

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL

Facultad Regional del Neuquén

Ingeniería Electrónica

Proyecto Final

TELEMETRÍA GSM PARA MONITOREO DE  
VARIABLES DE SEGURIDAD EN EQUIPOS DE  
SEPARACIÓN TRIFÁSICOS

Autor: Rodolfo Rodrigo Díaz

Docente: Ing. Gustavo Monte

Plaza Huincul – Neuquén

Marzo 2024



## **Resumen**

El advenimiento de nuevas tecnologías pone de manifiesto la necesidad de actualizar los sistemas existentes, en pos de mantener la compatibilidad entre los equipos que forman parte de los mismos.

Las nuevas tecnologías plantean nuevos desafíos al momento de implementar una solución, ya que el mismo problema puede resolverse de más de una manera. Es por esto que el objetivo principal consiste en encontrar una solución alternativa a lo que ya ha sido resuelto con otra tecnología, reutilizando principios de lo existente y, mucho más importante, poniendo un esfuerzo adicional en la innovación o el uso de nuevas tecnologías.

El siguiente informe presenta un prototipo de sistema encargado del monitoreo de variables en equipos que se encuentran situados en zonas alejadas de su centro de monitoreo. Es lo que denominamos módulo de telemetría, y representa la forma de monitorear variables de proceso de diferentes sistemas, sin la necesidad de relevar esos datos in situ.

Si bien existen equipos desarrollados por marcas conocidas a nivel nacional e internacional, se busca presentar una alternativa local y de bajo costo de inversión e implementación.

Durante el desarrollo, se planteará una aplicación específica del prototipo en el monitoreo de variables en un equipo de separación primaria trifásico, comúnmente conocido como separador trifásico en la industria del Oil & Gas. Se presentarán los fundamentos que permitan justificar la utilización de otro sistema de monitoreo a fin de mantener una redundancia en el control de variables asociadas a sistemas instrumentados de seguridad (SIS).



## Índice

|   |    |
|---|----|
| Resumen .....   | 2  |
| Capítulo 1: Objetivo y alcance del proyecto .....                               | 10 |
| 1.1 Introducción.....   | 10 |
| Capítulo 2: Antecedentes.....   | 12 |
| 2.1 Estado del arte .....   | 12 |
| 2.2 Solución propuesta .....  | 12 |
| Capítulo 3: Marco teórico.....  | 13 |
| 3.1 Introducción.....   | 13 |
| 3.2 Equipo de separación trifásico [1].....                                     | 13 |
| 3.3 Instrumentos de medición .....  | 18 |
| 3.3.1 Transmisor de presión .....   | 18 |
| 3.3.2 Medidor de caudal (caudalímetro) .....                                    | 19 |
| 3.3.2.1 Medidores por presión diferencial (DP – Differential Pressure) [2] .... | 19 |
| 3.3.2.2 Medidor magnético [3].....  | 21 |
| 3.3.2.3 Medidor ultrasónico [4].....  | 23 |
| 3.3.2.4 Medidor de vórtice (Vórtex) [5].....                                    | 24 |
| 3.3.2.5 Medidor por dispersión térmica [6].....                                 | 25 |
| 3.3.2.6 Medidor por efecto Coriolis .....                                       | 26 |
| 3.3.3 Transmisor de temperatura .....   | 28 |
| 3.3.3.1 Tipos de sensores de temperatura.....                                   | 29 |
| □ 3.3.3.1.1 Termorresistencias [8].....   | 29 |
| □ 3.3.3.1.2 Termocuplas [10] .....  | 29 |
| 3.3.4 Transmisor de nivel .....   | 30 |
| 3.3.4.1 Radar por onda guiada [11] .....  | 30 |
| 3.3.4.2 Radar sin contacto [12].....  | 33 |
| 3.3.4.3 Transmisor de nivel por presión diferencial [13] .....                  | 35 |
| 3.4 Actuadores.....   | 39 |
| 3.4.1 Válvulas de control [14] .....  | 39 |
| 3.4.2 Válvulas todo-nada.....   | 41 |
| Capítulo 4: Hardware y software empleados .....                                 | 44 |
| 4.1 Descripción de los equipos utilizados .....                                 | 44 |
| 4.1.1 STM32CubeMX [16] .....  | 44 |



|  |    |
|--|----|
| 4.1.2 STM32CubeIDE [17] .....  | 45 |
| 4.1.3 Putty [18].....  | 46 |
| 4.1.4 Placa de desarrollo Discovery .....                            | 47 |
| 4.1.4.1 Microcontrolador ARM STM32F407VGT6.....                      | 50 |
| 4.1.5 Placa de desarrollo con módulo SIM808 GSM/GPRS [20].....       | 50 |
| 4.1.5.1 SIM808 [21] .....  | 52 |
| 4.1.6 Fuente de alimentación DC/DC tipo buck .....                   | 53 |
| 4.1.7 Relé de un polo.....   | 54 |
| 4.1.8 Fuente multi voltaje.....                                      | 55 |
| 4.1.9 LCD 20x4 con interfaz I2C .....                                | 56 |
| Capítulo 5: Desarrollo del algoritmo de control y comunicación ..... | 57 |
| 5.1 Flujo del proyecto.....  | 57 |
| 5.1.1 Configuración de periféricos e interrupciones .....            | 58 |
| 5.1.2 Recepción/transmisión de datos por UART 2.....                 | 58 |
| 5.1.3 Recepción/transmisión de datos por UART 3 .....                | 59 |
| 5.1.4 Gestión de mensajes de SIM808 .....                            | 60 |
| 5.1.4.1 Gsm_init() .....   | 61 |
| 5.1.4.2 Gsm_find_cmd() .....   | 62 |
| 5.1.4.3 Gsm_sms_reading().....                                       | 63 |
| 5.1.4.4 Gps_data() .....   | 63 |
| 5.1.4.5 Data_string_maker().....                                     | 64 |
| 5.1.4.6 Gsm_delete_message().....                                    | 65 |
| 5.1.5 Lectura de entrada analógica .....                             | 65 |
| 5.1.6 Lectura de entradas digitales .....                            | 66 |
| 5.1.7 Reporte de estados de AI/DI's por SMS .....                    | 66 |
| 5.1.8 Reporte de estados de AI/DI's en LCD.....                      | 67 |
| Capítulo 6: Configuración, ensayos y trabajos futuros .....          | 69 |
| 6.1 Introducción.....  | 69 |
| 6.2 Mapeo de pines de placa Discovery .....                          | 69 |
| 6.3 Configuraciones de placa Discovery .....                         | 70 |
| 6.3.1 Temporizador 3 (timer 3) .....                                 | 71 |
| 6.3.2 Conversor analógico-digital 1 (ADC1) .....                     | 72 |
| 6.3.3 USART 2 y 3.....   | 72 |



|  |    |
|--|----|
| 6.3.4 I2C1 .....                                     | 73 |
| 6.4 Prototipo: primera versión.....                  | 73 |
| 6.5 Detección de eventos en sistema .....            | 76 |
| 6.5.1 Estado operativo del PLC.....                  | 76 |
| 6.5.2 Detección de falla en transmisor 4-20 mA.....  | 76 |
| 6.5.3 Detección de nivel en separador.....           | 77 |
| 6.5.4 Medición y diagnóstico de densidad .....       | 77 |
| 6.5.5 Diagnóstico de caudales .....                  | 77 |
| 6.6 Trabajos futuros.....                            | 78 |
| 6.6.1 Exportación a servidor.....                    | 78 |
| 6.6.2 Visualización en página web .....              | 78 |
| 6.6.3 Escalabilidad para mayor cantidad de E/S ..... | 78 |
| 6.6.4 Interfaz gráfica de configuración .....        | 78 |
| 6.7 Conclusiones .....                               | 79 |
| 7. Biografías .....                                  | 82 |



## Índice de figuras

|  |    |
|--|----|
| Figura 1. Separador trifásico con placa de rebalse .....                 | 13 |
| Figura 2. Capas de fluidos depositados en el fondo .....                 | 14 |
| Figura 3. Separador trifásico con placa de rebalse .....                 | 14 |
| Figura 4. Proceso de lavado de agua .....                                | 16 |
| Figura 5. Transmisores de presión .....                                  | 18 |
| Figura 6. Válvula integral de bloqueo y purga .....                      | 19 |
| Figura 7. Medidor de caudal por presión diferencial .....                | 20 |
| Figura 8. Elementos primarios de un medidor de caudal por DP.....        | 21 |
| Figura 9. Medidor de caudal electromagnético .....                       | 22 |
| Figura 10. Medidor de caudal ultrasónico .....                           | 23 |
| Figura 11. Medidor de vórtice .....                                      | 24 |
| Figura 12. Medidor por dispersión térmica: en línea y de inserción ..... | 26 |
| Figura 13. Caudalímetro másico de efecto Coriolis .....                  | 27 |
| Figura 14. Transmisor de temperatura .....                               | 28 |
| Figura 15. Diagrama de operación de la termocupla.....                   | 30 |
| Figura 16. Reflexión de pulso .....                                      | 31 |
| Figura 17. Reflexión de medios con CD baja y alta.....                   | 32 |
| Figura 18. Distintas condiciones del fluido en recipiente .....          | 32 |
| Figura 19. Medición de interfaz .....                                    | 33 |
| Figura 20. Tipos de radares sin contacto .....                           | 34 |
| Figura 21. Radar en recipiente con obstáculos internos .....             | 34 |
| Figura 22. Distintos tipos de antenas.....                               | 35 |
| Figura 23. Distintas tecnologías de nivel por presión diferencial .....  | 36 |
| Figura 24. Montajes directo y remoto .....                               | 36 |
| Figura 25. Sistema de sensor electrónico remoto .....                    | 37 |
| Figura 26. Rosemount Tuned System .....                                  | 38 |
| Figura 27. Sistema equilibrado.....                                      | 38 |
| Figura 28. Expansor de rango.....  | 39 |
| Figura 29. Lazo de control realimentado.....                             | 40 |
| Figura 30. Válvula de control de vástago deslizante .....                | 40 |
| Figura 31. Válvula de control rotativa.....                              | 41 |



|   |    |
|---|----|
| Figura 32. Válvula bola con actuador cremallera-piñón .....                         | 41 |
| Figura 33. Carcasa de finales de carrera.....                                       | 42 |
| Figura 34. Actuador yugo escocés .....  | 42 |
| Figura 35. Corte de actuador de tipo yugo escocés.....                              | 43 |
| Figura 36. Interfaz gráfica de STM32CubeIDE.....                                    | 46 |
| Figura 37. Pantalla de inicio de Putty.....   | 47 |
| Figura 38. Placa de desarrollo STM32F407VGx Discovery .....                         | 48 |
| Figura 39. Ruteo de pines.....  | 48 |
| Figura 40. Configuración del clock del microcontrolador .....                       | 50 |
| Figura 41. Placa de desarrollo con SIM808 .....                                     | 51 |
| Figura 42. Descripción de la placa de desarrollo con SIM808 .....                   | 51 |
| Figura 43. Distribución de pines de UART TTL .....                                  | 52 |
| Figura 44. Convertidor DC/DC buck .....   | 54 |
| Figura 45. Mini relé de un polo con zócalo.....                                     | 54 |
| Figura 46. Relé de un polo: Diagrama eléctrico.....                                 | 55 |
| Figura 47. Fuente de alimentación multi voltaje.....                                | 55 |
| Figura 48. LCD 20x4 con módulo I2C.....   | 56 |
| Figura 49. Diagrama de flujo del algoritmo .....                                    | 57 |
| Figura 50. Llamado a función de inicialización de HAL .....                         | 58 |
| Figura 51. Llamado a funciones de inicialización de periféricos.....                | 58 |
| Figura 52. Rutinas de recepción y transmisión por UART 2 .....                      | 59 |
| Figura 53. Distribución de UART 2 y 3 .....   | 59 |
| Figura 54. Consola de comandos: Inicio de sesión .....                              | 60 |
| Figura 55. Consola de comandos: Cierre de sesión.....                               | 60 |
| Figura 56. Consola de comandos: Envío de comando AT con sesión no iniciada<br>..... | 60 |
| Figura 57. Consola de comandos: rutina de inicialización.....                       | 61 |
| Figura 58. Consola de comandos: Respuesta del comando AT+CGNSINF....                | 64 |
| Figura 59. Consola de comandos: Formato de fecha y hora adecuado .....              | 64 |
| Figura 60. Consola de comandos: Mensaje de respuesta .....                          | 64 |
| Figura 61. Consola de comandos: mensaje recibido .....                              | 64 |
| Figura 62. Consola de comandos: Respuesta enviada.....                              | 65 |



|  |    |
|--|----|
| Figura 63. Mensaje enviado y recibido .....                    | 65 |
| Figura 64. Datos en LCD .....                                  | 67 |
| Figura 65. Datos en LCD asociados a posición de válvula .....  | 68 |
| Figura 66. Mensaje de falla en comunicación .....              | 68 |
| Figura 67. Configuración de clock de placa Discovery .....     | 70 |
| Figura 68. Frecuencias de buses .....                          | 71 |
| Figura 69. Configuración de timer 3 .....                      | 71 |
| Figura 70. Configuración del ADC .....                         | 72 |
| Figura 71. Configuración de USART 2.....                       | 73 |
| Figura 72. Configuración de I2C.....                           | 73 |
| Figura 73. Conexión entre módulos .....                        | 74 |
| Figura 74. Prototipo de telemetría .....                       | 74 |
| Figura 75. Prototipo de telemetría: partes constitutivas ..... | 76 |



## Índice de tablas

|  |    |
|--|----|
| Tabla 1. Tipos de termocuplas .....                              | 30 |
| Tabla 2. Estados de válvula en función de fines de carrera ..... | 66 |
| Tabla 3. Pinout GPIO .....                                       | 69 |
| Tabla 4. Pinout ADC .....  | 69 |
| Tabla 5. Pinout I2C .....  | 69 |
| Tabla 6. Pinout USART .....                                      | 70 |



## **Capítulo 1: Objetivo y alcance del proyecto**

### **1.1 Introducción**

La automatización de procesos industriales ha permitido que ciertas actividades de riesgo llevadas a cabo por personas, puedan ser reemplazadas por una lógica de control programada dispositivos electrónicos, como puede ser un P.L.C. (Controlador Lógico Programable); evitando que un operador de campo se exponga a un riesgo que pueda costarle un accidente grave o fatal. En algunas operaciones industriales hasta ha permitido prescindir del recurso humano en campo en extensas jornadas laborales de 8 o 12 horas. Es decir, parte del trabajo de monitoreo, control y ajuste de los equipos, junto con el reporte de datos (actividades que solían desarrollarse por personal calificado, en un tráiler instalado en locación), han pasado a ser desarrolladas por sistemas electrónicos, como puede ser un P.L.C. o una R.T.U. (Unidad Terminal Remota).

A fin de monitorear el estado del sistema que se encuentra operando en campo, existen equipamientos que permiten la adquisición y reporte de datos. Estos equipos no son más que módulos de telemetría que, al conectarse con el sistema de control, permiten obtener información sobre las variables de proceso que son manipuladas por el controlador. Siendo el P.L.C. el cerebro del sistema de control, también es el encargado de gestionar el acceso a los datos que deben ser relevados y reportados hacia la base de datos o sistema de adquisición y monitoreo.

El presente trabajo tiene como objetivo principal ofrecer una alternativa al reporte de variables de seguridad asociadas a equipos de separación trifásica autónomos que se sitúan en locaciones, empleando un módulo GSM/GPRS para tal fin. Se pretende obtener un prototipo que sirva como sistema de respaldo para el reporte de variables.

Se prevé que el módulo de comunicación sea administrado por un microcontrolador de arquitectura ARM, encargado de gestionar toda la lógica de comunicación y transmisión de datos. Asimismo, el microcontrolador podrá reportar el estado de dos entradas digitales y una entrada analógica, buscando como objetivo final servir de R.T.U. Esto es, el sistema tendrá la posibilidad de



gestionar señales físicas provenientes de instrumentos de campo y generar la trama de transmisión para el reporte de datos mediante GSM/GPRS.

Si bien la cantidad de señales es acotada, el sistema presenta escalabilidad al contar con un microcontrolador potente, con una cantidad significativas de pines que pueden configurarse como digitales o analógicos.



## **Capítulo 2: Antecedentes**

### **2.1 Estado del arte**

Es bien sabido que la telemetría es un aspecto clave en cualquier sistema de control y monitoreo. La automatización ha llevado a que todos los sistemas que cuentan con un controlador lógico programable (en adelante, P.L.C.), tengan vinculado un sistema de transmisión de datos.

En la actualidad, el mercado nacional cuenta con empresas reconocidas que se encargan de dar soluciones a los requerimientos de transmisión inalámbrica por distintos medios, ya sea mediante tecnología GSM/GPRS como ethernet. El uso de una tecnología o la otra dependerá del entorno de aplicación. No es lo mismo situarse en una locación que cuenta con conectividad a internet mediante un sistema V-SAT, a estar en una locación en la que no se cuenta con antenas cercanas, pero sí con conectividad a internet mediante GPRS. Todos estos aspectos se consideran al momento de elegir el camino con el que se planteará la solución propuesta.

### **2.2 Solución propuesta**

El prototipo desarrollado pretende servir de solución alternativa a la transmisión de datos en lugares que cuentan con conectividad a internet mediante celular. Esto significa que se dispone de acceso a mensajería por GSM, y acceso a internet mediante datos por GPRS. Es importante remarcar las condiciones que debe cumplir el entorno, a fin de garantizar el correcto funcionamiento y aprovechamiento del prototipo.

Lo más relevante de la propuesta es su bajo costo de implementación y el hecho de contar con un sistema modular, escalable y de fácil mantenimiento. Si bien el prototipo en sí tendrá una implementación acotada, es el disparador para una implementación con mayor cantidad de entradas/salidas, como así también con un packaging que cumpla con estándares de compatibilidad electromagnética, adaptabilidad para funcionar en áreas clasificadas, entre otros tantos requerimientos del mercado.



## Capítulo 3: Marco teórico

### 3.1 Introducción

El presente capítulo presenta el marco teórico de los equipos de separación trifásicos, su instrumental utilizado para el monitoreo y actuación, como así también un breve desarrollo de una tecnología de telemetría GSM disponible en el mercado local.

### 3.2 Equipo de separación trifásico [1]

Un separador trifásico (o en inglés, *three phase separator*), es un recipiente encargado de separar el gas del líquido proveniente del fluido que le ingresa, generalmente desde un colector de pozos. Se refiere a tres fases porque hay dos líquidos no miscibles, que para este caso son crudo y agua, que normalmente se separan empleando, una placa de rebalse instalada en su interior. Este tipo de distribución se puede visualizar en la figura 1.

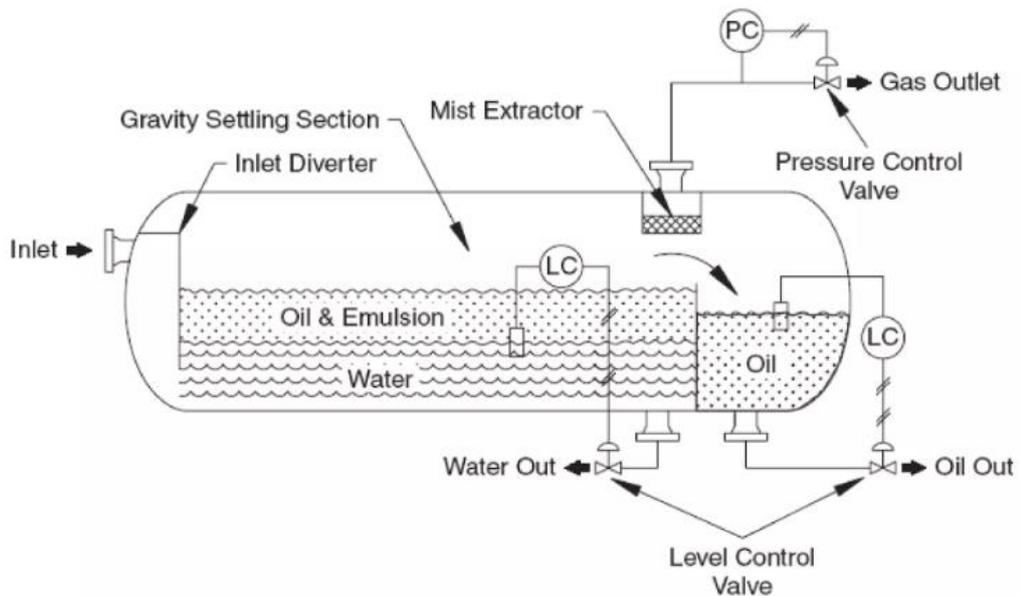


Figura 1. Separador trifásico con placa de rebalse

El agua se deposita siempre en la parte inferior formando una capa. Esta capa crece con el tiempo de acuerdo a la gráfica que se muestra en la figura 2.

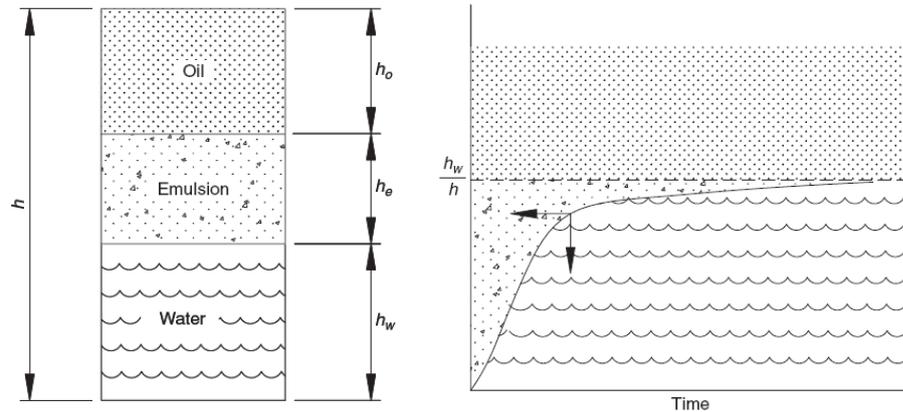


Figura 2. Capas de fluidos depositados en el fondo

Transcurrido un periodo de tiempo (usualmente entre 3 y 30 minutos), el cambio en la altura del agua es despreciable. El agua contenida por esta sedimentación pasiva es llamada “agua libre”.

Un separador trifásico puede ser horizontal, vertical o esférico, dependiendo de la forma constructiva. Cada uno de ellos tiene sus bondades, pero la disposición horizontal del recipiente suele ser la forma más común de encontrarlo en la industria.

La figura 3 muestra una imagen de un separador trifásico tipo, con sus líneas de e instrumentos de medición instalados.



Figura 3. Separador trifásico con placa de rebalse

Existen también otras denominaciones para los equipos de separación. *Three-phase separators* o *free-water knockout* son términos usados para describir



tanques de separación que son diseñados para separar y remover el “agua libre” de la mezcla y el crudo y agua.

Como estas mezclas entran normalmente directo desde los pozos o desde separadores anteriores que operan a alta presión, estos sistemas deben diseñarse de tal forma que se realice un proceso “flash” para separar el gas del líquido, así como también separar el crudo del agua.

- *Three-phase separator*: es un término usado cuando se separa grandes cantidades de gas del líquido
- *Free-water knockout*: es un término usado cuando la cantidad de gas es pequeña en relación con la cantidad de crudo y agua.

Los separadores trifásicos suelen emplearse como equipos de separación primaria, brindando una primera separación entre las fases y tipos de fluidos que le ingresan. Son empleados en servicios de control de pozos (*Well testing*), Flowback, y suelen ser el primer equipo en plantas de producción temprana (E.P.F., se sus siglas en inglés *Early Production Facility*), y temporal (T.P.F., de sus siglas *Temporary Production Facility*), entre otros tipos de plantas de producción en la industria del oil & gas.

En un separador horizontal, el fluido entra al separador y se estrella contra el elemento de entrada, llamado placa de choque o *inlet diverter*, en su término en inglés. Este cambio brusco en el momento genera la primera separación, llamada separación gruesa (*gross separation*) del líquido con el vapor. La mezcla crudo-agua se mezcla después con la fase continua de agua en el fondo del tanque y sube hasta la interfaz crudo-agua: este proceso se llama lavado de agua, que promueve la coalescencia de las gotas de agua que entran en la fase continua crudo-agua. La figura 4 muestra el proceso de lavado de agua.

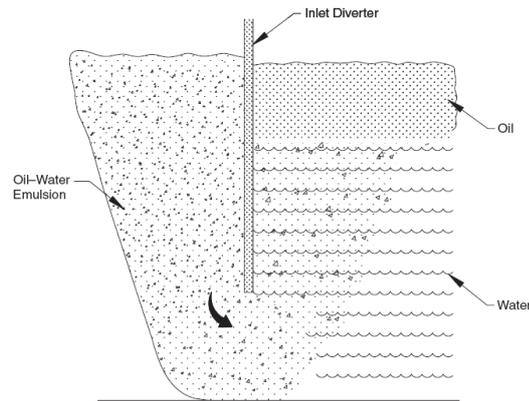


Figura 4. Proceso de lavado de agua

La placa de choque garantiza que sea poco el gas arrastrado con el líquido.

La sección de recolección de líquido, provee suficiente tiempo para que el crudo y la emulsión formen una capa justo arriba del agua libre que está en la parte inferior.

Se monta un controlador en cada cuba, a fin de mantener un nivel establecido. El nivel del crudo aguas debajo de la placa de rebalse es controlado por controlador de nivel, que opera la válvula de desfogue de crudo. Por su lado, el agua fluye por una línea ubicada aguas arriba de la placa de rebalse. Un sensor de nivel para la interfaz controla el nivel de la interfaz crudo-agua y envía señales a la válvula de desfogue de agua, permitiendo evacuar la cantidad de agua necesaria para mantener el nivel agua-crudo de diseño. ESTA OPERACIÓN ES LA MAS IMPORATANTE PARA LOGRAR OPERAR OPTIMAMENTE UN SEPARADOR DE ESTOS.

El gas sale por la parte superior y pasa a través de un extractor de humedad, también conocido como *demister*, que sirve para separar gotas de líquido disueltas en el gas.

El alto del nivel de la fase gas – crudo está usualmente entre un 50 y 75% del diámetro del recipiente. Este parámetro de diseño, depende del grado de pureza que se quiera tener con el gas.

Desde el punto de la selección de equipos trifásicos, podemos decir:

1. Los separadores horizontales no son tan buenos como los verticales cuando el fluido contiene una cantidad de sólidos que puedan estar presentes.



2. Separadores horizontales requieren mayor área de superficie para su instalación.
3. Los separadores horizontales con diámetros pequeños (1.5 m) poseen menor capacidad para manejo de líquido que los verticales para las mismas razones de flujo.
4. Los separadores horizontales con diámetros inferiores a 1.5 m requieren especial atención para la ubicación de los controladores de nivel.

Como equipo, suele equiparse con una diversa cantidad de instrumentos asociados a la medición de caudal, nivel, temperatura y presión, tanto electrónicos como manuales. Además, cuenta con elementos de control como válvulas eléctricas, neumáticas y/o electro-neumáticas, en función del grado de instrumentación del equipo y su uso final.

Es importante destacar que un separador trifásico puede contar con un grado de instrumentación tal que permita su operación de forma automática (siempre considerando el uso de un PLC como cerebro del sistema).

El tipo de instrumentación y elementos de control utilizados requiere un grado mayor de necesidades desde el punto de vista de los servicios auxiliares. El aire o gas de instrumento para operar los sistemas neumáticos toma relevancia al momento de utilizar actuadores neumáticos. La disponibilidad de un respaldo de energía eléctrica es crucial para que el sistema pueda operar sin interrupción, o al menos un tiempo prudente como para llevar el equipo a una condición operativa segura, tanto para la instalación como para las personas.

Si bien es posible una operación autónoma del sistema, el equipo cuenta con instrumentos que pueden presentar falla ante condiciones del proceso, como así también climáticas.

Como principales inconvenientes que pueden generarse en estos equipos podemos mencionar:

- Formación de hidratos y/o incrustaciones.
- Obstrucción de filtros “Y” situados en líneas de descarga de líquido.
- Erosión de accesorios y/o instrumentos por presencia de arena en el sistema.
- Fugas en asientos de válvulas debidas.



- Trabas en válvulas ON/OFF del sistema de seguridad.

Tomando la figura 3 como referencia, se pueden observar los siguientes instrumentos y actuadores que conforman el sistema.

### 3.3 Instrumentos de medición

#### 3.3.1 Transmisor de presión

La figura 5 muestra un conjunto de transmisores de presión.



*Figura 5. Transmisores de presión*

Como puede verse, los hay de distintos tipos, modelos, marcas, rangos, exactitudes y principios de medición, pero todos están compuestos por un sensor encargado de captar las variaciones de presión del fluido al que está expuesto, y convertirlas en variaciones de un parámetro eléctrico (resistencia, capacitancia), para así llevarlo una señal eléctrica.

Es un transmisor en sí mismo por contar con la electrónica necesaria para adecuar la señal eléctrica en rangos estandarizados y utilizados en la industria, como pueden ser 4-20 mA o 0-10 V, y dejarla disponible para que se releve desde un equipo de control, como puede ser un PLC.

Como instrumento, suele instalarse con una válvula integral de bloqueo y purga, como la que se muestra en la figura 6.



Figura 6. Válvula integral de bloqueo y purga

Esta válvula permite aislar el transmisor del proceso y realizar pruebas sobre él, ya sea chequear el rango del instrumento, contrastar y/o calibrar, en caso que el requerimiento impida desmontarlo.

### 3.3.2 Medidor de caudal (caudalímetro)

Este equipo, al igual que el transmisor de presión, es de gran importancia para conocer parámetros del fluido y del proceso.

Como su nombre lo indica, es un instrumento encargado de medir caudal. Según su construcción y consecuente principio de funcionamiento, calcula datos como densidad del fluido que lo atraviesa, temperatura, presión y volumen totalizado. Algunos de los más empleados en la industria del oil & gas pueden mencionarse a continuación.

#### 3.3.2.1 Medidores por presión diferencial (DP – Differential Pressure) [2]

La presión diferencial es la tecnología de medición industrial más antigua que todavía se utiliza en la actualidad, con un historial documentado y comprobado de desempeño. La figura 7 muestra un medidor de caudal por presión diferencial.



*Figura 7. Medidor de caudal por presión diferencial*

El caudalímetro de presión diferencial es la tecnología de caudal más ampliamente utilizada en la medición y control de los procesos industriales. También tiene su uso en la medición de transferencia de custodia del gas natural, entre otras aplicaciones.

Se necesitan tres elementos esenciales para diseñar un caudalímetro para la medición por presión diferencial. El elemento primario crea una caída de presión en el caudalímetro al introducir una restricción en la tubería y esta restricción diseñada permite que se use la ecuación de Bernoulli para calcular el caudal. La caída de presión se mide con un elemento secundario, un transmisor de presión diferencial, mientras que los elementos terciarios comprenden todo lo demás en el sistema, como los conectores y la línea de impulso.

Los elementos primarios de presión ofrecen muchos diseños y opciones para diversos tamaños de líneas y caudales. Las opciones incluyen placas de orificio estándar y acondicionadoras, tubos de Pitot promediadores y cuñas (figura 8). Cada opción ofrece beneficios tales como control del proceso más estricto, varias configuraciones de montaje, alta precisión, fácil instalación, bajo costo de mantenimiento, pérdida de presión permanente reducida y opciones de sensor de temperatura integrado para reducir las penetraciones en el proceso.



Figura 8. Elementos primarios de un medidor de caudal por DP

Para el mejor desempeño en su clase, los transmisores MultiVariable™ miden la presión estática, la presión diferencial y la temperatura y se pueden diseñar para calcular el caudal. Los caudalímetros pueden ofrecer salidas de las variables del proceso además de calcular en tiempo real el caudal másico, el volumétrico o el flujo eléctrico. La salida calculada del caudal proporciona información confiable y precisa rápidamente para un desempeño mejorado del proceso.

La medición de caudal por presión diferencial se puede utilizar para optimizar muchos aspectos de un proceso, incluida la consistencia del producto, la transferencia de custodia, la eficiencia de la producción y las aplicaciones de seguridad. Las soluciones para mediciones de caudal por DP de distintos fabricantes son versátiles, fáciles de instalar y reparar. Los dispositivos resultan aptos para usarlos en un amplio rango de fluidos, como líquidos corrosivos, suspensiones acuosas espesas, vapor sobrecalentado o saturado, gas y muchas otras aplicaciones de proceso.

### 3.3.2.2 Medidor magnético [3]

Los caudalímetros electromagnéticos (también conocidos como caudalímetros magnéticos o medidores mag), representan el segundo segmento más grande en el mercado de caudalímetros de precisión y probablemente asumirán el puesto más alto sostenido por las tecnologías de medición de presión diferencial (DP) tradicionales. Son la mejor opción para medir el caudal volumétrico de líquidos conductores debido a su excelente desempeño de medición en una amplia gama de condiciones de procesos. La figura 9 muestra distintas variantes de medidores de caudal electromagnéticos.



*Figura 9. Medidor de caudal electromagnético*

Suelen ser la opción elegida, ya que ocasionan menos obstrucciones, son económicos, bidireccionales y ofrecen una medición precisa del caudal volumétrico. Una gama de materiales de revestimiento, opciones de electrodos y tamaños de línea se adaptan a una amplia variedad de aplicaciones de proceso. De la figura anterior se observa que están compuestos por un transmisor y un sensor que miden el caudal de manera conjunta. El sensor del caudalímetro se coloca en línea, y mide un voltaje inducido generado por el líquido a medida que este fluye por la tubería. El transmisor toma el voltaje generado por el sensor, lo convierte en una medición del caudal y transmite esta medición a un sistema de control.

El voltaje inducido es producto del movimiento de las partículas positivas y negativas que atraviesan un campo magnético generado por el transmisor. Un electromagnético utiliza un conjunto de bobinas y un par de electrodos para la medición de caudal. El transmisor aplica corriente e impulsa las bobinas del medidor. Una vez alimentadas, se forma un campo magnético entre las dos bobinas. Cuando la tubería está llena y el líquido comienza a fluir, la fuerza del campo magnético provoca que las partículas del líquido con carga negativa y positiva se separen a medida que pasan por el campo magnético. Esta separación provoca un voltaje inducido entre los electrodos y el sensor. Este voltaje inducido es directamente proporcional a la velocidad del líquido que se mueve a través del campo magnético. El voltaje inducido se lleva al transmisor a través del circuito de electrodos. Luego el transmisor convierte este voltaje en una



velocidad de caudal cuantificable. El caudal volumétrico del líquido se calcula con esta velocidad conocida y el área de la tubería.

Los caudalímetros magnéticos son aptos para distintas aplicaciones en un rango de industrias, entre ellas pulpa y papel, metales y minería, agua y aguas residuales, alimentos y bebidas, productos químicos y petroquímicos, petróleo y gas. Debido a que el diseño no deja ninguna protrusión u obstrucción en la tubería, es apto para una serie de aplicaciones, desde líquidos de limpieza y sanitarios hasta lodos y fluidos altamente corrosivos o abrasivos.

### 3.3.2.3 Medidor ultrasónico [4]

Los medidores ultrasónicos se usan normalmente para la transferencia de custodia y la medición fiscal de petróleo y gas.

Mide la velocidad de un fluido en un tubo cerrado con pulsos de sonido ultrasónico. Sin embargo, las condiciones de los procesos como composición, presión y temperatura dictan qué tipo de medidor ultrasónico es el más apropiado. La figura 10 muestra un medidor de caudal ultrasónico.



*Figura 10. Medidor de caudal ultrasónico*

Los medidores ultrasónicos miden la velocidad de un líquido en una tubería cerrada y emplean transductores que emiten pulsos ultrasónicos (con una frecuencia que supera los 20 kHz) a partir de los cuales los medidores de caudal pueden calcular la velocidad promedio a lo largo del haz del ultrasonido. Los aspectos fundamentales de los medidores ultrasónicos los hacen ideales para la medición de gases o líquidos, al tratarlos a ambos como fluidos.



### 3.3.2.4 Medidor de vórtice (Vórtex) [5]

Los medidores de vórtice se pueden utilizar para medir gases y líquidos con baja viscosidad en una amplia gama de condiciones y con el desarrollo reciente de capacidades multivariables de medición de caudal; también pueden mostrar directamente las unidades requeridas, como el volumen del gas estándar, el volumen del líquido estándar, el flujo másico, los valores de índice térmico y de energía, como las unidades térmicas británicas (BTU). Los medidores de vórtice han mostrado un crecimiento estable en los últimos años, principalmente debido a su adopción en las aplicaciones de vapor saturado y de petróleo y gas. La figura 11 muestra un medidor de este tipo.



*Figura 11. Medidor de vórtice*

Los caudalímetros de vórtices ofrecen muchas ventajas para la medición de caudal, entre ellas una instalación sencilla sin líneas de impulso, ausencia de piezas móviles que deban mantenerse o repararse, menos potencial de fugas y una amplia rangueabilidad de caudal. También ofrecen un consumo de energía muy bajo, lo que permite su uso en áreas remotas.

Además, son únicos en el sentido de que sirven para aplicaciones de líquidos, gases, vapor y ambientes corrosivos, y también pueden soportar presiones y temperaturas altas de procesos.

Estos caudalímetros miden la velocidad del líquido con un principio de funcionamiento que se denomina efecto Von Kármán, mediante el cual se afirma que cuando el caudal pasa por un cuerpo escarpado, se genera un patrón repetitivo de vórtices en remolino.



Los vórtices provocan un elemento de detección pequeño detrás o dentro de la barra de vertido, pero oscilar hacia adelante y hacia atrás en una frecuencia específica. La velocidad del líquido de trabajo es directamente proporcional a esta frecuencia de los vórtices producida por la geometría exclusiva de la barra generadora. Con el área transversal conocida de la tubería, puede calcularse el caudal volumétrico.

Con frecuencia, los caudalímetros de vórtice también utilizan un sensor de presión y/o temperatura para lograr una medición compensada del caudal másico.

Son aptos para una variedad de aplicaciones en un amplio rango de industrias, entre ellas las de gas y petróleo, refinería, productos químicos y petroquímicos, y alimentos y bebidas. También se destacan en aplicaciones relacionadas con vapor, entre ellas la inyección de vapor y medición de vapor para plantas industriales y sistemas de energía de distritos.

#### **3.3.2.5 Medidor por dispersión térmica [6]**

Estos instrumentos miden el flujo másico de gas y se basan en el concepto de transferencia convectiva de calor.

Estos equipos pueden encontrarse ya sea de inserción o en línea, como muestra la figura 12. En ambos casos, la sonda de los sensores de flujo másico de dispersión térmica se inserta en una corriente de tubería, un conducto o una chimenea llena de gas. Hacia la punta del medidor hay dos sensores principales y ambos se conocen como termómetros de resistencia o detectores de temperatura de resistencia (RTD) y están diseñados para medir la temperatura. Estos RTD están disponibles con devanados de platino de grado de referencia duradero, empaquetados en una carcasa de Hastelloy o acero inoxidable.



Figura 12. Medidor por dispersión térmica: en línea y de inserción

Un RTD se calienta y se usa como dispositivo sensor de flujo, mientras que el segundo RTD actuaría como sensor de referencia. Esto también determina las temperaturas del gas. Además, el circuito de control mantiene un sobrecalentamiento continuo entre los sensores de referencia y los sensores de flujo. A medida que estos gases fluyen a través del RTD calentado, las moléculas de gas que fluyen pueden transportar fácilmente el calor y, como resultado, la energía se pierde al enfriar el sensor. Hay una alteración en el equilibrio del circuito y también diferencias de temperatura entre los cambios de RTD de referencia y RTD calentado. Sólo en un segundo, el circuito puede restaurar toda la energía perdida a través del calentamiento del sensor de flujo, para ajustar la temperatura de sobrecalentamiento.

La energía eléctrica para sostener el sobrecalentamiento denota una señal de flujo másico.

### 3.3.2.6 Medidor por efecto Coriolis

Si bien es amplio el campo de instrumentos para medición de caudal, puede decirse que los medidores másicos de efecto Coriolis (figura 13) suelen ser los más empleados en separadores, ya que permiten obtener la densidad del fluido, un dato importante para determinar si el fluido está circulando por la línea que debe. Además, son equipos con una mejor exactitud, en comparación a otras tecnologías de medición.



Figura 13. Caudalímetro másico de efecto Coriolis

Un medidor másico de efecto Coriolis mide, como su nombre lo indica, masa, utilizando el principio de la fuerza de Coriolis. Recordar que la fuerza de Coriolis [7] es aquella que actúa en forma perpendicular a la trayectoria de un objeto que se mueve en un entorno giratorio. La desviación causada por estas fuerzas es lo que denominamos efecto Coriolis. El objeto no cambia su trayectoria, pero por las fuerzas de Coriolis pareciera que sí.

La medición por efecto Coriolis se logra induciendo vibración en unos tubos que suelen disponerse en forma de “U”. Esta vibración hace que ambos tubos generen una onda sinusoidal a una determinada frecuencia denominada natural, que son medidas con unos captadores que están en la entrada y salida de los tubos. Ante una condición de caudal cero, ambos tubos vibran a su frecuencia natural y en fase. A medida que comienza a circular fluido por los tubos de medidor, las fuerzas de Coriolis hacen que los tubos se tuerzan, lo que genera un desfase que es directamente proporcional a cantidad de masa que atraviesa los tubos. A mayor desfase entre las señales, mayor es el caudal másico medido y viceversa.

La frecuencia a la cual oscilan los tubos es un indicador de la densidad del fluido que circula a través de ellos. A mayor frecuencia, menor densidad y viceversa. Conociendo el caudal másico y la densidad del fluido, es fácil estimar el caudal volumétrico, variable calculada y normalmente relevada desde un PLC.

#### Ventajas del medidor de caudal por efecto Coriolis

- Es un instrumento que puede medir una amplia gama de fluidos.
- Mide caudal másico, algo que otros instrumentos no pueden.



- Es muy exacto.
- Tiene una capacidad de rango amplio.
- Se puede utilizar para medir y reportar caudal másico, volumétrico, densidad y temperatura del fluido.
- Requiere muy poco mantenimiento.

#### Desventajas del medidor

- No es recomendable para tuberías grandes.
- No se puede medir el caudal de gases a baja presión.
- Costo de inversión inicial alto.

### **3.3.3 Transmisor de temperatura**

Es un instrumento compuesto por un elemento sensor y un transductor encargado de convertir y adecuar la señal entregada por el sensor, para así disponerla como señal estandarizada (4-20 mA, 0-10 V). Suele también, disponer de protocolo digital HART.

La figura 14 muestra un transmisor de temperatura tipo, donde se observa uno de tipo cabezal, y otro con forma de pastilla. Este último suele embeberse en un cabezal de menor tamaño, pero cumple la misma función de convertir la señal física en una señal eléctrica estandarizada.



*Figura 14. Transmisor de temperatura*

Este transmisor se monta generalmente en las líneas de descarga del separador, utilizando un termo-pozo como elemento para acometer al proceso.



El elemento sensor, o simplemente sensor, puede ser una termorresistencia o una termocupla (termopar). Por su parte, el transmisor permite configurar el tipo de sensor, el span y otras opciones que dependerá de la marca del transmisor.

### 3.3.3.1 Tipos de sensores de temperatura

Entre los más utilizados, podemos encontrar:

- **3.3.3.1.1 Termorresistencias [8]:** También llamadas RTD, de sus siglas *Resistance Temperature Detector*, son sensores construidos por resistencias, cuya conductividad varía en función de la temperatura. Su velocidad de respuesta depende de la masa de la resistencia.

Son sensores más precisos, y tienen una curva de resistencia en función de la temperatura más lineal (en comparación a una termocupla).

La RTD más conocida en la industria es la famosa PT-100 [9], que no es más que un sensor de platino fabricado con una resistencia de 100 Ohm a una temperatura de 0°C.

Existen dos tipos principales de PT100: de hilo bobinado y de película fina.

PT100 de hilo bobinado: Constan de un alambre de platino enrollado alrededor de un núcleo de cerámica o de vidrio. El núcleo de cerámica o vidrio lo vuelve un sensor frágil y susceptible a las vibraciones, por lo que se lo protege dentro de una vaina, formando así una sonda para uso práctico.

PT100 de película fina: Se fabrican utilizando procesos similares a los empleados en la fabricación de circuitos integrados. Una película de platino se deposita sobre un sustrato de cerámica que se encapsula. Este método permite lograr sensores precisos, pequeños y de respuesta rápida.

- **3.3.3.1.2 Termocuplas [10]:** También conocidas como termopar, funcionan mediante un principio de generación de una corriente entre dos metales diferentes unidos que tienen diferente comportamiento eléctrico en función de la temperatura. La señal generada se procesa y da lugar a una medición de temperatura. La figura 15 muestra un diagrama de operación de la termocupla.

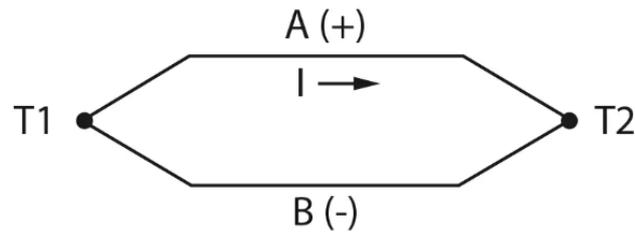


Figura 15. Diagrama de operación de la termocupla

Las termocuplas se encuentran disponibles en varios tipos, como lo muestra la tabla 1.

Tabla 1. Tipos de termocuplas

| Calibración | Elemento Positivo        | Elemento Negativo        | Rango de temperatura habitual | Línea de error estándar (elija la más grande) | Línea de error especial (elija la más grande) |
|-------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------------|---|---|
| Tipo T      | Cobre                    | Constantan               | -200°C~0°C                    | +/-1°C ou +/-1,5%                             | --/--   |
| Tipo T      | Cobre                    | Constantan               | 0°C~370°C                     | +/-1°C ou +/-0,75%                            | +/-0,5°C ou +/-0,4%                           |
| Tipo J      | Hierro                   | Constantan               | 0°C~760°C                     | +/-2,2°C ou +/-0,75%                          | +/-1,1°C ou +/-0,4%                           |
| Tipo E      | Cromel                   | Constantan               | 0°C~870°C                     | +/-1,7°C ou +/- 0,5%                          | +/-1,0°C ou +/-0,4%                           |
| Tipo K      | Cromel                   | Alumel                   | 0°C~1260°C                    | +/-2,2°C ou +/- 0,75%                         | +/-1,1°C ou +/-0,4%                           |
| Tipo N      | Nicrosil                 | Nisil                    | 0°C~1260°C                    | +/-2,2°C ou +/- 0,75%                         | +/-1,1°C ou +/-0,4%                           |
| Tipo S      | 90% Platino / 10% Rihate | Pt 100%                  | 0°C~1480°C                    | +/-1,5°C ou +/- 0,25%                         | +/-0,6°C ou +/-0,1%                           |
| Tipo R      | 87% Platino / 13% Rihate | Pt 100%                  | 0°C~1480°C                    | +/- 1,5°C ou +/- 0,25%                        | +/-0,6°C ou +/-0,1%                           |
| Tipo B      | 70% Platino / 30% Rihate | 94% Platino / 06% Rihate | 870°C~1700°C                  | +/- 0,5%                                      | +/-0,25%                                      |

### 3.3.4 Transmisor de nivel

La medición de nivel puede realizarse empleando distintas tecnologías, lo que permite encontrar transmisores de nivel de tipo:

- Radar de onda guiada.
- Radar sin contacto.
- Presión diferencial.

#### 3.3.4.1 Radar por onda guiada [11]

El radar de onda guiada se basa en la tecnología de las microondas. Las microondas solo se ven afectadas por materiales que reflejan la energía, lo cual implica que las variaciones de temperatura, el polvo, la presión y la viscosidad no afectan la precisión.



El dispositivo envía un pulso de microondas de baja energía por una sonda. Cuando el pulso toca el medio, una proporción significativa de la energía se refleja de regreso por la sonda hasta el dispositivo. El nivel es directamente proporcional a la reflectometría en el dominio del tiempo. Debido a que una proporción del pulso emitido continuará por esta sonda, también se puede detectar una interfaz. La figura 16 muestra un ejemplo de un pulso reflejado luego de que el frente de onda entre en contacto con un fluido, como puede ser agua o condensado de petróleo.

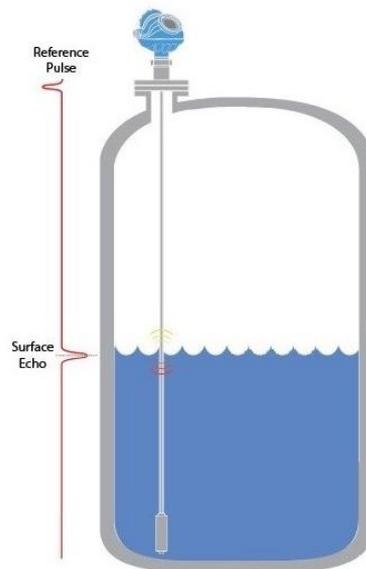


Figura 16. Reflexión de pulso

La medición de nivel que usa la tecnología por radar de onda guiada se basa en la reflexión de las microondas en la superficie del medio.

Todos los medios tienen una constante dieléctrica. Cuanto más alta sea, más fuerte será la reflexión de las microondas. El vacío no produce reflejo y tiene una constante dieléctrica de 1. El aceite es aproximadamente 2 y el agua alrededor de 80.

Una constante dieléctrica por debajo de 1.5 a menudo es difícil de medir, pero la alta sensibilidad de los transmisores de nivel con radar por onda guiada pueden manejarla con facilidad. La figura 17 muestra un ejemplo de la forma en la que se refleja el frente de una onda luego de incidir en medios con constantes dieléctricas baja y alta.

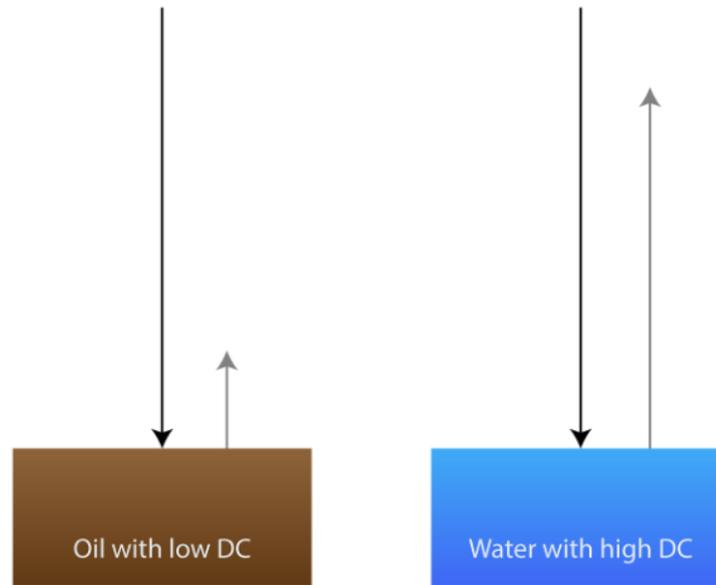


Figura 17. Reflexión de medios con CD baja y alta

En la mayoría de los procesos, las condiciones variables son comunes. La temperatura, la densidad y la viscosidad pueden cambiar. Las variaciones en la medición de nivel pueden producirse fácilmente en estas condiciones, pero la tecnología por radar de onda guiada no se ve afectada por estos cambios. El dispositivo no necesita compensar los cambios en densidad, dieléctrica o conductividad del líquido y esto hace que toda la medición sea muy robusta. La figura 18 muestra un ejemplo de un recipiente con fluidos en distintas fases. Sin embargo, el radar por onda guiada no se ve afectado por cambios en los parámetros físicos del sistema.

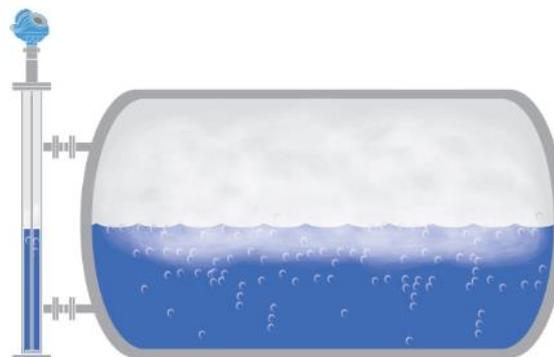


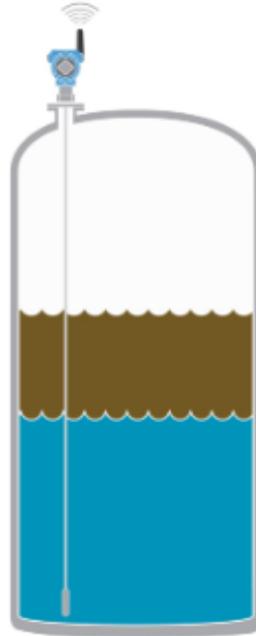
Figura 18. Distintas condiciones del fluido en recipiente

En muchas aplicaciones es necesario medir tanto el nivel como el nivel de la interfaz. Un ejemplo es detectar el petróleo no deseado en la superficie del agua,



para ver si el proceso está comprometido. Esto se puede lograr con sólo un dispositivo.

Cuando los dos medios diferentes tienen características distintas, el microondas refleja cuando llega a ambas superficies, lo que proporciona una medida de nivel y de nivel de interfaz, como lo muestra la figura 19.



*Figura 19. Medición de interfaz*

### **3.3.4.2 Radar sin contacto [12]**

Existen equipos que utilizan la tecnología de onda continua de frecuencia modulada (FMCW). Una señal continua de radar se transmite con la frecuencia que aumenta con el tiempo y crea un “barrido de señal”. Esta señal se refleja desde la superficie hacia la antena de nuevo y se calcula el nivel.

Esta tecnología permite mayor exactitud de medición y confiabilidad y puede aplicarse a un amplio rango de aplicaciones. La densidad media cambiante, las variaciones de la temperatura, el polvo o los cambios de presión no afectan la exactitud. La figura 20 muestra algunos tipos de radares sin contacto.



Figura 20. Tipos de radares sin contacto

Los dispositivos de radar sin contacto miden de arriba hacia abajo, no tienen piezas móviles y no necesitan calibración. El resultado son lecturas de nivel precisas y confiables, sin importar las condiciones de proceso cambiantes.

Debido a que las microondas se envían en el espacio libre, las obstrucciones como las cuchillas de una mezcladora no representan un problema. El dispositivo aprende la ubicación de las cuchillas y las ignora. La figura 21 muestra un ejemplo de montaje de radar sin contacto, con obstáculos dentro del recipiente.

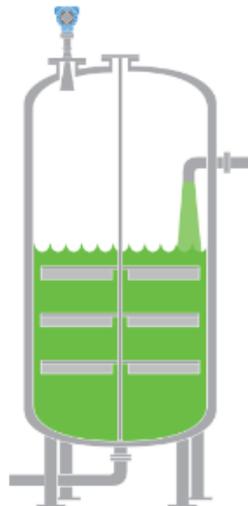


Figura 21. Radar en recipiente con obstáculos internos

Un aspecto importante en este tipo de radares es la selección de la antena, que depende de la aplicación.

Una antena cónica es adecuada para muchas aplicaciones, incluyendo tanques cerrados, instalaciones de tuberías/cámaras fijas y boquillas altas.



La antena de sello del proceso con todas las partes en contacto con el proceso PTFE, es una antena general que se usa en una gran variedad de aplicaciones. Se puede utilizar en aplicaciones higiénicas, fluidos agresivos y corrosivos, polvo, alta condensación y acumulación.

Una antena parabólica es una buena alternativa para rangos largos de medición en combinación con medios poco reflectantes, como los materiales sólidos. La figura 22 muestra los distintos tipos de antenas.



*Figura 22. Distintos tipos de antenas*

### **3.3.4.3 Transmisor de nivel por presión diferencial [13]**

La medición de nivel por presión diferencial (DP) utiliza las lecturas de presión y gravedad específica para calcular el nivel. El nivel por DP es una técnica de medición habitual que se utiliza en una amplia variedad de aplicaciones. Las soluciones incluyen conexiones de transmisores estándares y transmisores integrados con sellos de montaje directo o remoto que se pueden configurar en sistemas sintonizados, equilibrados y electrónicos. También hay disponibles opciones inalámbricas adicionales. La figura 23 muestra las distintas tecnologías disponibles que existen en el mercado.



*Figura 23. Distintas tecnologías de nivel por presión diferencial*

Las conexiones de montaje directo y montaje remoto están diseñadas para cumplir con una amplia variedad de necesidades de medición. Las conexiones de montaje directo ofrecen instalación simple, para ensamblar los transmisores directamente en el tanque, lo que elimina la necesidad de tomar recaudos de montaje adicionales. Las conexiones de montaje remoto comprenden un sello unido a un transmisor por medio de un tubo capilar y se usan en sistemas afinados o equilibrados, instalaciones de alta temperatura y aplicaciones de montaje de transmisores remotos. La figura 24 muestra ambos tipos de montajes.

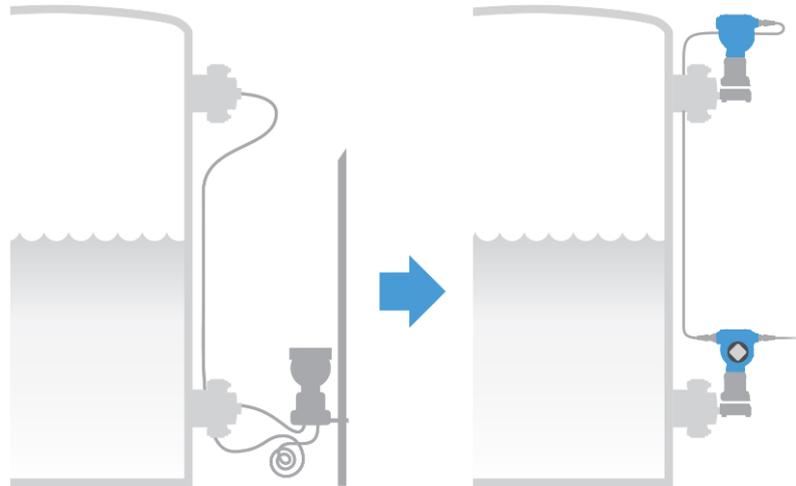


*Figura 24. Montajes directo y remoto*

Los sistemas del sensor electrónico remoto (ERS™) ofrecen mediciones de nivel por presión diferencial (DP) al calcular la presión diferencial usando dos

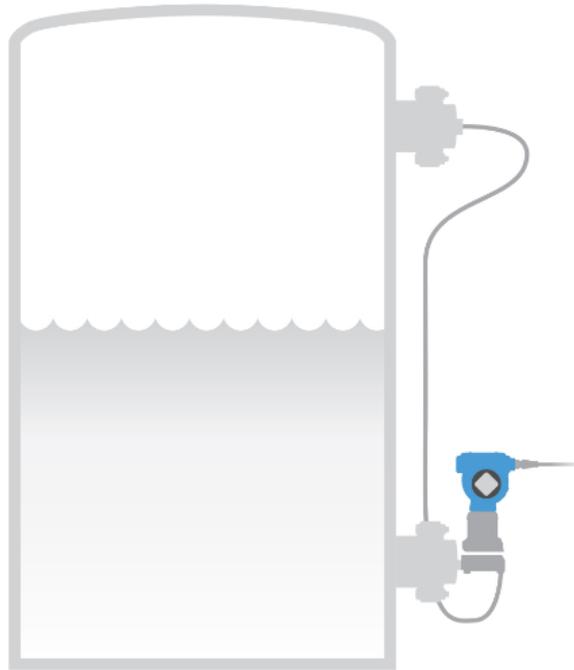


sensores de presión conectados por un cable eléctrico. Esta solución elimina la necesidad de capilares largos y de traza térmica, lo que reduce el tiempo de respuesta en un 90%. Con mediciones precisas para muchas aplicaciones y condiciones, como torres altas, climas fríos y vacíos, los sistemas ERS se pueden instalar y mantener independientemente para reducir dichos costos. La figura 25 muestra un ejemplo didáctico del montaje de este tipo.



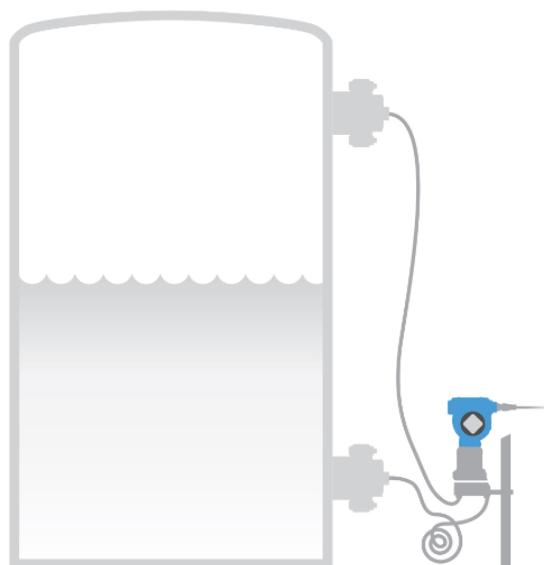
*Figura 25. Sistema de sensor electrónico remoto*

El conjunto Tuned-System™ de la marca Rosemount perteneciente a Emerson, mide el nivel al usar capilares con dos longitudes diferentes conectados a un transmisor que permite que el sistema mejore el tiempo de respuesta y compense los errores causados por la temperatura. Por lo general, un lado del sistema se monta directamente en el tanque y el otro se monta en forma remota por medio de un tubo capilar. Este sistema ahorra tiempo y dinero durante la instalación al eliminar los componentes de montaje adicionales del transmisor y es una solución excelente para aplicaciones con intervalos cortos y presiones altas. La figura 26 muestra este sistema.



*Figura 26. Rosemount Tuned System*

Los sistemas equilibrados son una solución confiable que comprende dos capilares de igual longitud conectados entre el transmisor y los sellos. El sistema elimina las preocupaciones de mantenimiento de las piernas húmedas o secas y son ideales para aplicaciones de caudal horizontal y en interiores, con variaciones de temperatura prácticamente inexistentes. Un ejemplo de este sistema se presenta en la figura 27.



*Figura 27. Sistema equilibrado*



Desde el punto de vista de aplicaciones en procesos de alta temperatura, el expansor de rango térmico permite efectuar mediciones de presión y nivel en procesos de alta temperatura. Este sistema de sellos usa dos líquidos de llenado diferentes, por lo que se extiende el rango operativo del transmisor, desde temperaturas que van de  $-75\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $-103\text{ }^{\circ}\text{F}$ ) a  $410\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $770\text{ }^{\circ}\text{F}$ ). Con un tiempo de respuesta mejorado de hasta un 46%, los expansores de rango térmico simplifican la instalación y reducen los costos al eliminar las tuberías de impulso y el calentamiento de los conductos. La figura 28 muestra este sistema.

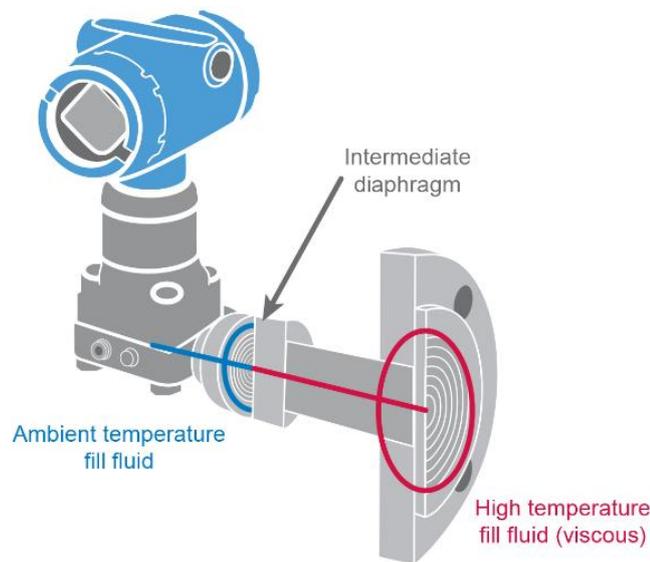


Figura 28. Expansor de rango

### 3.4 Actuadores

#### 3.4.1 Válvulas de control [14]

Las plantas de procesamiento modernas utilizan una amplia red de bucles de control con el fin de crear un producto final para el mercado. Dichos bucles de control se diseñan para mantener una variable de proceso (es decir, presión, flujo, nivel, temperatura, etc.) dentro del rango operativo requerido para garantizar la elaboración de un producto final de calidad. Cada uno de esos bucles recibe y genera internamente perturbaciones que afectan negativamente a la variable de proceso (VP o PV, de sus siglas en inglés *Process Variable*). La interacción con otros bucles de la red también provoca perturbaciones que influyen en la variable de proceso. La figura 29 muestra un lazo de control realimentado.

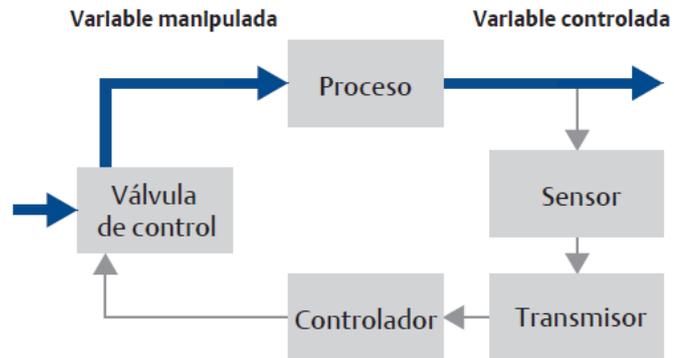


Figura 29. Lazo de control realimentado

El elemento de control final más habitual en las industrias de control de procesos es la válvula de control. La válvula de control manipula un fluido en circulación, como gas, vapor, agua o compuestos químicos para compensar las perturbaciones de carga y mantener la variable de proceso regulada lo más cercana posible al punto de ajuste deseado.

Hay dos tipos principales de diseño de válvula de control, dependiendo del elemento de cierre: vástago deslizante o rotativo. Las válvulas de vástago deslizante, como se puede apreciar en la figura 30, utilizan movimiento lineal para desplazar un elemento de cierre hacia dentro y hacia fuera de la superficie de asiento.



Figura 30. Válvula de control de vástago deslizante



Las válvulas rotativas, como se puede apreciar en la figura 31, utilizan movimiento giratorio para desplazar un elemento de cierre hacia dentro y hacia fuera de la superficie de asiento.



*Figura 31. Válvula de control rotativa*

### 3.4.2 Válvulas todo-nada

También llamadas válvulas On-Off, son válvulas que realizan un control discreto, abriendo o cerrando totalmente en función del requerimiento del sistema.

Las válvulas más utilizadas son del tipo: bola o esfera, mariposa, compuerta, etc. En equipos de separación, las válvulas suelen ser de tipo bola o esférica, con actuador rotativo como lo muestra la figura 32.



*Figura 32. Válvula bola con actuador cremallera-piñón*



El actuador puede contar con una carcasa en la parte superior, donde se encuentran los finales de carrera que permiten conocer la posición de la válvula. La figura 33 muestra una carcasa de finales de carrera.



*Figura 33. Carcasa de finales de carrera*

El actuador de estas válvulas también puede ser del tipo yugo escocés [15], como lo muestra la figura 34.

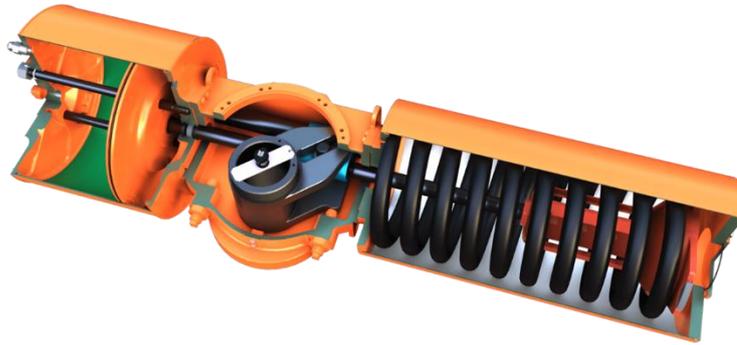


*Figura 34. Actuador yugo escocés*

El yugo escocés es un mecanismo que convierte el movimiento lineal de una barra hacia atrás y hacia adelante en un movimiento rotativo.

La barra deslizante se acopla directamente a un pistón y a un yugo con una ranura que se engancha a un bloque deslizante, como lo muestra la figura 35.

Cuando se aplica una fuerza al pistón, el bloque deslizante se mueve en la ranura del yugo, lo que hace que este gire.



*Figura 35. Corte de actuador de tipo yugo escocés*

Los actuadores de yugo escocés se caracterizan por un alto torque al principio y al final de cada operación, lo que aumenta la seguridad, especialmente en aplicaciones en las que una válvula permanece inmóvil durante largos períodos de tiempo. En comparación con el piñón y la cremallera, un yugo escocés que utiliza el mismo diámetro de cilindro e igual presión de suministro de aire desarrolla un torque mayor.



## Capítulo 4: Hardware y software empleados

### 4.1 Descripción de los equipos utilizados

Los equipamientos utilizados para el desarrollo de este prototipo fueron:

- Placa de desarrollo STM32F407VGT6 Discovery.
- Placa de desarrollo con módulo SIM808 GSM/GPRS, GPS y bluetooth.
- Fuente multi voltaje de 3,3V y 5 V.
- Display LCD de 20x4 con comunicación I2C.
- Conversor DC/DC tipo buck o step down regulable de 4-38 VCC a 1,25-36VCC, 8A, con display.
- Módulo mini relé de un polo.

Por su parte, las herramientas de software para el desarrollo de este proyecto fueron:

- STM32CubeMX.
- STM32CubeIDE.
- Putty.

A continuación, se hace una descripción general de cada sistema, a fin de conocer sus principales características, como así también indicar las funcionalidades utilizadas para este proyecto.

#### 4.1.1 STM32CubeMX [16]

Es una herramienta gráfica que permite configurar de manera intuitiva y sencilla los microcontroladores STM32, como así también la generación del correspondiente código en C para el núcleo ARM Cortex M.

Las principales características de este software son:

- Selección intuitiva de microcontrolador y microprocesador STM32
- Interfaz gráfica de usuario fácil de usar, que permite la configuración de:
  - Pinout con resolución automática de conflictos.
  - Modos funcionales de periféricos y middleware con validación dinámica de restricciones de parámetros para el núcleo Arm® Cortex®-M.
  - Árbol de reloj con validación dinámica de la configuración.
  - Secuencia de energía con resultados de consumo estimado.



- Generación de proyecto de código C de inicialización, compatible con IAR Embedded Workbench®, MDK-ARM y STM32CubeIDE (compiladores GCC) para el núcleo Arm® Cortex®-M
- Generación de un árbol de dispositivos Linux® parcial para el núcleo Arm® Cortex®-A (microprocesadores STM32)
- Desarrollo de paquetes de expansión STM32Cube mejorados gracias a STM32PackCreator
- Integración de paquetes de expansión STM32Cube en el proyecto.
- Disponibilidad como software independiente que se ejecuta en sistemas operativos Windows®, Linux® y macOS® (macOS® es una marca comercial de Apple Inc. registrada en los EE. UU. y otros países) y entorno Java Runtime de 64 bits.

#### 4.1.2 STM32CubeIDE [17]

STM32CubeIDE es una herramienta de desarrollo de múltiples sistemas operativos todo en uno, que forma parte del ecosistema de software STM32Cube.

Es una plataforma avanzada de desarrollo C/C++ con configuración de periféricos, generación de código, compilación de código y funciones de depuración para microcontroladores y microprocesadores STM32. Se basa en el marco Eclipse®/CDT™ y la cadena de herramientas GCC para el desarrollo y GDB para la depuración. Permite la integración de los cientos de complementos existentes que completan las características del IDE de Eclipse®.

STM32CubeIDE integra las funcionalidades de configuración y creación de proyectos STM32 de STM32CubeMX para ofrecer una experiencia de herramienta todo en uno y ahorrar tiempo de instalación y desarrollo. Después de seleccionar una MCU o MPU STM32 vacía, o un microcontrolador o microprocesador pre-configurado a partir de la selección de una placa o la selección de un ejemplo, se crea el proyecto y se genera el código de inicialización. En cualquier momento durante el desarrollo, el usuario puede volver a la inicialización y configuración de los periféricos o middleware y regenerar el código de inicialización sin impacto en el código de usuario.



Incluye analizadores de compilación y pila que brindan al usuario información útil sobre el estado del proyecto y los requisitos de memoria. También incluye funciones de depuración estándar y avanzadas que incluyen vistas de registros centrales de CPU, memorias y registros periféricos, así como vigilancia de variables en vivo, interfaz Serial Wire Viewer o analizador de fallas.

La figura 36 muestra una vista de interfaz gráfica del software.

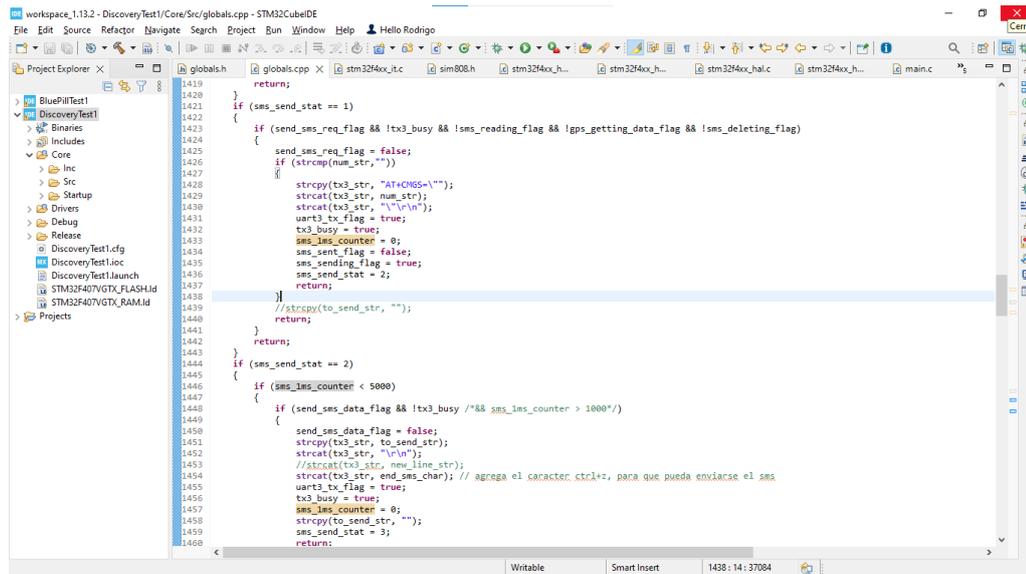


Figura 36. Interfaz gráfica de STM32CubeIDE

### 4.1.3 Putty [18]

Es una terminal de simulación *open source* que fue desarrollada para actuar como cliente de conexiones seguras a través de protocolos raw TCP, Telnet, rlogin y portal serial. Por lo tanto, este software se indica para establecer conexiones seguras de acceso remoto a servidores a través de Shell Seguro (SSH) y para construir canales encriptados entre servidores.

De esta manera, Putty fue desarrollado para el uso, principalmente de programadores y administradores de red, ya que su interfaz es prácticamente configurable y cuenta con numerosas opciones de ajuste de conexiones.

Presenta una pantalla de configuración inicial como la que se muestra en la figura 37.

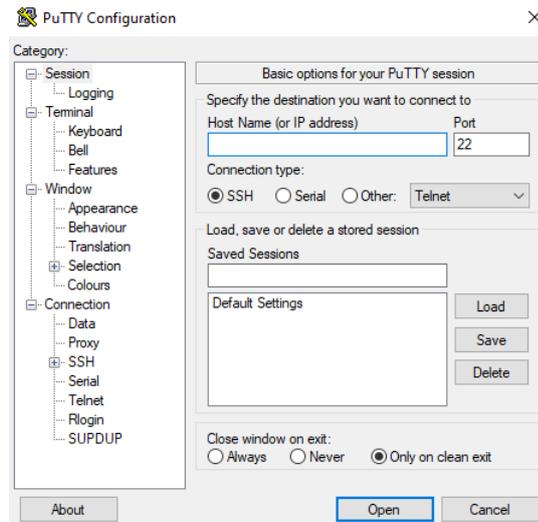


Figura 37. Pantalla de inicio de Putty

Una vez inicializado, se visualiza como una terminal remota, similar a la consola de comandos de Windows.

#### 4.1.4 Placa de desarrollo Discovery

Este tipo de placa de la marca STMicroelectronics es un kit de desarrollo que integra un microcontrolador de alta performance como el STM32F407, y permite al usuario desarrollar aplicaciones de audio de manera fácil. Incluye una herramienta de depuración embebida de tipo ST-LINK/V2, un acelerómetro ST-MEMS, un convertor digital a analógico (D.A.C.) con un altavoz integrado clase D, pulsadores y un conector micro USB OTG AB. En la figura 38 se aprecia una vista frontal de la placa de desarrollo. Por su parte, la figura 39 muestra una imagen del microcontrolador, con la indicación de los pines que se encuentran ruteados en la Discovery.



Figura 38. Placa de desarrollo STM32F407VGx Discovery

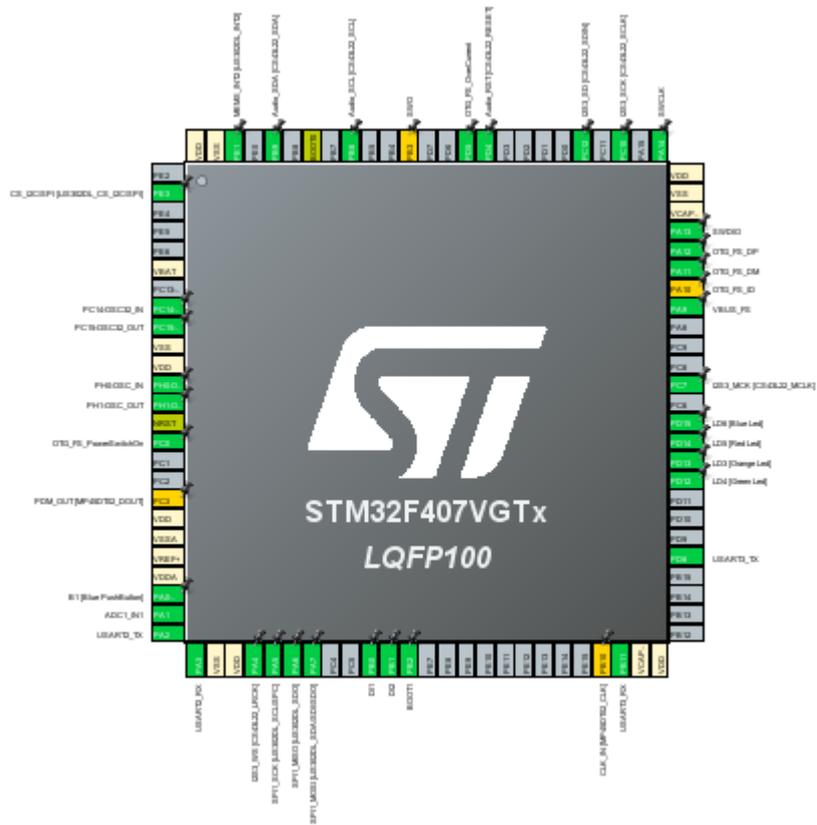


Figura 39. Ruteo de pines



Las características de este kit de desarrollo [19] son las siguientes:

- Microcontrolador STM32F407VGT6 ARM de 32 bits, cortex M4 con núcleo FPU, 1 Mbyte de memoria flash
- USB OTG FS
- Acelerómetro ST MEMS de 3 ejes
- Micrófono digital omnidireccional con sensor de audio ST-MEMS
- DAC de audio con controlador de altavoz clase D integrado
- Pulsadores de usuario y reset
- Ocho LED:
  - LD1 (rojo/verde) para comunicación USB
  - LD2 (rojo) para encendido de 3,3 V
  - Cuatro LED de usuario, LD3 (naranja), LD4 (verde), LD5 (rojo) y LD6 (azul)
  - Dos LED USB OTG, LD7 (verde) V BUS y LD8 (rojo) sobre corriente.
- Conectores de placa:
  - USB con Micro-AB
  - Conector de salida de auriculares estéreo
  - Conector de extensión de paso de 2,54 mm para todas las E/S LQFP100 para una conexión rápida a la placa de prototipos y un sondeo sencillo
- Opciones flexibles de fuente de alimentación: ST-LINK, USB V BUS o fuentes externas
- Fuente de alimentación de aplicación externa: 3 V y 5 V
- Software gratuito completo que incluye una variedad de ejemplos, parte del paquete MCU STM32CubeF4 o STSW-STM32068 para usar bibliotecas estándar heredadas
- Depurador/programador ST-LINK/V2-A integrado con capacidad de re-enumeración USB: almacenamiento masivo, puerto COM virtual y puerto de depuración



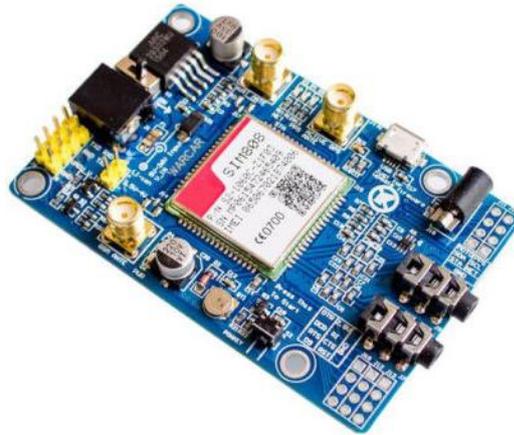


Figura 41. Placa de desarrollo con SIM808

La figura 42 muestra un layout de la placa visto desde la parte superior, donde podemos apreciar los aspectos más importantes de la placa.

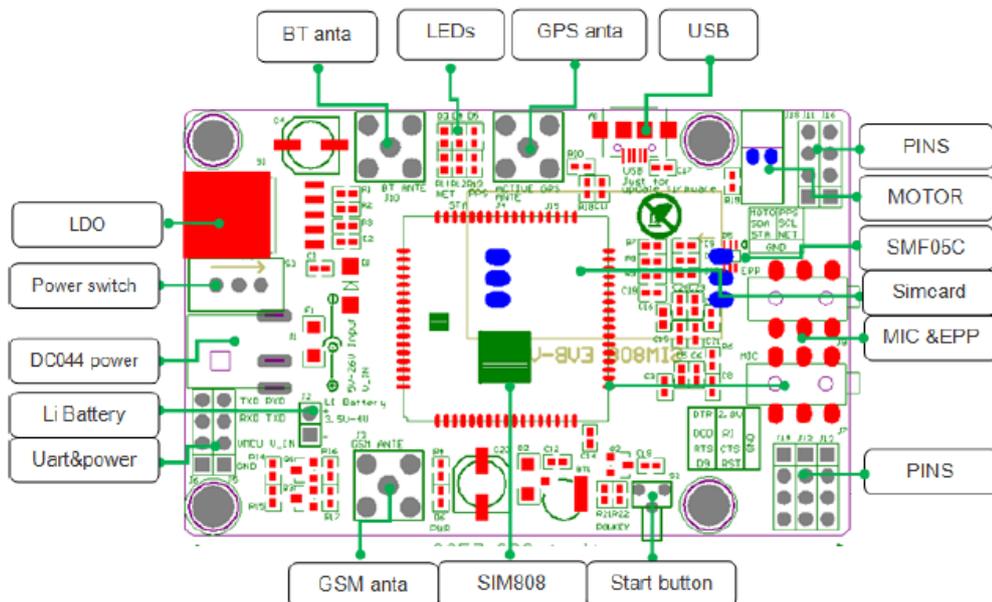


Figura 42. Descripción de la placa de desarrollo con SIM808

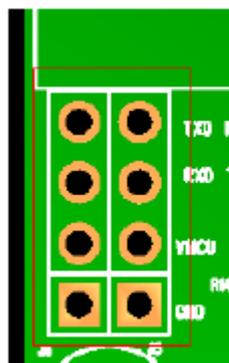
De la figura anterior, podemos mencionar las principales características y aclaraciones de la placa.

- Formas de alimentación: Ficha DC044, pin V\_IN y batería de litio. El rango de entrada por DC044 y por el pin V\_IN es de 5 ~ 26 VCC. Si se utiliza 5 VCC de alimentación, se debe garantizar que la fuente provea 2A de corriente. El rango para batería de litio es 3,5 ~ 4,2 VCC.



- Power switch (interruptor de alimentación): Energiza/des-energiza el módulo.
- Interfaces SMA para antenas: Posee interfaz para antena GSM, GPS y BT.
- Start button (botón de arranque): Cuando se alimenta la placa, el LED PWR se enciende. Luego de pulsar este botón por dos segundos, los otros tres LEDs se encienden, y uno comienza a parpadear. Recién en esta condición el módulo SIM808 comienza a trabajar.
- Interfaz TTL serial: El pin VMCU se usa para controlar el nivel alto TTL de la UART, para que coincidan con los valores de 1,25VCC/3,3VCC/5VCC de los sistemas que se conectan. Por ejemplo, si se conecta un MCU STM32, el pin VMCU debería conectar el 3,3 VCC.
- Interfaz USB: disponible solo para actualizaciones de firmware del módulo SIM808.

La distribución de pines de la UART se muestra en la figura 43.



|      |      |
|------|------|
| TXD  | RXD  |
| RXD  | TXD  |
| VMCU | V_IN |
| GND  | GND  |

Figura 43. Distribución de pines de UART TTL

#### 4.1.5.1 SIM808 [21]

El chip SIM808 está integrado con un motor GSM/GPRS de alto rendimiento, un motor GPS y otro bluetooth. Es un módulo GSM/GPRS cuatri-banda que trabaja en las frecuencias GSM 850 MHz, EGSM 900 MHz, DCS 1800 MHz y PCS 1900 MHz.

El SIM808 provee las siguientes interfaces entre módulo y cualquier placa de usuario:



- Soporta teclados 4x4 por defecto
- Interfaz UART
- USB para depuración y actualización de firmware
- Canales de audio, que incluyen una entrada de micrófono y una salida de auricular
- Slot para tarjeta SIM
- Interfaz de carga para batería de ion Litio
- Entradas y salidas de propósitos generales (GPIO) programables
- Soporta funciones bluetooth
- Soporta funciones GPS
- Soporta dos PWMs y dos ADCs
- Interfaz PCM/SPI

El módulo está diseñado con técnicas de ahorro de energía, lo que permite que el consumo sea tan bajo como 1,2 mA en modo “sleep” (con el motor de GPS apagado).

El SIM808 integra el protocolo TCP/IP y comandos AT para TCP/IP, lo que resulta muy útil para aplicaciones de transferencia de datos.

Las características principales del SIM808 son:

- Alimentación: 3,4 ~ 4,4 VCC
- Temperatura de operación: -40 ~ 85 °C

#### **4.1.6 Fuente de alimentación DC/DC tipo buck**

Este tipo de convertidor transforma una tensión continua de entrada en otro del mismo tipo en su salida, pero de menor nivel. Por ello, se los conoce como convertidores step down.

La figura 44 muestra el convertidor utilizado, cuyas principales características eléctricas son:

- Rango de tensión de entrada: 4 ~ 38 VCC
- Rango de tensión de salida: 1,25 ~ 36 VCC
- Rango de corriente de salida: 0 ~ 8 A
- Temperatura de operación: -40 ~ 85 °C
- Frecuencia de trabajo: 180 KHz



Figura 44. Convertidor DC/DC buck

Para este caso, la alimentación provino de una fuente switching de 220 VCA / 24 VCC, y la salida se reguló en 7 VCC, a fin de alimentar los demás reguladores de tensión encargados de suministrarle tensión a los demás dispositivos del sistema.

#### 4.1.7 Relé de un polo

La figura 45 muestra una imagen representativa de un mini relé con su zócalo para montaje en riel din.



Figura 45. Mini relé de un polo con zócalo

Este dispositivo se contempla para relevar el estado de las entradas digitales con un grado de aislación dado por la bobina del relé.

Las principales características de este módulo son las siguientes [22]

- Tensión nominal de entrada  $U_n$ : 24 V DC



- Rango de tensión de entrada: 18,5 V DC ~ 33,6 V DC (20 °C)
- Tipo de conmutación del contacto: 1 conmutador
- Tipo de contacto de conmutación: Contacto simple
- Tipo de conexión del contacto: Contacto de potencia
- Tensión de conmutación máxima: 250 V AC/DC
- Corriente constante límite: 6 A

La figura 46 muestra el diagrama eléctrico del relé de un polo.

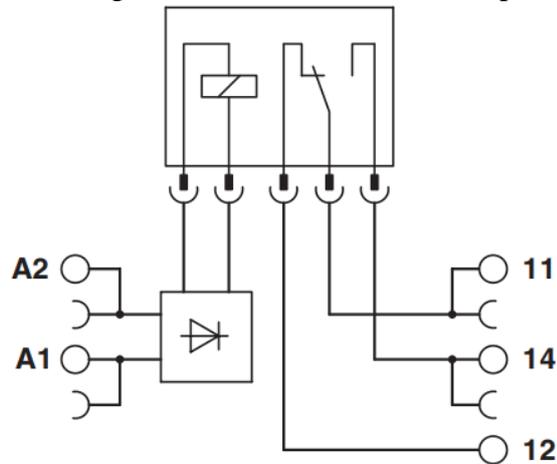


Figura 46. Relé de un polo: Diagrama eléctrico

#### 4.1.8 Fuente multi voltaje

La figura 47 muestra una vista de la fuente de alimentación multi voltaje DC-DC empleada en este prototipo.

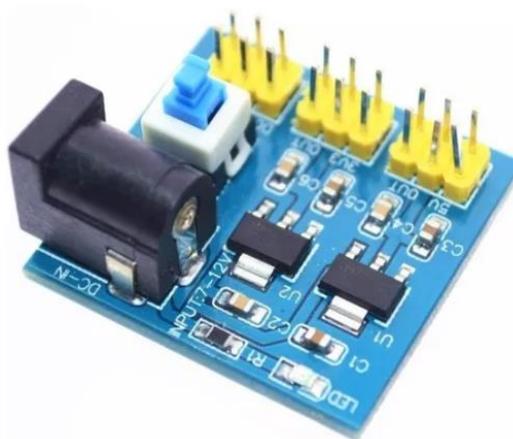


Figura 47. Fuente de alimentación multi voltaje

Las características principales de este módulo son las siguientes:

- Entrada de 6 ~ 12 VDC.
- Salidas múltiples en 3,3 VDC y 5 VDC.



- Corriente máxima de salida 800 mA.

#### 4.1.9 LCD 20x4 con interfaz I2C

La figura 48 muestra una imagen representativa de la pantalla LCD utilizada. La misma se integra con un módulo I2C, que evita un conexionado en paralelo, reduciendo la cantidad de pines destinados a tal componente.



Figura 48. LCD 20x4 con módulo I2C



## Capítulo 5: Desarrollo del algoritmo de control y comunicación

### 5.1 Flujo del proyecto

El flujo del programa puede resumirse en lo presentado en la figura 49. Puede observarse que el un bucle infinito que está en constante ejecución de las distintas tareas que conforman el algoritmo en su conjunto.

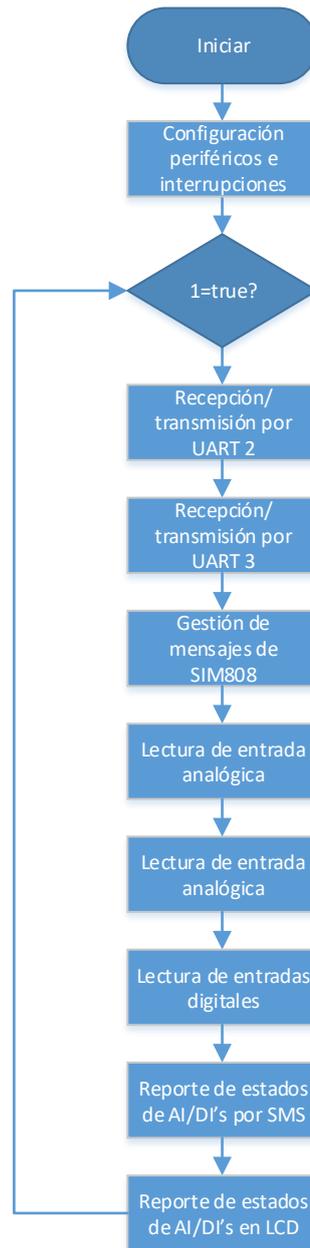


Figura 49. Diagrama de flujo del algoritmo

El programa se compone de distintas tareas destinadas a cumplir una función específica. A modo descriptivo, se describe cada una de ellas.



### 5.1.1 Configuración de periféricos e interrupciones

Esta rutina se compone del conjunto de funciones encargadas de configurar los distintos periféricos del microcontrolador.

Entre lo más relevante, podemos mencionar:

- Configuración de la capa de abstracción de hardware (HAL, se sus siglas en inglés *Hardware Abstraction Layer*).
- Configuración de E/S de propósitos generales.
- Inicialización de periféricos I2C, SPI, UART y ADC.
- Inicialización de temporizadores.

Las figuras 50 y 51 muestran las funciones implementadas por el software STM32CubeIDE, a partir de las configuraciones realizadas con la herramienta STM32CubeMX.

```
/* Reset of all peripherals, Initializes the Flash interface and the Systick. */  
HAL_Init();
```

Figura 50. Llamado a función de inicialización de HAL

```
/* Initialize all configured peripherals */  
MX_GPIO_Init();  
MX_I2C1_Init();  
MX_I2S3_Init();  
MX_SPI1_Init();  
MX_USART2_UART_Init();  
MX_USART3_UART_Init();  
MX_TIM3_Init();  
MX_USB_OTG_FS_HCD_Init();  
MX_TIM7_Init();  
MX_ADC1_Init();
```

Figura 51. Llamado a funciones de inicialización de periféricos

El objetivo principal de los temporizadores fue la implementación de interrupciones periódicas, que permitieran marcar los tiempos de ejecución de las rutinas que requiriesen una característica de periodicidad de ejecución. Además, se emplearon para ajustar tiempos de duración de determinadas rutinas, sin bloquear la ejecución del código. Es decir, el objetivo fue mantener una filosofía de multitarea cooperativa.

### 5.1.2 Recepción/transmisión de datos por UART 2

Por simplicidad, se lo describe como una sola tarea, pero en su implementación los algoritmos para recibir y transmitir datos se desarrollaron de manera



independiente, obteniendo dos funciones asociadas a este periférico, como se muestra en la figura 52.

```
uart2_receive(); // IMPLEMENTADA. Rutina de recepción por uart2. Datos enviados por conversor externo hacia Discovery  
uart2_transmit(); // IMPLEMENTADA. Rutina de transmisión por uart2. Datos enviados por Discovery hacia conversor externo
```

Figura 52. Rutinas de recepción y transmisión por UART 2

Este periférico se destinó a la comunicación entre el microcontrolador y un conversor externo que pudiese conectarse a una PC. El objetivo fue disponer al usuario que configura el módulo de un acceso a pruebas vía UART, sin necesidad de disponer el STM32Cube. Así, mediante alguna consola serial como puede ser Putty, el configurador puede enviar comandos AT al módulo GSM/GPRS, usando como gestor al microcontrolador. Asimismo, puede visualizar la respuesta al comando enviado, a fin de diagnosticar y/o configurar parámetros del módulo.

### 5.1.3 Recepción/transmisión de datos por UART 3

Al igual que en el caso anterior, esta rutina se compuso de dos funciones encargadas de la recepción y transmisión de datos, pero en este caso entre el microcontrolador y el módulo GSM/GPRS. Su implementación permitió enviar los comandos AT que se implementaron en el algoritmo, y recibir la respuesta del módulo.

Resultó ser una implementación con una doble finalidad. La primera, comunicar el microcontrolador con el módulo GSM/GPRS, mientras que la segunda fue servir como intermediaria cuando se enviasen comandos por el conversor externo conectado a la UART 2.

La figura 53 resume la forma de trabajo entre ambas UART.

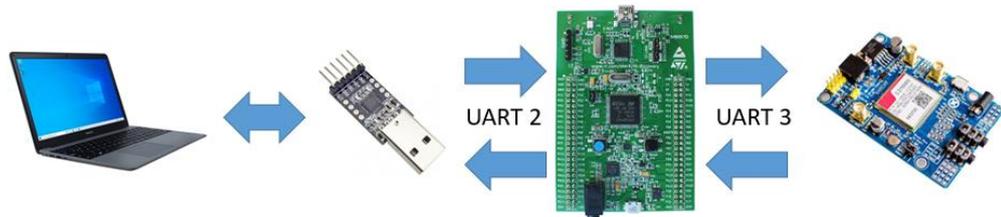


Figura 53. Distribución de UART 2 y 3

A fin de evitar que cualquier usuario pueda escribir comandos AT desde la PC hacia el microcontrolador, se implementó una tarea de login asociada a un pulsador de la placa de desarrollo Discovery, que se denominó **btn()**. Su



codificación implicó que, manteniendo el pulsador de la placa pulsado por 5 segundos, se inicia la sesión. Esta es condición necesaria para enviar comandos por PC usando algún monitor serial, como puede ser Putty. La figura 54 muestra una captura de consola que indica el inicio de sesión.

```
Sesion iniciada.
```

Figura 54. Consola de comandos: Inicio de sesión

El microcontrolador, además, hace parpadear un LED 4 veces.

De manera similar, para cerrar la sesión, se mantiene pulsado el mismo pulsador durante 5 segundos. Transcurrido este tiempo, se muestra un mensaje por consola indicando el estado de la sesión (figura 55). El parpadeo del LED es igual que en el caso de inicio de sesión.

```
Sesion finalizada.
```

Figura 55. Consola de comandos: Cierre de sesión

Si el usuario no inicia sesión y envía un comando AT por consola, el microcontrolador lo informará y mostrará un mensaje como el de la figura 56.

```
at  
Sin acceso para configurar.
```

Figura 56. Consola de comandos: Envío de comando AT con sesión no iniciada

#### 5.1.4 Gestión de mensajes de SIM808

Este conjunto de tareas se encargó de gestionar las consultas entre el microcontrolador y el módulo GSM/GPRS.

Entre las tareas implementadas, podemos mencionar:

- Tarea para configurar los parámetros iniciales del módulo GSM/GPRS luego de energizar el sistema, definida como **gsm\_init()**.
- Tarea para identificar la respuesta enviada por módulo GSM/GPRS al microcontrolador, luego del envío de un comando AT, denominada **gsm\_find\_cmd()**.
- Tarea para decodificar un SMS enviado al módulo GSM/GPRS, para ser atendida por el microcontrolador, denominada **gsm\_sms\_reading()**.
- Tarea de actualización de datos del GPS del módulo GSM/GPRS, denominada **gps\_data()**.



- Tarea para la conformación del mensaje de texto que debe responderse al destinatario que envió previamente una consulta, también vía SMS, denominada **data\_string\_maker()**.
- Tarea para eliminar los mensajes de texto almacenados en el módulo GSM/GPRS cuando se llena su memoria de almacenamiento, denominada **gsm\_delete\_message()**.

Todo el conjunto de tareas se encarga de administrar las consultas entre el microcontrolador y el módulo GSM/GPRS, utilizando la UART 3 para ello. Además, todas las tareas se implementaron para funcionar de forma asincrónica, por lo que no tienen un tiempo de ejecución establecido en cada ciclo del bucle del algoritmo.

A continuación, se hará una breve descripción de cada tarea, a fin de clarificar el objetivo de cada una de ellas.

#### 5.1.4.1 Gsm\_init()

Se encarga de enviar por UART los siguientes comandos al módulo GSM/GPRS:

- ATZ: Comando encargado de resetear toda la configuración del módulo GSM/GPRS, y dejarlo en su configuración por defecto.
- AT: Comando para evaluar la respuesta del módulo.
- AT+CMGF=1: Comando encargado de configurar el uso de SMS en modo texto.
- AT+CGPSPWR=1: Comando encargado de iniciar el GPS del módulo

Una vez culminado el último comando y, evaluando una respuesta correcta por parte del módulo, esta tarea se lleva a un estado que la mantiene inactiva durante el resto de la ejecución del código. La figura 57 muestra la ejecución de los comandos mencionados anteriormente, luego de energizar el módulo.

```
COM6 - PuTTY
ATZ
OK
AT
OK
+CMGF=1
OK
+CGPSPWR=1
OK
```

Figura 57. Consola de comandos: rutina de inicialización



#### 5.1.4.2 Gsm\_find\_cmd()

La función de esta tarea es comparar el contenido de un buffer de caracteres recibidos desde el módulo GSM/GPRS, con comandos predeterminados para esta aplicación, a saber:

- +CMTI: "SM": Comando que indica que el módulo GSM/GPRS recibió un nuevo SMS. Indica la posición que ocupa el mensaje en la memoria.
- +CMGR: : Comando que presenta el contenido de un SMS en una determinada ubicación o subíndice de la memoria. Muestra el número de teléfono del usuario que envió le mensaje.
- +CMGS=: Comando que indica que el módulo está en modo SMS, preparado para enviar un mensaje de texto. Este modo debe cumplir unas condiciones de escritura, a fin de finalizarlo cuando se envíe el mensaje.
- +CMGS: OK: Comando que indica que fue posible enviar un mensaje de texto.
- +CMGS: ERROR: Comando que indica un error al querer enviar un mensaje de texto.
- ATZ: OK: Comando que indica que el reseteo del módulo se realizó de manera correcta.
- +CMGF=OK: Comando que indica que se configuró de manera correcta el parámetro enviado con el comando CMGF.
- +CGPSPWR=OK: Comando que indica que se energizó de manera correcta el GPS.
- +CMGDA=OK: Comando que indica que se eliminaron los mensajes de texto almacenados.
- +CGNSINF: OK: Comando que indica que se actualizaron los datos del GPS, cuya información se almacena en un buffer.
- AT: OK: Comando que indica que el módulo GSM/GPRS está reportando de forma normal.
- AT: ERROR: Comando que indica un error en el estado del módulo GSM/GPRS.



#### 5.1.4.3 Gsm\_sms\_reading()

Esta tarea se encarga de analizar el contenido del mensaje de texto recibido, a fin de buscar determinados comandos establecidos para el reporte de datos.

El objetivo es generar un reporte que se envíe vía SMS, con la marca de tiempo obtenida desde el GPS.

Los comandos definidos para este proyecto son:

- ANx: Comando para consultar el estado de una señal analógica de entrada, donde la “x” representa el número de entrada analógica que se desea reportar por SMS. En este alcance se contempla solamente una entrada analógica, por lo que el valor de “x” debe ser 1. Caso contrario, no se envía el reporte.
- DIX: Comando para consultar el estado de una señal digital de entrada, donde la “x” representa el número de entrada analógica que se desea reportar por SMS. En este alcance se contempla dos entradas digitales, por lo que el valor de “x” puede ser 1 o 2. Caso contrario, no se envía el reporte.
- ALL: Comando para consultar el estado de todas las variables disponibles. En este alcance, la ejecución de este comando reportará el estado de la entrada analógica, y de las dos entradas digitales.

#### 5.1.4.4 Gps\_data()

Esta tarea se encarga de actualizar los datos de fecha y hora mediante el GPS que posee el módulo GSM/GPRS. Para ello, ejecuta el comando AT+CGNSINF, que se envía al módulo GSM/GPRS de manera periódica cada un minuto. Se encarga, además, de acondicionar la fecha y hora, a fin de presentarla en un formato más amigable y entendible por el usuario.

Ante una actualización de datos del GPS, la fecha y hora se recibe en un buffer con el formato **yyyymmddhhmmss**, lo que se corresponde con el año, mes, día, hora, minutos, y segundos, respectivamente. La figura 58 muestra el contenido del buffer luego de ejecutado el comando mencionado anteriormente.



```
OK
AT+CGNSINF
+CGNSINF: 1,1,20240205223552.000,-38.922968,-69.182840,237.900,0.93,160.3,1,,2.1
,2.3,1.0,,12,5,,,28,,
OK
AT+CGNSINF
+CGNSINF: 1,1,20240205223652.000,-38.922968,-69.182735,241.000,1.96,123.0,1,,2.1
,2.3,1.0,,12,5,,,29,,
OK
```

Figura 58. Consola de comandos: Respuesta del comando AT+CGNSINF

Luego de la adecuación realizada en esta tarea, la información se presenta como: **yyyy/mm/dd-hh:mm:ss**. La figura 59 muestra un ejemplo del formato corregido.

**2024/02/05-22:38:21**

Figura 59. Consola de comandos: Formato de fecha y hora adecuado

#### 5.1.4.5 Data\_string\_maker()

Esta tarea toma la información de GPS actualizada, el estado de la(s) entrada(s), y genera un buffer unificado para enviarlo por SMS.

Como ejemplo, el formato para reportar el estado activo de la entrada digital 1 resulta:

**2024/01/25-17:55:34 – DI1: ON**

La figura 60 muestra este mensaje, que forma parte del cuerpo del SMS que se envía al destinatario que hizo la consulta de la entrada digital 1.

**2024/02/05-22:38:21 – DI1: ON**

Figura 60. Consola de comandos: Mensaje de respuesta

Este mensaje es el que envía al destinatario que realizó la consulta en un SMS previo, enviando DI1 como contenido del mensaje. La figura 61 muestra, desde la consola de diagnóstico y configuración, el mensaje recibido en el módulo, y la figura 62 muestra la respuesta enviada al destinatario.

```
COM6 - PuTTY
Nuevo SMS en la posicion: 11
Numero: +5492995166427
+CMGR: "REC UNREAD", "+5492995166427", "", "24/02/05,19:38:17-12"
Dil
OK
```

Figura 61. Consola de comandos: mensaje recibido



Figura 62. Consola de comandos: Respuesta enviada

En esta imagen se observa que cada SMS nuevo ocupa una posición en la memoria. En este caso, la 11.

Del comando +CMGR se observa que el mismo entrega el número de teléfono del destinatario de la respuesta. Este número se almacena en un buffer, a fin de utilizarlo para la respuesta. Además, el texto enviado al módulo GSM/GPRS es “Di1”, lo que significa que se solicita el reporte de estado de la entrada digital 1. Una vez que se valida el contenido del mensaje, se ejecuta la rutina de actualización de los datos GPS para obtener la marca de tiempo (timestamp). Luego, se ejecuta la rutina que releva el estado de la entrada requerida. Finalizado esto, se conforma el mensaje que se enviará como respuesta.

Por su parte, la figura 63 muestra el mensaje enviado por SMS desde un celular, y la respuesta recibida.

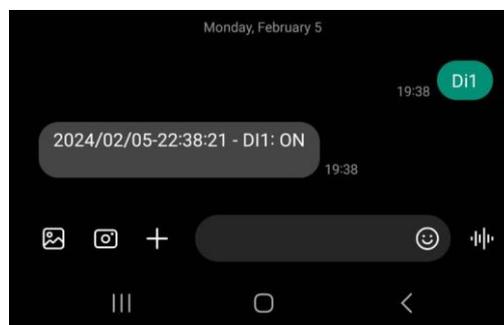


Figura 63. Mensaje enviado y recibido

#### 5.1.4.6 Gsm\_delete\_message()

Esta tarea se ejecuta cuando se llega a los 20 mensajes de texto almacenados en el módulo GSM/GPRS.

Esta tarea envía el comando AT+CMGDA=”DEL ALL”. En caso de ejecutarse de manera correcta, el módulo responderá con un “OK”.

#### 5.1.5 Lectura de entrada analógica

Esta tarea se encarga de obtener la información del canal analógico utilizando el convertor analógico-digital (ADC, de sus siglas en inglés *Analog to Digital Converter*).



Esta rutina se encarga de inicializar el ADC cada un segundo, o cuando llega un requerimiento de lectura de la entrada analógica. El muestreo cada un segundo se utiliza para actualizar el valor que se muestra en el LCD. Esto significa que la tarea se encarga de adecuar el contenido del registro del ADC a valor de tensión, una vez que se finaliza el muestreo.

### 5.1.6 Lectura de entradas digitales

Esta tarea se compone de dos funciones, cada una encargada de relevar el estado de una entrada digital. Su funcionamiento consiste en relevar el estado de una entrada digital leyendo el pin configurado para ello, evaluando su estado y reportándolo mediante un texto, que luego lo usará la función **data\_string\_make()**.

Esta tarea se ejecuta cada un segundo, a fin de actualizar el estado mostrado por el display. Además, tiene la posibilidad de reportar un cambio detectado en su entrada.

Como complemento a estas tareas, se suma una tarea adicional denominada **sdv\_status()**. La misma se encarga de tomar los datos de las entradas digitales y, suponiendo que ambas se cableen al actuador de una válvula, permite conocer la posición de la válvula en función de sus fines de carrera. De esta forma, se pueden presentar los siguientes estados mostrados en la tabla 2.

Tabla 2. Estados de válvula en función de fines de carrera

| DI1 (ZSO) | DI2 (ZSC) | Posición de válvula |
|-----------|-----------|---------------------|
| ON        | OFF       | ABIERTA             |
| OFF       | OFF       | TRANSICION          |
| OFF       | ON        | CERRADA             |
| ON        | ON        | PROHIBIDO           |

De esta forma, el microcontrolador reporta el estado de la válvula.

### 5.1.7 Reporte de estados de AI/DI's por SMS

Esta tarea se encarga del envío de respuestas vía SMS desde el módulo GSM/GPRS al destinatario del mensaje. En el código se denominó **gsm\_sms\_send()**.



La tarea como tal se ejecuta cuando se cumplen las condiciones necesarias para enviar el reporte solicitado. Las mismas son:

- Haber recibido una solicitud válida por SMS.
- Haber actualizado los datos del GPS para tener fecha y hora correctas.
- Haber generado el mensaje de texto de respuesta que se debe enviar.
- No estar ejecutando otra tarea por UART 3.

Cumplidas las condiciones anteriores, esta tarea envía el comando `AT+CMGS="XXXXXXXXXX"`, donde el conjunto de X's entre comillas representa el número del destinatario del mensaje. Si el comando se ejecutó correctamente, el módulo GSM/GPRS envía el símbolo `>`, lo que indica que está esperando el contenido del mensaje. En ese momento, la tarea envía el buffer con el contenido del mensaje a enviar. Este buffer no es más que el generado por la función `data_string_maker()`.

Para finalizar el modo de escritura del mensaje y proceder al envío, la tarea envía un caracter de fin de mensaje, que en este caso es el número 26 del código ASCII, correspondiente a la secuencia CTRL+Z.

### 5.1.8 Reporte de estados de AI/DI's en LCD

Los datos de las entradas analógica y digitales se reportan en un LCD local, montado con el conjunto. La figura 64 muestra una captura del display mostrando los datos. Esta información en display se actualiza cada un segundo.



Figura 64. Datos en LCD

A fin de representar el sentido físico de las entradas digitales, se modificó la implementación anterior de tal forma que las entradas estén vinculadas a los



fin de carrera de una válvula ON-OFF. De esta forma, la entrada DI1 pasó a ser el switch abierto (ZSO), mientras que la DI2 pasó a ser el switch cerrado (ZSC). Así, como lo presentó la tabla 2 del punto 5.1.6, los estados se mostraron en el LCD a medida que se presentaron las distintas condiciones. La figura 65 muestra una actualización de los mensajes mostrados.



Figura 65. Datos en LCD asociados a posición de válvula

Esta tarea también se encarga de mostrar mensaje de error en caso que se presente alguna falla por comunicación entre el microcontrolador y el módulo GSM/GPRS. La figura 66 muestra el mensaje de falla cuando no se puede obtener información del GPS.



Figura 66. Mensaje de falla en comunicación



## Capítulo 6: Configuración, ensayos y trabajos futuros

### 6.1 Introducción

Se presentarán los resultados de las pruebas realizadas con el prototipo, como así también las propuestas de trabajos futuros, a fin de clarificar el alcance y la escalabilidad que tendrá el prototipo.

### 6.2 Mapeo de pines de placa Discovery

A fin de explicitar el pinout realizado en este proyecto, se presentan las siguientes tablas, que consideran solamente los pines utilizados en el desarrollo del prototipo.

La tabla 3 presenta el mapeo de los pines de entrada y salida de propósitos generales (GPIO, de sus siglas *General Purpose Input Output*), utilizados en la implementación de este prototipo.

Tabla 3. Pinout GPIO

| Pin de Discovery | Descripción                                      |
|------------------|--|
| PA0              | Pulsador azul (integrado en placa de desarrollo) |
| PB0              | Entrada digital 1                                |
| PB1              | Entrada digital 2                                |
| PD15             | LED azul (pulso de vida)                         |

La tabla 4 presenta el mapeo del conversor analógico-digital (ADC).

Tabla 4. Pinout ADC

| Pin de Discovery | Descripción         |
|------------------|---------------------|
| PA1              | Entrada analógica 1 |

La tabla 5 presenta el mapeo asociado al periférico I2C.

Tabla 5. Pinout I2C

| Pin de Discovery | Descripción          |
|------------------|----------------------|
| PB6              | Señal de clock (SCL) |
| PB9              | Señal de datos (SDA) |

La tabla 6 presenta el mapeo asociado a la USART.



Tabla 6. Pinout USART

| Pin de Discovery | Descripción       |
|------------------|-------------------|
| PA2              | Pin TX de USART 2 |
| PA3              | Pin RX de USART 2 |
| PB11             | Pin RX de USART 3 |
| PD8              | Pin TX de USART 3 |

Si bien la placa de desarrollo cuenta con otros mapeos asociados a otros periféricos como SPI, USB, no se consideraron dentro del alcance de este proyecto.

### 6.3 Configuraciones de placa Discovery

De acuerdo con la figura 67, el clock del microcontrolador se ajustó en 168 MHz, lo que representa su frecuencia máxima de oscilación. De esta forma, los buses asociados a periféricos y temporizadores (timers), quedaron seteados de acuerdo con lo indicado en la figura 68.

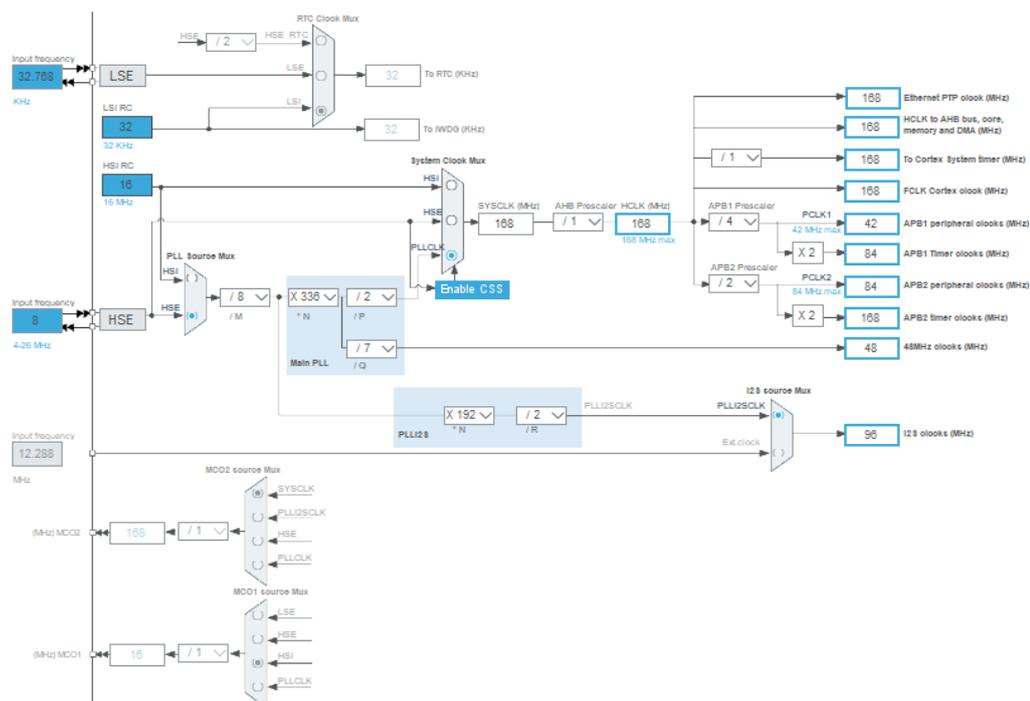


Figura 67. Configuración de clock de placa Discovery

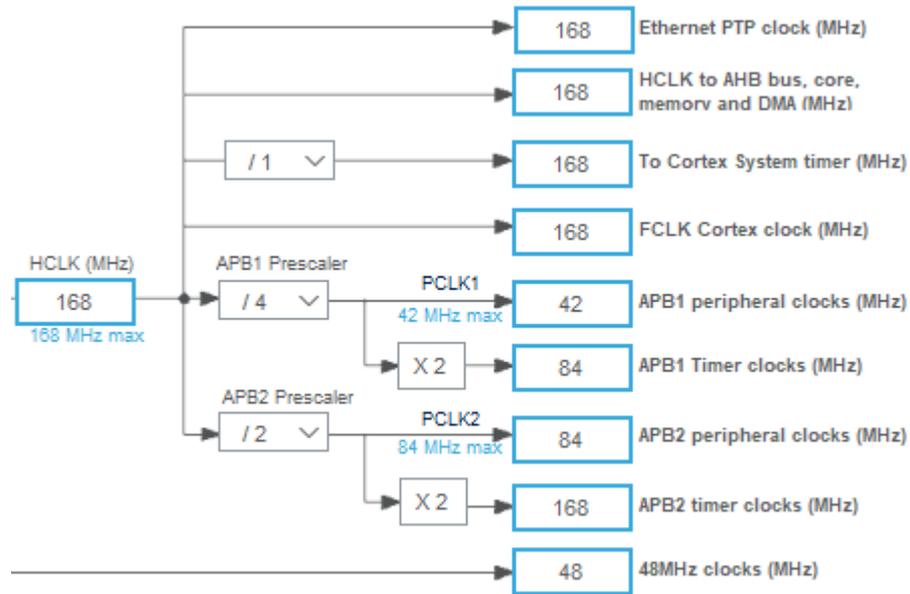


Figura 68. Frecuencias de buses

### 6.3.1 Temporizador 3 (timer 3)

A fin de mantener sincronismo entre las distintas tareas que se ejecutan cíclicamente, se configuró el temporizador o timer 3 (TIM3) de acuerdo con lo indicado en la figura 69.

| NVIC Interrupt Table  |                                     |                     |              |
|-----------------------|-------------------------------------|---------------------|--------------|
|                       | Enabled                             | Preemption Priority | Sub Priority |
| TIM3 global interrupt | <input checked="" type="checkbox"/> | 0                   | 0            |

Figura 69. Configuración de timer 3

Este temporizador forma parte del bus APB1 Timers clock, por lo que su frecuencia resultó ser de 84 MHz. Además, en función de los parámetros configurados, el período resultó ser de 1 ms. Es decir, cada 1 ms se desbordó el contador de períodos, llamando a la función de interrupción.



### 6.3.2 Conversor analógico-digital 1 (ADC1)

La figura 70 muestra los parámetros de configuración del ADC. Como puede observarse, al mismo se le activó la interrupción global. Con esto, una vez iniciado el ADC para tomar una muestra, se continuó con las demás tareas hasta que se finalice la conversión, donde el ADC procedió a llamar a su función de interrupción. Esto se realizó a fin de mantener una filosofía de multitarea, donde la ejecución de un proceso no afectase el comportamiento de los demás.

The screenshot shows the configuration interface for the ADC. The top navigation bar includes tabs for Parameter Settings, User Constants, NVIC Settings, DMA Settings, and GPIO Settings. The main area is titled 'Configure the below parameters :'. It contains a search bar and several expandable sections:

- ADCs\_Common\_Settings**: Mode is set to 'Independent mode'.
- ADC\_Settings**: Clock Prescaler is 'PCLK2 divided by 4', Resolution is '12 bits (15 ADC Clock cycles)', Data Alignment is 'Right alignment', Scan Conversion Mode is 'Disabled', Continuous Conversion Mode is 'Disabled', Discontinuous Conversion Mode is 'Disabled', DMA Continuous Requests is 'Disabled', and End Of Conversion Selection is 'EOC flag at the end of single channel conversion'.
- ADC\_Regular\_ConversionMode**: Number Of Conversion is '1', External Trigger Conversion Source is 'Regular Conversion launched by software', and External Trigger Conversion Edge is 'None'.
- Rank**: Set to '1'.
- ADC\_Injected\_ConversionMode**: Number Of Conversions is '0'.
- WatchDog**: Enable Analog WatchDog Mode is unchecked.

Below the configuration area is the 'NVIC Interrupt Table' table:

|                                       | Enabled                             | Preemption Priority | Sub Priority |
|---------------------------------------|-------------------------------------|---------------------|--------------|
| ADC1, ADC2 and ADC3 global interrupts | <input checked="" type="checkbox"/> | 0                   | 0            |

Figura 70. Configuración del ADC

### 6.3.3 USART 2 y 3

En el caso de estos periféricos, ambos se configuraron de la misma manera, según lo indicado en la figura 71, que muestra el ajuste de la USART 2.

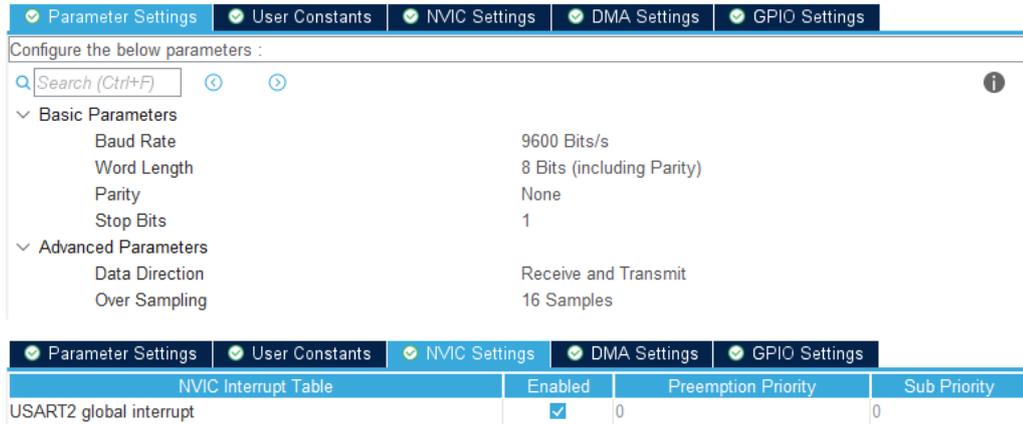


Figura 71. Configuración de USART 2

### 6.3.4 I2C1

Este periférico se habilitó para la transmisión de datos al LCD. La figura 72 muestra los parámetros de configuración. En el caso de este periférico, no se trabajó con interrupciones.

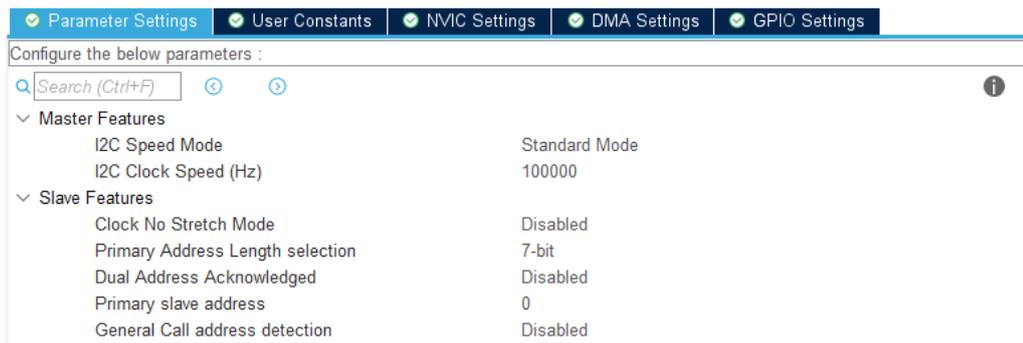


Figura 72. Configuración de I2C

### 6.4 Prototipo: primera versión

El primer prototipo se presenta en la figura 73. Representó la primera implementación del cableado del circuito, donde se pregonaron las pruebas de comunicación por sobre las pruebas de chequeo de entradas digitales y analógica.

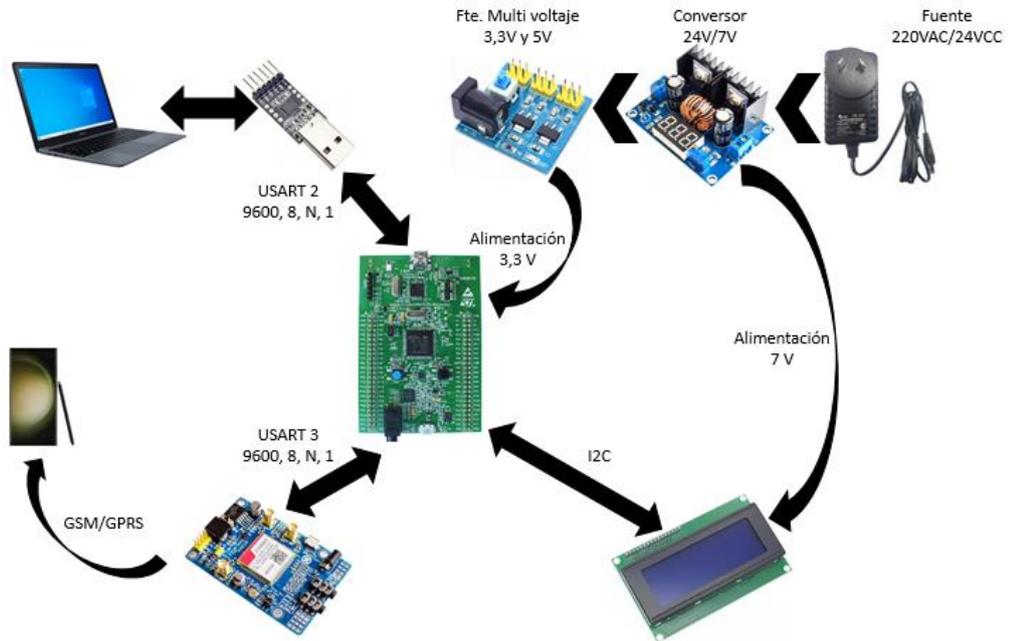


Figura 73. Conexión entre módulos

La distribución de la figura anterior se implementó en una placa de gabinete estanco, mostrado en la figura 74.

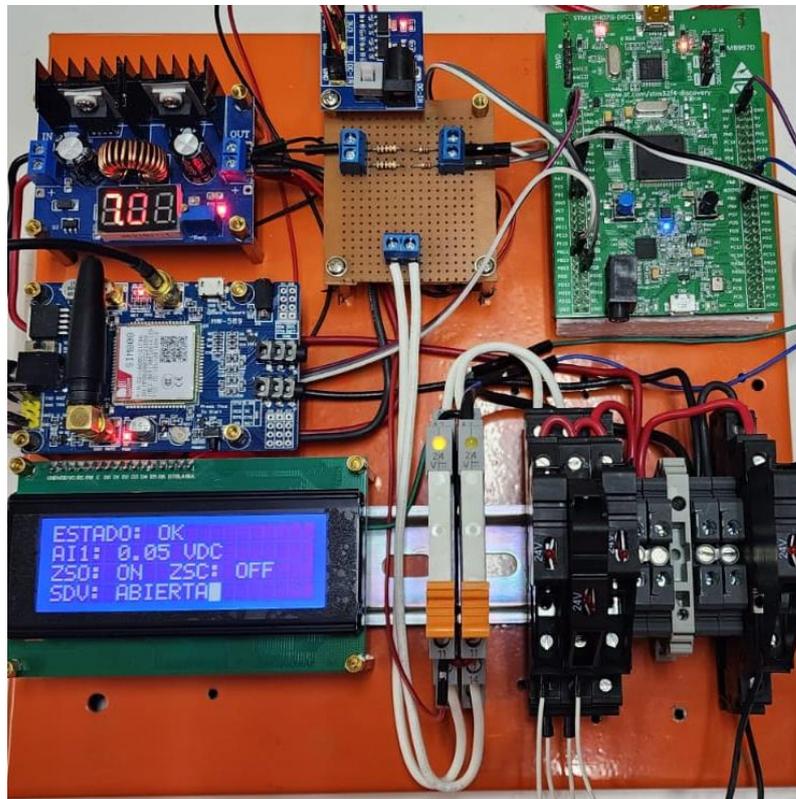


Figura 74. Prototipo de telemetría



La figura 75 muestra los distintos componentes del prototipo, donde se presentan las distintas partes constitutivas del sistema, donde tenemos:

1. Conversor DC/DC: Encargado de convertir niveles de tensión continua. En este caso, de 24 VCC a 7 VCC.
2. Fuente multi-voltaje: Fuente de alimentación regulada, con salidas en 3,3 VCC y 5 VCC. Encargada de la alimentación del display LCD y del microcontrolador.
3. Microcontrolador ARM: Encargado de administrar la gestión de comunicaciones, la lectura de entradas y la escritura de datos.
4. Placa de adecuación de señales: Compuesta por 4 resistencias en distribución pull-down, encargadas de establecer un nivel lógico bajo en las 2 entradas del microcontrolador.
5. Módulo GSM/GPRS: Encargado de la recolección de datos por GPS y de la recepción/envío de mensaje vía GSM.
6. Display de visualización: Pantalla de indicación local de estados de comunicación y entradas.
7. Bornes frontera entradas: Límite de conexión entre el sistema de telemetría y los dispositivos de campo
8. Borne frontera alimentación DC: Límite de conexión para la vinculación de la fuente de alimentación de 24 VCC.

Si bien no aparece en la figura, es importante mencionar que el microcontrolador se conecta a un conversor USB-serie, con el fin de disponer del acceso para diagnóstico y configuración vía terminal serial (Putty, por ejemplo).

Se visualizan 2 mini-relés de un polo cada uno, en sus respectivos zócalos. Estos elementos constituyen una forma de aislación entre el sistema y los contactos de campo. Están destinados a las entradas digitales.

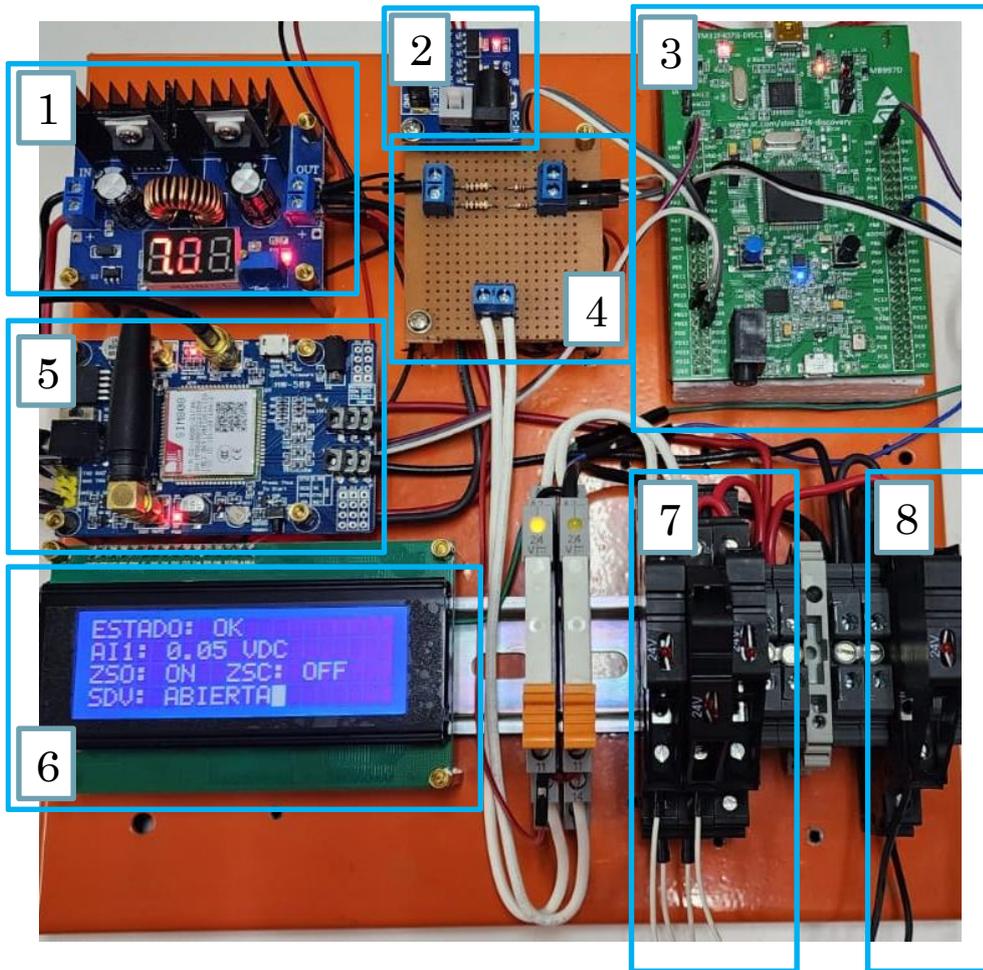


Figura 75. Prototipo de telemetría: partes constitutivas

## 6.5 Detección de eventos en sistema

Existe la posibilidad de detectar eventos anormales en el funcionamiento del equipo de separación.

### 6.5.1 Estado operativo del PLC

La opción de evaluar el estado del PLC, a fin de saber si el mismo se encuentra operativo o en falla es una idea de detección de falla.

### 6.5.2 Detección de falla en transmisor 4-20 mA

Desde el lado de los instrumentos, es posible detectar si un transmisor se encuentra en falla en función de la corriente del lazo que llega al módulo. Generalmente, un transmisor puede configurarse para que se ajuste en un determinado valor de corriente, que representa un estado de falla del equipo. Esto puede ser:



- Baja corriente en falla: el valor que toma es 3,6 mA
- Alta corriente en falla: el valor que toma es 22 mA

### **6.5.3 Detección de nivel en separador**

Es posible detectar si el equipo tiene o no nivel en la cuba en la que se monta un switch indicador, conocido como *Level Switch*. Esto representa un estado ON/OFF, lo que se traduce en una entrada digital para el sistema. Si hablamos de un switch de bajo nivel, la detección de falta de líquido puede evitar que se envíe gas por una línea de agua o petróleo.

### **6.5.4 Medición y diagnóstico de densidad**

Es posible detectar la presencia de un valor de densidad fuera de lo normal en la línea de líquido que se está analizando. Básicamente, la medición de densidad proveniente del másico permite diagnosticar el fluido que está atravesando la línea. Un cambio en la densidad puede significar que otro fluido está circulando por la línea de descarga. Como ejemplo, podemos tomar la cuba de agua, donde se esperaría una densidad con valores por sobre los  $1000 \text{ kg/m}^3$ , por tratarse de un agua con cierto grado de salinidad. Si, por algún motivo, el sistema detecta que el másico de agua tiene una densidad por debajo de  $1000 \text{ kg/m}^3$ , puede actuar sobre los sistemas de descarga, restringiendo una válvula de control, o cerrando una válvula ON/OFF. El sistema puede “aprender” sobre la variable que monitorea, a fin de predecir si el comportamiento del equipo es normal o no.

### **6.5.5 Diagnóstico de caudales**

Así cómo es posible diagnosticar el funcionamiento del sistema a partir de las densidades medidas en las distintas líneas, es posible hacer lo mismo desde el punto de vista del caudal. El sistema puede interpretar si el caudal que está descargando por una línea está dentro de los valores normales de la operación, o si está por encima o por debajo de lo normal. Un bajo caudal en una línea de líquido puede representar que el filtro “Y” (un accesorio utilizado para contener objetos sólidos que van por la línea, y así evitar obstrucciones), está obstruido. Asimismo, un alto caudal puede representar un cambio en las condiciones de ingreso, por ejemplo, un orificio barrido aguas arriba del separador.



## **6.6 Trabajos futuros**

A continuación, se presentan una serie de mejoras del diseño inicial planteado en esta etapa. El objetivo busca obtener un prototipo que permita la configuración integral del módulo sin la necesidad de programar el microcontrolador cada vez que se requiera una mejora. Se busca presentar todas las opciones y que el usuario seleccione las que requiera para la aplicación específica.

### **6.6.1 Exportación a servidor**

La primera mejora consiste en reportar de manera periódica los valores que se relevan en el sistema de telemetría, a fin de tener históricos de datos, como así también disponer de gráficos de tendencia desde una página web. Para esto, se debe configurar el módulo GSM/GPRS para enviar datos a una determinada IP configurada.

### **6.6.2 Visualización en página web**

La idea de almacenar los valores exportados por el módulo en una base de datos persigue el objetivo final de obtener un sistema de monitoreo en una página web. Esto permitirá monitorear las variables del sistema en función de los datos reportados al servidor, como así también mostrar gráficos de históricos almacenados en el base de datos.

### **6.6.3 Escalabilidad para mayor cantidad de E/S**

Se prevé disponer de un microcontrolador que cuente con un gran número de pines configurables, a fin de ampliar la cantidad de entradas digitales y analógicas. Además, se prevé configurar salidas de relé y salidas analógicas, a fin de convertir el módulo de telemetría en una RTU.

### **6.6.4 Interfaz gráfica de configuración**

A fin de optimizar el uso de las E/S analógicas y digitales, se prevé implementar una interfaz de usuario que permita:

- Configurar el rango de escalado de cada E/S analógica, como así también su tipo (4-20 mA, 0-5 V, etc).
- Seleccionar la forma de exportar las variables analógicas, a fin de historizar por tiempo y/o cambios porcentuales del valor medido.



Además, se prevé disponer de historización por umbrales, a fin de reportar el valor de la variable medida cuando la misma esté por encima de un umbral máximo, como así también por debajo de un umbral mínimo.

- Seleccionar la forma de exportar los datos digitales, ya sea por tiempo o por cambio en el estado de la entrada digitales. Para el caso de las salidas, reportar por un cambio en la salida que se setea en el relé asociado.
- Ajustar los parámetros de configuración del sistema de datos, como ser el APN, la contraseña y demás información necesaria para el envío de datos.
- Implementar un sistema multiprotocolos, con el fin de dar versatilidad a las necesidades el usuario. Por ejemplo, exportar datos por MQTT como una variante a la red GPRS.

## 6.7 Conclusiones

El prototipo implementado permite disponer de un sistema capaz de reportar el estado de variables digitales y analógicas mediante la red GSM. La forma de reporte habilitada en esta versión es por requerimiento. Es decir, el usuario es el encargado de solicitar algún dato por SMS al módulo, y este último es el que reporta en función de texto recibido, previo chequeo que permite validar el comando enviado.

Si bien el objetivo inicial buscaba un reporte a una base de datos o a un bróker MQTT, por ejemplo, no formó parte del alcance de esta implementación. Sin embargo, cumplir con este requerimiento no demanda más que la configuración por comandos AT del dominio al que deben reportarse los datos, como así también la definición de una trama de datos a enviar. Asimismo, es necesario implementar la gestión de recepción de la trama enviada, a fin de guardar los datos de manera ordenada en una base de datos. Esta gestión de recepción es la que demanda una implementación más en detalle y propietaria, ya que la trama que pueda enviarse será la implementada por el configurador del microcontrolador.

Es importante mencionar que, además de las funcionalidades asociadas al reporte a base de datos, la posibilidad de contar con una interfaz de usuario que permita



configurar determinados parámetros del sistema le da una gran versatilidad y flexibilidad al módulo. En esta implementación, es posible configurar parámetros del módulo de telemetría utilizando una consola serial, pero no así de las entradas del microcontrolador.

Resulta de gran utilidad la posibilidad de configurar una entrada analógica, definiéndola como entrada de tensión o de corriente, y en este último caso como activa o pasiva. Además, es útil disponer de un entorno que permita configurar la forma de reporte de datos, ya sea: por tiempo, por porcentaje de cambio o por umbrales definidos.

Lo anteriormente planteado busca ampliar la forma de configuración por USART vía PC, presentando estas funcionalidades de forma más amena, sin la necesidad de interactuar con el módulo de telemetría a través de una consola serial.

Por otra parte, el algoritmo es de implementación propia en su totalidad. Esto permite conocer en mayor detalle la forma en la que funciona el sistema, pero resulta más demandante al momento de implementar una modificación.

En la actualidad, existe una gran cantidad de funciones asociadas a librerías, como así también métodos de clases que resuelven determinadas implementaciones, y suelen encontrarse disponibles para placas de desarrollo como pueden ser las de Arduino. Sin embargo, no se encontró implementación alguna para arquitecturas ARM.

Desde el punto de vista de la optimización en tiempos, es posible migrar de microcontrolador para disponer de algoritmos ya consolidados, lo que ataría el desarrollo a la disponibilidad de funciones y/o métodos desarrollados por otros programadores, pero permitiría desarrollar funcionalidades del sistema de forma más ágil.

Para lograr una escalabilidad rápida, la opción que se plantea es el reemplazo del microcontrolador por alguno de gama media, ya que los requerimientos de procesamiento son bajos.

Por último, y no menos importante, el objetivo de integrar todo el sistema en una sola placa de tamaño reducido es el objeto final de este proyecto. Asociado a esto, se debe analizar la factibilidad de desarrollo, donde lo importante pregon



en la compatibilidad electromagnética del sistema. El fin de lograr un módulo que tenga certificaciones afines permitirá darle confiabilidad al producto que se desee comercializar.



## 7. Biografías

[1] Separadores de tres fases.ppt

<https://www.slideshare.net/helmer11/separadores-de-tres-fasesppt>

[2] Medición de caudal por presión diferencial (DP)

<https://www.emerson.com/es-es/automation/measurement-instrumentation/pressure-measurement/about-differential-pressure-dp-flow-measurement>

[3] Teoría de los caudalímetros magnéticos

<https://www.emerson.com/es-es/automation/measurement-instrumentation/flow-measurement/about-magnetic>

[4] Caudalímetros ultrasónicos

<https://www.emerson.com/es-es/automation/measurement-instrumentation/flow-measurement/ultrasonic-flow-meters>

[5] Caudalímetros vortex

<https://www.emerson.com/es-es/automation/measurement-instrumentation/flow-measurement/about-vortex>

[6] Medidor de flujo másico de dispersión térmica

<https://es.silverinstruments.com/product/thermal-dispersion-mass-flow-meter.html>

[7] Funcionamiento del transmisor de flujo Coriolis

<https://www.instycal.es/novedades-tecnologicas/funcionamiento-del-transmisor-de-flujo-coriolis/>

[8] Sensor de temperatura: tipos y normativa

<https://www.solerpalau.com/es-es/blog/sensor-temperatura/>

[9] PT100

<https://es.omega.com/prodinfo/pt100.html>

[10] ¿Qué es una termocupla? ¿Cuál es su importancia en la industria?

<https://www.alutal.com.br/es/termopar>

[11] Radar de onda guiada

<https://www.emerson.com/es-mx/automation/measurement-instrumentation/level/continuous-level-measurement/about-guided-wave-radar>

[12] Medición de nivel por radar sin contacto



<https://www.emerson.com/es-mx/automation/measurement-instrumentation/level/continuous-level-measurement/about-non-contacting-radar>

[13] Medición de nivel por presión diferencial (DP)

<https://www.emerson.com/es-es/automation/measurement-instrumentation/pressure-measurement/about-differential-pressure-dp-level-measurement>

[14] Guía de válvulas de control, quinta edición.

<https://www.emerson.com/documents/automation/gu%EDa-de-v%Elvulas-de%A0control-control-valve-handbook-spanish-es-5459932.pdf>

[15] Actuadores neumáticos de yugo escocés

<https://www.emerson.com/es-es/automation/valves-actuators-regulators/actuators/pneumatic/bettis-scotch-yoke>

[16] STM32CubeMX

<https://www.st.com/en/development-tools/stm32cubemx.html#overview>

[17] STM32CubeIDE

<https://www.st.com/en/development-tools/stm32cubeide.html>

[18] Putty

<https://www.hostgator.mx/blog/putty-en-programacion-aprende-que-es/>

[19] Placa de desarrollo Discovery

<https://www.st.com/en/evaluation-tools/stm32f4discovery.html#overview>

[20] Placa de desarrollo con SIM808

AN0002 SIM808 english manual.pdf

<https://pdf.direnc.net/upload/sim808-gsm-gps-datasheet.pdf>

[21] SIM808

[https://wiki.dfrobot.com/SIM808\\_GPS\\_GPRS\\_GSM\\_Shield\\_SKU\\_TEL0097](https://wiki.dfrobot.com/SIM808_GPS_GPRS_GSM_Shield_SKU_TEL0097)

[22] Relé de un polo Phoenix Contact PLC-RSC-24DC/21

<https://www.phoenixcontact.com/es-ar/productos/modulo-de-reles-plc-rsc-24dc21-2966171>