibles en este proyecto se utiliza la de 4 a 20 mA.

Figura 4-4. Sensor de hidrogeno.

4.4 MÓDULO GIRATORIO FESTO DSM-FW 63

En lo que respecta a los actuadores utilizados en el proyecto, el módulo giratorio Festo DSM-FW 63 (ver figura 4-5) cumple los requisitos necesarios ya que es un elemento compacto, algo muy importante al tratarse de un proyecto para un submarino, con un par de fuerza apto para las exigencias relacionadas a la operación de las válvulas, de fácil instalación y ajuste de sus topes, se puede operar de forma local y remota a través de la

válvula de control , además posee la opción de incorporar sensores de posición muy útiles para el monitoreo de los elementos.

Es un actuador del tipo neumático por lo que se puede utilizar con las plantas de aire comprimido que existen al interior de los submarinos.

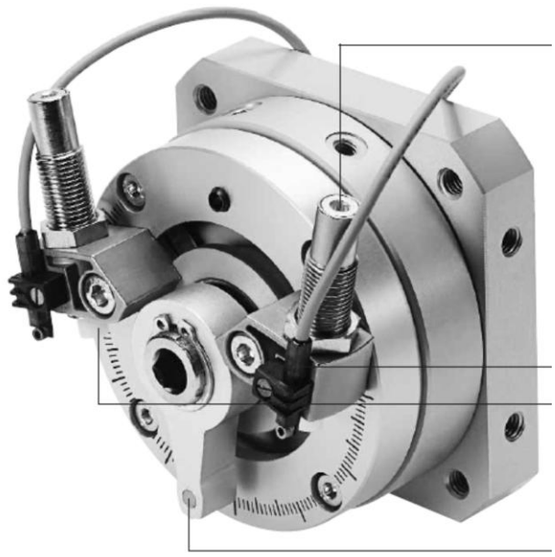


Figura 4-5. Actuador neumático FESTO.

4.5 VÁLVULA DE CONTROL DE 4/2 VÍAS.

La válvula de control de 4/2 vías con bobina magnética y reposición mediante muelle (ver figura 4-6) será la encargada de controlar la posición del módulo giratorio Festo DSM-FW 63 a través de la señal eléctrica proveniente desde el PLC. La conexión será efectuada de tal forma que ante la pérdida de alimentación la posición de las válvulas será en condición cerrada.

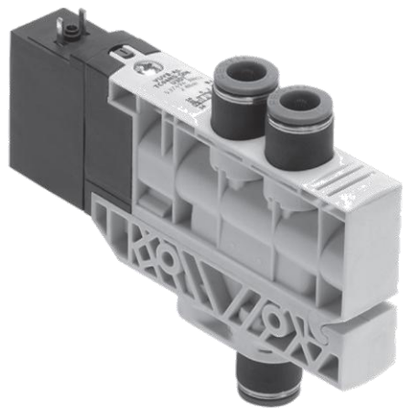


Figura 4-6. Electro válvula FESTO.

4.6 AUTÓMATA

4.6.1 PLC siemens S7-1200

El PLC modelo S7-1214 AC/DC/RLY (ver figura 4-7), en una descripción rápida posee 14 entradas digitales y 2 entradas análogas de tensión, 10 salidas digitales una memoria de 8 KB suficientes para la lógica de programación que se utiliza en este proyecto y un puerto de comunicación Profinet mediante el cual se establece la comunicación con la estación PC que será utilizada como HMI.

Figura 4-7. PLC Siemens S7-1214 AC/DC/RLY.

4.6.2 Módulo SM 1223

Este módulo es utilizado para ampliar el número de salidas y entradas digitales.

Figura 4-8. Módulo SM 1223.

4.6.3 Módulo SM 1231 AI

Este módulo es necesario para integrar al PLC las señales análogas de intensidad de 4 a 20 mA provenientes de los sensores de oxígeno, dióxido de carbono e hidrogeno.

Figura 4-9. Módulo SM 1231.

4.6.4 Módulo PM 1207

Este módulo es el encargado de proporcional una señal constante de tensión para la operación de los actuadores Festo a través de su válvula de control.

Figura 4-10. Fuente de poder PM 1207.

CAPITULO V

CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO

Para la etapa de diseño se debe considerar el desarrollo del proyecto en dos fases, una para visualizar todo el panorama asociado al monitoreo de la calidad del aire interior y en la otra las acciones necesarias que se desean automatizar para el control del sistema de ventilación.

5.1 MONITOREO DE LA CALIDAD DE AIRE INTERIOR

Como se mencionó anteriormente las condiciones para las cuales se tendrá que ajustar el diseño es la de un submarino convencional, donde posterior a una revitalización del aire y desde el momento en que retoma su navegación sumergido, el volumen de aire libre al interior de éste sufre variaciones en su composición ya que comienza a disminuir el porcentaje de oxígeno, y por consiguiente aumenta el porcentaje de dióxido de carbono. Estos efectos están relacionados directamente a la cantidad de personas que se encuentren en el interior.

Para esto se deben considerar la incorporación de elementos que permitan visualizar de forma rápida y certera los niveles de estos gases en tiempo real, alarmas (para valores ajustados por el usuario) y proyección de curvas de producción de CO_2 y consumo de O_2 con el fin de obtener la información real del tiempo en el cual se alcanzaran los niveles críticos ajustados por el usuario.

Otro punto a considerar es el monitoreo del Hidrogeno producido por la baterías, para este gas en especial solo se deberá considerar el monitoreo y alarmas, ya que su producción está relacionado con otros factores que no se analizan como variables para este proyecto.

5.2 CONTROL DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN

El sistema de ventilación de un submarino convencional, está diseñado para cumplir varias funciones de acuerdo a las condiciones que se mencionan a continuación.

5.2.1 Submarino navegando sumergido

Cuando el submarino navega sumergido el sistema de ventilación cumple la función de airear los compartimentos a través de ductos donde circula el aire forzado por ventiladores, lo que permite arrastrar las concentraciones de CO_2 e Hidrógeno, manteniendo una mezcla homogénea en el volumen de aire libre.

5.2.2 Submarino navegando sumergido cargando baterías

Cuando el submarino navega sumergido y requiere cargar sus baterías lo hace en una profundidad cercana a la superficie, el sistema de ventilación es complementado con el snorkel y el sistema de descarga de los gases producidos por los generadores diésel. En esta configuración parte del aire que entra por el snorkel es aprovechado para la ventilación de los compartimentos, y otra parte es suministrada a la sala de máquinas para el funcionamiento de los generadores.

5.2.3 Submarino en puerto

Cuando el submarino se encuentra en puerto, el sistema de ventilación cumple la función de airear los compartimentos a través de ductos donde circula el aire forzado por ventiladores, lo que permite arrastrar las concentraciones de CO_2 e Hidrógeno. Se debe tener en cuenta que en esta condición las escotillas se encuentran abiertas por lo que los porcentajes de concentración de los gases disminuyen considerablemente sin embargo esto no debe quitar la importancia a la función que cumple dicho sistema.

5.2.4 Submarino en puerto cargando baterías

Cuando el submarino se encuentra en puerto se deben realizar cargas de baterías para la mantención de esta misma. En esta condición la función principal del sistema de ventilación es expulsar a través del snorkel las concentraciones de Hidrogeno que se ven aumentadas durante la carga. El suministro de aire hacia los generadores diésel se produce de manera natural a través de las escotillas del submarino, las que se encuentran abiertas.

5.2.5 Submarino durante una emergencia

Cuando en el submarino se produzca una emergencia como un incendio, el sistema de ventilación debe detenerse en el menor tiempo posible ya que de no ser así contribuiría a la propagación de los gases a lo largo de todo el submarino contaminando la totalidad del volumen libre poniendo en riesgo la vida de la personas.

Tabla 5-1. Matriz de configuración de válvulas de ventilación.

	SUMERGIDO						PUERTO						
VALVULA	VENTILADOR BABOR	VENTILADOR ESTRIBOR	AMBOS VENTILADORES	SNORKEL AMBOS VENT.	SNORKEL VENT.ESTRIBOR	SNORKEL VENT.BABOR	VENTILADOR BABOR	VENTILADOR ESTRIBOR	AMBOS VENTILADORES	CARGA AMBOS VENT.	CARGA VENT.ESTRIBOR	CARGA VENT.BABOR	EMERGENCIA
1	abierta	abierta	abierta	abierta	abierta	abierta	abierta	abierta	abierta	cerrada	cerrada	cerrada	cerrada
2	cerrada	cerrada	cerrada	cerrada	cerrada	cerrada	cerrada	cerrada	cerrada	abierta	abierta	abierta	cerrada
3	abierta	cerrada	abierta	abierta	cerrada	abierta	abierta	cerrada	abierta	abierta	cerrada	abierta	cerrada
4	abierta	abierta	cerrada	abierta	cerrada	abierta	abierta	abierta	cerrada	abierta	cerrada	abierta	cerrada
5	abierta	abierta	abierta	cerrada	cerrada	cerrada	abierta	abierta	abierta	cerrada	abierta	cerrada	cerrada
6	abierta	abierta	abierta	cerrada	cerrada	cerrada	abierta	abierta	abierta	cerrada	cerrada	cerrada	cerrada
7	abierta	abierta	abierta	cerrada	cerrada	cerrada	abierta	abierta	abierta	cerrada	cerrada	cerrada	cerrada
8	abierta	abierta	cerrada	cerrada	abierta	abierta	abierta	abierta	cerrada	cerrada	abierta	abierta	cerrada
9	cerrada	abierta	abierta	abierta	abierta	cerrada	cerrada	abierta	abierta	abierta	abierta	cerrada	cerrada
10	abierta	abierta	abierta	abierta	abierta	abierta	abierta	abierta	abierta	abierta	abierta	abierta	cerrada
11	abierta	abierta	abierta	abierta	abierta	abierta	abierta	abierta	abierta	abierta	abierta	abierta	cerrada
12	cerrada	cerrada	cerrada	abierta	abierta	abierta	cerrada	cerrada	cerrada	cerrada	cerrada	cerrada	cerrada
13	abierta	abierta	abierta	abierta	abierta	abierta	abierta	abierta	abierta	abierta	abierta	abierta	cerrada
14	abierta	abierta	abierta	abierta	abierta	abierta	abierta	abierta	abierta	abierta	abierta	abierta	cerrada

abierta cerrada

Por lo tanto para el diseño de este proyecto se deben considerar las distintas configuraciones de válvulas que posee este sistema de ventilación en las condiciones anteriormente mencionadas (ver tabla 5-1), asegurando un correcto funcionamiento así como también el monitoreo constante de la situación actual de los componentes con el propósito de obtener la realimentación de las instrucciones enviadas desde el PLC.

Otros factores a considerar son los tiempos en los cuales el sistema debe responder, la flexibilidad en el diseño para accionar los componentes del sistema en forma local o manual de ser necesario y la seguridad en la programación con el objeto de evitar la manipulación de opciones que afecten a la seguridad.

CAPITULO VI

PROGRAMACIÓN

6.1 DESCRIPCIÓN GENERAL

La programación será efectuada en el software TIA PORTAL V14, y para efectos de simulación se utilizara el software PLC SIM V14, la arquitectura se muestra en la figura 6-1, 6-2 y 6-3, donde se conectan el PLC y una estación PC para simular la HMI.

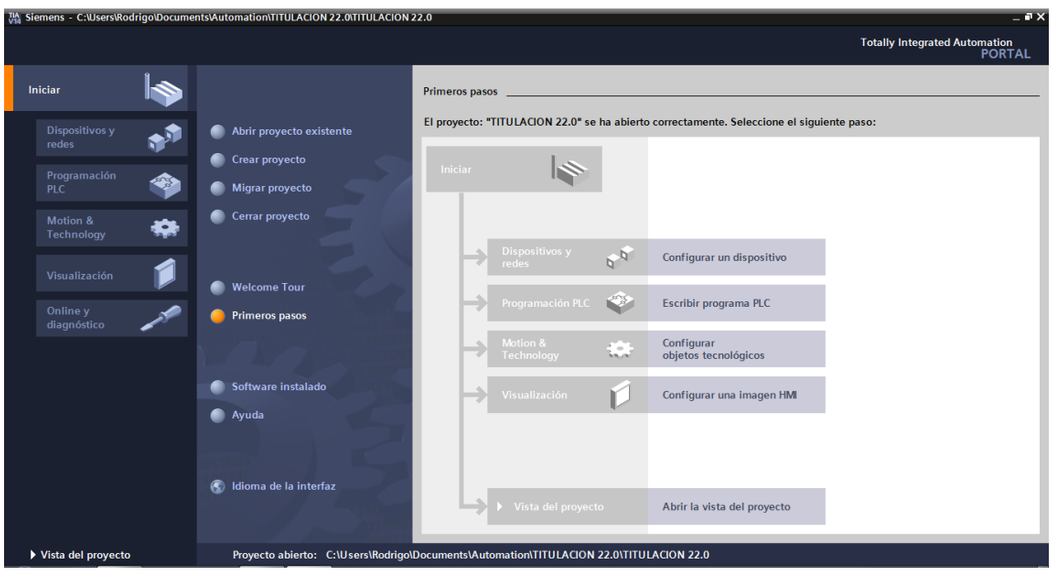


Figura 6-1. Vista general TIA PORTAL V14.

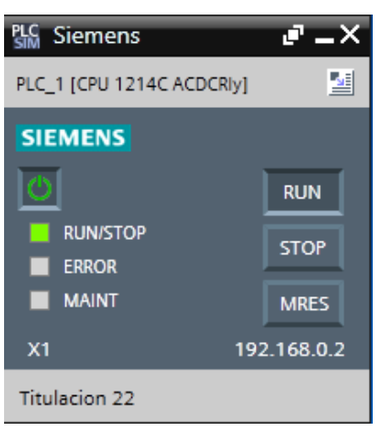


Figura 6-2. PLC SIM V14.

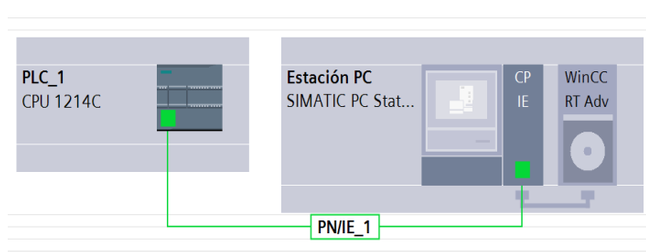


Figura 6-3. Estación PC.

La configuración del dispositivo está de acuerdo a las necesidades del proyecto para lo cual a la CPU 1214 AC/DC/RLY se acoplan los módulos SM 1231 para las entradas análogas de 4 a 20 mA y el módulo SM 1223 para aumentar el número de salidas y entradas digitales como se puede apreciar en la figura 6-4.

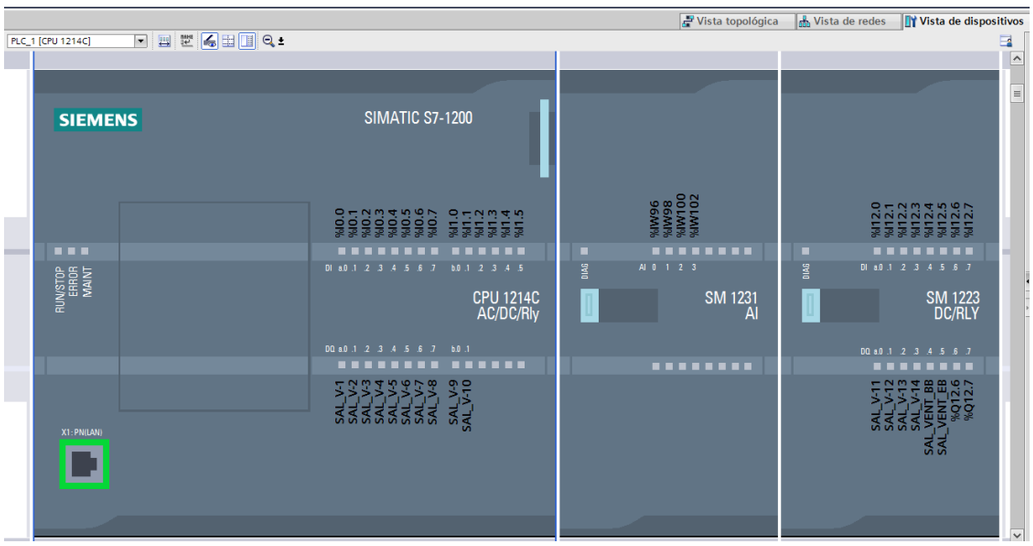


Figura 6-4.Vista de configuración del dispositivo.

Para establecer un fácil acceso y comprensión de las distintas funciones con las que debe contar el proyecto las tareas están divididas dentro del Bloque de Organización "Main [OB1]", en Bloques FC que contienen instrucciones programadas en LADDER y bloque de Datos [DB] globales y de instancia (ver figura 6-5, 6-6).

TITULACION 22.0 ▸ PLC_1 [CPU 1214C AC/DC/Rly] ▸ Bloques de programa

Iniciar

Nombre	Memoria de carga	Memoria de trab...	Dirección	Tipo	Lenguaje
Agregar nuevo bloque					
Main [OB1]	12471 Bytes	412 Bytes	OB1	OB	KOP
CONFIGURACION PUERTO [FC2]	18075 Bytes	879 Bytes	FC2	FC	KOP
CONFIGURACION SUMERGIDO [FC1]	17907 Bytes	873 Bytes	FC1	FC	KOP
ENTRADAS ANALOGAS [FC3]	9336 Bytes	283 Bytes	FC3	FC	KOP
PROYECCION CO2 [FC4]	13381 Bytes	571 Bytes	FC4	FC	KOP
PROYECCION O2 [FC5]	11723 Bytes	493 Bytes	FC5	FC	KOP
1.SUMERGIDO VENT.BABOR [DB1]	2247 Bytes	140 Bytes	DB1	DB	DB
2.SUMERGIDO VENT.ESTRIBOR [DB2]	2138 Bytes	140 Bytes	DB2	DB	DB
3.SUMERGIDO AMBOS VENT. [DB3]	2143 Bytes	140 Bytes	DB3	DB	DB
4.SUMERGIDO SNORKEL AMBOS VENT. [DB4]	2170 Bytes	140 Bytes	DB4	DB	DB
5.SUMERGIDO SNORKEL VENT.ESTRIBOR [DB5]	2173 Bytes	140 Bytes	DB5	DB	DB
6.SUMERGIDO SNORKEL VENT.BABOR [DB6]	2161 Bytes	140 Bytes	DB6	DB	DB
7.PUERTO VENT.BABOR [DB7]	2126 Bytes	140 Bytes	DB7	DB	DB
8.PUERTO VENT.ESTRIBOR [DB8]	2140 Bytes	140 Bytes	DB8	DB	DB
9.PUERTO AMBOS VENTILADORES [DB9]	2154 Bytes	140 Bytes	DB9	DB	DB
10.PUERTO CARGA AMBOS VENT. [DB10]	2156 Bytes	140 Bytes	DB10	DB	DB
11.PUERTO CARGA VENT.ESTRIBOR [DB11]	2160 Bytes	140 Bytes	DB11	DB	DB
12.PUERTO CARGA VENT.BABOR [DB12]	2161 Bytes	140 Bytes	DB12	DB	DB
13.DATOS PROYECCION [DB14]	1577 Bytes	108 Bytes	DB14	DB	DB
Bloques de sistema					

Figura 6-5. Vista general bloques de programa.

TITULACION 22.0 ▸ PLC_1 [CPU 1214C AC/DC/Rly] ▸ Bloques de programa ▸ Bloques de siste

Iniciar

Nombre	Memoria de..	Memoria de..	Dirección	Tipo	Lenguaje
CONT_SIM_CO2 [DB18]	775 Bytes	14 Bytes	DB18	DB	DB
CONT_SIMUL_O2 [DB16]	836 Bytes	14 Bytes	DB16	DB	DB
CONTADOR_CALC_AUTO [DB19]	802 Bytes	14 Bytes	DB19	DB	DB
CONTADOR_CO2 [DB13]	825 Bytes	11 Bytes	DB13	DB	DB
CONTADOR_HIDROGENO [DB22]	794 Bytes	14 Bytes	DB22	DB	DB
CONTADOR_O2 [DB20]	779 Bytes	11 Bytes	DB20	DB	DB
CONTADOR_PERSONAS [DB15]	842 Bytes	11 Bytes	DB15	DB	DB
CONTADOR_TIEMPO [DB17]	807 Bytes	11 Bytes	DB17	DB	DB
TIEMPO_GRAFICA [DB21]	784 Bytes	14 Bytes	DB21	DB	DB

Figura 6-6. Vista general bloques de sistema.

En lo que respecta a la programación del proyecto, se utilizan entre variables asociadas a posiciones de memoria, bloques DB de instancia y globales, un total de 403 elementos lo que a simple vista puede ser un numero grande para alguien que se está iniciando en programación, pero como se muestra en la figura 6-7 los porcentajes de memoria utilizados del PLC son muy bajos.

TITULACION 22.0 ▸ PLC_1 [CPU 1214C AC/DC/Rly] ▸ Información del programa

Estructura de llamadas | Estructura de dependencias | Plano de ocupación | Carga de la memoria

Tareas | Librerías

Carga de la memoria de PLC_1

	Objetos	Memoria de carga	Memoria de trabajo	Memoria remanente		I/O	DI	DO	AI	AO
1		3 %	5 %	0 %			0 %	67 %	0 %	–%
2										
3	Total:	4 MB	102400 bytes	10240 bytes		Configuradas:	24	24	6	0
4	Ocupados/as:	123807 bytes	5413 bytes	42 bytes		Ocupados/as:	0	16	0	0
5	Detalles									
6	OB	12471 bytes	412 bytes							
7	FC	70422 bytes	3099 bytes							
8	FB	-	-							
9	DB	34750 bytes	1902 bytes	42 bytes						
10	Objetos para Motion Technology	-	-	0 bytes						
11	Tipos datos	-								
12	Variables PLC	6164 bytes		0 bytes						

Figura 6-7. Información general del programa.

Para poder simular la entrada de las señales análogas se han incorporado contadores ascendentes que simulan el consumo de oxígeno y el aumento tanto del CO_2 como del Hidrogeno. Cabe mencionar que en la etapa de normalización y escalado de las señales se toman en consideración los parámetros reales para el PLC S7-1200 (ver tabla 6-1).

Tabla 6-1. Representación de entradas analógicas para intensidad.

Sistema		Rango de medida de intensidad		
Decimal	Hexadecimal	De 0 mA a 20 mA	De 4 mA a 20 mA	
32767	7FFF	23,70 mA	22,96 mA	Rebase por exceso
32512	7F00			
32511	7EFF	23,52 mA	22,81 mA	Rango de sobreimpulso
27649	6C01			
27648	6C00	20 mA	20 mA	Rango nominal
20736	5100	15 mA	16 mA	
1	1	723,4 nA	4 mA + 578,7 nA	
0	0	0 mA	4 mA	
-1	FFFF			Rango de subimpulso
-4864	ED00	-3,52 mA	1,185 mA	
-4865	ECFF			Rebase por defecto
-32768	8000			

6.2 DESCRIPCIÓN BLOQUE DE ENTRADAS ANÁLOGAS

A continuación se muestra de forma general los principales procesos realizados en el bloque FC “Entrada Análogas”.

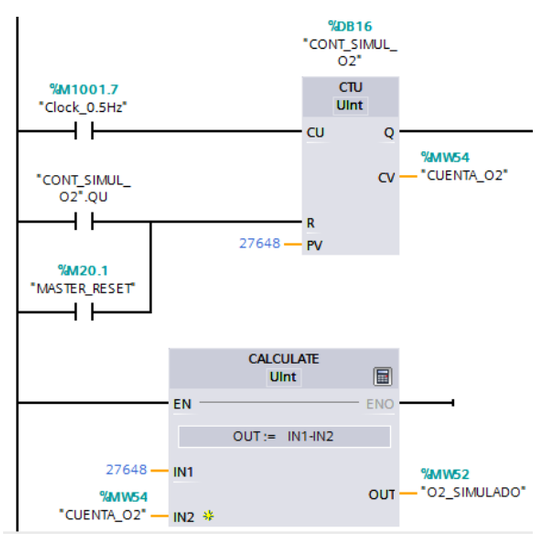


Figura 6-8. Contador simulador del consumo de oxígeno.

La simulación de la señal análoga del sensor de oxígeno, como se muestra en la figura 6-8, se realiza mediante un contador que es activado con un flanco ascendente de 0,5 Hz y limitado para contar hasta 27.648, simula el consumo de oxígeno a una razón de 52,51 lts/hr por cada persona aproximadamente.

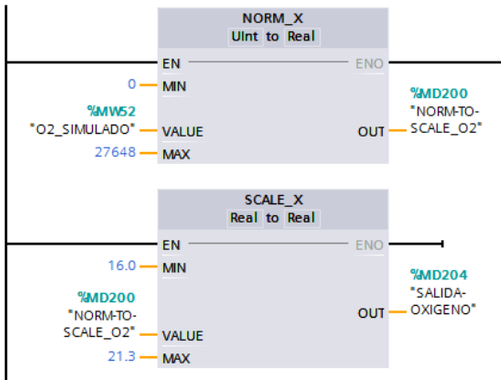


Figura 6-9. Normalización y escalado de Oxigeno.

Como se puede apreciar en la figura 6-9, posterior al contador los datos son ingresados al bloque de normalización seguido del bloque de escalado de señales análogas, se establece como valor mínimo 16 y valor máximo de 21,3. Rangos asociados al tipo de sensor.

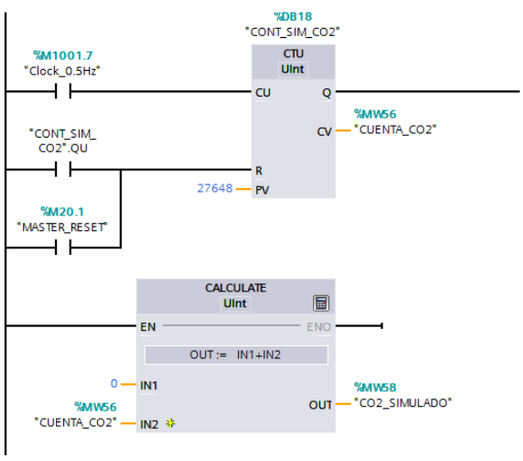


Figura 6-10. Contador simulador del consumo de CO_2.

La simulación de la señal análoga del sensor de dióxido de carbono como se puede apreciar en la figura 6-10, se efectúa mediante un contador que es activado con un flanco ascendente de 0,5 Hz y limitado para contar hasta 27.648, simulando la producción de CO_2 a una razón de 24,89 lts/hr por cada persona aproximadamente.

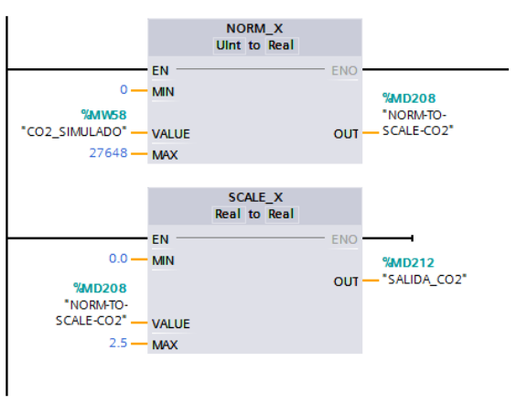


Figura 6-11. Normalización y escalado de CO_2.

Posterior al contador los datos son ingresados al bloque de normalización seguido del bloque de escalado de señales análogas, como se muestra en la figura 6-11, estableciendo como valor mínimo 0 y un valor máximo de 2,5. Rangos asociados al tipo de sensor.

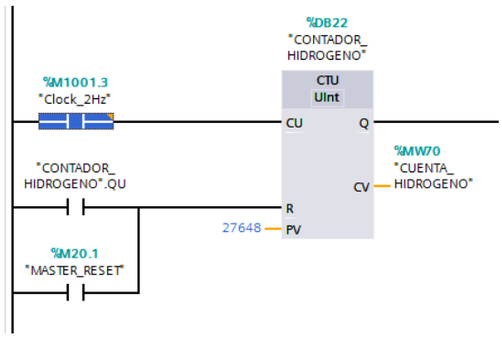


Figura 6-12. Contador simulador del consumo de Hidrogeno.

En la figura 6-12 se muestra la simulación de la señal análoga del sensor de hidrogeno, ésta se efectúa mediante un contador que es activado con un flanco ascendente de 2 Hz y limitado para contar hasta 27.648, simulando la producción de Hidrogeno a 1,04%/hr aproximadamente.

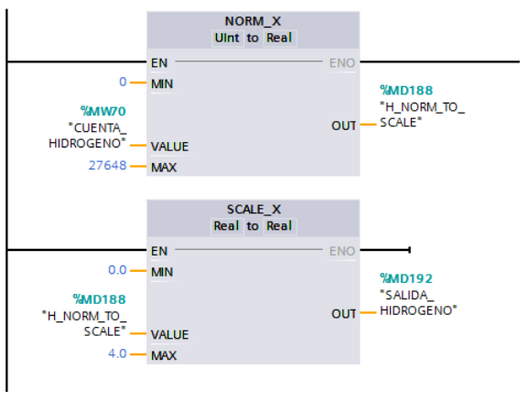


Figura 6-13. Normalización y escalado del Hidrogeno.

Posterior al contador los datos son ingresados al bloque de normalización seguido del bloque de escalado de señales análogas, como se muestra en la figura 6-13, estableciendo como valor mínimo 0 y un valor máximo de 4. Rangos asociados al tipo de sensor.

6.3 DESCRIPCIÓN BLOQUE CONFIGURACIÓN PUERTO Y SUMERGIDO

Para la configuración de las válvulas del sistema de ventilación, se ha dividido en dos bloques de programación los cuales estarán asociados a pantallas individuales en la HMI. Estos bloques son idénticos (ver figura 6-14), y poseen 6 opciones cada uno las que se ejecutan de acuerdo a la opción elegida por el operador.

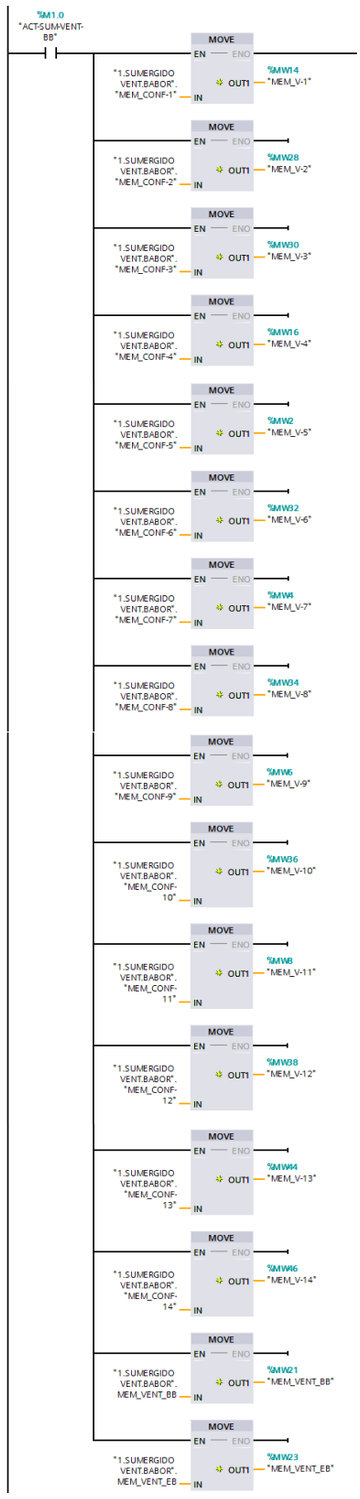


Figura 6-14. Bloque de configuración puerto.

En este caso la marca %M1.0 de tipo bool, asociado a un botón en la HMI que selecciona un tipo de configuración, activa los 14 bloques de operación MOVE que mueven los datos ubicados en un bloque de datos globales hacia una posición de memoria tipo Word, la cual está asociada a la activación o desactivación de una válvula en el bloque de organización principal.

Así, de ser necesario modificar la configuración de las válvulas, solo se debe efectuar el cambio en los valores establecidos en el bloque de datos globales asociado a la respectiva configuración.

6.4 DESCRIPCIÓN BLOQUE PROYECCIÓN CO_2

En este bloque se busca poder efectuar la proyección y así poder calcular cuánto es el tiempo que debe transcurrir para alcanzar el nivel de CO_2 establecido por el usuario.

Por lo tanto en este bloque se agregan operaciones para poder ajustar valores como la cantidad de personas y el nivel de CO_2 crítico para el caso del cálculo lineal y el tiempo de muestreo para el caso del cálculo lineal a trozos.

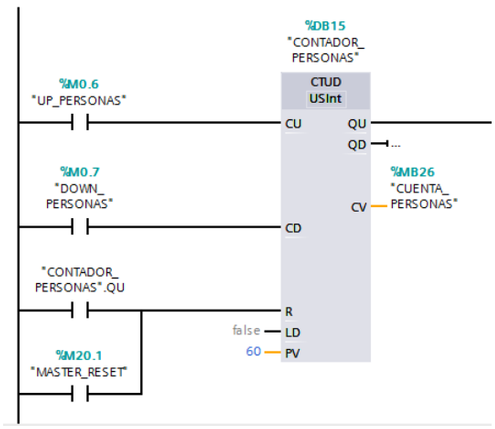


Figura 6-15. Contador para ajuste de cantidad personas.

A través de un contador ascendente/descendente de tipo USint (ver figura 6-15), el usuario podrá ajustar el valor asociado a la cantidad de personas. Este dato será almacenado en una posición de memoria que será considerada para futuros cálculos.

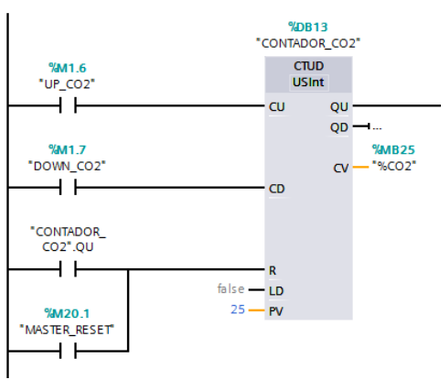


Figura 6-16. Contador para ajuste de nivel CO_2 .

De la misma forma anteriormente señalada el usuario podrá efectuar el valor del nivel de CO_2 crítico (ver figura 6-16).

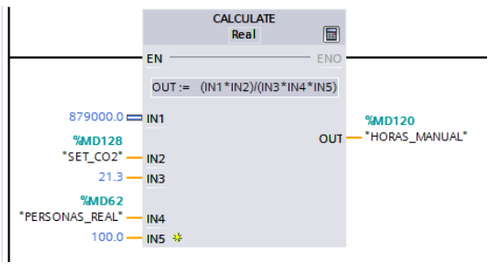


Figura 6-17. Bloque de cálculo manual.

En la figura 6-17 se muestra el bloque de operación que efectúa el cálculo matemático denominado manual, donde se obtiene la proyección lineal considerando una producción promedio de 21,3 lts/hr por persona.

$$t_{co_2} = \frac{Volumen\ libre * \%CO_2 * 1000}{n°\ personas * \%\ CO_{2/pers.}} (\text{hrs.})$$

Figura 6-18. Fórmula para cálculo manual.

La fórmula utilizada para el cálculo de la proyección de tiempo en alcanzar el porcentaje de dióxido de carbono se muestra en la figura 6-18, el volumen libre depende del submarino en el cual se implemente esta solución, el % CO_2 es el valor límite permisible ajustado por el operador así como también el número de personas, el valor del $\%CO_2/pers.$ es un valor fijo promedio correspondiente a 21,3 lts/hr.

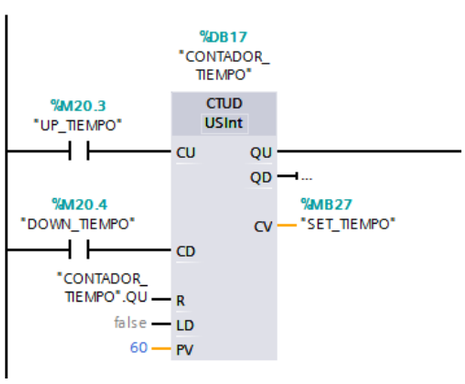


Figura 6-19. Contador para ajuste de tiempo de muestreo.

En el contador de la figura 6-19 se ajusta el valor del intervalo de tiempo en minutos en los cuales se tomaran muestras de los niveles de CO_2.

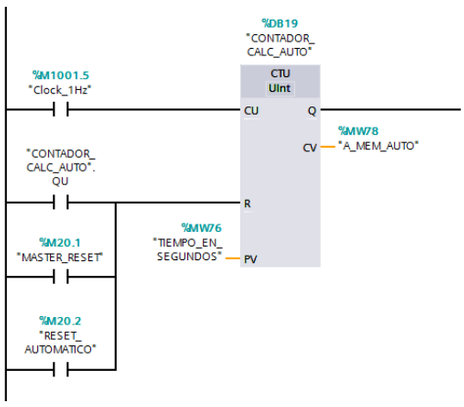


Figura 6-20. Contador para base de tiempo automático.

La figura 6-20 muestra el bloque encargado de generar el tiempo base para la toma de muestras de CO_2.

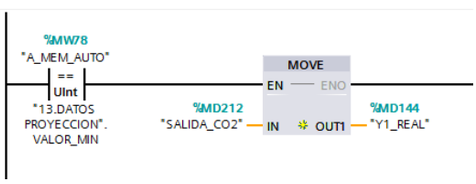


Figura 6-21. Toma de muestra valor mínimo CO_2.

Mediante el proceso detallado en la figura 6-21, se efectúa la comparación entre el tiempo base y el valor ajustado en el bloque de datos globales, de esta forma cuando es activado mueve el valor actual de CO_2 a una posición de memoria designada para el valor mínimo de Y.

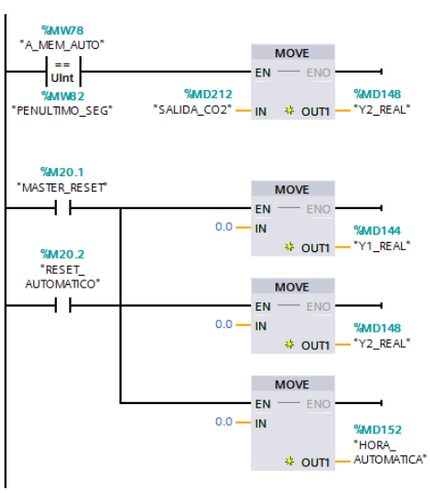


Figura 6-22. Toma de muestra valor máximo CO_2 .

En esta parte del programa la activación se efectúa a través de la comparación del tiempo base con el penúltimo segundo del tiempo ajustado por el usuario, y mueve el valor actual de CO_2 a una posición de memoria designada para almacenar el valor máximo de Y. Además a través del reset se envía un valor 0 a dichas posiciones de memoria (ver figura 6-22).

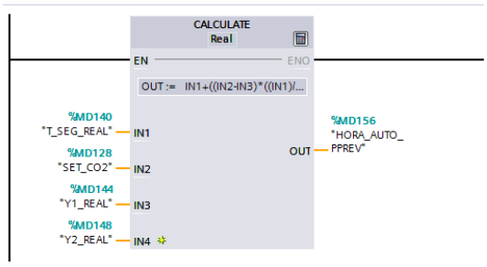


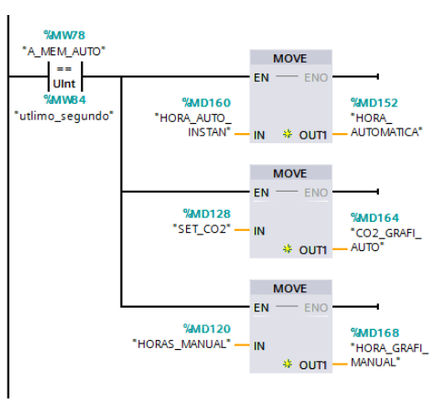
Figura 6-23. Bloque de cálculo automático.

En la figura 6-23 se muestra el bloque de operación que efectúa el cálculo matemático denominado automático, donde se obtiene la proyección lineal a trazos considerando los valores de CO_2 medidos en el primer y penúltimo segundo del tiempo de muestreo ajustado.

$$t_{co_2} = t_{muestreo} + \left[\left(\%CO_2 - \%CO_{2_i}\right) * \left(\frac{t_f - t_i}{\%\,CO_{2_f} - \%CO_{2_i}}\right)\right](\text{hrs.})$$

Figura 6-24. Fórmula para calcular proyección automática de CO_2.

En la figura 6-24 se muestra la fórmula utilizada para el cálculo automático de proyección del tiempo en alcanzar el porcentaje de dióxido de carbono limite, $t_{muestreo}$ corresponde al intervalo de tiempo ajustado por el operador en el que se tomaran las muestras, $\%CO_2$ es el valor de dióxido de carbono limite ajustado por el operador, t_i es el valor de tiempo inicial y t_f el valor de tiempo final correspondientes al intervalo de tiempo ajustado, $\%CO_{2_i}$ se denomina al valor del nivel de porcentaje de dióxido de carbono que es almacenado en una posición de memoria en el t_i, y el $\%\,CO_{2_f}$ es el valor del nivel de porcentaje de dióxido de carbono almacenado en t_f. Estos dos valores son comparados para determinar la variación y así proyectar constantemente el tiempo disponible para alcanzar el nivel de dióxido de carbono limite.



En el último segundo los datos se mueven a una posición de memoria que tiene por objeto graficar los datos analizados, evitando con esto variaciones en el grafico producto de los ajustes iniciales.

6.5 MATRIZ DE MEMORIA Y VARIABLES

Los nombres asignados a las variables utilizadas, están designados en relación a las acciones y componentes con los cuales interactúan a través del PLC con el propósito de facilitar la comprensión de la programación y su relación con los elementos incluidos en la HMI, en la tabla 6-2 se puede apreciar el listado en el que algunos nombres resultan similares debido a la conversión necesaria que se debe efectuar con algunos tipos de datos para que puedan interactuar con algunos bloques de operación del sistema así como la conversión necesaria para poder utilizar datos en elementos de visualización de la HMI.

Tabla 6-2.Variables utilizadas en el proyecto.

"SAL_V-1"	%Q0.0	Bool	"SET_O2"	%MD124	Floating-point number
"SAL_V-2"	%Q0.1	Bool	"SET_CO2"	%MD128	Floating-point number
"SAL_V-3"	%Q0.2	Bool	"ENTRADA-OXIGENO"	%MW26	DEC
"SAL_V-4"	%Q0.3	Bool	"ENTRADA_CO2"	%MW42	DEC
"SAL_V-5"	%Q0.4	Bool	"O2_SIMULADO"	%MW52	DEC
"SAL_V-6"	%Q0.5	Bool	"System_Byte"	%MB1000	Hex
"SAL_V-7"	%Q0.6	Bool	"FirstScan"	%M1000.0	Bool
"SAL_V-8"	%Q0.7	Bool	"DiagStatusUpdate"	%M1000.1	Bool
"SAL_V-9"	%Q1.0	Bool	"AlwaysTRUE"	%M1000.2	Bool
"SAL_V-10"	%Q1.1	Bool	"AlwaysFALSE"	%M1000.3	Bool
"SAL_V-11"	%Q12.0	Bool	"Clock_Byte"	%MB1001	Hex
"SAL_V-12"	%Q12.1	Bool	"Clock_10Hz"	%M1001.0	Bool
"SAL_V-13"	%Q12.2	Bool	"Clock_5Hz"	%M1001.1	Bool
"SAL_V-14"	%Q12.3	Bool	"Clock_2.5Hz"	%M1001.2	Bool
"SAL_VENT_BB"	%Q12.4	Bool	"Clock_2Hz"	%M1001.3	Bool
"SAL_VENT_EB"	%Q12.5	Bool	"Clock_1.25Hz"	%M1001.4	Bool
"SISTEM-ON"	%M0.0	Bool	"Clock_1Hz"	%M1001.5	Bool
"PARTIR"	%M0.1	Bool	"Clock_0.625Hz"	%M1001.6	Bool
"PARAR"	%M0.2	Bool	"Clock_0.5Hz"	%M1001.7	Bool
"ACT-SUM-VENT-EB"	%M1.1	Bool	"RESET_CTU_O2"	%M20.0	Bool
"ACT-SUM-AMBOS"	%M1.2	Bool	"CUENTA_O2"	%MW54	DEC
"ACT-SUM-SNK-AMBOS"	%M1.3	Bool	"CUENTA_CO2"	%MW56	DEC
"ACT-SUM-SNK-VENT-EB"	%M1.4	Bool	"%O2_REAL"	%MW66	Hex
"ACT-SUM-SNK-VENT-BB"	%M1.5	Bool	"RESTO_O2"	%M68.0	Floating-point number
"ACT-SUM-VENT-BB"	%M1.0	Bool	"Tag_2"	%M75.0	Bool
"ACT-PTO-VENT-BB"	%M40.0	Bool	"Tag_3"	%M80.0	Floating-point number
"ACEPTAR"	%M100.5	Bool	"MASTER_RESET"	%M20.1	Bool
"PANTALLA_SUMERGIDO"	%M500.0	Bool	"RESET_AUTOMATICO"	%M20.2	Bool
"PANTALLA_PUERTO"	%M500.1	Bool	"CO2_SIMULADO"	%MW58	DEC
"MEM_V-1"	%MW14	DEC	"UP_PERSONAS"	%M0.6	Bool
"MEM_V-2"	%MW28	DEC	"DOWN_PERSONAS"	%M0.7	Bool
"MEM_V-3"	%MW30	DEC	"%CO2"	%MB25	DEC
"MEM_V-4"	%MW16	DEC	"CUENTA_PERSONAS"	%MB26	DEC
"MEM_V-5"	%MW2	DEC	"PERSONAS_REAL"	%MD62	Floating-point number
"MEM_V-6"	%MW32	DEC	"UP_TIEMPO"	%M20.3	Bool
"MEM_V-7"	%MW4	DEC	"DOWN_TIEMPO"	%M20.4	Bool
"MEM_V-8"	%MW34	DEC	"SET_TIEMPO"	%MB27	DEC
"MEM_V-9"	%MW6	DEC	"TIEMPO_REAL"	%MD66	Floating-point number
"MEM_V-10"	%MW36	DEC	"TIEMPO_EN_SEGUNDOS"	%MW76	DEC
"MEM_V-11"	%MW8	DEC	"A_MEM_AUTO"	%MW78	DEC
"MEM_V-12"	%MW38	DEC	"PENULTIMO_SEG"	%MW82	DEC
"MEM_V-13"	%MW44	DEC	"utlimo_segundo"	%MW84	DEC
"MEM_V-14"	%MW46	DEC	"T_SEG_REAL"	%MD140	Floating-point number
"ACT-PTO-VENT-EB"	%M40.1	Bool	"Y1_REAL"	%MD144	Floating-point number
"ACT-PTO-AMBOS VENT."	%M40.2	Bool	"Y2_REAL"	%MD148	Floating-point number
"ACT-PTO-CARGA-AMBOS"	%M40.3	Bool	"HORA_AUTOMATICA"	%MD152	Floating-point number
"ACT-PTO-CARGA-VENT-EB"	%M40.4	Bool	"HORA_AUTO_PPREV"	%MD156	Floating-point number
"ACT-PTO-CARGA-VENT-BB"	%M40.5	Bool	"HORA_AUTO_INSTAN"	%MD160	Floating-point number
"RESET"	%M0.3	Bool	"CO2_GRAFI_AUTO"	%MD164	Floating-point number
"EMERGENCIA"	%M0.4	Bool	"HORA_GRAFI_MANUAL"	%MD168	Floating-point number
"IND-EMERGENCIA"	%M0.5	Bool	"ESPERA"	%M190.0	Bool
"NORM-TO-SCALE_O2"	%MD200	Floating-point number	"IND_ESPERA"	%M190.1	Bool
"SALIDA-OXIGENO"	%MD204	Floating-point number	"UP_O2"	%M11.0	Bool
"MEM_VENT_BB"	%MW21	DEC	"DOWN_O2"	%M11.1	Bool
"MEM_VENT_EB"	%MW23	DEC	"MASTER_RESET_O2"	%M11.2	Bool
"NORM-TO-SCALE-CO2"	%MD208	Floating-point number	"%O2"	%MB12	DEC
"SALIDA_CO2"	%MD212	Floating-point number	"HRS_MANUAL_O2"	%MD132	Floating-point number
"SUMA_CO2"	%MD216	Floating-point number	"Y1_O2_REAL"	%MD136	Floating-point number
"Tag_1"	%MD800	Hex	"HORA_AUTO2_INSTAN"	%MD116	Floating-point number
"VALOR_O2"	%MD48	Floating-point number	"HORA_AUTOMATICA_O2"	%MD86	Floating-point number
"HORAS_CO2"	%MD10	Floating-point number	"O2_GRAFI_AUTO"	%MD90	Floating-point number
"VOL_REAL"	%MD100	Floating-point number	"O2HORA_GRAFI_MANUAL"	%MD94	Floating-point number
"TEMPO_GRAFICA"	%MW60	DEC	"TEMPO_GRAFICA_REAL"	%MD172	Floating-point number
"UP_CO2"	%M1.6	Bool	"GRAFI_TIEMPO"	%MD176	Floating-point number
"DOWN_CO2"	%M1.7	Bool	"O2_EN_EL_OJO"	%MD180	Floating-point number
"VALOR_CO2"	%MD104	Floating-point number	"CO2_EN_EL_OJO"	%MD184	Floating-point number
"Y2_O2_REAL"	%MD108	Floating-point number	"CUENTA_HIDROGENO"	%MW70	DEC
"HORA_AUTO2_PREV"	%MD112	Floating-point number	"H_NORM_TO_SCALE"	%MD188	Floating-point number
"HORAS_MANUAL"	%MD120	Floating-point number	"SALIDA_HIDROGENO"	%MD192	Floating-point number

6.6 PANTALLAS DE LA HMI

Las pantallas fueron diseñadas tomando en consideración los objetivos generales planteados al inicio de este trabajo de título.

La pantalla correspondiente a la figura 6-25, corresponde a la interacción que tendrá el operador con las opciones disponibles en la condición de submarino en puerto, en el extremo superior izquierdo se puede apreciar un cuadro que contiene 6 opciones, cada una de ellas está relacionada a la posición de las válvulas del sistema de ventilación. En la figura 6-25 se muestra la operación con el ventilador de babor como opción seleccionada, asociado a esto la posición de las válvulas están representadas por los círculos de color verde para las válvulas que deben estar abiertas y en color rojo para las que deban estar cerradas de acuerdo a la instrucción enviada por el PLC. En el caso que la válvula no se encuentre en la posición indicada, el círculo representativo comenzara a destellar indicando con esto la posición incorrecta o en su defecto una falla asociada al sensor de posición del actuador.

Para una mejor comprensión del sentido de flujo del aire se activan flechas de color azul en la línea de aspiración del ventilador y de color rojo en la de descarga.

La opción correspondiente a emergencia puede ser activada desde ambas pantallas de configuración del sistema de ventilación siendo necesario un reset de emergencia para volver a condición normal de operación.

Figura 6-25.Configuración sistema de ventilación en puerto con ventilador de babor.

En el extremo superior derecho de la figura 6-25, además de la indicación de fecha y hora, se pueden apreciar tres indicadores encargados de mostrar los valores de los niveles de concentración del oxígeno, dióxido de carbono y el hidrogeno.

Como método preventivo cuando se alcanzan los valores limites, ajustados por el operador, un círculo de color rojo alrededor de estos manómetros comenzara a destellar en señal de advertencia.

En la figura 6-26 se muestra la imagen correspondiente a la pantalla “Ventilación Sumergido”, en esta condición, al igual que lo descrito en el párrafo anterior las 6 opciones disponibles corresponden a las posiciones en las que deben estar las válvulas del sistema de ventilación considerando en este caso la aspiración para la renovación del aire ambiente es a través del mástil de snorkel. Los indicadores de niveles de concentración de oxígeno, dióxido de carbono e hidrogeno también están presentes en esta pantalla permitiendo así el monitoreo en forma constante de estos gases.

Figura 6-26. Configuración sistema de ventilación sumergido con ventilador de babor.

En la figura 6-27 se puede apreciar las acciones que se ejecutan al presionar la opción de emergencia, donde se cierran todas las válvulas, se detienen los ventiladores (acción no contemplada en este proyecto).

Figura 6-27. Configuración sistema de ventilación en emergencia.

En la pantalla “Monitoreo” correspondiente a la figura 6-28 se incorporan dos gráficos, dos indicadores tipo manómetro y dos display numéricos que mantienen informado al operador del valor actual de los niveles de oxígeno, dióxido de carbono e hidrogeno.

Los gráficos incorporados muestran los valores de los niveles de oxígeno y dióxido de carbono proporcionando un registro histórico de las posibles variaciones, su escala de porcentaje de concentración correspondiente al eje Y se ajusta de forma automática al igual que la escala de tiempo correspondiente al eje X, la que además para tiempos excesivos dispone de una barra deslizante horizontal.

En el extremo superior izquierdo de la figura 6-28 se pueden visualizar dos elementos tipo botón, “Parar” y “Partir” los que dan la partida al sistema completo, esto se incorpora solo con el propósito de proveer un control sobre el arranque del programa en su etapa de diseño.

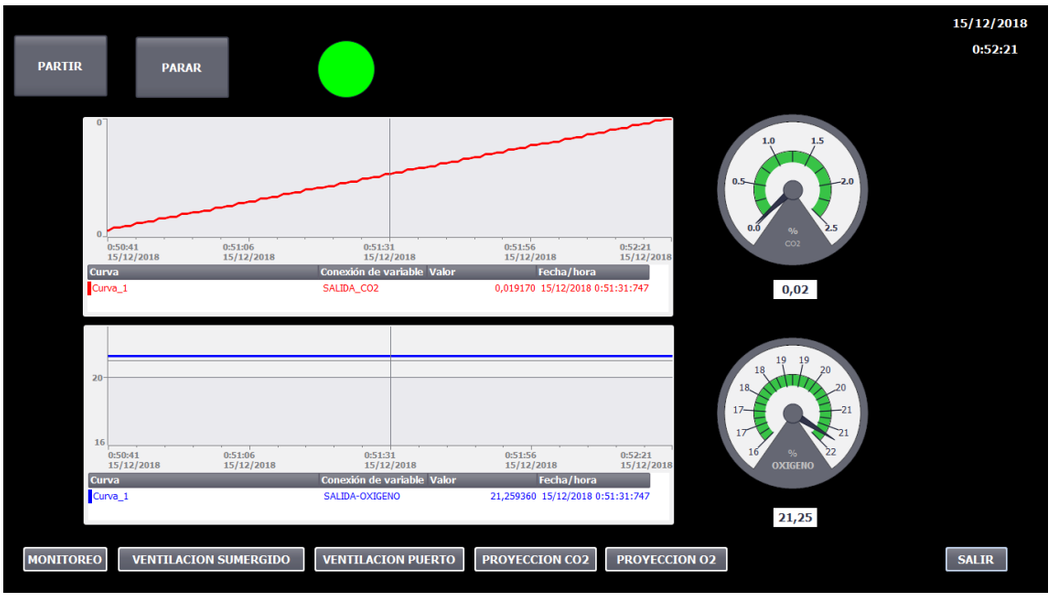


Figura 6-28. Monitoreo en tiempo real de los niveles de O_2 y CO_2.

En la figura 6-29 correspondiente a la pantalla "Proyección de CO_2", se puede apreciar tres cuerpos principales correspondientes al cálculo manual, calculo automático y gráfica.

En el cuadro del cálculo manual se puede apreciar la fórmula utilizada para dicha operación matemática, las variables a modificar en esta fórmula y adaptar la proyección a las condiciones reales se efectúan a través del contador ascendente/descendente donde ajustamos la cantidad de personas que se encuentran al interior del submarino y el contador ascendente/descendente donde se ajusta el porcentaje de CO_2 el que será el valor límite para los cálculos de proyección y set de alarmas. En el extremo derecho de este cuadro se visualiza el resultado del cálculo de la proyección manual y en su extremo inferior un elemento de tipo botón con la leyenda reset manual que lleva a cero los contadores asociados a cantidad de personas y porcentaje de dióxido de carbono.

En el cuadro del cálculo automático también se muestra la fórmula utilizada para dicha operación matemática, este cálculo automático se realiza tomando muestras a intervalos de tiempo, los que son ajustados a través del contador ascendente/descendente denominado tiempo de muestreo, y proyectados al valor límite (ajustado en cuadro de cálculo manual) utilizando el mismo tipo de formula ocupado en el escalado de señales análogas donde ambos ejes no comienzan en cero. El primer resultado del cálculo de la proyección automática se muestra en el sector derecho una vez que se cumpla el tiempo de muestreo ajustado, si se desea resetear los valores ajustados también posee esta opción a través de un reset solo para este bloque.

En el grafico queda reflejado la proyección manual en color rojo, la proyección en automático en color verde, y de forma constante será ingresado el valor real del porcentaje de dióxido de carbono para contar así con la representación gráfica real, estos datos pueden ser utilizados en análisis que contribuyan a dilucidar las condiciones en las cuales aumenta la producción de CO_2.

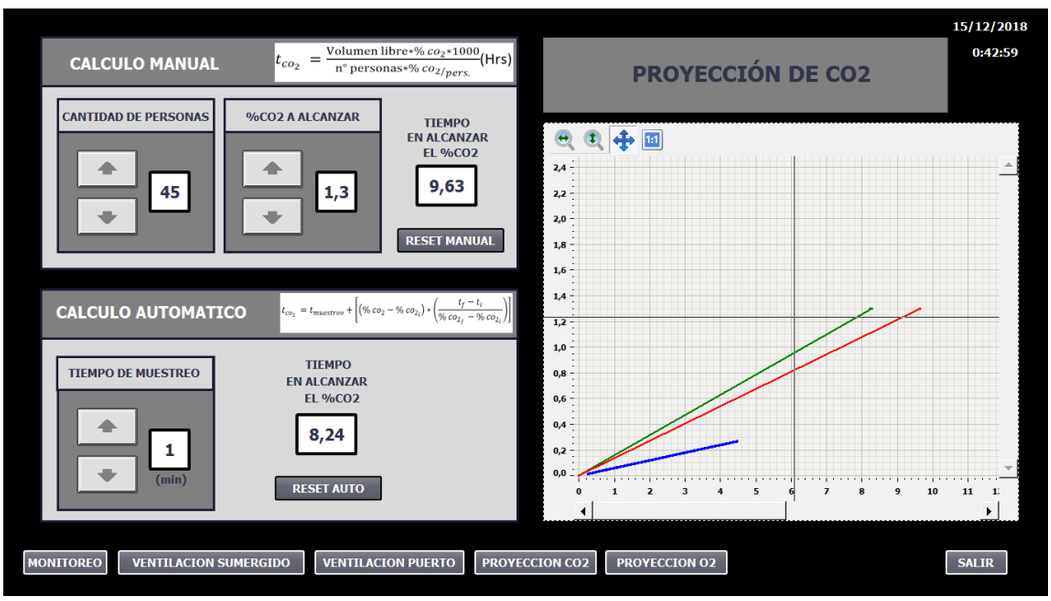


Figura 6-29. Proyección y grafica de CO_2.

En la figura 6-30 se muestra la pantalla "Proyección de O_2" donde al igual que la pantalla mencionada anteriormente se divide en tres cuerpos principales como el cálculo manual, calculo automático y gráfico.

Las fórmulas que se muestran en esta pantalla corresponden a las utilizadas para efectuar la proyecciones denominadas manual y automática, cabe mencionar que la formula asociada al cálculo manual es la de comportamiento lineal y la formula asociada al cálculo automático corresponde a una función lineal a trozos siendo los intervalos de tiempo ajustados los que definen el largo de estos trozos. La grafica en este caso también usa el color rojo para la proyección de cálculo manual, color verde para la proyección de cálculo automático y de color azul las variaciones instantáneas del porcentaje de oxígeno.

En ambos casos mencionados anteriormente las gráficas son líneas rectas debido a que las entradas correspondientes a los sensores son simuladas por contadores que varían de forma constante el valor simulado.

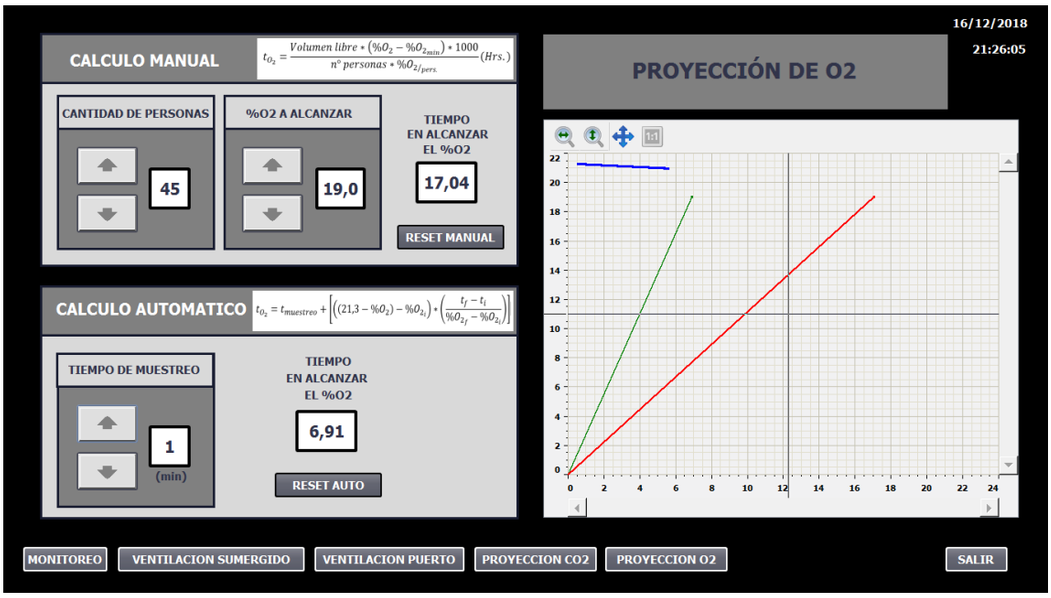


Figura 6-30. Proyección y grafica de O_2.

CONCLUSIÓN

La aplicación de la automatización es una herramienta para la solución a problemas tanto en la vida diaria como en los grandes procesos industriales de áreas tan diversas como salud, ciencia, y tecnología entre otras, tiene una creciente demanda siendo un área en constante desarrollo debido a la capacidad de adaptarse a los procesos.

En el presente trabajo de título se pusieron en práctica los conocimientos adquiridos en el transcurso de la carrera con el objetivo principal de implementar un sistema de control que desarrolle acciones tendientes a mantener la seguridad, debemos recordar que automatizar no solo debe estar relacionado a la producción, también debe cumplir con requisitos como la seguridad de las personas, del ambiente y de las instalaciones donde se realiza el proceso en cuestión.

Los métodos para monitorear la calidad del aire de interior propuesto en este informe, están orientados a espacios confinados de gran volumen, donde algunas veces se les toma poca importancia dejando de lado la seguridad de las personas. La mezcla homogénea del aire que respiramos y las propiedades inodoras e incoloras de algunos gases nocivos para nuestra salud, hace imprescindible contar con instrumentos capaces de detectar la presencia y alertarnos cuando los niveles de concentración son peligrosos para la vida humana. Es así como para un submarino convencional se toma en cuenta la medición del oxígeno, el dióxido de carbono y el hidrógeno, sin descartar para una futura ampliación del proyecto considerar sensores capaces de detectar freón , monóxido de carbono y ácido clorhídrico entre otros.

Finalmente mencionar que antes de efectuar los estudios y análisis con el propósito de automatizar un proceso, lo más importante es el conocimiento a cabalidad de las variables a controlar y sus efectos en la línea de producción, con el fin de establecer parámetros que aseguren la correcta operación de los elementos mecánicos involucrados.

BIBLIOGRAFÍA

[1] FERNÁNDEZ de Sevilla Muñoz, David. Submarino de Combate. Análisis de las alternativas propulsivas y definición de la cota operativa. Memoria (Master en Ingeniería Naval y Oceánica) Madrid, España: Universidad Politécnica de Madrid. Sede Madrid, 2017. 541 h.

[2] Ministerio de Salud (Chile). Instituto de Salud Pública. Guía para los trabajos en espacios confinados. Resolución Exenta 3659. Santiago, Chile: 2016. 14 p.

[3] PÉREZ Cabezas, María. Curso Autómatas Programables S7 1200, E/S digitales y analógicas. [PDF] Valencia, España. CEFIRE - Conselleria de Educación, Investigación, Cultura y Deporte. 2014. 19 paginas, col.

[4] SIEMENS AG. Simatic S7, Controlador Programable S7 1200. Manual de Sistema V4.2. Núremberg, Alemania. (1614) 2016.

LINKOGRAFÍA

[1] AUTRACEN. Bloques FB y FC de un PLC SIEMENS. [en línea] <http://www.autracen.com/bloques-fb-y-fc/ > [consulta: 25 de Julio de 2018].

[2] ÅKERBERG, Dani Janer. Ventilación en Submarinos Convencionales. [en línea] <www.u-historia.com/uhistoria/tecnico/visitaguiada/ventilaciones/ventilaciones.htm> [consulta: 10 de Octubre de 2018].

[3] DRÄGER. Principio de sensores detectores de gases. [en línea] <https://www.draeger.com/Products/Content/sensoren-br-9069990-es.pdf>

a. [consulta: 20 de Septiembre de 2018].

[4] DRÄGER. DRÄGER Polytron IR CO_2. [en línea] <https://www.draeger.com/en_aunz/Chemical-Industry/Products/Stationary-Gas-Detection-Systems/Detection-of-Toxic-Gases-and-Oxygen/Polytron-IR-CO_2>

a. [consulta: 20 de Septiembre de 2018].

[5] DRÄGER. DRÄGER Polytron 7000. [en línea] <https://www.draeger.com/Products/Content/polytron-7000-pi-9041184-es-es.pdf> [consulta: 25 de Septiembre de 2018].

[6] MSA. Sensor Ultimax serie XE. [en línea] <http://s7d9.scene7.com/is/content/minesafetyappliances/Ultima%20X%20Series%20Operating%20Manual%20-%20ES> [consulta: 25 de Septiembre de 2018].

[7] HURTADO, José M°. Comunicaciones Industriales. [PDF] Linares, España.<http://www.infoplc.net/files/documentacion/comunicaciones/infoPLC_net_introduccic3b3n-a-las-redes-de-comunicacic3b3n-industrial.pdf> [consulta: 15 de Agosto de 2018].

ANEXO A

DATOS TÉCNICOS DEL SENSOR DRÄGER POLYTRON 7000

Tipo

- Transmisor intrínsecamente seguro para sensores electroquímicos.

Gases e intervalos

- Gases tóxicos y oxígeno, intervalos ajustables por el usuario, de acuerdo a la hoja de datos del sensor.

Pantalla

- Pantalla gráfica grande, 34 x 62 mm, 64 x 128 píxeles 1,3" x 2,4".Estructura de menús y mensajes en texto real, navegación con 3 botones

Salida

- Analógica De 4 a 20 mA
- Digital HART®, LONWORKS®, PROFIBUS® PA, FOUNDATION fieldbus™
- Señal de aviso, configurable Ajuste predeterminado: señal de aviso cada 10 s durante 1 s.
- Señal de mantenimiento, configurable 3,4 mA constante o 4 mA ± 1 mA, modulación de 1 Hz
- Señal de falla < 3,2 mA

Fuente de alimentación

- De 16,5 a 30 VCC de 2 cables o 3 cables para el módulo de bombeo y módulo de relés.

Módulo de bombeo

- Tubo de hasta 30 m a 0,5 L/min con diámetro interior de 4 mm / 3/16".

Módulo de relés

- Dos relés de alarma, un relé de fallo, SPDT, programable por el usuario clasificación 5 A 240 VCA, 5 A 24 VCC.

Condiciones ambientales para el transmisor

- Temperatura De -40 a + 65 °C.
- Presión De 700 a 1300 hPa / 23,6 a 32,5 in Hg.
- Humedad De 0 a 100 % de HR, sin condensación.

Carcasa

- GRP, IP 66/67, NEMA 4, guía de cables M20.

Tamaño (alto x ancho x fondo)

- 166 x 135 x 129 mm.

Peso

- Aprox. 900 g.

Nivel SIL Verificado

- SIL 2

Certificados

- ATEX II 1G Ex ia IIC Ga T4/T6 de -40 °C a +65 /+40 °C

  II 3G Ex ic IIC Gc T4/T6 de -40 °C a +65/+40 °C

  II M1 Ex ia I Ma de -40 °C a 65 °C

  Medición de O2 para la protección contra explosiones (Inertización)

- IECEx Ex ia IIC Ga T4/T6 de -40 °C a +65/+40 °C

  Ex ic IIC Gc T4/T6 de -40 °C a +65/+40 °C

  I M1 Ex ia I Ma de -40 °C a 65 °C

  Conforme a FISCO (CEI 60079-27)

- UL Clase I, div. 1, grupos A, B, C, D; clase II, div. 1, grupos E, F, G
- CSA Clase I, div, 1, grupos A, B, C, D / Ex ia IIC T6/T4, de -40 a +65 °C
- Certificado CE Compatibilidad electromagnética(2004/108/CE)

  Directiva sobre baja tensión (2006/95/CE)

<u>DATOS TÉCNICOS DEL SENSOR DRÄGER POLYTRON IR CO_2.</u>

Tipo

- Transmisor con sensor de tecnología infrarroja

Gases

- Dióxido de carbono (CO_2) suspendido en el aire.

Rango de medición (valor a escala máxima)

- Configurable entre 2000 y 9000 ppm, o entre 1 y 30% por volumen.

Fuente de poder

- 13 a 30 V DC (nominal 24 V DC), < 2 W.

Salida

- Señal de operación de 4 a 20 mA.
- Señal de mantenimiento configurable de 3 mA constante o 2/5 mA, modulación de 1 Hz.
- Señal de aviso configurable de 2 mA constante, 2 mA cada 10 s, o 2 / 5 mA, modulación de 1Hz.
- Señal de falla < 3 mA o 1 mA, configurable.

Largo máximo del cable (a 24 V)

- 2000 m para 3 x 1.5 mm2; 1500 m para 3 x 1.0 mm2; 1000 m para 3 x 0.75 mm2.

Condiciones ambientales

- Temperatura – 20 a + 65 °C.
- Presión 700 a 1300 hPa / 23.6 a 32.5 inch Hg.
- Humedad 0 a 95 % R.H.

Carcasa

- GRP, IP 65 (glass fibre reinforced polyester).

Tamaño (ancho x alto x fondo)

- 140 x 160 x 90 mm.

Peso

- Aprox. 1.0 kg.

Certificado

- versión EX II 2G EEx me [ib] d IIB+H2 T4,– 40 °C ≤ Ta ≤ + 65 °C (– 40 °F ≤ Ta ≤ + 150 °F)
- Certificado CE Compatibilidad electromagnética (89/336/EEC).

<u>DATOS TÉCNICOS DEL SENSOR MSA SERIE ULTIMAX XE.</u>

Tipo

- Transmisor con tecnología de sensor catalítico.

Gases

- Metano, propano, 2-butanona, acetona, acetileno, 1,3-butadieno, éter dietílico, etano, etanol, etileno, acetato de etilo, óxido de etileno, disolventes estándares derivados del petróleo [FAM-] 65/95, n-butano, n-hexano, n-pentano,2-propanol, propeno, óxido de propileno, hidrógeno, ciclopentano, alcohol alílico, i-buteno, i-butano, metanol, ciclohexano.

Rango de medición

- 0 a 100% LEL.

Fuente de poder

- 24 V DC.

Salida

- Analógica de 4 a 20 mA o HART.

Condiciones ambientales

- Temperatura -40°C a +60°C.
- Presión 80–120 kPa.
- Humedad 5% a 95% H.R.

Carcasa

- Acero inoxidable 316, IP

Tamaño (ancho x alto x fondo)

- 162 x 262 x 100 mm.

Peso

- Aprox. 4,72 Kg.

Certificados

- ATEX 94/9/CE.
- CEM 2004/108/CE, EN 50270:2006 tipo 2 *, EN 61000-6-4:2007.
- Certificado CE DMT 02 ATEX E 202 X.

<u>DATOS TÉCNICOS DEL MÓDULO GIRATORIO FESTO DSM-FW 63</u>

Conexión neumática

- G1/4

Forma constructiva

- Aleta basculante.

Amortiguación

- Amortiguadores regulables en ambos extremos.

Angulo de giro

- 270°

Presión de funcionamiento

- 1,5 a 10 bar.

Fluido

- Aire comprimido según ISO 8573-1:2010.

Temperatura ambiente

- -10 a +60 °C.

Momento de giro con 6 bar.

- 40 Nm.

Tamaño (ancho x alto x fondo)

- 152 x 152 x 177 mm.

Frecuencia de giro con ángulo máximo.

- 1,6 Hz.

DATOS TÉCNICOS DE LA VÁLVULA DE CONTROL DE 4/2 VÍAS.

Tipo

Válvula de 4/2 vías con bobina magnética y reposición mediante muelle.

Modelo

- VUVB/VTUB-20.

Funciones

- 3/2 NC.
- 3/2 NO.
- 4/2 vías monoestable.
- 4/2 vías biestable.

Construcción

- Válvula de corredera

Conexión neumática

- G1/4, G1/2, QS4/6/8/10

Caudal

- 200, 500, 800 y 1000 l/min

Margen de presión de funcionamiento

- 2 a 8 bar interno
- -0,9 a 8 bar externo.

Margen de temperatura

- -5 a 50° C.

Tensión de funcionamiento

- 12 V DC
- 24 V AC
- 24 V DC
- 110 V AC
- 230 V AC

Accionamiento manual auxiliar

- Pulsador/Enclavado