

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**DISEÑO DE UN SISTEMA CIBER-FÍSICO PARA MONITORIZAR
VARIABLES RELACIONADAS CON DERRAMES DE LÍQUIDOS DE
GAS NATURAL EN EL SISTEMA DE TRANSPORTE POR DUCTOS
DEL PROYECTO CAMISEA**

Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Mecatrónico

AUTOR:

Cristhian Gustavo Jacinto Calderon

ASESOR: Elizabeth Roxana Villota Cerna, PhD

CO-ASESOR: Félix Melchor Santos López, MSIS

Lima, Marzo del 2022

RESUMEN

Durante los 18 años de operación del Proyecto Camisea se han registrado 13 fallas en los sistemas de transporte por ductos de líquidos de gas natural (LGN). Muchas de estas fallas son producto del movimiento lento de suelos, las infiltraciones de agua o la perforación intencional de los ductos. Sea cual fuere la causa, muchas veces ocurre que las fallas terminan no siendo identificadas por el sistema de detección de fugas y derrames SCADA de la empresa transportadora (TgP).

El objetivo del presente proyecto es evaluar la factibilidad de diseñar un sistema ciber-físico que permita identificar derrames de pequeña magnitud a lo largo del poliducto de LGN, a la vez que alerte en caso de derrame tanto a la empresa transportadora como a los organismos técnicos supervisores y fiscalizadores (como el OEFA y Osinergmin). Contar con un sistema como el descrito, permitirá que se tomen acciones inmediatas tal que se consiga reducir drásticamente tanto el impacto ambiental como el socioeconómico. Con este fin, la pregunta de investigación es la siguiente: ¿de qué manera se podrían vincular las tecnologías de la información y la comunicación con los procesos físicos tal que se puedan monitorizar las variables relacionadas con los derrames de LGN? En este contexto, se debe tener en cuenta que el bajo porcentaje de falsas alarmas es una medida para que un sistema de monitorización de derrames sea considerado eficiente.

La pregunta de investigación se responde a través del diseño de un sistema ciber-físico que implica la interacción de: (i) un sistema físico, diseñado según la norma de diseño alemana VDI 2221 y (ii) un sistema ciber, diseñado de acuerdo al proceso de diseño “*Attribute-Driven Design 3.0*” del Instituto de Software de la Universidad de Carnegie Mellon. El sistema físico consiste en un conjunto de estaciones de monitoreo que cumple con términos de referencia dados por Osinergmin, y presenta una configuración redundante en el suministro de energía, para alimentar en todo momento a dispositivos electrónicos, entre los que destacan sensores no intrusivos, acondicionadores de señales, y un microcontrolador. Estos dispositivos, en conjunto, se encargan principalmente de la adquisición y transmisión de los datos relacionados con derrames de LGN hacia el sistema ciber. El sistema ciber consiste en una arquitectura de *Cloud computing*, diseñada en base a los principales casos de uso identificados, escenarios de atributos de calidad, restricciones y preocupaciones arquitecturales. Las funciones del sistema ciber son recibir y procesar las tramas de datos, notificar al sistema físico en caso de un derrame y presentar el proceso de monitoreo a través de una plataforma *cloud*.

De esta manera se obtiene como resultado un sistema integrado que genera las condiciones para detectar derrames y establecer alertas a tres niveles: *in situ*, a través de SMS y a través de la plataforma *cloud*.

DEDICATORIA



A Dios, el Arquitecto del Universo, por guiar cada uno de mis pasos, por darme unos padres maravillosos y amigos que han llegado y encajado perfectamente en mi vida.

A mis padres, por todo su amor, confianza e inspiración que me han brindado para alcanzar este gran logro.

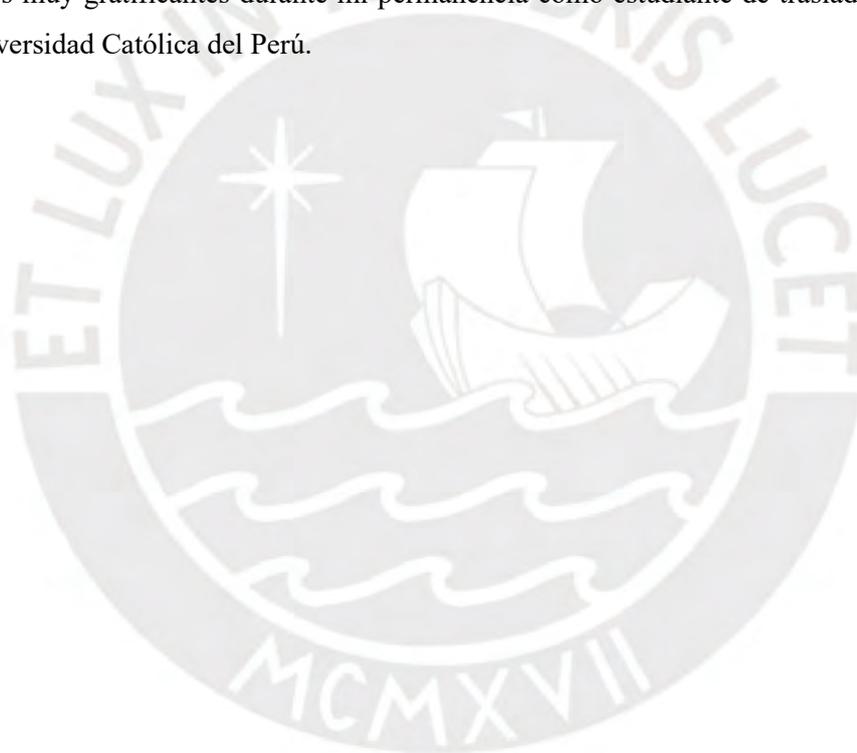
Los amo infinito.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis asesores de tesis, Elizabeth Villota y Félix Santos, por todo el apoyo ingenieril que me han brindado durante el desarrollo de esta tesis y por inculcarme la vocación a la investigación, lo que me ha permitido desarrollar habilidades analíticas y destacar en diferentes eventos de innovación y tecnología.

Así mismo, agradezco a la ingeniera Lucía Viera (PUCP – Oficina de Seguridad Integral) y a los ingenieros Marlon Lujan (Cálida), Javier Reyes (OEFA), Alfredo Tello (OEFA), César Gamboa (DIRESA – CUSCO) por su predisposición a absolver dudas técnicas respecto al Proyecto Camisea.

Finalmente, a mis mejores amigos Markyño La Torre, Karlo Verde y Alejandro Bedoya, con quienes pasé momentos muy gratificantes durante mi permanencia como estudiante de traslado externo en la Pontificia Universidad Católica del Perú.



INDICE

RESUMEN.....	i
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS.....	ii
INDICE DE TABLAS	iv
INDICE DE FIGURAS	vi
1. CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	1
1.1. Situación problemática	1
1.1.1. Breve contexto del Proyecto Camisea.....	1
1.1.2. Tecnologías en el transporte del GNS y LGN.....	2
1.1.3. Incidentes e impactos de los derrames	3
1.1.4. Rol del Estado	4
1.2. Modelo conceptual de la solución.....	4
1.3. Objetivos	6
1.3.1. Objetivo general	6
1.3.2. Objetivos específicos	6
1.4. Justificación	6
1.5. Alcances.....	6
2. CAPITULO II: MARCO TEÓRICO Y ESTADO DE ARTE.....	7
2.1. Métodos computacionales de detección de derrames	7
2.1.1. Balance de línea	7
2.1.2. Modelo transitorio en tiempo real	7
2.1.3. Monitoreo de presión y flujo.....	7
2.1.4. Seguimiento de onda de presión negativa (acústica).....	8
2.1.5. Análisis estadístico.....	8
2.2. Tecnologías de monitorización	8
2.2.1. Patentes	8
2.3. Productos comerciales.....	11
2.3.1. Atmos International.....	11
2.4. Cloud computing	13
2.4.1. Definición.....	13
2.4.2. Características esenciales	13
2.4.3. Modelos de servicios.....	13
2.4.4. Modelos de despliegue.....	14
2.5. Metodologías de diseño	15
2.5.1. Verein Deutscher Ingenieure 2221 (VDI 2221).....	15
2.5.2. <i>Attribute-Driven Design 3.0 (ADD 3.0)</i>	16

3. CAPITULO III: DISEÑO CONCEPTUAL	17
3.1. Diseño conceptual del sistema físico según norma VDI 2221	17
3.1.1. Lista de requerimientos	17
3.1.2. Estructura de funciones	19
3.1.3. Matriz morfológica.....	23
3.1.4. Conceptos de solución.....	28
3.1.5. Evaluación técnico-económica.....	34
3.2. Diseño conceptual del sistema ciber según proceso ADD 3.0	36
3.2.1. Descripción de casos de uso.....	36
3.2.2. Escenarios de atributos de calidad	37
3.2.3. Restricciones	37
3.2.4. Preocupaciones arquitecturales	37
4. CAPÍTULO IV: DISEÑO DEL SISTEMA CIBER-FÍSICO.....	38
4.1. Sistema de monitorización	38
4.2. Diseño del sistema físico: electrónico y eléctrico.....	41
4.2.1. Diagrama P&ID	41
4.2.2. Diagramas de bloques	41
4.2.3. Selección de componentes	43
4.2.4. Placa electrónica principal	58
4.2.5. Diagramas de flujo	60
4.3. Diseño del sistema físico: mecánico.....	67
4.3.1. Selección de componentes	67
4.3.2. Principales cálculos.....	70
4.3.3. Plano mecánico principal	74
4.4. Diseño del sistema ciber: Arquitectura de <i>cloud computing</i>	75
4.4.1. Paso 1: Revisión de las entradas	75
4.4.2. Iteración 1: Estructura general del sistema	75
4.4.3. Iteración 2: Selección de tecnologías	79
5. CAPÍTULO V: INTEGRACIÓN DEL SISTEMA CIBER-FÍSICO	85
5.1. Funcionalidad de la arquitectura de <i>cloud computing</i>	85
5.1.1. Recolectar datos	85
5.1.2. <i>Log-in</i> y autenticar usuarios	88
5.1.3. Mostrar datos recolectados.....	92
5.1.4. Notificar eventos de derrame	95
5.2. Funcionalidad de las estaciones de monitoreo	97
5.2.1. Enviar datos al sistema ciber.....	97
5.2.2. Alertar de un evento de derrame	98

6. CAPÍTULO VI: COSTOS DEL SISTEMA CIBER-FÍSICO.....	100
6.1. Costos de componentes del sistema físico	100
6.2. Costos de componentes del sistema ciber	101
6.3. Costo total del proyecto	101
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	103
Conclusiones	103
Recomendaciones	104
BIBLIOGRAFÍA	106



INDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Pipeline leak detection device</i>	8
Tabla 2. <i>Automatic leakage detection system form pipelines carrying fluids</i>	9
Tabla 3. <i>Leak detector for natural gas pipelines</i>	9
Tabla 4. <i>Method and apparatus for leak detection</i>	10
Tabla 5. <i>Pipe leakage detection</i>	10
Tabla 6. Soluciones <i>Atmos International</i>	11
Tabla 7. Modelos de servicios.....	14
Tabla 8. Modelos de despliegue.....	14
Tabla 9. Lista de requerimiento sistema físico.....	17
Tabla 10. Lista de requerimientos del sistema físico – Continuación.....	18
Tabla 11. Lista de requerimientos del sistema físico – Continuación.....	19
Tabla 12. Matriz morfológica.....	24
Tabla 13. Matriz morfológica - Continuación.....	25
Tabla 14. Matriz morfológica – Continuación.....	26
Tabla 15. Matriz morfológica – Continuación.....	27
Tabla 16. Evaluación de criterios técnicos.....	34
Tabla 17. Evaluación de criterios económicos.....	35
Tabla 18. Descripción de casos de uso.....	36
Tabla 19. Descripción de los escenarios de atributos de calidad.....	37
Tabla 20. Descripción de las restricciones.....	37
Tabla 21. Descripción de las preocupaciones arquitecturales.....	37
Tabla 22. Sensor de temperatura de tipo <i>clamp-on</i>	44
Tabla 23. Propuesta de sensores ultrasónicos.....	44
Tabla 24. Sensor ultrasónico seleccionado con dispositivo de montaje.....	45
Tabla 25. Sensores piezoeléctricos acústicos.....	45
Tabla 26. Características técnicas del módulo ZMPT101B.....	46
Tabla 27. Comparación entre circuitos integrados MAX348X.....	46
Tabla 28. Módulo MAX3485EESA.....	47
Tabla 29. Comparación entre TDC's.....	47
Tabla 30. Módulo TDC-GP30F1.....	48
Tabla 31. Características del circuito de desacoplamiento.....	48
Tabla 32. Parámetros de diseño para el escalador de voltaje.....	49
Tabla 33. Parámetros de selección del amplificador operacional.....	50
Tabla 34. Circuito diseñado – Escalador de voltaje.....	50
Tabla 35. Comparación entre ESP32 SoC.....	51

Tabla 36. Comparación entre circulinas industriales	52
Tabla 37. Comparación entre paneles OLED	52
Tabla 38. Módulo relevador de 4 canales	53
Tabla 39. Consumo de energía de los componentes seleccionados	53
Tabla 40. Fuentes <i>switching</i> y llave térmica seleccionada.....	54
Tabla 41. Características de las fuentes reguladoras de voltaje	54
Tabla 42. Fuentes reguladoras de voltaje.....	55
Tabla 43. Parámetros de diseño del sistema solar fotovoltaico	56
Tabla 44. Panel solar seleccionado	56
Tabla 45. Controlador BlueSolar MPPT 75/10.....	57
Tabla 46. Batería seleccionada.....	57
Tabla 47. Componentes internos previstos para el gabinete de control	67
Tabla 48. Gabinete de control seleccionado	68
Tabla 49. Soporte de panel solar seleccionado	68
Tabla 50. Mástil seleccionado.....	69
Tabla 51. Soporte de mástil seleccionado.....	69
Tabla 52. Elementos protectores contra cargas estáticas seleccionados	70
Tabla 53. Cálculo del peso.....	70
Tabla 54. Cálculo de velocidades de diseño del viento	71
Tabla 55. Cálculo de las cargas debido al viento en los elementos de la estructura	72
Tabla 56. Cálculo de momentos flectores.....	74
Tabla 57. Cálculo del momento flector admisible por el mástil	74
Tabla 58. Descripción de los drivers arquitecturales	75
Tabla 59. Decisiones de diseño - Iteración 1	76
Tabla 60. Decisiones de diseño - Iteración 1	77
Tabla 61. Elementos de la arquitectura diseñada - Iteración 1	78
Tabla 62. Tablero Kanban - Iteración 1	79
Tabla 63. Decisiones de diseño - Iteración 2	80
Tabla 64. Decisiones de diseño - Iteración 2 (Continuación)	81
Tabla 65. Decisiones de diseño - Iteración 2 (Continuación)	82
Tabla 66. Elementos de la arquitectura diseñada - Iteración 2	82
Tabla 67. Tablero Kanban - Iteración 2	84
Tabla 68. Costo de componentes nacionales	100
Tabla 69. Costo de componentes importados	100
Tabla 70. Costo del sistema ciber	101
Tabla 71. Costo total del proyecto	102

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema del Proyecto Camisea.....	2
Figura 2. Sistema de transporte de GNS y LGN.....	2
Figura 3. Estadísticas de derrames de LGN.....	3
Figura 4. Modelo conceptual del sistema ciber-físico	5
Figura 5. Configuraciones Atmos International.....	12
Figura 6. Norma VDI 2221	15
Figura 7. Proceso ADD 3.0.....	16
Figura 8. Bloque de energía	20
Figura 9. Bloque de potencia	20
Figura 10. Bloque de sensores	21
Figura 11. Bloque de electrónica.	21
Figura 12. Bloque de comunicación	22
Figura 13. Bloque de control.....	22
Figura 14. Bloque de actuadores.....	23
Figura 15. Bloque de mecánica.....	23
Figura 16. Representación gráfica de la solución 1	29
Figura 17. Representación gráfica de la solución 2	31
Figura 18. Representación gráfica de la solución 3	33
Figura 19. Representación gráfica de la evaluación técnica	34
Figura 20. Representación gráfica de la evaluación económica	35
Figura 21. Análisis técnico-económico.....	35
Figura 22. Diagrama de casos de uso.....	36
Figura 23. Estructura del sistema físico	38
Figura 24. Arquitectura de <i>Cloud del</i> sistema ciber.....	39
Figura 25. <i>Marketecture</i> sistema ciber-físico.....	40
Figura 26. Diagrama P&ID.....	41
Figura 27. Suministro de energía	42
Figura 28. Diagrama de bloques	43
Figura 29. Amplificador operacional de tipo inversor	49
Figura 30. Bloque de energización del sistema.....	58
Figura 31. Bloque de sensores	58
Figura 32. Bloque de acondicionadores de señales.....	59
Figura 33. Bloque de actuadores.....	59
Figura 34. Bloque de controlador	60
Figura 35. Diagrama de flujo general	61

Figura 36. Diagrama de flujo - Verificar conexión Wi-Fi	61
Figura 37. Diagrama de flujo - Verificar conexión con el sistema ciber	62
Figura 38. Diagrama de flujo - Verificar estado de alimentación primaria	63
Figura 39. Protocolo MODBUS.....	64
Figura 40. Diagrama de flujo - Leer datos de sistema SCADA.....	64
Figura 41. Diagrama de flujo - Adquirir datos de temperatura, flujo y presión.....	65
Figura 42. Diagrama de flujo - Adquirir datos de ruido acústico	65
Figura 43. Diagrama de flujo - Mostrar datos almacenados en memoria	66
Figura 44. Diagrama de flujo - Enviar datos al sistema ciber	66
Figura 45. Diagrama de flujo - Alertar de evento de derrame	67
Figura 46. Velocidad media anual del viento a 10 metros	71
Figura 47. Representación de fuerzas que afectan al mástil	73
Figura 48. Boceto inicial del sistema ciber	77
Figura 49. Boceto inicial del sistema ciber - Iteración 1.....	78
Figura 50. Arquitectura del sistema ciber - Iteración 2.....	83
Figura 51. Implementación Amazon IoT Core – Elementos creados	86
Figura 52. Implementación Amazon IoT Core - Configuración de una regla	87
Figura 53. Certificados del objeto IoT	88
Figura 54. Prueba de concepto – Recolectar datos	88
Figura 55. Implementación Amazon Route 53	89
Figura 56. Implementación Amazon Certificate Manager.....	89
Figura 57. Implementación Amazon Cognito.....	90
Figura 58. Implementación de Amazon Elasticsearch Service	91
Figura 59. Implementación de Amazon Elasticsearch Service - Configuración clúster	91
Figura 60. Implementación de Amazon Elasticsearch Service – Configuración de seguridad.....	92
Figura 61. Prueba de integración – <i>Log-in</i> y autenticar usuario	92
Figura 62. Implementación de Amazon Elasticsearch Service – Configuración de índices	93
Figura 63. Prueba de integración - Mostrar datos recolectados	94
Figura 64. Implementación de Amazon SNS – Configuración de tema y suscriptores	95
Figura 65. Configuración de alertas en el <i>dashboard</i> Kibana.....	95
Figura 66. Prueba de integración - Notificar evento de derrame	96
Figura 67. Prueba de integración - Enviar datos al sistema ciber	98
Figura 68. Prueba de concepto - Alertar evento de derrame.....	99

1. CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Situación problemática

1.1.1. Breve contexto del Proyecto Camisea

El Perú posee tres áreas de explotación del gas natural (GN) y líquidos asociados al gas natural (LAGN): el yacimiento de Aguaytía (Cuenca del Ucayali), la Costa Norte (Piura - Tumbes) y Camisea (Cusco). El descubrimiento y desarrollo de los yacimientos de Camisea, estableció un hito importante en la historia del Perú debido a la cantidad de reservas probadas de GN (16 veces el tamaño del yacimiento de Aguaytía y casi 32 veces el tamaño de los yacimientos de la Costa Norte) y LAGN (28.5 veces el tamaño de las reservas de Aguaytía) lo cual dio origen al proyecto energético más importante del país [1], [2].

El proyecto Camisea inició operaciones comerciales en agosto del 2014 y se desarrolla en tres etapas:

- (i) La explotación comprende: (a) la extracción de GN y LAGN en los yacimientos de Camisea (lotes 88, 56 y 57), cuya licencia ha sido adjudicada por el Consorcio Camisea liderado por Pluspetrol (lotes 88,56) y Repsol (lote 57); y (b) la transformación de los hidrocarburos en la Planta de Separación “Las Malvinas” para la obtención de productos comerciales como el gas natural seco (GNS) y el líquido de gas natural (LGN) [1], [2]
- (ii) El transporte comprende tres contratos. El consorcio Transportadora de Gas del Perú (TgP) posee dos contratos BOOT (*build own operate and transfer*) para el transporte de GNS desde Camisea hacia el *City Gate* en Lima (gasoducto de 729 km); y LGN desde Camisea hacia la Planta de Fraccionamiento en Pisco (poliducto de 561 km). El consorcio Perú LNG (PLNG) posee un contrato “*ship or pay*” con TgP para el transporte de GNC desde la Planta de Chiquintirca (Ayacucho) hacia la Planta de Licuefacción en Melchorita (gasoducto de 408 km) [3], [4]. Ver Anexo A.
- (iii) La distribución comprende un contrato BOOT con la empresa Gas Natural de Lima y Callao S.A (GNLC-Cálidda) para la distribución por ductos de GNS en Lima y Callao. Así mismo, el consorcio PLNG y la empresa Tractebel (Bélgica) firmaron un acuerdo para exportar LGN hacia México. Por otro lado, en Pisco se distribuyen productos comerciales como el propano, butano, nafa y diésel para el abastecimiento del mercado interno y externo [2], [3], [5].

En la Figura 1 se muestra de manera gráfica cada una de las etapas del Proyecto Camisea

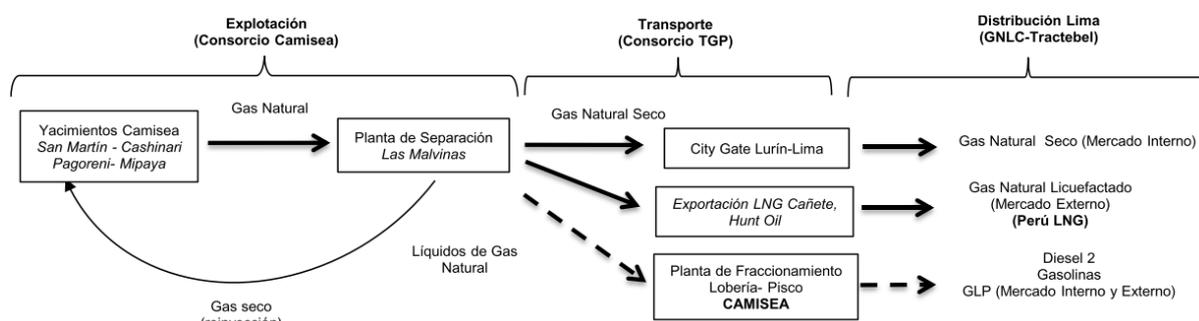


Figura 1. Esquema del Proyecto Camisea
Fuente: [1]

El transporte es la actividad más propensa a sufrir una interrupción, debido a la alta sismicidad del territorio peruano [6]. Lo cual en consecuencia, generadoras eléctricas y empresas industriales pueden verse afectadas por el menor abastecimiento de los hidrocarburos (GNS y LGN); así mismo el transporte representa una parte importante del costo que deben pagar los consumidores locales e internacionales [7]. Dada esa importancia, el presente trabajo se centrará en esta operación.

1.1.2. Tecnologías en el transporte del GNS y LGN

Los hidrocarburos parten de la selva en un Sistema de Transporte por Ductos (STD), que consiste en dos gasoductos para el GNS y un poliducto para el LGN, hasta llegar a la costa. El diseño, construcción, operación y mantenimiento del STD cumple con las normas y disposiciones del Reglamento de Transporte de Hidrocarburos por Ductos (Decreto Supremo N.º 081-2007-EM). La Figura 2 muestra la descripción gráfica de los ductos de GNS y LGN.

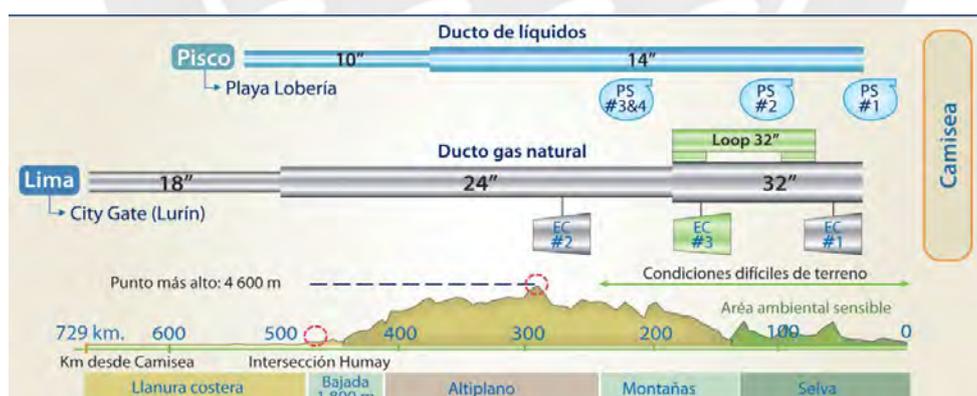


Figura 2. Sistema de transporte de GNS y LGN
Fuente: [8]

El STD cuenta con dos sistemas independientes de comunicación, el primario es a través de un cable de fibra óptica que va adyacente a lo largo de los STD y enlaces satelitales son usados como comunicación secundaria. Esto permite la transmisión de datos, el control y supervisión de las diferentes instalaciones del STD desde la ubicación central de cada operador, para el caso de TgP desde el *City Gate* en Lurín a través de un Sistema Automático de Supervisión, Control y Lectura de Parámetros a

Distancia (SCADA); y en el caso de Perú LNG, desde la Planta Melchorita a través de un Sistema Computarizado de Estación Maestra SCADA (SCEMS). Tanto el SCADA de TgP como el SCEMS de Perú LNG, son sistemas independientes, sin embargo, el SCEMS provee una interfaz de enlace de comunicación de datos seriales por MODBUS con el SCADA de TgP [9,10].

Ambos sistemas SCADA se interconectan con más de 70 equipos remotos entre PLC (controladores lógicos programable), RTU (unidades de terminal remota), válvulas (de bloqueo y *check*) y plantas. Mediante el protocolo de comunicación MODBUS, se abren y cierran válvulas de bloqueo de la línea principal, estas válvulas están situadas en intervalos máximos de 30 km aproximadamente a lo largo de los STD, considerando su accesibilidad con fines operativos y de mantenimiento [10]. Adicionalmente, el operador TgP dispone de herramientas tecnológicas como: (i) sistema de detección de fugas y derrames a través del SCADA, (ii) un sistema de información geográfica (GIS), que permite la evaluación y análisis de las instalaciones existentes en toda la extensión del STD y su entorno, así como el ámbito geográfico que atraviesa; y (iii) un sistema de monitoreo de movimiento de suelos por fibra óptica, que permite generar alertas tempranas e iniciar trabajos correctivos [9].

A pesar de la alta tecnología empleada para supervisar la operación del STD, la pequeña magnitud de los derrames ha sido un problema persistente. En consecuencia, gran porcentaje de estos no terminando siendo sido detectados por el sistema SCADA [11]–[23].

1.1.3. Incidentes e impactos de los derrames

Durante los 18 años de operación del Proyecto Camisea, se han registrado 13 fallas en el STD, específicamente en el poliducto (LGN). Según los reportes de Osinergmin [11]–[23], el principal motivo de las fallas es el deslizamiento de suelos (ver Anexo B). Así mismo, muchas veces ocurre que las fallas terminan siendo reportadas por las comunidades locales y no identificadas por el sistema de detección de fugas y derrames SCADA de la empresa transportadora TgP. En la Figura 3, se muestra la estadística de los derrames de LGN.



Figura 3. Estadísticas de derrames de LGN
Fuente: Elaboración propia

Los derrames de LGN han tenido fuertes impactos en la población y en el medio ambiente en general, pues la composición química de los ríos y suelos contaminados han presentado valores que exceden los límites máximos permisibles de metales pesados como: aluminio, antimonio, arsénico, cadmio, hierro y plomo; esto afecta directamente a la flora y fauna silvestre, así como a las personas que hacen uso de estos recursos naturales [24]. Además, al paralizarse el transporte, sea por días o semanas, hay una afectación en los ingresos fiscales, dado que se perciben menores regalías, pues éstas se determinan sobre la producción fiscalizada. Por tanto, hay un daño a los ingresos regionales, como el canon gasífero y el Fondo de Desarrollo Socio-económico de Camisea (FOCAM), de los departamentos que dependen de estas rentas territoriales [25].

En el Anexo B, se muestra el histórico de las fallas en los STD.

1.1.4. Rol del Estado

De acuerdo a consultas realizadas a personas y entidades relacionadas con el Proyecto Camisea (ver Anexo C), se conoce que un evento de derrame se caracteriza por generar un incremento de temperatura o decremento del flujo y presión en una sección del poliducto. Al darse un evento de derrame sea identificado por el SCADA o reportado por las comunidades locales, se lleva a cabo una inspección *in situ* por parte de Osinergmin y OEFA, organismos técnicos supervisores y fiscalizadores de la operación de transporte.

Osinergmin se presenta para: (i) supervisar los aspectos técnicos y de seguridad; (ii) verificar las actividades relacionadas con la operatividad del Plan de Contingencias del concesionario y (iii) inspeccionar la reparación del ducto de transporte. OEFA ejecuta su función de fiscalización y supervisión ambiental, cuyo proceso inicia con tomar muestras de suelo y agua principalmente, las cuales son llevadas a sus laboratorios equipados con sensores certificados por el Instituto Nacional de Calidad (INACAL), con lo cual logran cuantificar la magnitud del incidente.

Sin embargo, ambas instituciones pueden tomar hasta 3 días para llegar a la zona afectada, lo que conlleva a un retraso en la emisión del informe de impacto ambiental, el cual oscila entre 15 y 30 días. En consecuencia, el retraso puede dar lugar a la pérdida de evidencia o que se reduzca el efecto disuasivo de la función de investigación.

1.2. Modelo conceptual de la solución

El sistema ciber-físico que se propone para monitorizar variables relacionadas con los derrames de LGN, debe ser capaz de detectar derrames de pequeña magnitud y realizar las siguientes funciones principales:

- 1) Recolectar y transmitir a la nube datos relacionados a los derrames del LGN con una frecuencia de 5 segundos.
- 2) Procesar en la nube los datos para determinar la ocurrencia y posible ubicación del derrame.
- 3) Alertar a la empresa responsable del transporte y a los organismos técnicos supervisores y fiscalizadores de un evento de derrame.
- 4) Brindar un entorno visual del proceso de monitorización en tiempo casi real.

Para poder realizar un buen análisis del sistema ciber-físico, es necesario poner en contexto los componentes esenciales del sistema. La Figura 4, muestra un modelo conceptual de la interacción entre los componentes físico y ciber del sistema.

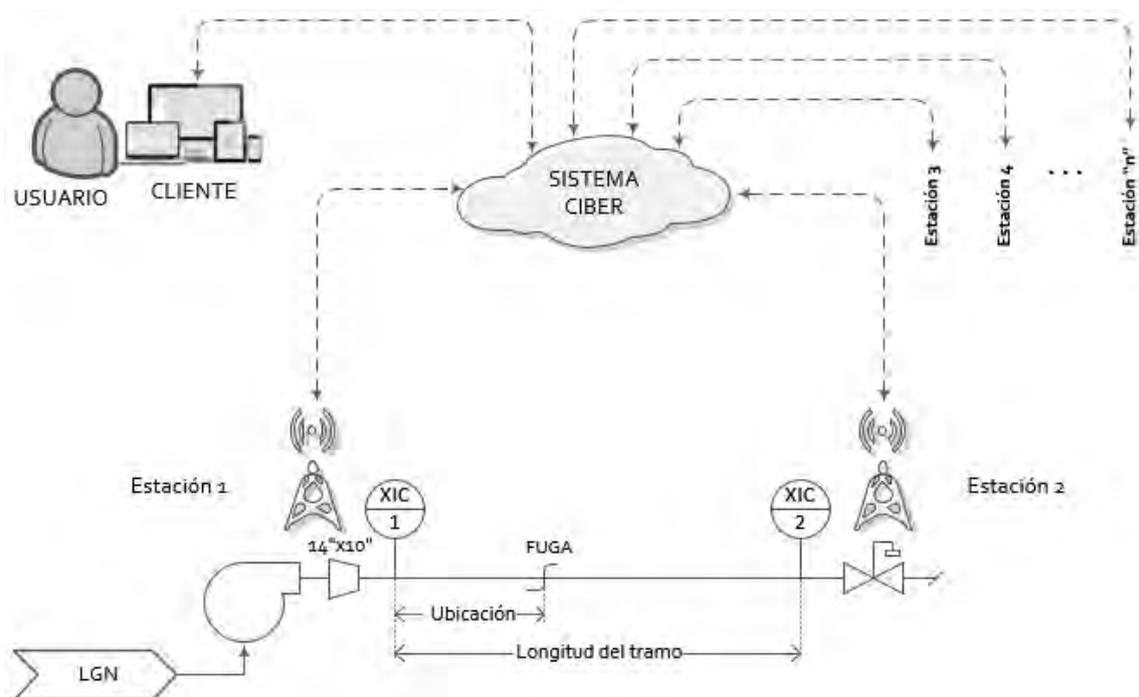


Figura 4. Modelo conceptual del sistema ciber-físico
Fuente: Elaboración propia

En vista de que a largo de los 561 km del poliducto existen válvulas de bloqueo situadas en intervalos máximos de 30 km, se plantea entonces que el sistema físico este conformado por un conjunto de 20 estaciones de monitoreo (la cantidad puede variar) que estarían instaladas cerca de las válvulas de bloqueo; y cuya función principal sería recolectar variables relacionadas a los derrames de LGN (temperatura, presión, flujo, ruido acústico). Estas variables deberán ser procesadas, analizadas y almacenadas por el sistema ciber, a través de un conjunto de servicios *cloud*. Además, para proponer una solución efectiva no sólo se seguirá los lineamientos técnicos de Osinergmin planteados en sus términos de referencia [10], sino también se revisarán estándares internacionales como la API 1130 (“*Computational Pipeline Monitoring for Liquid Pipelines*”) y la API Technical Report 1149 (“*Pipeline Variable Uncertainties and Their Effects on Leak Detectability*”).

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Diseñar un sistema ciber-físico para monitorizar derrames de LGN en el sistema de transporte por ductos del Proyecto Camisea, y que este también alerte a las entidades competentes en caso de derrame.

1.3.2. Objetivos específicos

1. Realizar un estudio del estado del arte que permita reconocer las tecnologías relacionadas y aplicadas en los sistemas de monitorización de líquidos de gas natural.
2. Definir los requerimientos de diseño tanto del sistema físico como ciber en base a términos de referencias de organismos técnicos, y otros relevantes.
3. Elaborar el diseño conceptual del sistema físico teniendo en consideración aspectos técnicos, económicos y legales, siguiendo la norma VDI 2221.
4. Desarrollar el diseño del sistema físico en el dominio mecánico y eléctrico-electrónico, que comprende cálculos, selección de componentes, entre otros.
5. Diseñar la arquitectura de software basada en *cloud computing* del sistema ciber siguiendo el proceso de diseño "*Attribute-Driven Design 3.0*".
6. Realizar pruebas de concepto para validar la interoperabilidad entre los componentes físico y ciber mediante un protocolo de comunicación orientado al internet de las cosas.
7. Realizar pruebas de integración (comunicaciones, decisiones y acciones) del sistema físico con el sistema ciber.
8. Estimar los costos totales del sistema ciber-físico, considerando costos de los componentes seleccionados, costos de diseño, entre otros.

1.4. Justificación

Las rutas de los ductos de GNC y LGN se extienden a través de la compleja geografía peruana, con sus consecuentes dificultades de acceso y complicadas condiciones geológicas; a pesar de la compleja instrumentación y tecnología con el que se transporta, es evidente la necesidad de un sistema no intrusivo que permita la detección confiable y sensible de derrames de pequeña magnitud.

1.5. Alcances

La presente investigación se centrará en la aplicación de dos metodologías para el diseño del sistema ciber-físico. Sin embargo, no se profundizará en el método para la detección y ubicación de derrames debido a su alto grado de dificultad para la ejecución de pruebas de concepto.

2. CAPITULO II: MARCO TEÓRICO Y ESTADO DE ARTE

2.1. Métodos computacionales de detección de derrames

De acuerdo con la literatura [27, 28] y la norma API 1130, existen diferentes métodos computacionales de monitoreo en tuberías (CPM en inglés “*Computational Pipeline Monitoring*”), que mediante el uso de sensores de campo (para medir el flujo, presión y temperatura del hidrocarburo) junto con herramientas algorítmicas permiten la detección de derrames de líquidos en ductos.

2.1.1. Balance de línea

Consiste en determinar la diferencia de variables relacionadas con el flujo, volumen, densidad del hidrocarburo en la entrada y salida de diferentes puntos de medición en el ducto; la cual se compara con un umbral de alarma predefinido. Puede tomar diversos nombres como: (i) balance de volumen, en el que se aplica compensación por cambios en la medición debido a temperatura y/o presión; (ii) balance de modificación de volumen, en el que además de lo anterior mencionado se considera la compresibilidad del fluido en las variaciones del volumen medido; y (iii) balance compensado de masa, que adicionalmente a los métodos anteriores, se aplica un modelo matemático de las condiciones de operación en los puntos de medición del ducto o poliducto (longitud, diámetro, espesor, rugosidad). Sea cual fuere la variante de este método, sólo es utilizado para detectar la existencia de un derrame y no para identificar la ubicación.

2.1.2. Modelo transitorio en tiempo real

Consiste en: (i) simular el proceso en tiempo real tomando en cuenta todas las características de la tubería (diámetro, longitud, espesor, rugosidad), del fluido (densidad, viscosidad, módulo de compresibilidad), del medio por la que pasa el ducto (altura, temperatura, bombas, válvulas, ubicación) para realizar un perfil del flujo y presión en el ducto; y (ii) comparar esos valores con las mediciones de los sensores instalados a lo largo del ducto. Es uno de los métodos más sensibles, pero también más complejos, depende de la precisión de los sensores de campo lo que ocasiona que se den falsas alarmas del derrame producto de errores de calibración. Sólo es utilizado para detectar la existencia de un derrame y no para identificar su ubicación.

2.1.3. Monitoreo de presión y flujo

Consiste en monitorear variables de presión y flujo provenientes de diversos sensores instalados en el ducto con la finalidad de determinar una desviación que supere un umbral de alarma predefinido. Es utilizado para determinar las tasas de cambio frente a condiciones de operación normales, inusuales y de potencial derrame, sin embargo, no permite identificar la ubicación.

2.1.4. Seguimiento de onda de presión negativa (acústica)

Consiste en analizar las ondas de presión negativa (o rarefacción) que se producen tras una caída de presión en una determinada sección del ducto. Estas ondas se propagan corriente hacia arriba (*upstream*) y corriente hacia abajo (*downstream*), las frecuencias oscilan entre 1MHz hasta por debajo de 1KHz. El derrame puede ser ubicado después que se filtre el ruido que acompaña a dichas frecuencias.

2.1.5. Análisis estadístico

Consiste en aplicar algún método de clasificación a un histórico de datos de presión y flujo de entradas y salidas de secciones del ducto, a partir de los cuales se definen el gradiente hidráulico y comportamiento del hidrocarburo en el ducto, que son evaluados en tiempo real. De acuerdo a como se extraigan los datos del proceso estos métodos pueden ser cualitativos (análisis de tendencias, sistemas expertos) o cuantitativos (modelos matemáticos, redes neuronales). Su uso exige una extensa base de datos y toma mucho tiempo para obtener valores de operación en condiciones normales, inusuales y de potencial derrame. No permite identificar la ubicación del derrame.

2.2. Tecnologías de monitorización

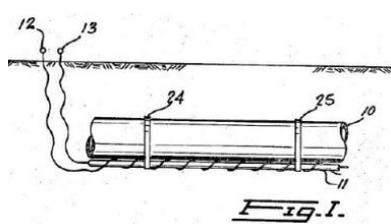
De acuerdo con una búsqueda en bases de datos de patentes, se han encontrado 5 soluciones que persiguen el objetivo de identificar la ubicación de derrames de líquidos en tuberías, las cuales utilizan diferentes tecnologías basadas en *hardware*, *software* e incluso una combinación de ambas.

2.2.1. Patentes

A continuación, se presenta las patentes en orden cronológico.

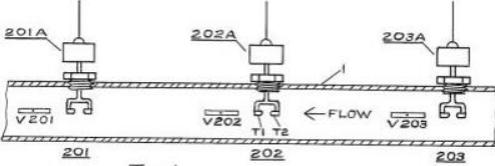
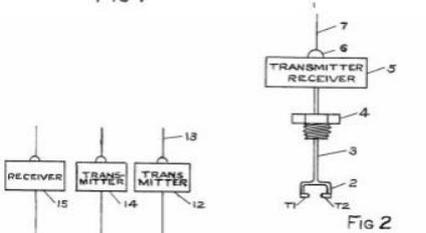
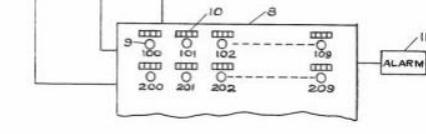
a) *Pipeline leak detection device*

Tabla 1. *Pipeline leak detection device*
Fuente: [28]

Número de publicación: US003564526	Inventor: Ernest Butts	Fecha de publicación: 16/11/1967
<p>Consiste en un dispositivo que detecta fugas y/o derrames en ductos que transportan hidrocarburos, las cuales necesariamente deben estar enterradas. Este dispositivo está compuesto por un par de conductores ubicados justo debajo de la tubería. Estos conductores son impermeables al agua y a líquidos subterráneos, sin embargo, al producirse una fuga o derrame se destruye el aislamiento entre estos, causando un cortocircuito, permitiendo un flujo de corriente entre ellos; este corto circuito acciona una alarma.</p>		
		

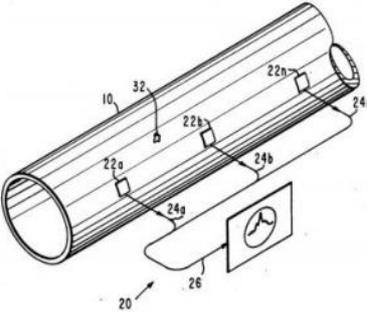
b) *Automatic leakage detection system form pipelines carrying fluids*Tabla 2. *Automatic leakage detection system form pipelines carrying fluids*

Fuente: [29]

Número de publicación: US004066095	Inventor: Frank Massa	Fecha de publicación: 17/02/1976
<p>Consiste en un conjunto de sensores de flujo ultrasónicos que están instalados en intervalos espaciados a lo largo de la longitud del ducto, que monitorizan continua y automáticamente variables como: la tasa exacta de flujo y la velocidad del fluido. De producirse alguna diferencia significativa entre estas variables, se transmite inmediatamente una señal codificada al centro de operaciones y se procede con el cierre inmediato de las válvulas cercanas al derrame, para que un equipo técnico inspeccione la ubicación exacta del derrame.</p>   		

c) *Leak detector for natural gas pipelines*Tabla 3. *Leak detector for natural gas pipelines*

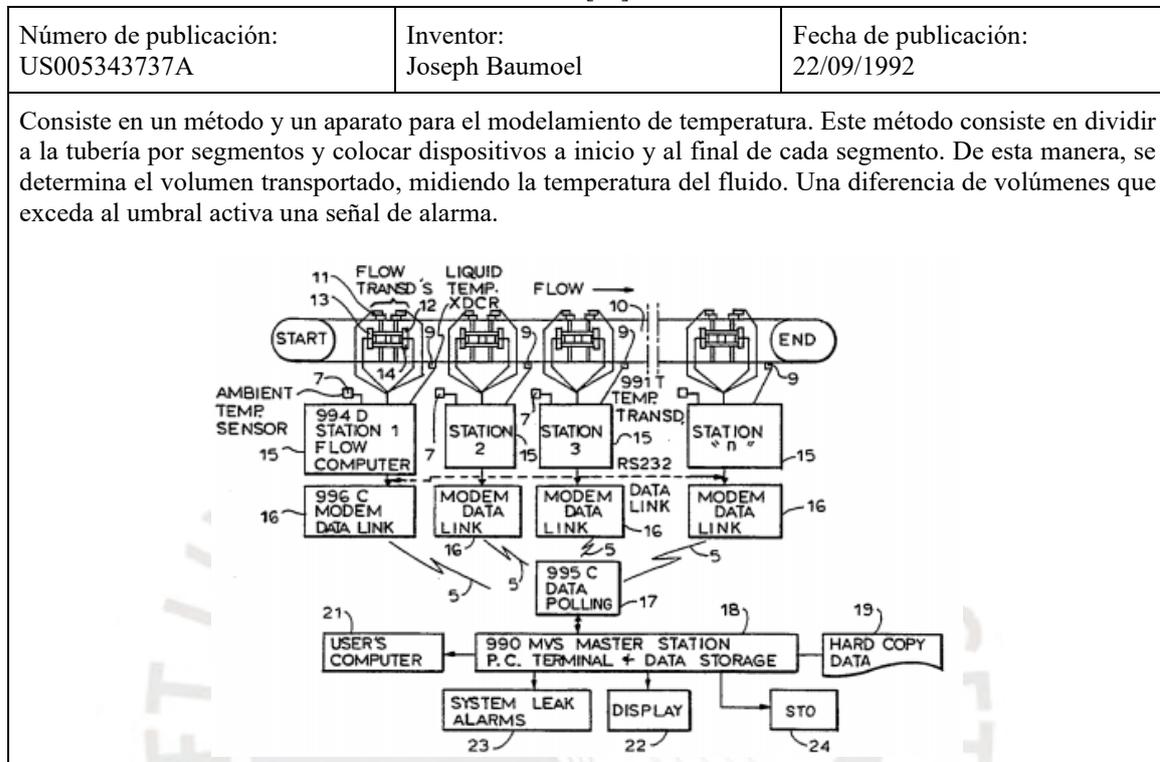
Fuente: [30]

Número de publicación: US005117676A	Inventor: David Chang	Fecha de publicación: 25/02/1991
<p>Consiste en instalar un conjunto de micrófonos interconectados, que están adheridos en la superficie exterior y a lo largo del ducto. Las señales capturadas por los micrófonos son analizadas en su espectro de frecuencia. Se basa en la fórmula de la frecuencia, $f = V_s/(2d)$, donde V_s es velocidad del sonido en el gas y d es el espesor de la tubería. Las fugas se caracterizan por el ruido y el espectro acústico que estas generan.</p> 		

d) *Method and apparatus for leak detection and pipeline temperature modeling method and apparatus*

Tabla 4. *Method and apparatus for leak detection and pipeline temperature modeling method and apparatus*

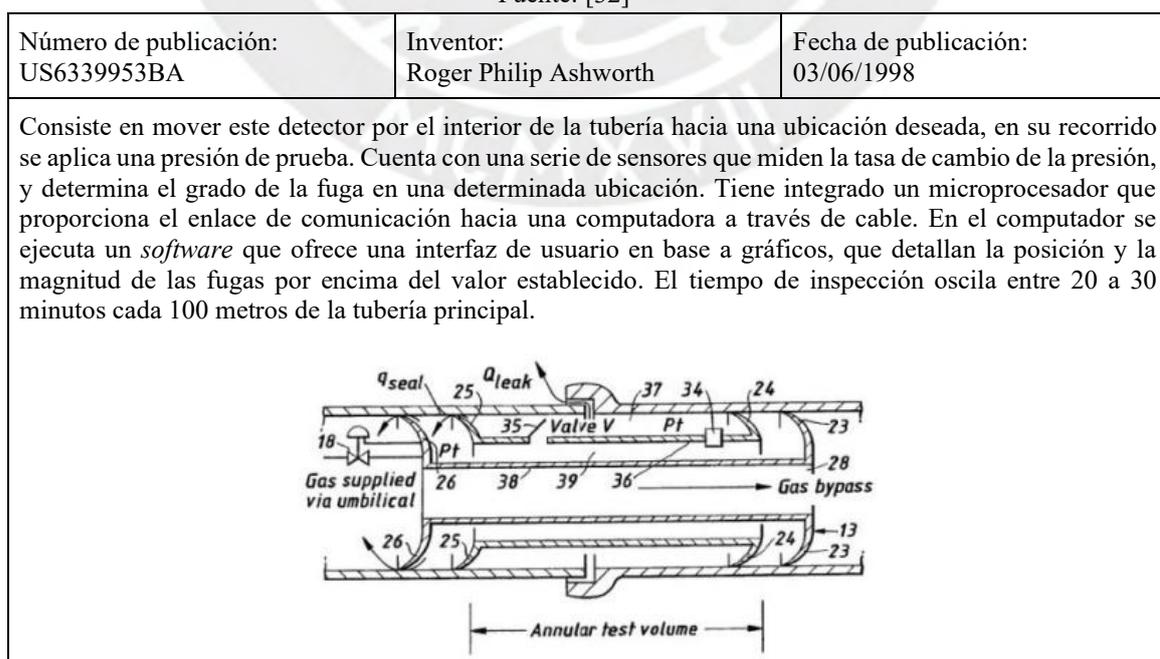
Fuente: [31]



e) *Pipe leakage detection*

Tabla 5. *Pipe leakage detection*

Fuente: [32]



2.3. Productos comerciales

2.3.1. Atmos International

Es una empresa de Inglaterra (Manchester). Cuenta con una cartera de soluciones de detección de fugas, derrames y robos en ductos para diferentes industrias (gas, petróleo, agua, etc) las cuales cumple con exigentes normas como API 1130, API 1175, API 1155, API 1149, CSA Z662, regulaciones alemanas para la detección de fugas y derrames en tuberías (TRFL). En la Tabla 6, se muestran soluciones para la industria del gas que incluyen componentes de *software* y *hardware*.

Tabla 6. Soluciones *Atmos International*
Fuente: [33]

Soluciones	Descripción	Principales características	Sensores usados
<i>Atmos Pipe</i>	Detección de fugas y derrames por balance de volumen estadístico por medio de sensores que están ubicados en cada punto de suministro y entrega, así como en estaciones intermedias de bombas y válvulas.	<ul style="list-style-type: none"> Algoritmos patentados que administran transitorios térmicos e hidráulicos para optimizar la sensibilidad y la precisión en las tuberías y redes de recolección más complejas. Tamaño de detección de las fugas o derrame tan pequeño como 0.25% del flujo con instrumentación de alta calidad. Utiliza un modelo transitorio en tiempo real (RTTM por sus siglas en inglés) que corrige automáticamente los errores de medición. Utiliza datos de flujo y presión de sistemas SCADA, DCS, PLC o RTU. 	<ul style="list-style-type: none"> Presión. Flujo. Temperatura (opcional).
<i>Atmos Wave</i>	Detección de fugas, derrames y robos en ductos que no cuentan con medidor de flujo, por medio del análisis de ondas de presión negativa.	<ul style="list-style-type: none"> Ubica, la fuga, el derrame o robo con una precisión de ubicación de 10 m. Precisión de ubicación esperada por debajo del 0.25% de la longitud de la sección monitoreada. Rendimiento probado en secciones de hasta 240 km en un ducto. Detecta fugas o derrame durante condiciones de estado estable, transitorias y de cierre. Uso de un sistema de adquisición de datos de entrada de instrumentos de 4-20 mA a alta resolución y una alta frecuencia de muestreo 	<ul style="list-style-type: none"> Acústico. Flujo.
<i>Atmos Wave Flow</i>	Combina la tecnología de balance de masa (<i>flow</i>) con las técnicas de onda de presión negativa (<i>wave</i>) para lograr mayor sensibilidad y precisión de ubicación de la fuga o derrame.	<ul style="list-style-type: none"> Precisión en la ubicación de la fuga o derrame, normalmente de 0.25% de la longitud de la sección monitoreada. Detecta tamaños de fuga o derrames de hasta 0.04% del flujo nominal. Se usan tres algoritmos integrales que filtran el ruido del proceso y la interferencia de los datos de presión negativa para crear un mapa tridimensional detallado. 	<ul style="list-style-type: none"> Presión. Flujo. Acústico.

Es importante mencionar que las soluciones *Atmos International* cuentan con múltiples arquitecturas para comunicaciones (GSM, satélite, radio), esto les permite centralizar la información hacia un servidor “on-premises” y/o “cloud”. En la Figura 5, se muestra sus configuraciones a alto nivel.

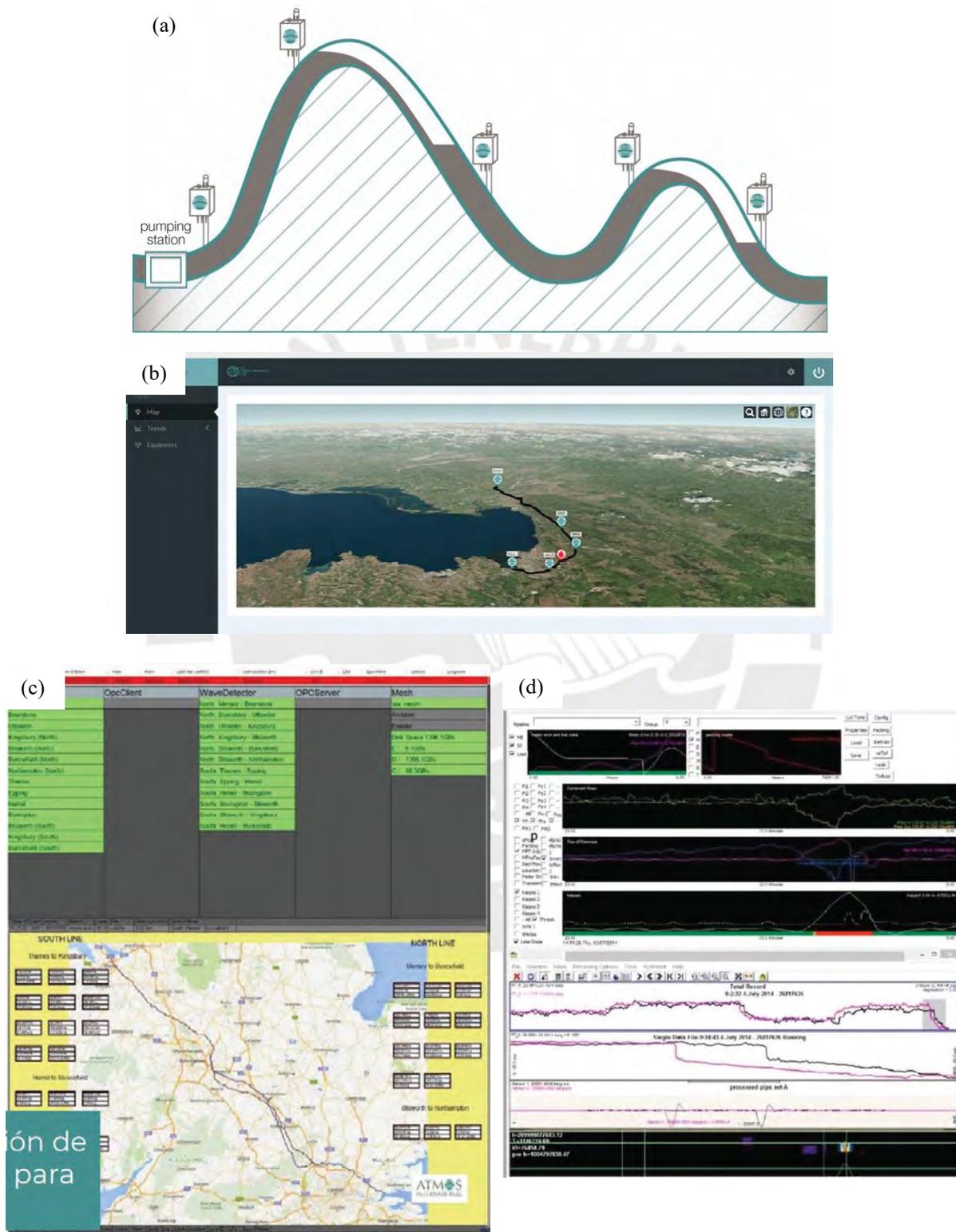


Figura 5. Configuraciones Atmos International
 (a) instalación física, (b) interfaz web, (c) mapas de geolocalización, (d) histórico de datos.
 Fuente: [33]

2.4. *Cloud computing*

2.4.1. Definición

En 2002 el NIST, definió el término *Cloud computing* como un “*modelo para habilitar acceso conveniente por demanda a un conjunto compartido de recursos computacionales configurables, por ejemplo, redes, servidores, almacenamiento, aplicaciones y servicios, que pueden ser rápidamente aprovisionados y liberados con un esfuerzo mínimo de administración o de interacción con el proveedor de servicios*” [34]. Este modelo está compuesto por cinco características esenciales, cuatro modelos de despliegue y tres modelos de servicio.

2.4.2. Características esenciales

- **Auto-servicio por demanda:** Un consumidor puede aprovisionar de manera unilateral capacidades de cómputo, tales como tiempo de servidor y almacenamiento en red, en la medida en que las requiera sin necesidad de interacción humana con el proveedor del servicio.
- **Acceso amplio desde la red:** Las funcionalidades están disponibles sobre la red y se acceden a través de mecanismos estándares que promueven el uso desde plataformas de los clientes como una laptop, una tableta, un teléfono móvil.
- **Conjunto de recursos:** Los recursos computacionales del proveedor se habilitan para servir a múltiples consumidores mediante un modelo “*multi-tenant*”, con varios recursos tanto físicos como virtuales asignados y reasignándose de acuerdo a los requerimientos de los consumidores. Algunos ejemplos de recursos incluyen almacenamiento, procesamiento, memoria, ancho de banda y máquinas virtuales.
- **Rápida elasticidad:** Los recursos computacionales pueden ser suministrados y liberados de manera rápida y elástica, en algunos casos de forma automática.
- **Servicio medido:** Los sistemas en la nube controlan y optimizan automáticamente el uso de los recursos computacionales mediante la modalidad de pago por uso. El uso de estos recursos puede ser monitoreado, controlado y reportado, proporcionando transparencia tanto para el proveedor como para el consumidor por el servicio utilizado

2.4.3. Modelos de servicios

Los tres modelos de servicios comunes son: (i) *Software as a Service* (SaaS), (ii) *Platform as a Services* (PaaS) y (iii) *Infrastructure as a Service* (IaaS). Sin embargo, actualmente los proveedores de *Cloud computing*, ofrecen un nuevo modelo de servicio con un enfoque creativo lo que se conoce como *Anything as a Service* (XaaS), para comprender este concepto es necesario analizarlo desde la perspectiva del consumidor y del proveedor, ver Tabla 7.

Tabla 7. Modelos de servicios
Fuente: [35]

		Actividades	
		Consumidor	Proveedor
XaaS	SaaS	Usa la aplicación y/o servicio para operaciones de procesos de negocio.	Instala, administra, y proporciona soporte técnico y mantenimiento a la aplicación (<i>software</i>) en una infraestructura.
	PaaS	Desarrolla, prueba, despliega y gestiona las aplicaciones alojadas en la nube.	Proporciona el desarrollo, el despliegue y las herramientas administrativas para la plataforma del consumidor. Provee y administra la infraestructura y el <i>middleware</i> .
	IaaS	Implementa, ejecuta, administra y monitorea los sistemas operativos, el almacenamiento y las aplicaciones.	Proporciona y administra el procesamiento, almacenamiento, redes y otros recursos informáticos en una infraestructura.

2.4.4. Modelos de despliegue

Los cuatro modelos de despliegue son descritos en la Tabla 8.

Tabla 8. Modelos de despliegue
Fuente: [36]

	Definición	Principales características
<i>Cloud</i> pública	La infraestructura de esta nube está disponible para el público en general o para un gran grupo de industria y dicha infraestructura la provee una organización que vende servicios en la nube.	<ul style="list-style-type: none"> • Costos inferiores. • Sin mantenimiento. • Escalabilidad casi ilimitada. • Gran confiabilidad debido a una amplia red de servidores que garantiza que no se produzcan problemas. • Rentabilidad.
<i>Cloud</i> comunitaria	La infraestructura es compartida por varias organizaciones y apoya las preocupaciones de una comunidad particular sobre un tema específico, por ejemplo, seguridad, investigación, políticas o cumplimientos. Puede ser administrada por la organización o por un tercero y puede existir dentro de la misma, " <i>on premises</i> " o fuera de la misma, " <i>off premises</i> ".	
<i>Cloud</i> privada	La infraestructura es operada únicamente para una organización. Puede ser administrada por la organización o por un tercero y puede existir dentro de la misma, " <i>on premises</i> " o fuera de la misma, " <i>off premises</i> ".	<ul style="list-style-type: none"> • Alta inversión inicial. • Infraestructura a la medida. • Mayor seguridad. • Escalabilidad.
<i>Cloud</i> híbrida	Es la composición de dos o más nubes, por ejemplo, privada y pública, que permanecen como entidades únicas pero que coexisten por tener tecnología que permite compartir datos o aplicaciones entre las mismas. Considérese un escenario en donde la aplicación se desarrolla y se prueba en una nube privada y luego se despliega a una nube pública.	<ul style="list-style-type: none"> • Control de los recursos confidenciales. • Escalabilidad de la <i>cloud</i> pública. • Flexibilidad, debido a que se puede aprovechar los recursos adicionales de la nube pública cuando sea necesaria. • Rentabilidad: gracias a la posibilidad de escalar a la nube pública, solo se pagará por la capacidad informática adicional cuando sea necesaria. • Facilidad para la migración.

2.5. Metodologías de diseño

2.5.1. Verein Deutscher Ingenieure 2221 (VDI 2221)

Es una norma de diseño creada por la “Sociedad de ingenieros profesionales” (Verein Deutscher Ingenieure). Tiene un enfoque sistemático del problema para la creación de un producto; este proceso de diseño se subdivide en 7 fases de trabajo (ver Figura 6). La primera fase y la más importante hace referencia a los requerimientos de diseño, esta etapa a lo largo del proceso de diseño sufre varias modificaciones y es recurrente su análisis posterior. La segunda etapa se refiere a realizar un diagrama de las funciones y subfunciones del sistema. La tercera etapa busca realizar una matriz morfológica con 3 posibles soluciones a las funciones mencionadas en la segunda etapa; de las cuales después de evaluarlas técnica-económicamente se escogerá a la de mayor puntaje. La cuarta etapa consiste en dividir el producto diseñado en módulos realizables en este caso por ser un diseño mecatrónico se dividirá en tres estructuras fundamentales: mecánica, electrónica (telecomunicaciones) y *software*. La quinta etapa se limita a realizar diagramas o bosquejos preliminares de los módulos divididos para finalizarlos en la sexta etapa. Por último, la séptima etapa se refiere a documentación del producto, construcción y pruebas del mismo [37].

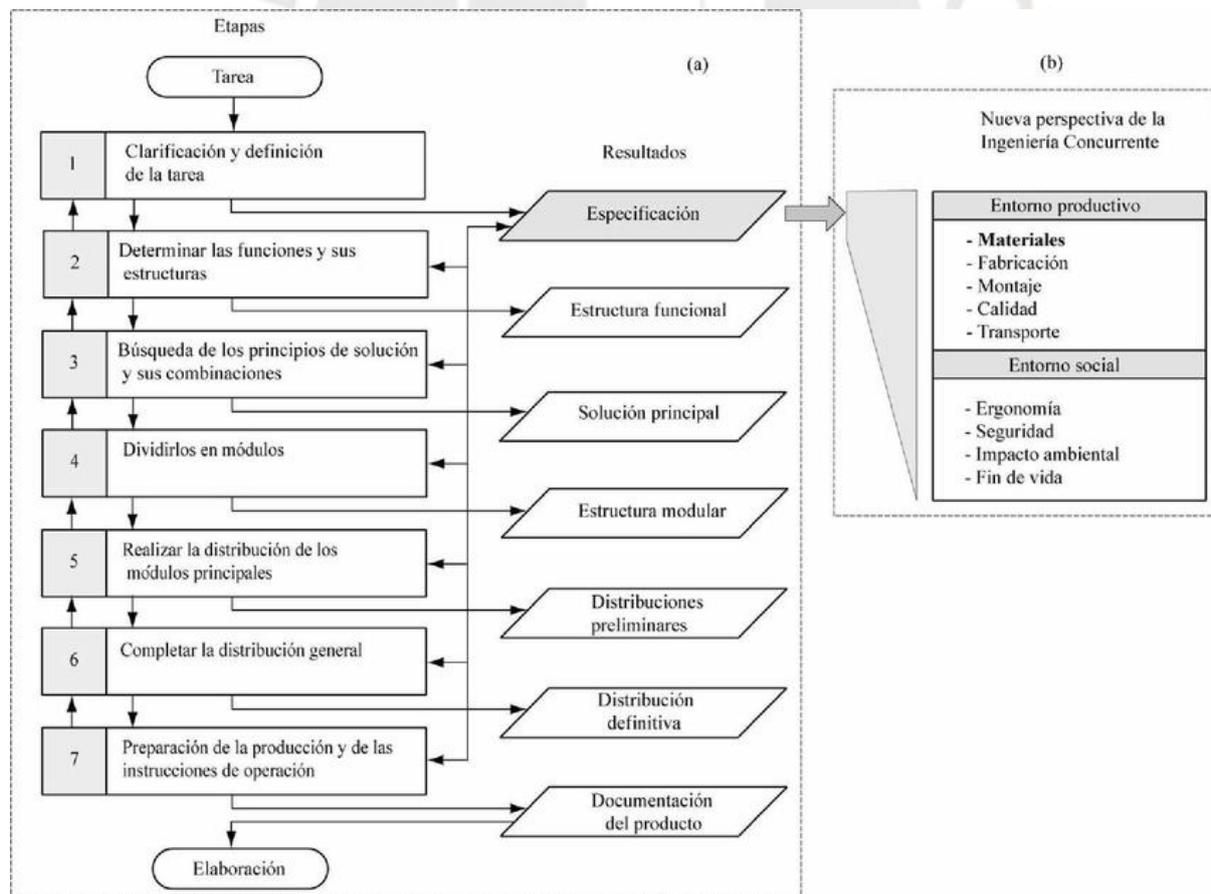


Figura 6. Norma VDI 2221

Fuente: [37]

2.5.2. Attribute-Driven Design 3.0 (ADD 3.0)

Desarrollado en el *Software Engineering Institute* de la Universidad Carnegie Mellon. Consiste en tomar decisiones para transformar “drivers” arquitecturales (casos de uso, escenarios de atributos de calidad, restricciones y preocupaciones arquitecturales) en estructuras. El primer paso consiste en identificar el propósito del diseño y listar los requerimientos funcionales y no funcionales que deban considerarse como *drivers*. En el segundo paso empieza el proceso iterativo, se pide al diseñador establecer el objetivo de la iteración por medio de la selección de *drivers*. En base a este objetivo, en el tercer paso se escogerá uno o más elementos del sistema para ser refinados. En el cuarto paso se identifica, compara y selecciona uno o más conceptos de diseño que satisfacen el objetivo de la iteración. En el quinto paso, se instancian los elementos arquitecturales que cumplen con los conceptos de diseño seleccionados, se les asignan responsabilidades, y se define el flujo de información entre estos. En el sexto paso, se representa gráficamente la estructura creada de esta manera se registran las decisiones de diseño. En el último paso, se analiza el diseño actual, se revisa el objetivo de la iteración y el logro del propósito del diseño, las decisiones que han sido tomadas se analizan con los avances en el proceso de diseño general [38]. Ver Figura 7.

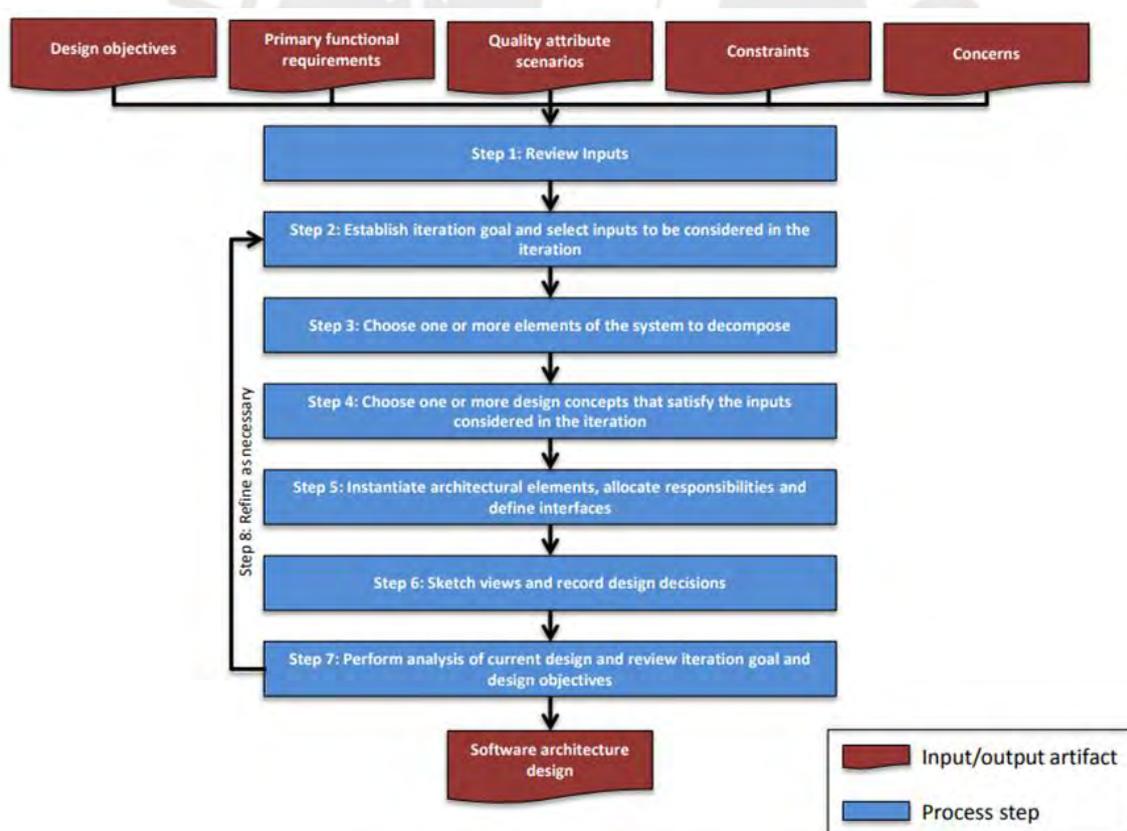


Figura 7. Proceso ADD 3.0

Fuente: [38]

3. CAPITULO III: DISEÑO CONCEPTUAL

Un sistema ciber-físico necesita de una metodología para asegurar la interoperabilidad, gestionar su evolución y lidiar con situaciones emergentes; para estos efectos, el presente trabajo se apoya en: (i) la norma de diseño VDI 2221 para el sistema físico y (ii) con el proceso de diseño “*Attribute-Driven Design 3.0*” (ADD 3.0) para el sistema ciber.

3.1. Diseño conceptual del sistema físico según norma VDI 2221

3.1.1. Lista de requerimientos

En base a la previa revisión bibliográfica, ahora se detallan los requerimientos del sistema físico, que están divididos en distintos ámbitos como: función principal, geometría, cinemática, fuerzas, materiales, energía, señales, monitoreo, sensores, condiciones de operación, seguridad, ergonomía, mantenimiento, fabricación, ensamblaje, costo y plazo de entrega. Estos pueden considerarse como exigencias (E) o deseos (D). Ver Tabla 9, Tabla 10 y Tabla 11.

Tabla 9. Lista de requerimiento sistema físico
Fuente: Elaboración propia.

Lista de requerimientos del Sistema Físico		Página 1 de 3
		Edición: Rev5 (28/09/21)
Proyecto:	Diseño de un sistema ciber-físico para monitorizar variables relacionadas con derrames de líquidos de gas natural en el sistema de transporte por ductos del proyecto Camisea	
Clientes:	Transportadora de Gas del Perú S.AC. OEFA y Osinergmin	
Fecha de modificación	D / E	Descripción
09/09/18	E	FUNCIÓN PRINCIPAL Recolectar y transmitir los datos relacionados con derrames hacia el sistema ciber, con una frecuencia de 5 segundos.
27/09/18	E	Alertar a la empresa transportadora del hidrocarburo y a los organismos con funciones supervisión y fiscalización en caso de un evento de derrame.
	E	GEOMETRÍA Estación de monitoreo: <ul style="list-style-type: none"> ● Alto < 4.5 m ● Ancho < 1 m ● Profundidad < 1 m
	E	Gabinete de control: <ul style="list-style-type: none"> ● Alto = 300 - 400 mm ● Ancho = 200 - 450 mm ● Profundidad = 150 - 200 mm
	E	CINEMÁTICA Estructura no móvil
09/09/18	E	FUERZAS Estación de monitoreo: <ul style="list-style-type: none"> ● Peso máximo = 400 N
09/09/18	E	Gabinete de control <ul style="list-style-type: none"> ● Peso máximo = 200 N

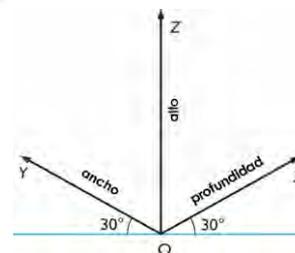


Tabla 10. Lista de requerimientos del sistema físico – Continuación
Fuente: Elaboración propia

Lista de requerimientos del Sistema Físico		Página 2 de 3
		Edición: Rev5 (28/09/21)
Proyecto:	Diseño de un sistema ciber-físico para monitorizar variables relacionadas con derrames de líquidos de gas natural en el sistema de transporte por ductos del proyecto Camisea	
Clientes:	Transportadora de Gas del Perú S.AC. OEFA y Osinergmin	
Fecha de modificación	D/ E	Descripción
	E	MATERIALES Estación de monitoreo: <ul style="list-style-type: none"> ● Material de la estructura: Aluminio. ● Sensores: Acero inoxidable 316. ● Piezas móviles: Acero inoxidable 316. ● Piezas sujetas a erosión Acero inoxidable 416. Gabinete de control: <ul style="list-style-type: none"> ● Material: Según norma NEMA 4. ● Piezas suaves: teflón.
	E	ENERGÍA Fuente de alimentación primaria por AC. Fuente de alimentación secundaria por energía renovable. Energía de reserva para 24 h de operación. Sistema de conversión de energía: <ul style="list-style-type: none"> ● Voltaje no mayor a 3.3 VDC para el microcontrolador. ● Variación de voltaje -10% a +25% del voltaje nominal. Consumo máximo de corriente = 5000 mAh.
09/09/18	E	SEÑALES Entrada: <ul style="list-style-type: none"> ● Accionamiento de encendido y apagado ● Presión ● Flujo ● Ruido acústico ● Temperatura
06/09/18	E	Salida: <ul style="list-style-type: none"> ● Indicadores de estado de sensores. ● Indicador de estado de fuente de alimentación. ● Indicador del estado de la conexión con el sistema ciber. ● Señal de alerta en caso de derrame.
09/09/18	E E D	MONITOREO Envío de datos al sistema ciber cada 5 segundos. Ubicación de estaciones de monitoreo de acuerdo a ASME B31.8. Cumplir la exigencia de operaciones usando <i>software</i> y <i>hardware</i> según API 1130 (R 2012).
09/09/18 09/09/18	E E E	SENSORES De tipo no intrusivos. Sensibilidad < 0.1% del flujo. Tolerancia en condiciones transitorias y de estado estable
	E E E	COMUNICACIONES Señal discreta #14 AWG con aislamiento de polietileno cruzado. Señal analógica #16 AWG con aislamiento de polietileno cruzado. Conexión al sistema ciber por protocolo orientado a IoT.

Tabla 11. Lista de requerimientos del sistema físico – Continuación
Fuente: Elaboración propia

Lista de requerimientos del Sistema Físico		Página 3 de 3	
		Edición: Rev5 (28/09/21)	
Proyecto:	Diseño de un sistema ciber-físico para monitorizar variables relacionadas con derrames de líquidos de gas natural en el sistema de transporte por ductos del proyecto Camisea		
Clientes:	Transportadora de Gas del Perú S.AC. OEFA y Osinergmin		
Fecha de modificación	D/ E	Descripción	
06/09/18	D E E E E	CONDICIONES DE OPERACIÓN Cumplir con las recomendaciones de las operaciones puestas en marcha según API 1175. Sensores: <ul style="list-style-type: none"> ● Protección contra rayos. ● Temperatura = -10°C a + 50°C. ● Humedad relativa = 10 a 95%. Estación de monitoreo: <ul style="list-style-type: none"> ● Sometido a fuerzas eólicas y sísmicas. 	
	E E	SEGURIDAD Estación de monitoreo: <ul style="list-style-type: none"> ● Protección contra rayos. ● Aislamiento eléctrico de la estructura, según el Código Nacional de Electricidad (MINEM) Gabinete de control: <ul style="list-style-type: none"> ● Sistema para evitar cortocircuitos, sobrecargas. ● Esquema de tierra aislada según norma IEEE 142-2007. 	
	E E	ERGONOMÍA Usuarios: <ul style="list-style-type: none"> ● Símbolos gráficos de acuerdo a ISO 3461. Gabinete de control: <ul style="list-style-type: none"> ● Altura de interfaz usuario-máquina para una persona de tamaño promedio. 	
	E	MANTENIMIENTO Mantenimiento preventivo anual.	
09/09/18	E	FABRICACIÓN Materiales comerciales, de preferencia adquiridos en el mercado local.	
06/09/18 06/09/18	E E	ENSAMBLE Fácil de transportar. Instalación en terrenos llanos	
06/09/18	E E	COSTO Costos de diseño no debe exceder los \$ 15 000 (Costo de diseño por hora \$ 25) Costos de fabricación no debe exceder los \$ 25 000.	
01/01/21	E	PLAZO DE ENTREGA Entrega del proyecto concluido se realizará 15/12/21	

3.1.2. Estructura de funciones

Siguiendo lo establecido en la lista de requerimientos, se procede a realizar la estructura de funciones (ver Anexo D), la cual está dividida en bloques como: energía, potencia, sensores, electrónica, comunicaciones, control, actuadores y mecánica. A continuación, se explica cada uno de los bloques de funciones.

- **Energía:** La energía se obtiene a través de dos fuentes: (i) la principal, por energía eléctrica de 220 VAC; y (ii) la secundaria, a través de algún tipo de energía renovable, que requiere ser transformada a energía eléctrica y luego almacenada. Esto con la finalidad de garantizar el funcionamiento ante cortes inesperados de energía eléctrica. Ambas fuentes de energía pasan al bloque de potencia. Ver Figura 8.

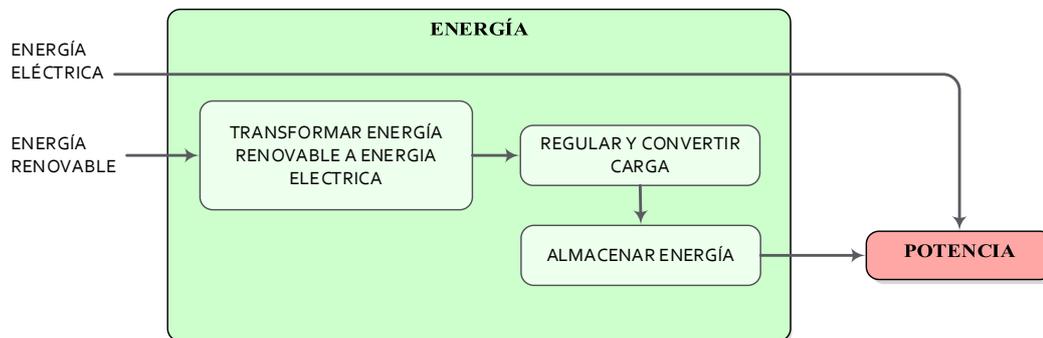


Figura 8. Bloque de energía
Fuente: Elaboración propia

- **Potencia:** Una única fuente de energía ingresa al bloque de potencia, dentro de este se realizan dos funciones secuenciales: (i) establecer o interrumpir el paso de corriente, lo cual responde ante cualquier inconveniente con la fuente principal, se utilizará de forma inmediata la fuente secundaria; (ii) acondicionar energía, la cual tendrá como finalidad alimentar a los bloques de sensores, electrónica, control y actuadores. Esta última función implica la generación energía calorífica durante el proceso. Ver Figura 9.

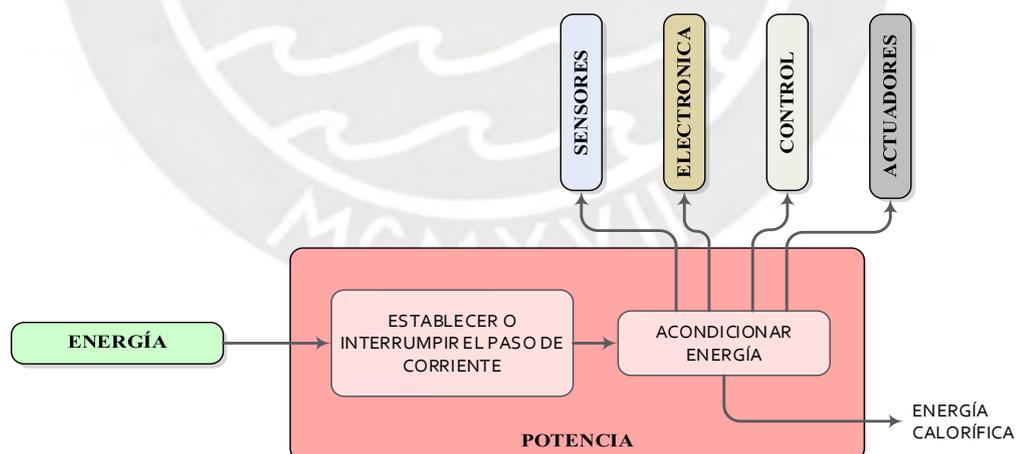


Figura 9. Bloque de potencia
Fuente: Elaboración propia

- **Sensores:** La mayoría de sensores se encargan de recopilar información de proceso de manera no intrusiva, esto incluye a variables como temperatura, presión, flujo y ruido acústico; a excepción del sensor que mide el voltaje alterno. Las señales de todos los sensores pasan al bloque de electrónica. Ver Figura 10.

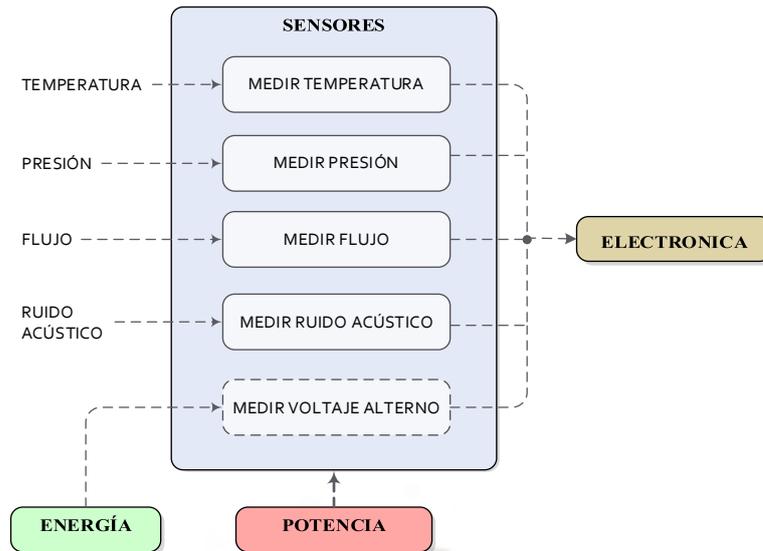


Figura 10. Bloque de sensores
Fuente: Elaboración propia

- **Electrónica:** El bloque de electrónica tiene la finalidad de hacer que cada señal recibida pueda ser interpretada y procesada por las funciones que están dentro del bloque de control. Se realizan principalmente dos funciones de acondicionar señales provenientes de los bloques de sensores y del bloque de comunicación. Acondicionar una señal implica: (i) proteger de voltajes o corriente elevadas; (ii) convertir una señal en un tipo de señal adecuado ya sea escalando el voltaje o corriente; y (iii) eliminar el posible ruido presente en una señal. Ver Figura 11.

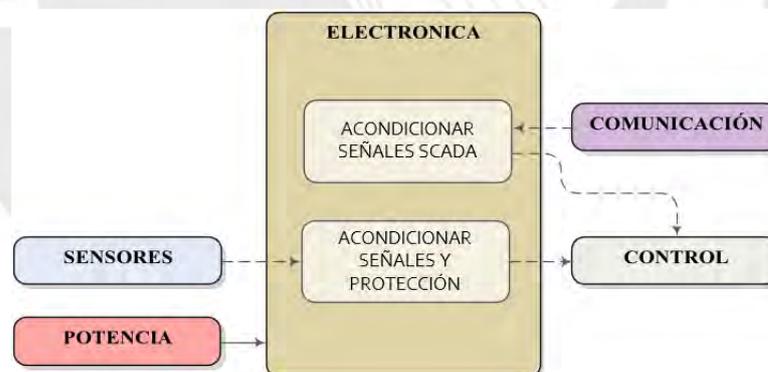


Figura 11. Bloque de electrónica.
Fuente: Elaboración propia

- **Comunicación:** La principal característica del sistema físico es que debe establecer enlaces de comunicación con los siguientes sistemas:
 - (i) El sistema SCADA de la empresa transportadora, en modo *half-duplex*, es decir que la transmisión de información es bidireccional pero no simultánea. El sistema SCADA actúe siempre como fuente de información y la estación de monitoreo como receptor de esa información., para ello se necesita del proceso de acondicionamiento de señales para luego ser procesada en el bloque de control.

- (ii) El sistema ciber, también en modo *half-duplex*. Cada vez que el sistema físico envíe información al sistema ciber, este después de un tiempo no mayor a un segundo (de acuerdo a la lista de exigencias) le remite una respuesta. Esta comunicación es más directa con el bloque de control, por lo que no requiere de alguna función adicional de acondicionamiento de señal.

En términos generales, este bloque establece los distintos protocolos de comunicación que serán empleados. Ver Figura 12.



Figura 12. Bloque de comunicación
Fuente: Elaboración propia

- **Control:** En el bloque de control se realizan las siguientes funciones: (i) interpretar datos SCADA, (ii) validar datos provenientes de los sensores; (iii) encapsular datos provenientes del SCADA y de los sensores para enviarlos al sistema ciber; (iv) verificar estado de sensores (cada vez que se reciba información se validará el funcionamiento); y (v) interpretar respuesta del sistema ciber. Estas dos últimas funciones representan su estado mediante los actuadores. Ver Figura 13.

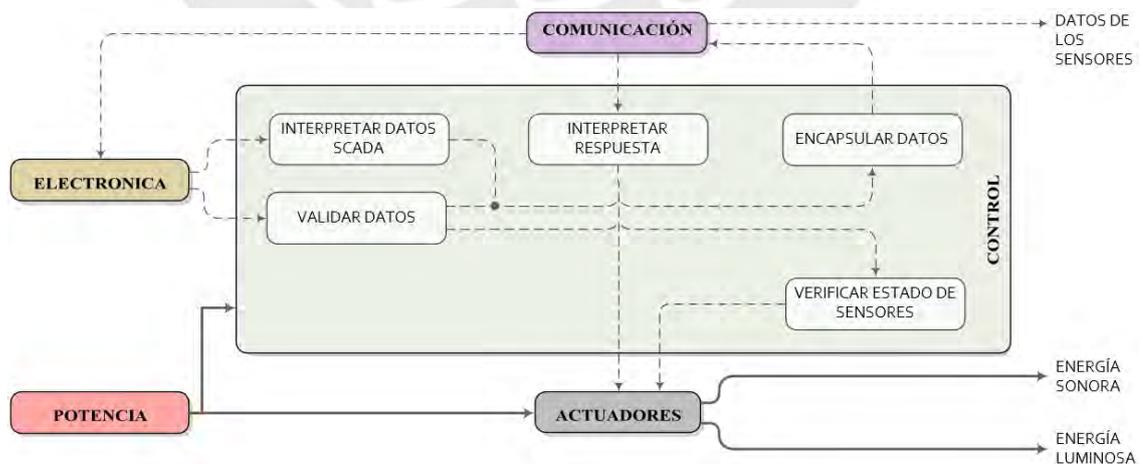


Figura 13. Bloque de control
Fuente: Elaboración propia

- **Actuadores:** Compuesto por las funciones de: (i) activar y notificar ocurrencia del derrame; (ii) indicar el estado de sensores, (iii) indicar estado de fuente de alimentación; e (iv) indicar estado de conexión al sistema ciber. Las funciones son activadas por el controlador cada vez que este reciba información por parte de los sensores y del sistema ciber. Ver Figura 14.

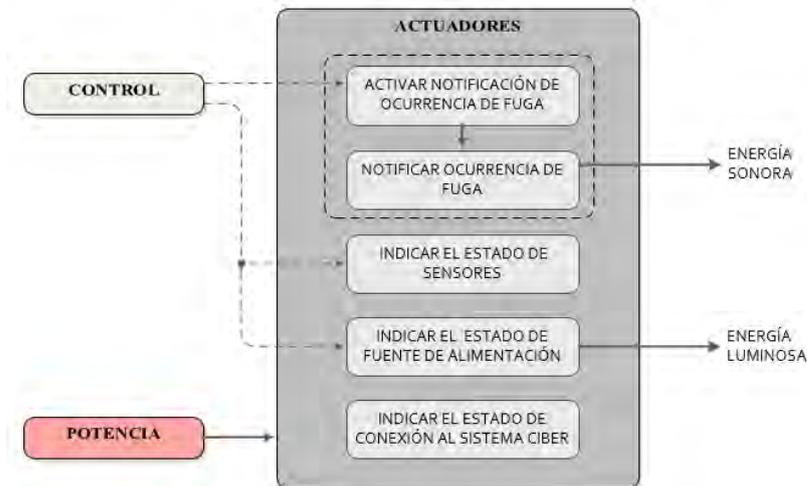


Figura 14. Bloque de actuadores
Fuente: Elaboración propias

- **Mecánica:** Compuesto por funciones que garantizan el soporte y protección de los elementos de la estación de monitoreo y del gabinete de control. Estas funciones son: sujetar sensores, proteger sensores de humedad y polvo, proteger contra rayos, soportar transformador de energía, soportar transformador de energía y soportar gabinete de control. Ver Figura 15.

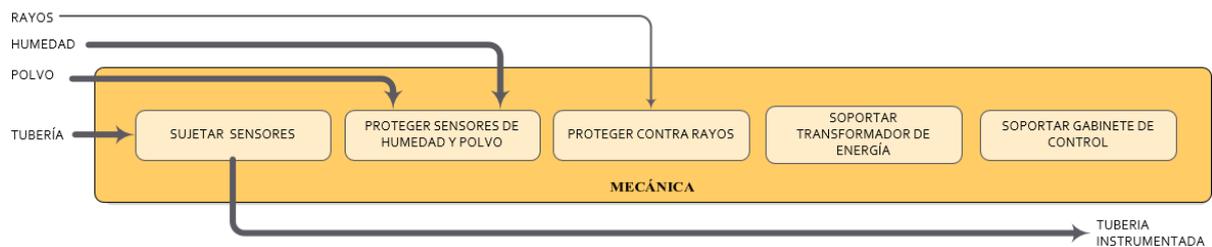


Figura 15. Bloque de mecánica
Fuente: Elaboración propia

3.1.3. Matriz morfológica

Luego de explicar cada una de las funciones del sistema físico, se ilustran los diferentes componentes físicos o lógicos que podrían cumplir con cada una de las funciones. Para ello, se elabora una matriz morfológica agrupada en los dominios de energía, potencia, sensores, electrónica, comunicaciones, control, actuadores y mecánica. Ver Tabla 12, Tabla 13, Tabla 14 y Tabla 15.

Tabla 12. Matriz morfológica
Fuente: Elaboración propia

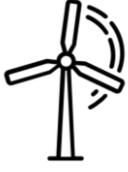
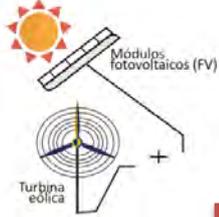
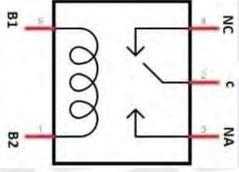
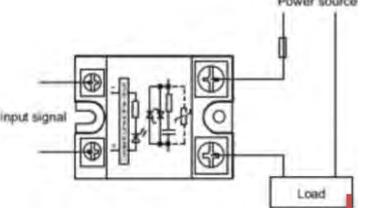
Tipo	Función	Alternativas		
Energía	Transformar energía renovable a energía eléctrica	Aerogenerador 	Módulo fotovoltaico 	Sistema de energía híbrida solar eólica 
	Regular y convertir carga	Regulador MPPT + Inversor aislado 		Regulador PWM + Inversor aislado 
	Almacenar energía	Batería de plomo y ácido 	Batería de litio 	Batería de níquel cadmio 
Potencia	Establecer o interrumpir el paso de corriente	Relevador Electromecánico 		Relevador de estado sólido 
	Acondicionar energía	Fuente conmutada 	Varias fuentes lineales 	
Sensores	Medir temperatura	Sensor tipo abrazadera 		

Tabla 13. Matriz morfológica - Continuación
Fuente: Elaboración propia

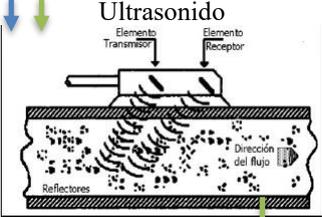
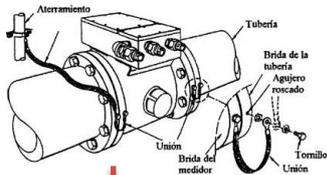
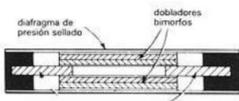
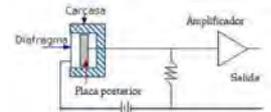
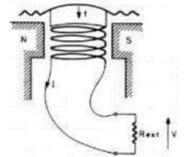
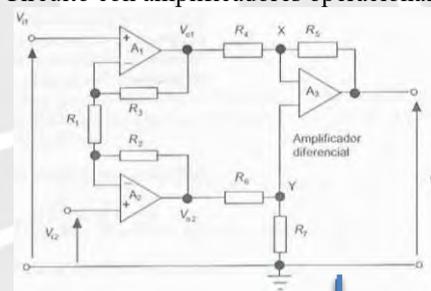
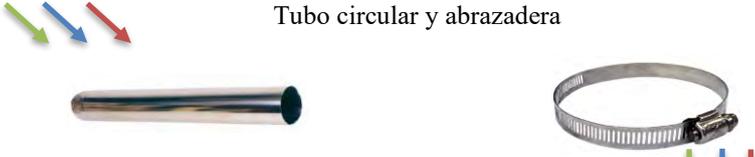
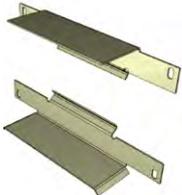
Tipo	Función	Alternativas		
Sensores	Medir flujo y presión	 <p>Ultrasonido</p>	 <p>Electromagnético</p>	
	Medir ruido acústico	 <p>Piezoeléctrico</p>	 <p>Capacitivo</p>	 <p>Electrodinámico</p>
	Medir voltaje alterno	 <p>Sensor principio de efecto Hall</p>	 <p>Sensor inductivo</p>	 <p>Sensor resistivo de intensidad</p>
	Electrónica	Acondicionar señales SCADA	 <p>Circuito con amplificadores operacionales</p>	
	Acondicionar señales y protección	<p>MODBUS RTU (RS-485) a puerto serial</p>	<p>MODBUS TCP/IP (Ethernet) a puerto serial</p>	<p>MODBUS TCP/IP (Wi-Fi) a puerto serial</p>
Comunicaciones	Recibir valores de SCADA			
	Recibir respuesta del sistema ciber			
	Enviar datos encriptados al sistema ciber	<p>Constrained Application Protocol (COAP)</p>	<p>Message Queue Telemetry Transport (MQTT)</p>	<p>Extensible Messaging and Presence Protocol (XMPP)</p>

Tabla 14. Matriz morfológica – Continuación
Fuente: Elaboración propia

Tipo	Función	Alternativas			
Control	Interpretar datos SCADA	Hardware	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> ↓ ↓ </div> <p>ESP32 SoC</p>		<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> ↓ </div> <p>ESP8266 SoC</p>
	Validar datos				
	Interpretar respuesta				
	Verificar estados de sensores				
	Encapsular datos				
	Interpretar datos SCADA	Software			<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> ↓ </div> <p>Algoritmos en C</p>
	Validar datos	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> ↓ </div> <p>JavaScript Object Notation (JSON)</p>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> ↓ </div> <p>Extensible Markup Language (XML)</p>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> ↓ </div> <p>YAML Ain't Markup Language (YAML)</p>	
	Interpretar respuesta	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> ↓ ↓ </div> <p>Módulo con relevador convencional</p> 	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> ↓ </div> <p>Módulo con relevador de estado sólido</p> 	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> ↓ </div> <p>Conmutador FET</p> 	
	Verificar estados de sensores				<p>Alarma visual</p> 
	Encapsular datos	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> ↓ </div> <p>Panel OLED</p> 	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> ↓ </div> <p>Panel de LED's RGB</p> 		
Interpretar datos SCADA	Actuadores			Actuadores	Actuadores
Validar datos					
Interpretar respuesta					

Tabla 15. Matriz morfológica – Continuación
Fuente: Elaboración propia

Tipo	Función	Alternativas		
Mecánica	Sujetar sensores	<p style="text-align: center;">Tubo circular y abrazadera</p> 		
	Proteger sensores de humedad y polvo	<p style="text-align: center;">Gabinete de control</p> 		
	Proteger contra rayos	<p style="text-align: center;">Pararrayos con soporte</p> 	<p style="text-align: center;">Punta captadora simple con adaptador a mástil</p> 	<p style="text-align: center;">Puntas múltiples con adaptador a mástil</p> 
	Soportar transformador de energía	<p style="text-align: center;">Mástil con perfil circular</p> 		<p style="text-align: center;">Mástil con perfil rectangular</p> 
	Soportar Gabinete de control	<p style="text-align: center;">Base con abrazaderas para perfil circular</p> 	<p style="text-align: center;">Soporte con abrazaderas para un perfil rectangular</p> 	

Soluciones:

● Solución 1

● Solución 2

● Solución 3

3.1.4. Conceptos de solución

Solución 1:

Se caracteriza por utilizar energía eólica como fuente secundaria de energía, mediante un aerogenerador. Esta energía se transforma gracias a la interacción entre un regulador de tecnología MPPT; y luego se almacena en una batería de plomo y ácido. La energía eléctrica 220 VAC y la fuente de energía renovable son controladas mediante un contactor y acondicionadas por una fuente conmutada.

Los sensores que utiliza son de tipo: abrazadera para la temperatura, ultrasonido para el flujo y presión, piezoeléctrico para el ruido acústico, resistivo para el nivel de carga. De todos estos, a excepción el sensor de nivel de carga, se caracterizan por ser no intrusivos, es decir que se encuentran instalados en el exterior del ducto que transporta GN o LGN. Los cables de estos sensores son transportados por un tubo circular y abrazaderas a lo largo del ducto, hasta llegar al gabinete de control, garantizando de esta manera su protección.

Las señales de estos sensores son acondicionadas mediante un circuito de compuesto por amplificadores operaciones. Las señales del sistema SCADA son recibidas mediante el protocolo MODBUS TCP/IP (Ethernet) y acondicionadas a puerto serial del microcontrolador. Ambas señales son interpretadas por un ESP32 SoC, que usará algoritmos programados en lenguaje Python, para gestionar la logística de la operación del sistema físico. La comunicación con el sistema ciber es mediante el protocolo COAP, y los datos enviados serán encapsulados en formato YAML.

Para notificar la ocurrencia del derrame se utiliza un conmutador FET que activa una alarma visual y acústica. El estado de los sensores, así como el estado de la fuente de alimentación y la conexión al sistema ciber se visualizan a través de un conjunto de LEDs de tipo RGB.

Para proteger a los componentes de las etapas de: potencia (a excepción de la batería), electrónica, control y actuadores (a excepción de la alarma), se usa un gabinete de control que va montado al mástil de perfil rectangular gracias a un soporte de abrazaderas para este tipo de perfiles. Adicionalmente, cuenta con una punta captadora simple de rayos con adaptador en la parte superior del mástil.

En la Figura 16 se muestra un bosquejo de la solución descrita.

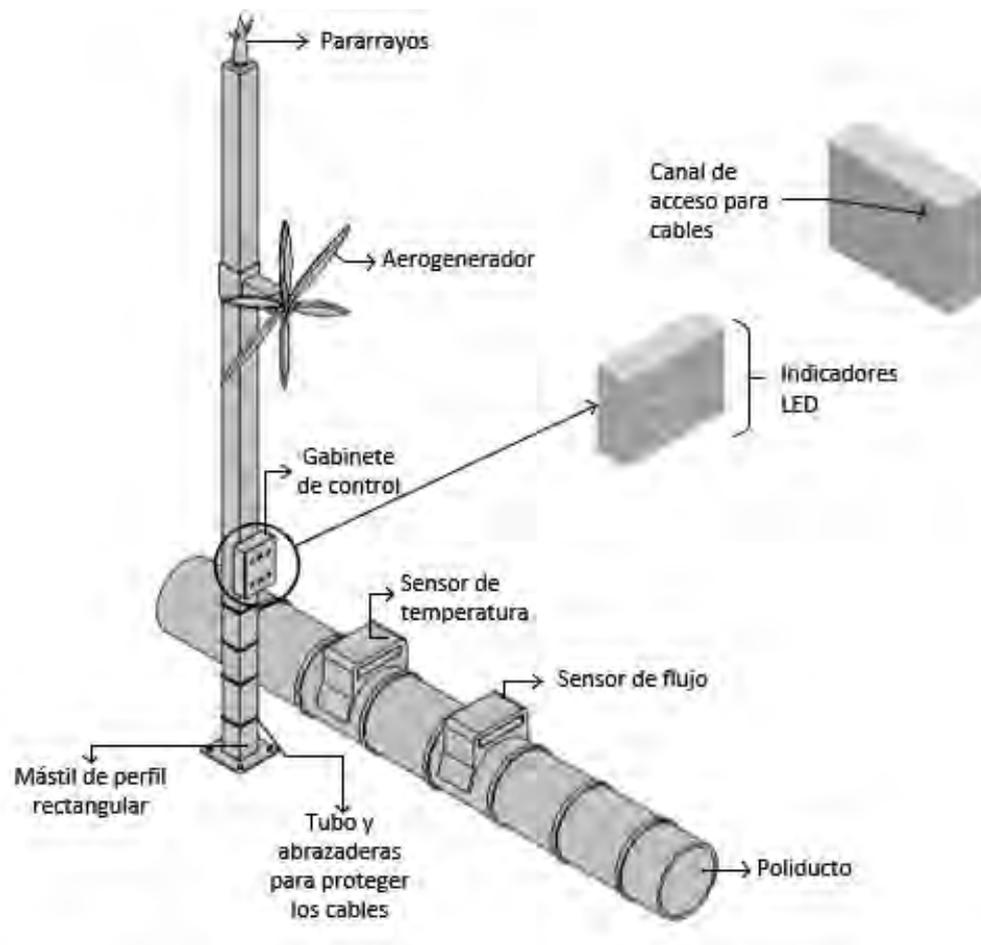


Figura 16. Representación gráfica de la solución 1
Fuente: Elaboración propia

Solución 2:

Se caracteriza por utilizar energía solar como fuente secundaria de energía, mediante un panel solar. Esta energía se transforma gracias a la interacción entre un regulador de tecnología MPPT; y luego se almacena en una batería de litio. La energía eléctrica 220 VAC y la fuente de energía renovable son controladas mediante un contactor y acondicionadas por una fuente conmutada.

Los sensores que utiliza son de tipo: abrazadera para la temperatura, ultrasonido para el flujo y presión, capacitivo para el ruido acústico, principio de Hall para el nivel de carga. De todos estos, a excepción el sensor de nivel de carga, se caracterizan por ser no intrusivos, es decir que se encuentran instalados en el exterior del ducto que transporta GN o LGN. Los cables de estos sensores son transportados por un tubo circular y abrazaderas a lo largo del ducto, hasta llegar al gabinete de control, garantizando de esta manera su protección.

Las señales de estos sensores son acondicionadas mediante un circuito de compuesto por amplificadores operaciones. Las señales del sistema SCADA son recibidas mediante el protocolo MODBUS RTU y acondicionadas a puerto serial del microcontrolador. Ambas señales son interpretadas por un ESP32 SoC, que usará algoritmos programados en lenguaje C, para gestionar la logística de la operación del sistema físico. La comunicación con el sistema ciber es mediante el protocolo MQTT, y los datos enviados serán encapsulados en formato JSON.

Para notificar la ocurrencia del derrame se utiliza un módulo relevador de estado sólido que activa una alarma visual. El estado de los sensores, así como el estado de la fuente de alimentación y la conexión al sistema ciber se visualizan a través de un panel OLED.

Para proteger a los componentes de las etapas de: potencia (a excepción de la batería), electrónica, control y actuadores (a excepción de la alarma), se usa un gabinete de control que va montado al mástil de perfil circular gracias a un soporte de abrazaderas para este tipo de perfiles. Adicionalmente, cuenta con un pararrayos con soporte en la parte superior del mástil.

En la Figura 17 se muestra un bosquejo de la solución descrita.

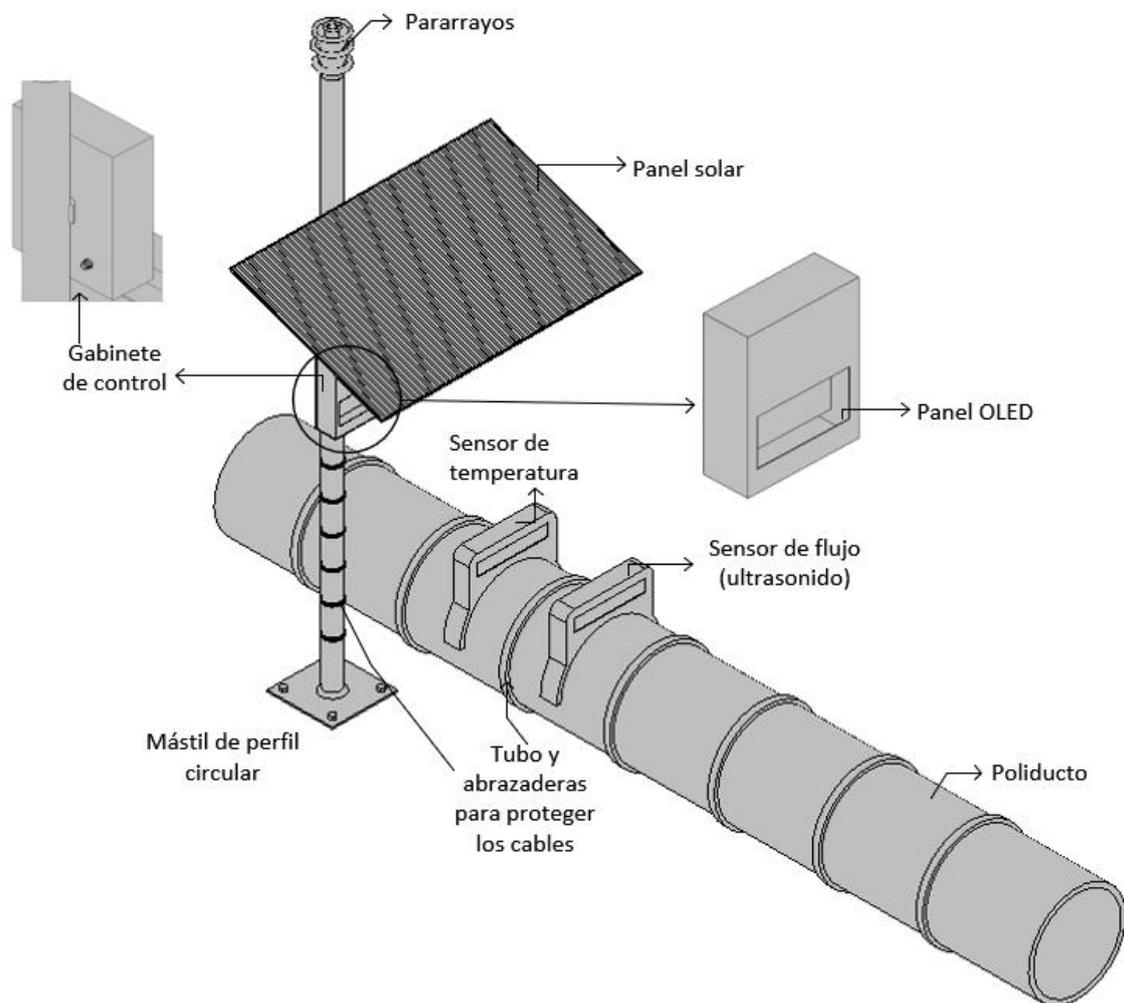


Figura 17. Representación gráfica de la solución 2
Fuente: Elaboración propia

Solución 3:

Se caracteriza por utilizar un sistema de energía híbrida solar-eólica, mediante un aerogenerador y un panel solar. La energía solar y eólica se transforman gracias a la interacción entre un regulador de tecnología PWM; y luego se almacena en una batería de níquel cadmio. La energía eléctrica 220 VAC y la fuente de energía renovable son controladas mediante un relevador térmico y acondicionadas por una serie de fuentes lineales.

Los sensores que utiliza son de tipo: abrazadera para la temperatura, electromagnético para el flujo y presión, capacitivo para el ruido acústico, inductivo para el nivel de carga. De todos estos, a excepción el sensor de nivel de carga, se caracterizan por ser no intrusivos, es decir que se encuentran instalados en el exterior del ducto que transporta GN o LGN. Los cables de estos sensores son transportados por un tubo circular y abrazaderas a lo largo del ducto, hasta llegar al gabinete de control, garantizando de esta manera su protección.

Las señales de estos sensores son acondicionadas mediante un circuito de compuesto por amplificadores operaciones. Las señales del sistema SCADA son recibidas mediante el protocolo MODBUS TCP/IP (Wi-Fi) y acondicionadas a puerto serial del microcontrolador. Ambas señales son interpretadas por un ESP8266 SoC, que usará algoritmos programados en lenguaje C++, para gestionar la logística de la operación del sistema físico. La comunicación con el sistema ciber es mediante el protocolo XMPP, y los datos enviados serán encapsulados en formato XML.

Para notificar la ocurrencia del derrame se utiliza un módulo relevador convencional que activa una alarma acústica. El estado de los sensores, así como el estado de la fuente de alimentación y la conexión al sistema ciber se visualizan a través de un conjunto de LEDs de tipo RGB.

Para proteger a los componentes de las etapas de: potencia (a excepción de la batería), electrónica, control y actuadores (a excepción de la alarma), se usa un gabinete de control que va montado al mástil de perfil rectangular gracias a un soporte de abrazaderas para este tipo de perfiles. Adicionalmente, cuenta con un pararrayos de puntas múltiples con adaptador para la parte superior del mástil.

En la Figura 18 se muestra un bosquejo de la solución descrita.

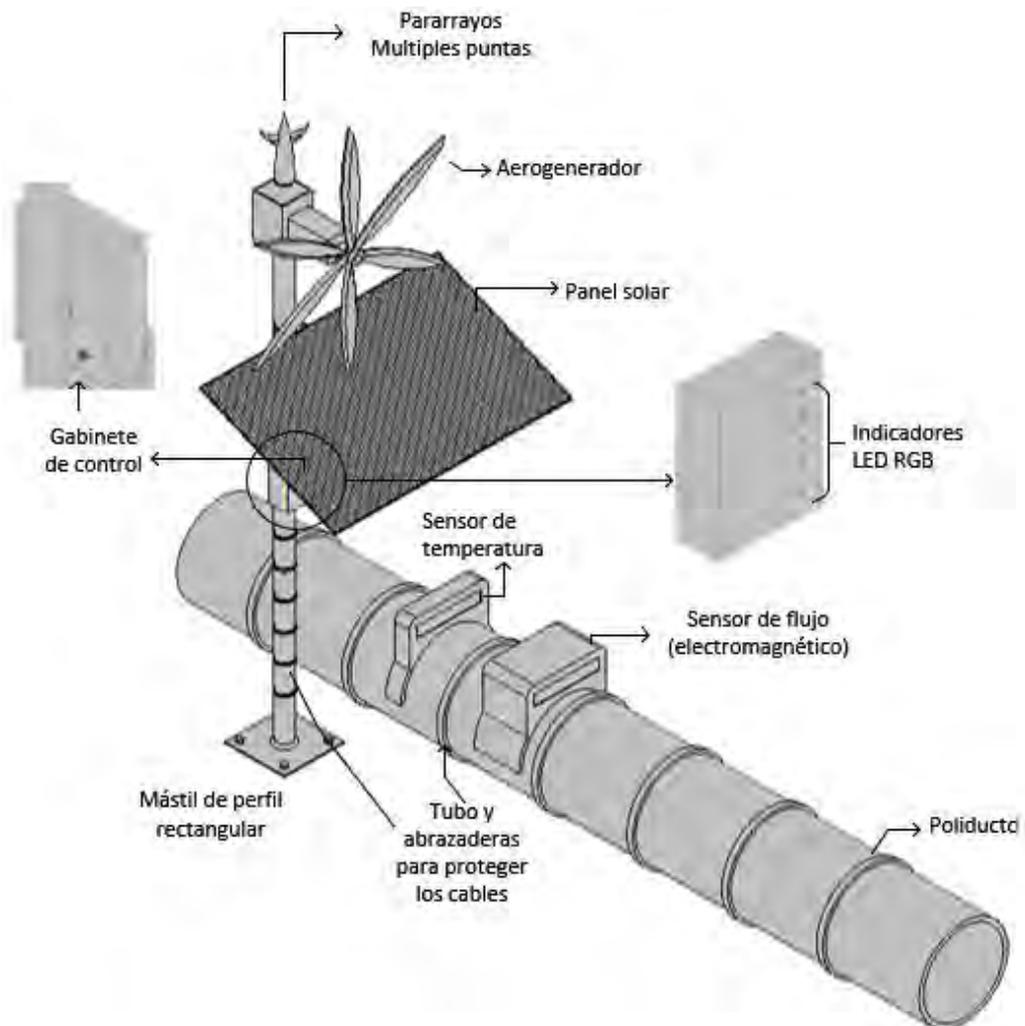


Figura 18. Representación gráfica de la solución 3
Fuente: Elaboración propia

3.1.5. Evaluación técnico-económica

De acuerdo a la VDI 2225, se establecen distintos criterios de diseño en fase de conceptos, evaluando el tema técnico y económico de cada solución planteada. De esta manera se establecen la siguiente connotación, que será empleada en la Tabla 16 y Tabla 17.

Leyenda

P: nivel de satisfacción.

G: nivel de importancia de los criterios de evaluación

Puntaje del 1 a 4, siendo 1 la puntuación más baja y 4 la más alta (ideal).

Tabla 16. Evaluación de criterios técnicos
Fuente: Elaboración propia

Soluciones		Solución 1			Solución 2		Solución 3		Solución Ideal	
Criterios técnicos	G	P	GP	P	GP	P	GP	P	GP	
Funcionamiento	4	3	12	3	12	3	12	4	16	
Seguridad	4	3	12	3	12	4	16	4	16	
Eficiencia energética	4	2	8	3	12	3	12	4	16	
Lista de exigencias	4	3	12	3	12	3	12	4	16	
Precisión	4	3	12	3	12	3	12	4	16	
Durabilidad	4	3	12	3	12	3	12	4	16	
Velocidad de operación	4	4	16	4	16	2	8	4	16	
Simplicidad en implementación	4	2	8	3	12	1	4	4	16	
Suma total			92		100		88		128	
Ponderado técnico X_i			0.718		0.781		0.687		1	
Orden			2		1		3			

En la Figura 19, se puede apreciar el resultado de la evaluación técnica.

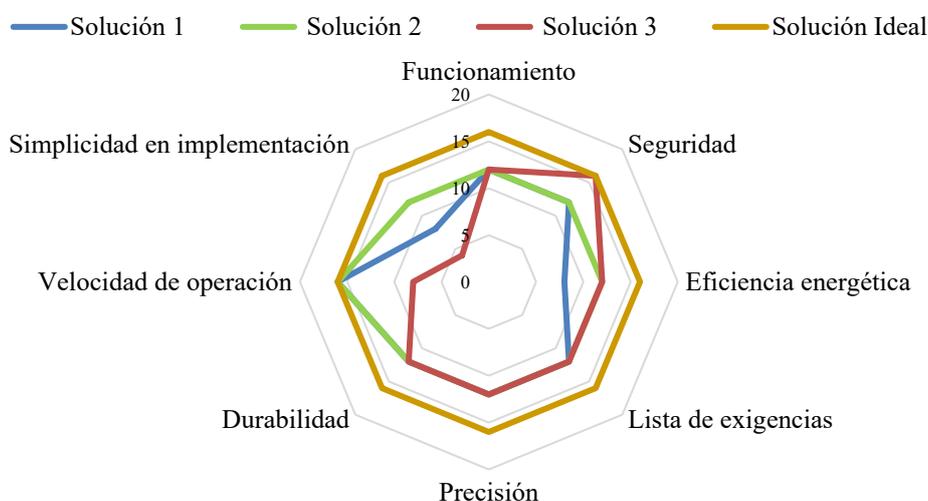


Figura 19. Representación gráfica de la evaluación técnica
Fuente: Elaboración propia

Tabla 17. Evaluación de criterios económicos
Fuente: Elaboración propia

Soluciones	Solución 1			Solución 2		Solución 3		Solución Ideal	
	G	P	GP	P	GP	P	GP	P	GP
Componentes electrónicos	4	3	12	3	12	1	4	4	16
Componentes mecánicos	4	3	12	3	12	1	4	4	16
Ensamblaje	3	2	6	3	9	1	3	4	12
Reparación	2	4	8	4	8	2	4	4	8
Suma total			38		41		15		52
Ponderado técnico X_i	0.73			0.788		0.288		1	
Orden	2			1		3			

En la Figura 20 se puede apreciar el resultado de la evaluación económica de manera gráfica.

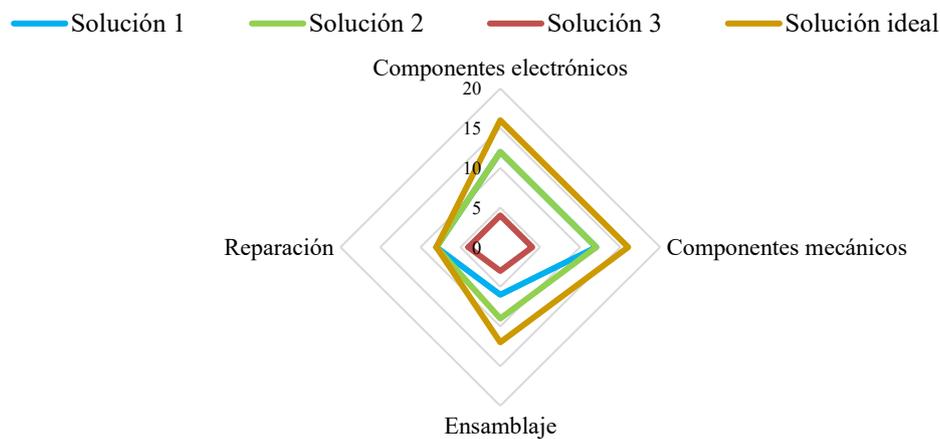


Figura 20. Representación gráfica de la evaluación económica
Fuente: Elaboración propia

En base a los resultados anteriores, se realiza el análisis técnico-económico presentado en la Figura 21, con lo cual se concluye que la solución más óptima es la Solución 2.

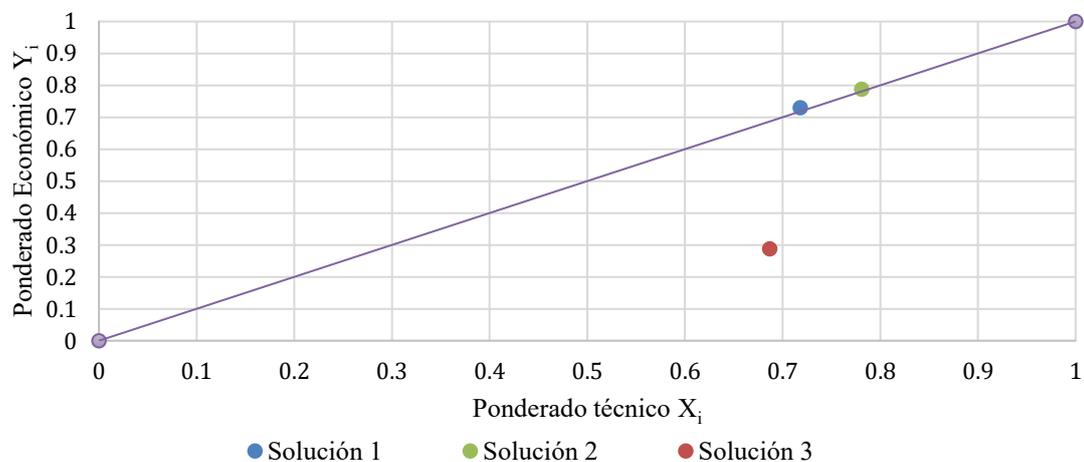


Figura 21. Análisis técnico-económico
Fuente: Elaboración propia

3.2. Diseño conceptual del sistema ciber según proceso ADD 3.0

3.2.1. Descripción de casos de uso

Los principales casos de uso del sistema ciber se describen en la Tabla 18 y se muestran gráficamente en la Figura 22.

Tabla 18. Descripción de casos de uso
Fuente: Elaboración propia

Casos de uso	Descripción
UC-1: Recolectar datos	El sistema deberá recibir, registrar y procesar tramo de datos en tiempo casi real de las variables medidas (temperatura, flujo, presión y ruido acústico) en el poliducto.
UC-2: Log-in y autenticar usuarios	El usuario (empresa transportadora, organismo supervisor) deberá ingresar sus credenciales (usuario/contraseña) en una interfaz web para acceder al sistema previa autenticación por el sistema.
UC-3: Mostrar datos recolectados	El usuario previamente autenticado podrá crear gráficos personalizados para visualizar la ingesta de datos en tiempo casi-real.
UC-4: Notificar eventos de derrame	El equipo del plan de contingencias de la empresa transportadora deberá ser notificado 24/7 de algún desbalance inusual de las variables medidas.
UC-5: Administrar usuarios	El arquitecto de soluciones podrá gestionar (crear, modificar, eliminar) las credenciales de los usuarios que tengan acceso al sistema.
UC-6: Mostrar el rendimiento de servicios	El arquitecto de soluciones puede visualizar el rendimiento de cada uno de los servicios del sistema de manera gráfica e interactiva.
UC-7: Proveer reportes de operación	El sistema almacenará <i>logs</i> por un año. Estos <i>logs</i> deberán incluir información del origen y destino de los datos; y un <i>timestamp</i> .

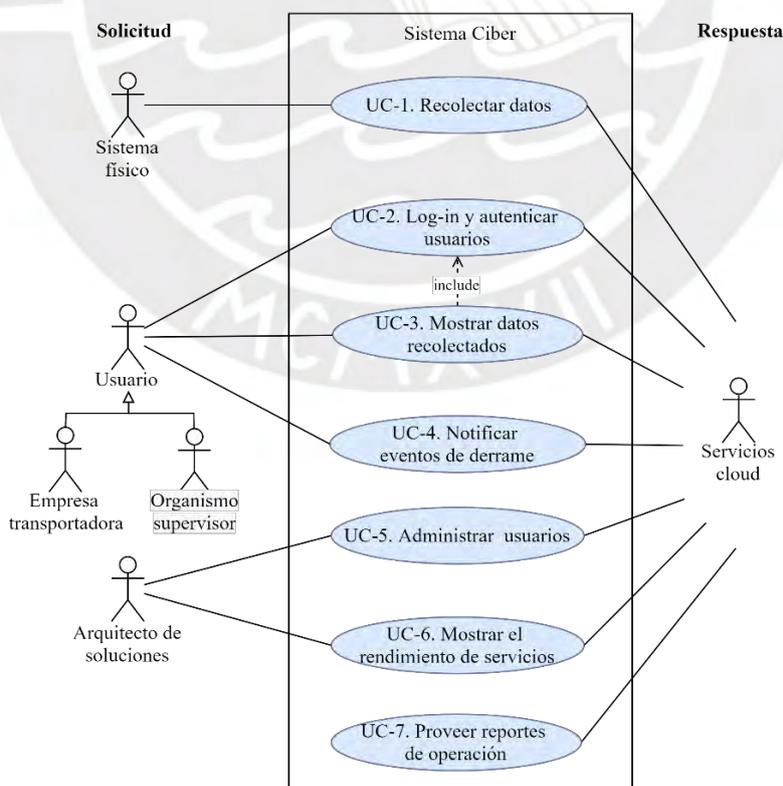


Figura 22. Diagrama de casos de uso
Fuente: Elaboración propia

3.2.2. Escenarios de atributos de calidad

Los escenarios de atributos de calidad más relevantes son presentados en la Tabla 19. Para cada escenario se han identificado los casos de uso asociados.

Tabla 19. Descripción de los escenarios de atributos de calidad
Fuente: Elaboración propia

ID	Atributos de calidad	Escenario	Caso de uso asociado
QA-1	Rendimiento	El sistema podrá recibir más de 20 datos (eventos) por segundo de estaciones de monitoreo. Por lo menos el 99% de los datos son procesados y almacenados correctamente, con un tiempo de procesamiento menor a 1s.	UC-1
QA-2	Rendimiento	El sistema deberá proveer un <i>dashboard</i> de monitoreo el cual debe soportar por lo menos 25 lecturas fuertemente consistentes de mensajes de 512 bytes en tiempo real con una latencia menor 1s.	UC-2,3
QA-3	Escalabilidad	El sistema deberá incrementar su capacidad de forma autónoma a medida que se incrementa el número de estaciones de monitoreo que envían datos, por ende, el almacenamiento de datos que deberán almacenarse considerando los últimos 12 meses (aproximadamente 1 GB de datos por mes).	UC-1, 3
QA-4	Disponibilidad	El sistema deberá continuar operando en modo degradado ante la falla de cualquier nodo o componente hasta ser restablecido en máximo 30 min.	Todos

3.2.3. Restricciones

Las restricciones asociadas al sistema se presentan en la Tabla 20.

Tabla 20. Descripción de las restricciones
Fuente: Elaboración propia

ID	Restricción
CON-1	Usar <i>Cloud</i> pública como modelo de despliegue con el proveedor AWS.
CON-2	Usar SaaS como modelo de servicio de <i>Cloud Computing</i> .
CON-3	El protocolo de comunicación debe estar orientado a IoT.
CON-4	El acceso al sistema debe ser a través de un navegador web (Chrome, Firefox, Edge).
CON-5	El sistema debe incorporar una herramienta de inteligencia de negocios con soporte para sentencias SQL.

3.2.4. Preocupaciones arquitecturales

Las preocupaciones arquitecturales iniciales que se han considerado se muestran en la Tabla 21.

Tabla 21. Descripción de las preocupaciones arquitecturales
Fuente: Elaboración propia

ID	Preocupación
CRN-1	Establecer una estructura general del sistema, siguiendo una arquitectura de referencia.
CRN-2	Aprovechar el conocimiento del arquitecto sobre tecnologías <i>backend</i> (PHP, Javascript y Python) y <i>front-end</i> (HTML, CSS).
CRN-3	Aprovechar el conocimiento del arquitecto sobre tecnologías que brinda el proveedor Amazon Web Services (<i>cloud</i> pública)

4. CAPÍTULO IV: DISEÑO DEL SISTEMA CIBER-FÍSICO

4.1. Sistema de monitorización

El sistema físico consiste en un conjunto de estaciones de monitoreo (ver Figura 23) las cuales han sido diseñadas bajo los términos de referencia dados por Osinergmin [10]. Este sistema presenta una configuración redundante en el suministro de energía, para alimentar en todo momento a dispositivos electrónicos, entre los que destacan sensores, acondicionadores de señal, y un microcontrolador; que en conjunto se encargan principalmente de la adquisición y transmisión de los datos relacionados con derrames de LGN hacia el sistema ciber.

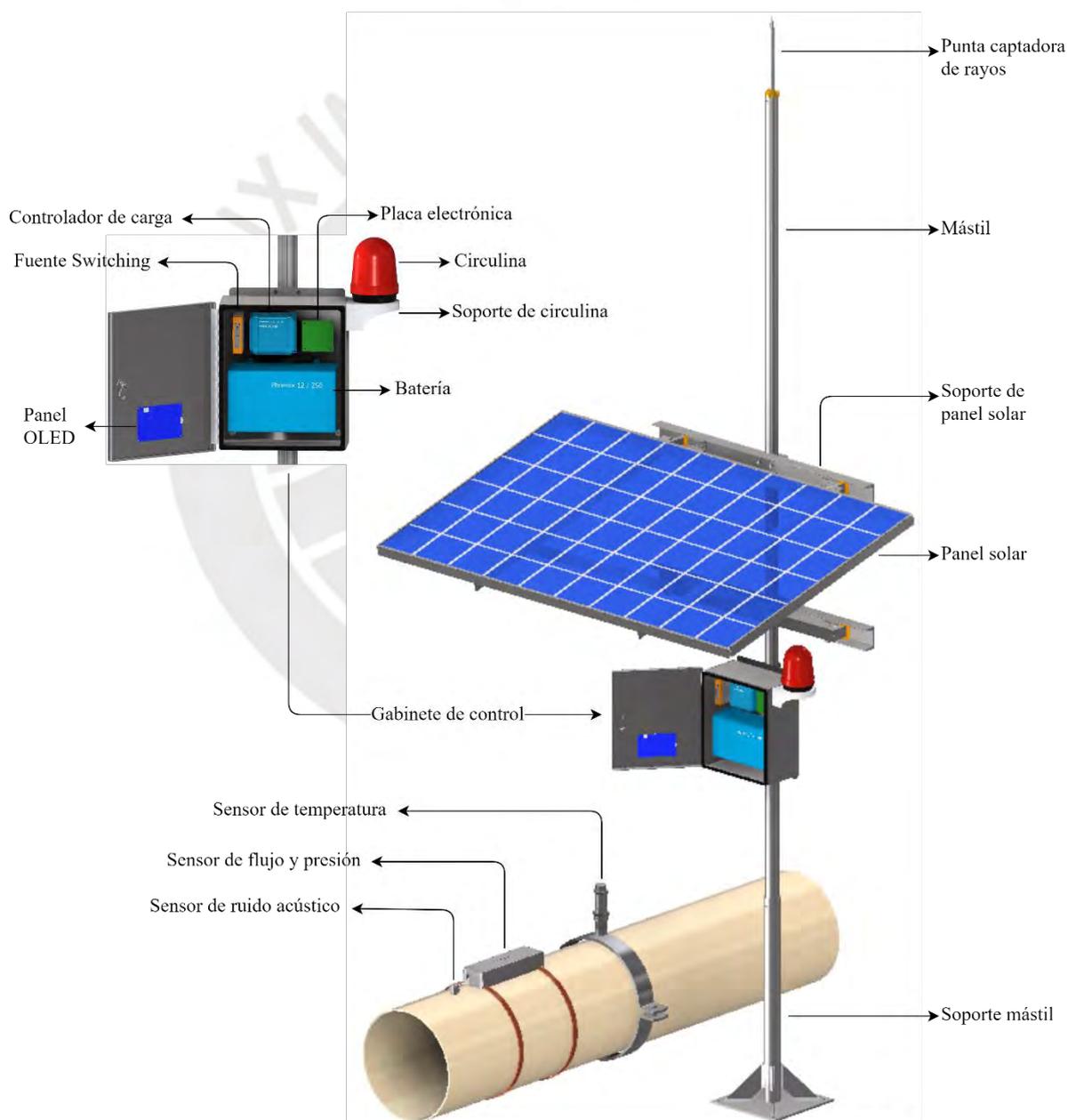


Figura 23. Estructura del sistema físico
Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, el sistema ciber consiste en una arquitectura de *cloud computing* (ver Figura 24), que ha sido diseñada en base a los principales casos de uso identificados, escenarios de atributos de calidad, restricciones y preocupaciones arquitecturales. Las funciones del sistema ciber son: recibir y procesar las tramas de datos, notificar al sistema físico en caso de derrame y presentar el proceso de monitoreo a través de una plataforma *cloud*.

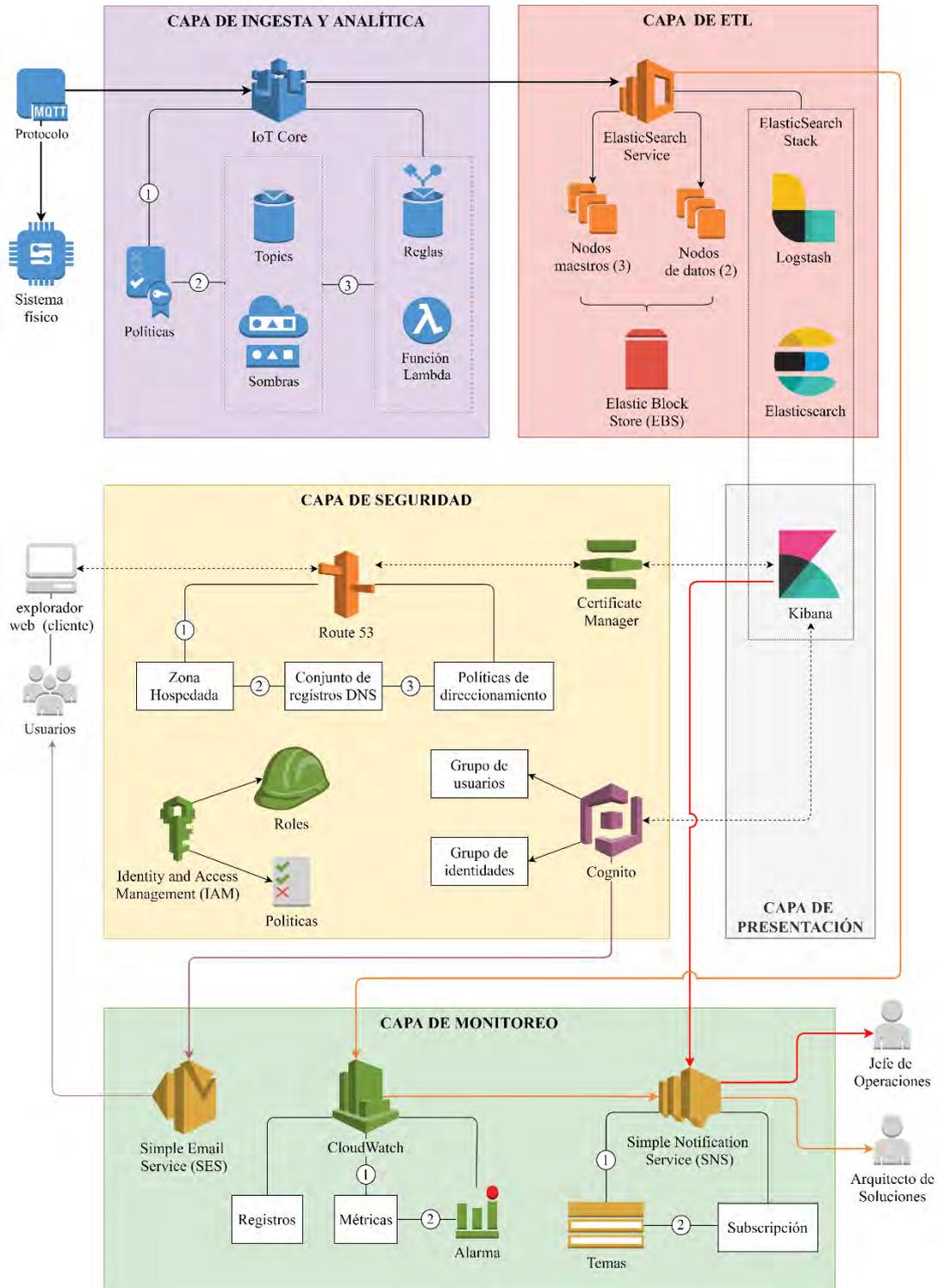


Figura 24. Arquitectura de *Cloud* del sistema ciber
Fuente: Elaboración propia

La interacción entre el sistema físico y ciber se realiza a través del protocolo MQTT, que está orientado al Internet de las Cosas (IoT) y que habilita el intercambio de información bajo el modelo de mensajería asíncrona publicador/suscriptor (ver Figura 25). Para entender este modelo, es importante reconocer que las 20 estaciones de monitoreo generan/publican un flujo de eventos (envío periódico de datos cada 5 segundos), los cuales son enviados hacia diferentes canales de mensajería asíncrona gestionados por la arquitectura de *cloud computing*. A través de estos canales de mensajería, el remitente (publicador) empaqueta los eventos en mensajes, mediante un formato conocido, y envía estos mensajes hacia uno o varios destinatarios (suscriptores) en el mismo canal.

La estrategia para determinar un evento de derrame, consiste en comparar las magnitudes del flujo, presión y temperatura entre dos estaciones de monitoreo, para ello se utilizará un canal de mensajería para cada estación de monitoreo. Cada estación estará suscrita a su propio canal, además la estación “n+1” también estará suscrita al canal de mensajería de la estación “n”, de modo que podrá recibir información (de la estación “n”) para comparar y determinar el evento de derrame.

Cabe destacar que las magnitudes de ruido acústico, serán de utilidad para identificar la posible ubicación del derrame a través de un modelo computacional como el de onda de presión negativa; si la estación “n+1” determina que el derrame se encuentra cerca a la estación “n” publicará la alerta en el canal de la estación “n”, en vista que la estación “n” también está suscrita a su propio canal recibirá la alerta.

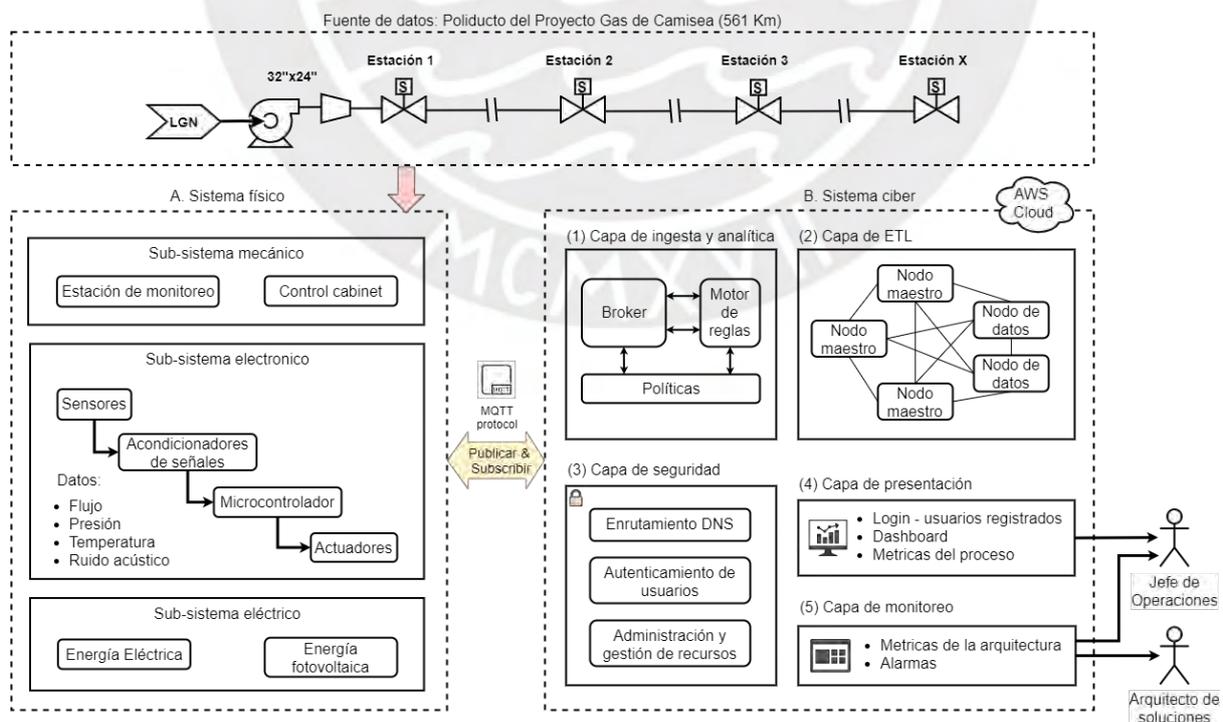


Figura 25. *Marketecture* sistema ciber-físico
Fuente: Elaboración propia

4.2. Diseño del sistema físico: electrónico y eléctrico

4.2.1. Diagrama P&ID

El sistema físico (estaciones de monitoreo) se compone de un conjunto de sensores que están montados sobre el poliducto que miden de manera no intrusiva valores como la temperatura del ducto, el flujo, la presión y el ruido acústico. La información de los sensores se transmite por medio de señales digitales y analógicas hacia un controlador, el cual envía esta información al sistema ciber a través señales de radiofrecuencia. De producirse algún evento de derrame, el controlador envía un pulso digital a un relevador para activar una alarma visual. Ver Figura 26.

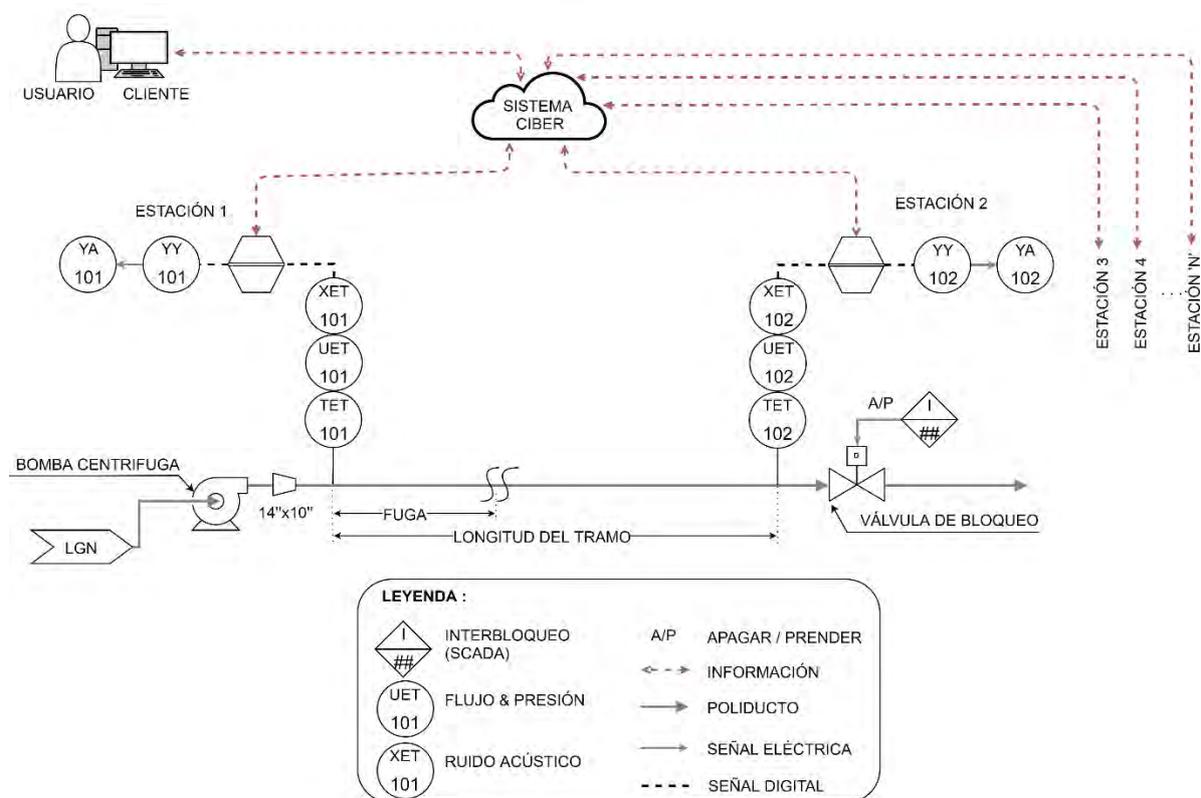


Figura 26. Diagrama P&ID

Fuente: Elaboración propia

4.2.2. Diagramas de bloques

Está conformado por:

- (i) Unidad de sensado del poliducto: compuesta por sensores industriales de temperatura (Rosemount 0085), de flujo & presión (FSS-NNTS-002) y de ruido acústico (F15I-AST). Estos sensores requieren de acondicionadores de señales (Módulo TDC-GP30F1, DCPL2 y escalador de voltaje) para que las señales analógicas y/o digitales sean compatibles con el microcontrolador (ESP32-WROVER-I).

- (ii) Unidad de suministro de energía: compuesta por dos fuentes de alimentación para asegurar la disponibilidad de energía incluso en caso de un corte de energía, tiene una configuración de suministro de energía redundante (ver Figura 27). Las fuentes de alimentación son energía eléctrica (primaria) y energía solar fotovoltaica (secundaria). Los principios de funcionamiento son: (i) la histéresis (niveles TTL), y (ii) en las diferencias de frecuencia entre el microcontrolador (80 MHz) y la energía eléctrica (60 Hz). Por lo tanto, cuando el voltaje AC de la fuente primaria este disminuyendo, el microcontrolador lo percibe (a través del módulo sensor ZMPT101B) y activa (a través de un módulo relevador 4CH) la fuente de alimentación secundaria antes del corte de energía. La fuente de poder (STEP-PS/1AC/12DC/1), proporciona 12 VDC a un circuito de alimentación para suministrar energía a los dispositivos electrónicos.

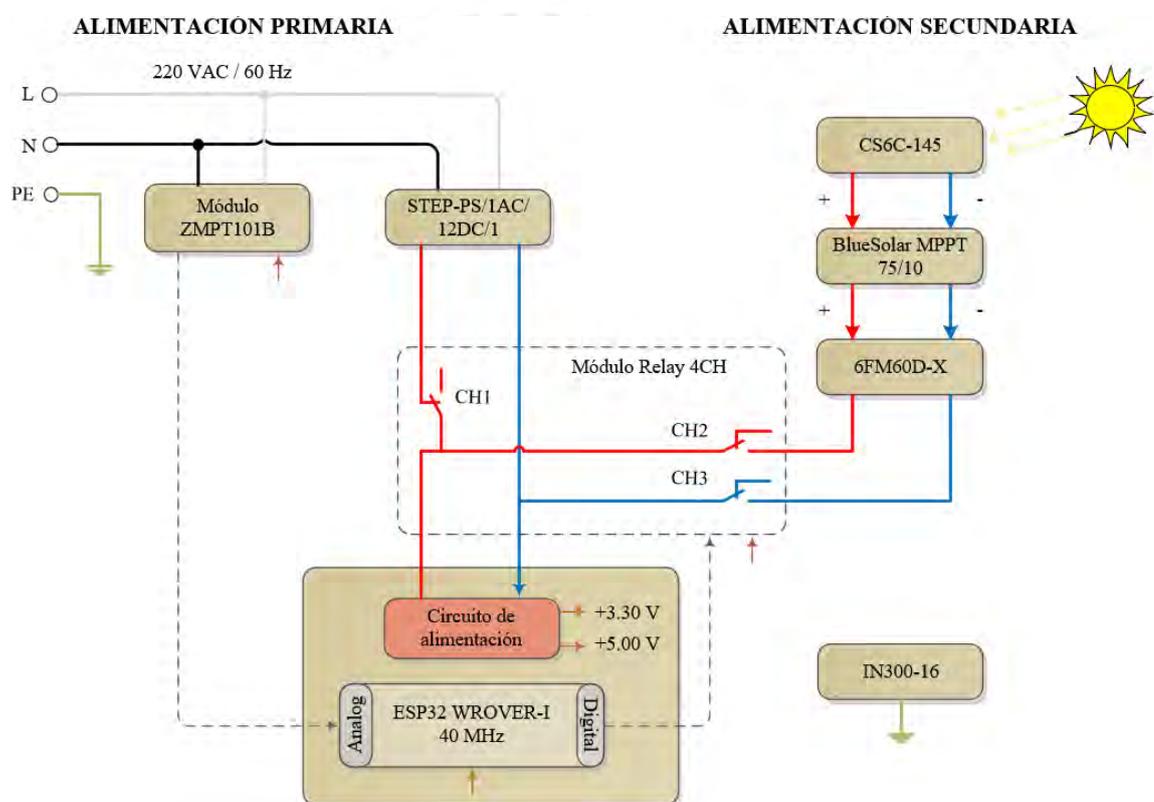


Figura 27. Suministro de energía
Fuente: Elaboración propia

- (iii) Unidad de comunicación: compuesta por una antena que va conectada al módulo Wi-Fi del propio microcontrolador, el cual nos dará salida a internet conectándose a una estación Wi-Fi; y por el módulo MAX3485EESA que permite comunicación con el sistema SCADA mediante el protocolo de comunicación RTU.
- (iv) Unidad de actuadores: compuesta por un panel OLED (NX8048T050) en el que se visualizará los datos referentes al proceso físico, así mismo en un evento de derrame se activará una alarma visual y sonora (Módulo relevador SSR 4CH y QLIGHT MFL125).

En la Figura 28, se muestra el diagrama de bloques descrito anteriormente.

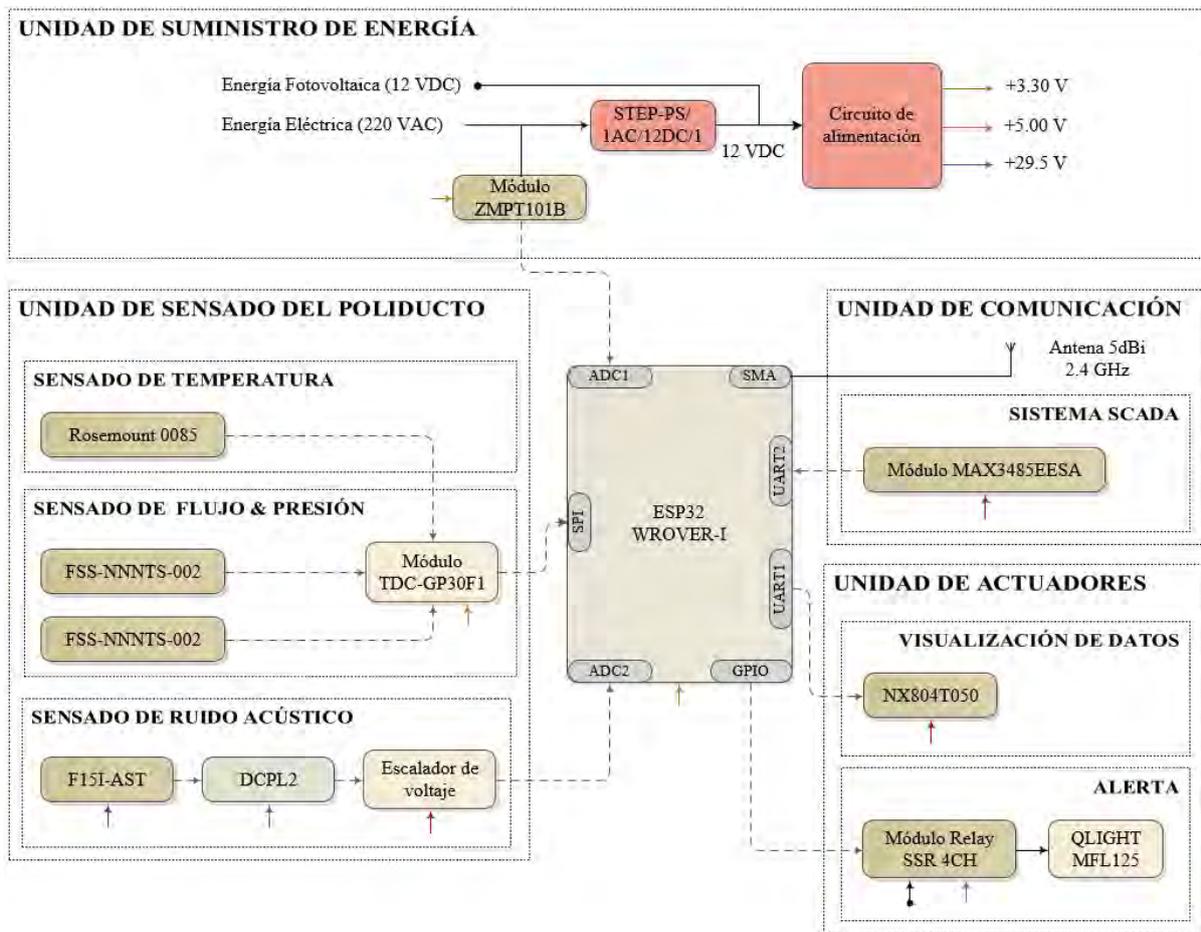


Figura 28. Diagrama de bloques
Fuente: Elaboración propia

4.2.3. Selección de componentes

Para los componentes electrónicos, al igual que en los actuadores, se ha realizado una búsqueda y selección teniendo en cuenta criterios como: aplicación industrial, voltajes de operación, precisión, aspectos legales y normativos.

4.2.3.1. Sensores

Los sensores seleccionados deben estar fabricados de acero inoxidable 316L y ser de tipo no intrusivo.

- **Temperatura:** De acuerdo a Osinergmin, el rango de temperatura es variado de acuerdo a los diferentes tramos por donde discurre y a las condiciones operativas. Sin embargo, haciendo un cálculo aproximado, se puede decir que la temperatura en los ductos de LGN oscila entre 41 °C a 11 °C (promedio a grosso modo calculado por un día operativo, sin considerar condiciones de emergencia operativa). De acuerdo a esos valores y teniendo en cuenta que el sensor tiene que ser de tipo no intrusivo, se presenta en la Tabla 22 las características técnicas del sensor seleccionado.

Tabla 22. Sensor de temperatura de tipo *clamp-on*
Fuente: [38, 39]

Proveedor	INSTRUMART
Fabricante	EMERSON
Modelo	 <p>Rosemount 0085 N5P1J1500S0407A</p>
Diámetro	16 in
Precisión	Clase A
Rango de temperatura	-50 °C ~ +300 °C
Resistencia nominal	100 Ω RTD a 0 °C
Hilos	4
Grado de protección	IP68 / NEMA 4X
Protección de cables	Recubiertos de plata con aislamiento de PTFE.

Para mayor información técnica del sensor Rosemount 0085, ver Anexo E.1.

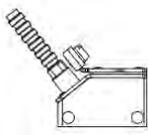
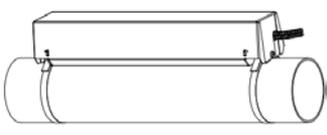
- **Flujo y presión:** De acuerdo a Osinergmin, el rango de presión es variado de acuerdo a los diferentes tramos por donde discurre y a las condiciones operativas. Sin embargo, haciendo un cálculo aproximado, se puede decir que la presión oscila entre 115 Barg y 5 Barg. Las variables de flujo y presión pueden ser estimadas mediante el uso de tecnología de ultrasonido. Este método ha atraído mucho interés debido a que existen estudios patentados [40, 41], los cuales han demostrado la estrecha relación entre la amplitud de una onda ultrasónica y la presión dentro de una vasija de presión. En la Tabla 23 se muestra una comparación entre sensores ultrasónicos.

Tabla 23. Propuesta de sensores ultrasónicos
Fuente: [43]–[45]

Proveedor	INSTRUMART	RADWELL INTERNATIONAL	EMERSON
Fabricante	KROHNE	KOBOLD	FLEXIM
Modelo	OPTISONIC 6000	DUC-WF10	FSQ-NNNTS-002
Diámetro	Desde 2 in hasta 16 in	Desde 1 ¼ in hasta 16 in	Desde 0.4 in hasta 16 in
Temperatura de operación	-40 °C ~ +60 °C	-40 °C ~ +150 °C	-40 °C ~ +130 °C
Grado de protección	IP67	IP68	IP67
Frecuencia	100 Hz a 10 kHz	1 MHz	8 MHz

Se selecciona el sensor de la marca FLEXIM dado que ofrece mayor frecuencia, lo cual permite una mejor resolución de la medición. Una frecuencia más baja proporciona una mejor invasión de la onda de ultrasonido con la superficie de la tubería, esto sería óptimo si las tuberías fueron bastante gruesas, ver Tabla 24.

Tabla 24. Sensor ultrasónico seleccionado con dispositivo de montaje
Fuente:[45]

Modelo	FSQ-NNNTS-002	VARIOFIX C
Dibujo técnico		
Dimensiones en mm (largo x ancho x alto)	39 x 22 x 25.5	310 x 85 x 62

Para mayor información técnica del sensor FLEXIM FSQ-NNNTS-002, ver Anexo E.2.

- **Ruido acústico:** Los sensores seleccionados cuentan con un preamplificador integrado, esto permite transformar una señal eléctrica débil en una señal lo suficientemente robusta para su procesamiento y tolerante ante posibles ruidos, simplifica la configuración del sensor y disminuye el riesgo de realizar malas conexiones [46]. Para definir el rango de frecuencias, se optó por seguir un estudio realizado por la Universidad de Tabriz [47], en el que modelan la vibración de la tubería causada por emisiones acústicas a causa de un derrame, llegando a la conclusión que la máxima energía se encuentra en el rango de frecuencias cercano a los 150 kHz y 300 kHz. A continuación, se presentan tres alternativas, ver Tabla 25.

Tabla 25. Sensores piezoeléctricos acústicos
Fuente: [48]–[50].

Proveedor	PHYSICAL ACOUSTICS		
Fabricante	MISTRAS		
Modelo	 F15I-AST	 F30I-AST	 LNWDI
Voltaje de operación	20 VDC ~ 30 VDC	20 VDC ~ 30 VDC	17 VDC ~ 29 VDC
Consumo de corriente	25 mA	25 mA	30 mA
Potencia estimada (con 24 VDC)	600 mW	600 mW	720 mW
Frecuencia de operación	100 kHz ~ 450 kHz	150 kHz ~ 750 kHz	125 kHz ~ 950 kHz
Impedancia	50 Ω	50 Ω	5 Ω
Temperatura de operación	-35 °C ~ +75 °C	-35 °C ~ +75 °C	-40 °C ~ +70 °C
Ganancia	40 dB		

Se selecciona el modelo F15I-ASTU, dado que trabaja en el rango de frecuencia necesario y además cuenta con un valor alto de impedancia con lo cual se descarta la necesidad de utilizar algún limitador de corriente. Para mayor detalle del sensor seleccionado ver el Anexo E.3.

- **Voltaje alterno:** En la Tabla 26, se presenta el módulo sensor que mide voltaje alterno. Está integrado por un transformador que cumple la función de aislamiento galvánico para mayor seguridad en el uso; un divisor de tensión y un circuito con amplificador operacional (LM358) para adicionar un desplazamiento (offset) a la salida análoga.

Tabla 26. Características técnicas del módulo ZMPT101B

Fuente:[51]

Proveedor	NAYLAMP MECHATRONICS	
Fabricante	LC Technology	
Modelo		
	Módulo ZMPT101B	
Voltaje de alimentación	3.3 V	
Corriente nominal de entrada y salida	2 mA	
Precisión	0.2%	

Para mayor información técnica sobre el módulo ZMPT101, ver Anexo E.4.

4.2.3.2. Acondicionamiento de señales

- **Señales del SCADA:** Los circuitos integrados de la serie “MAX348X”, se caracterizan por permitir el uso del estándar RS-485 y RS-422 con un modo de transmisión *half duplex* para la comunicación con el sistema SCADA, además cuentan con protección contra descargas electroestáticas y corto circuitos mediante un circuito de apagado térmico. En la Tabla 27, se muestra la comparación entre estos circuitos integrados.

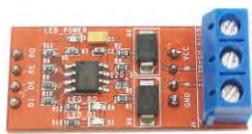
Tabla 27. Comparación entre circuitos integrados MAX348X

Fuente: [52]

Fabricante	maxim integrated		
Circuito integrado	MAX3483E	MAX3485E	MAX3486E
Empaquetado	8-pin DIP (ESA)		
Voltaje de operación	3.3 V		
Consumo de corriente	2.2 mA máx.		
Velocidad de transmisión	0.25 Mb/s	12 Mb/s	2.5 Mb/s
<i>Slew rate</i> limitado	Si	No	Si
Módulo disponible en el mercado	No	Si	No
Temperatura de operación	-40 °C ~ +85 °C		

Se selecciona el circuito MAX3485E, debido a la alta velocidad de transmisión de datos y a su disponibilidad como módulo en el mercado. Por otra parte, el parámetro de *slew rate* debería ser considerado como transcendental siempre y cuando se trabaje con señales de alta frecuencia, siendo este omitido por no ser el caso de aplicación. En la plataforma AliExpress, se encuentra disponible el módulo MAX3485EESA, ver Tabla 28.

Tabla 28. Módulo MAX3485EESA
Fuente: [53]

Módulo	Esquemático
	

Para mayor información técnica del integrado MAX3485 ver Anexo E.5.

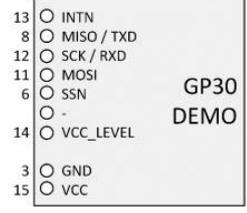
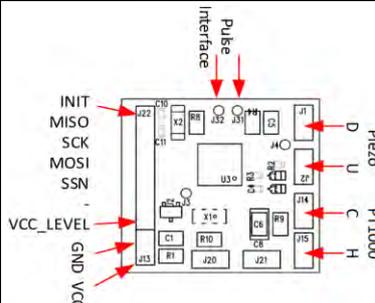
- **Temperatura, flujo y presión:** Debido al uso de sensores de ultrasonido, cuyo principio de medida es el *time of flight*, lo cual consiste en reconocer el rebote de ondas de ultrasonido, para ello se requiere de un dispositivo especial que proporcione una representación digital del tiempo exacto en que estos rebotes ocurrieron. Este dispositivo se denomina *time to digital converter* (TDC), capaz de estimar los valores de flujo y presión, utilizando compensación por temperatura [42]. En la Tabla 29, se muestra la comparación entre dos TDC.

Tabla 29. Comparación entre TDC's
Fuente: [53, 54]

Fabricante	ScioSense	
Modelos	TDC-GP22	TDC-GP30F1
Frontend Analógico	Sí	
Número de hits	3	31
Protocolo de comunicación	SPI	SPI, UART
CPU	-	32-bit CPU (<i>ultra low</i>)
Memoria	7x32 bit EEPROM	4kB NVRAM, 4kB ROM
GPIO	-	6
Firmware	-	Cálculo de volumen, flujo y temperatura
Resolución	22 ps	11 ps
Voltaje de operación	2.5 VDC ~ 3.6 VDC	
Corriente	2.3 uA	8.5 uA
Temperatura de operación	-40 °C ~ +125 °C	

Se selecciona el modelo TDC-GP30F1 en vista que cuenta mejores prestaciones y con un *firmware* preconfigurado, lo cual facilitaría el proceso de configuración y programación. Está disponible en la plataforma DigiKey, ver Tabla 30.

Tabla 30. Módulo TDC-GP30F1
Fuente: [54, 55]

Módulo	Esquemático	
	 <p>13 ○ INTN 8 ○ MISO / TXD 12 ○ SCK / RXD 11 ○ MOSI 6 ○ SSN 14 ○ VCC_LEVEL 3 ○ GND 15 ○ VCC</p> <p style="text-align: center;">GP30 DEMO</p>	

Para mayor información técnica sobre el Módulo TDC-GP30F1 Anexo E.6.

- Ruido acústico:** Todo preamplificador acústico sin importar si es externo o interno requiere una fuente de alimentación, este método de proporcionar energía al amplificador se denomina “phantom power” [57]. El problema con esto es que tanto la fuente de alimentación como la señal de transmisión comparten la misma línea, lo que impide que la señal pueda ser analizada por un microcontrolador. Por lo tanto, se requiere de un circuito de desacoplamiento de la fuente de alimentación y la señal de transmisión como se muestra en la Tabla 31.

Tabla 31. Características del circuito de desacoplamiento
Fuente: [58]

Fabricante	Vallen Systeme GmbH
Modelo	 <p style="text-align: center;">DCPL2</p>
Voltaje de operación	28 ~ 30VDC
Corriente de operación	70 mA
Amplitud de la señal de transmisión	De acuerdo al voltaje de operación

El voltaje de operación será el mismo tanto para el circuito de desacoplamiento (DCPL2) como para el sensor acústico (F15I-AST) que se le conecta. Por otra parte, la amplitud de la señal de transmisión, también depende del voltaje de operación y sea cual fuere su valor, está fuera del rango de operación del microcontrolador. Por lo tanto, es necesario diseñar un circuito que escale la amplitud de la señal de transmisión a un valor tolerable por un microcontrolador.

Para mayor información técnica sobre el circuito de desacoplamiento DCPL2, ver Anexo E.7.

En la Figura 29, se muestra el escalador de voltaje que se va a diseñar.

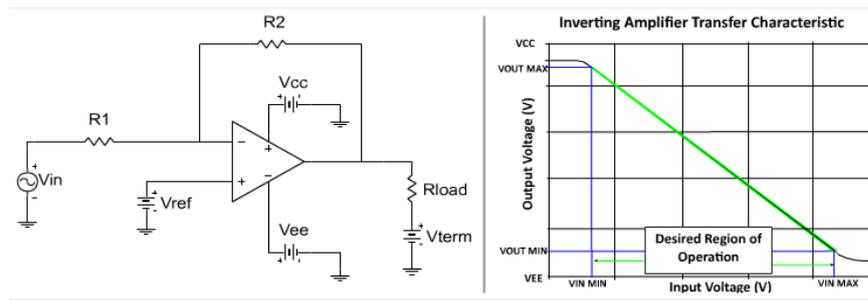


Figura 29. Amplificador operacional de tipo inversor

Fuente: [59]

En la Tabla 32, se muestran los parámetros de diseño.

Tabla 32. Parámetros de diseño para el escalador de voltaje

Fuente: Elaboración propia

Parámetro	Valor	Justificación
Voltaje mínimo de entrada ($V_{in\ min}$)	0 V	Voltajes de operación del sensor acústico
Voltaje máximo de entrada ($V_{in\ max}$)	29.5 V	
Voltaje mínimo de salida ($V_{out\ min}$)	0.05 V	Voltajes de operación para el controlador.
Voltaje máximo de salida ($V_{out\ max}$)	3 V	

Procedimiento de diseño:

- Determinar la función del voltaje de salida de la configuración del amplificador:

$$V_{out} = -V_{in} \times \left(\frac{R_2}{R_1}\right) + V_{ref} \times \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$$

- Determinar la ganancia:

$$G = \frac{\text{Salida}}{\text{Entrada}} = \frac{V_{out\ max} - V_{out\ min}}{V_{in\ max} - V_{in\ min}} = \frac{3 - 0.05}{29.5 - (0)} = 0.1 \frac{V}{V}$$

- Calcular R1 y R2:

Se escoge $R_2 = 1\ k\Omega$ (valor comercial)

$$R_1 = \frac{R_2}{G} = \frac{1\ k\Omega}{0.105} = 10\ k\Omega$$

- Calcular V_{ref} para $V_{out\ max}$

$$V_{out\ max} = -V_{in\ min} \times \left(\frac{R_2}{R_1}\right) + V_{ref} \times \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$$

Reemplazando:

$$3\ V = -(0\ V) \times (0.1) + V_{ref} \times (1 + 0.1)$$

Despejando:

$$V_{ref} = 2.727\ V \cong 2.73\ V$$

5. Establecer los parámetros de selección del amplificador operacional, ver Tabla 33.

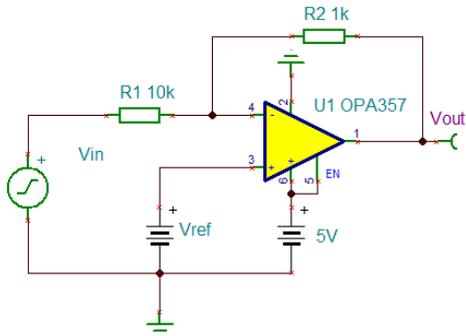
Tabla 33. Parámetros de selección del amplificador operacional
Fuente: Elaboración propia

Parámetro	Valor	Justificación
Frecuencia máxima de la señal (f)	450 kHz	Frecuencia más alta que ofrece el sensor.
Ancho de banda	300 kHz	De acuerdo al sensor acústico, el rango de frecuencia es de 150 kHz a 450 kHz.
<i>Slew rate</i>	$83.4 \frac{V}{\mu s}$	De la fórmula: $SR > 2 \times \pi \times f \times V$ Siendo V, el voltaje máximo de operación del sensor acústico.

6. Seleccionar amplificador operacional.

Se realizó la búsqueda del amplificador en la plataforma DigiKey y se seleccionó el OPA357. En la Tabla 34, se muestra el amplificador con los valores R_1 , R_2 y V_{ref} .

Tabla 34. Circuito diseñado – Escalador de voltaje
Fuente: Elaboración propia

Amplificador	
IC	OPA357
Voltaje de operación	5V
Corriente de operación	10 mA
Banda ancha	250 MHz
<i>Slew rate</i> m	150 V/ μ s
Ganancia del circuito	0.1 V/V
Valor de R1	1 k Ω
Valor de R2	10 k Ω
Voltaje de referencia	2.73 V

Para mayor información técnica del amplificador ver el Anexo E.8.

Cabe resaltar que el hecho de escalar la amplitud de la señal de transmisión no altera en absoluto el procesamiento de esta señal, ya que la información de utilidad se encuentra en el dominio de la frecuencia.

4.2.3.3. Microcontrolador

En la Tabla 35, se muestra la comparación entre dos SoC (“*system-on-chip*”) que integran diferentes modelos de microcontrolador ESP32. Ambos ofrecen una capacidad de procesamiento de hasta 240 MHz, lo que posibilita la ejecución de tareas de forma concurrente (en multitasking), y ofrecen la facilidad de conectar una antena externa, con la finalidad de aumentar la ganancia de la señal Wi-Fi.

Tabla 35. Comparación entre ESP32 SoC
Fuente: [57, 58]

Proveedor	DIGIKEY	
Fabricante	ESPRESSIF	
Módulo	 WROOM-32U	 WROVER-B
Descripción	Ampliamente usado en aplicaciones con sensores de baja potencia, así como en tareas exigentes como codificación de voz, transmisión y decodificación de MP3.	Gracias a la memoria PSRAM agregada extiende su rango y variedad de aplicaciones
Chip embebido	ESP32-D0WD	ESP32-D0WDQ6
Memoria Flash	4 MB	
Memoria PSRAM	-	8 MB
Operación	Voltaje: 2.7 V ~ 3.6 V	
	Corriente: 80 mA	
	Temperatura de operación: -40°C ~ 85°C	
Frecuencia	40 MHz (240 MHz máx.)	
Conexión inalámbrica	Wi-Fi: 802.11 b/g/n 2.4 GHz	
	Bluetooth: v4.2 BR/EDR y BLE	
Interfaces	12-bits SAR ADC apto para 18 canales	
	2 x 8-bits DACs	
	2 x I ² S	
	2 x I ² C	
	UART (Configurable)	
	4 x SPI	

Debido al gran volumen de datos generados por los sensores, es posible que se requiera memoria adicional. Por lo tanto, se selecciona el ESP32-WROVER-I. En el Anexo E.9, se encuentra sus especificaciones técnicas.

4.2.3.4. Actuadores

- **Notificar ocurrencia de derrame:** La selección de alarmas visuales es de acuerdo a: (i) el grado mínimo de protección a partir del IP64, (ii) que sea de tipo circulina, y (iii) el tipo de luz estroboscópica., (ii) bajo consumo energético.

En la Tabla 36, se muestra una comparación entre circulinas industriales.

Tabla 36. Comparación entre circulinas industriales
Fuente: Anexo F

Proveedor	MC SUMINISTROS INDUSTRIALES		
Marca	QLIGHT	MOFLASH	WERMA
Modelo	 MFL125-R	 R400-05-02	 883.100.68
Dispositivo de montaje	 SWM125		
Temperatura de operación	-30° C ~ +50°C		
Voltaje / Corriente	DC: 12 V ~ 24 V / 0.255 A máx.	DC: 12 V / 3 A	DC: 24 V / 1.6 A
Potencia	6.12 W	60W	35 W
Grado de protección	IP 65		

Se selecciona la circulina QLGHT MFL125-R, debido a su bajo consumo de energía. Para mayor detalle de las características técnicas de la circulina seleccionada ver el Anexo E.10.

- **Indicador de estados:** En la Tabla 37, se presenta una comparativa entre paneles OLED de la marca Nextion, la cual ofrece una solución de *hardware* y software para diseñar la interfaz de comunicación y proveer de información operativa del proceso físico en tiempo casi real a través de una pantalla táctil de tipo TFT.

Tabla 37. Comparación entre paneles OLED
Fuente: [62]

Proveedor	ITEAD		
Marca	Nextion		
			
Tamaño	4.3"	5.0"	7.0"
Modelo	NX4827T043	NX8048T050	NX8048T070
Memoria FLASH	16 MB		
Comunicación	TTL (UART)		
Voltaje de operación	5V	5V	5V
Corriente	250 mA	410 mA	2A
Área visual en mm (largo x ancho)	95.04 x 53.86	108 x 64.8	154.08 x 85.92

Se selecciona el modelo NX8048T050 debido a que se considera que en una pantalla de 5 pulgadas se puede presentar sin mayor problema los datos más relevantes del proceso físico. Para mayor información técnica del panel OLED, ver Anexo E.11.

4.2.3.5. Componentes de potencia

- **Establecer o interrumpir el paso de corriente:** Se selecciona un módulo relevador de estado sólido de cuatro canales, ya que se necesitan dos dispositivos de conmutación para el sistema de energía (Figura 27), y uno para activar notificación de un evento de derrame. Ver Tabla 38.

Tabla 38. Módulo relevador de 4 canales
Fuente: [63]

Proveedor	AliExpress	
Modelo	 Módulo Relevador SSR 4CH	
Modelo del relé	OMRON G3MB-202P-DC5	
Voltaje de alimentación	5 V	
Corriente máxima	48 mA	
Voltaje de control	ON (0 ~ 1.5 V)	OFF (2-5 V ~ 5 V)
Voltaje de la carga	240 VAC máx.	
Corriente de la carga	2A máx.	
Tiempo de acción	1 ms	

Para mayor información técnica del módulo relevador, ver el Anexo E.12.

- **Acondicionar energía:** Antes de seleccionar la fuente de alimentación principal, es necesario realizar un cálculo de la potencia consumida por los componentes seleccionados, este cálculo se muestra en la Tabla 39.

Tabla 39. Consumo de energía de los componentes seleccionados
Fuente: Elaboración propia

Bloque	Componente	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia consumida (W)
Sensores	Rosemount 0085	-	-	-
	FSS-NNTS-002	-	-	-
	F15I-ASTU	29.5	0.025	0.7375
	Módulo ZMPT101B	3.3	0.002	0.0066
Acondicionadores de señal	Módulo MAX3485EESA	3.3	0.0022	0.00726
	GP30-EVA-KIT	3.3	0.0000085	0.00002805
	DCPL2	29.5	0.07	2.03
	Escalador de voltaje	5	0.01	0.05
Controlador	ESP32 –WROOM-I	3.3	0.08	0.264
Actuadores	QLIGHT MFL125-R	12	0.255	3.06
	NX8048T050	5	0.410	2.05
Potencia	OMRON G3MB-202P-DC5	5	0.048	0.24
Total				8.45
Factor de seguridad				1.25
Potencia requerida				10.56

La potencia consumida hace un total de 8.45 W, considerando un factor de seguridad de 1.25, la potencia requerida para alimentar a todos los componentes es de 10.56 W. Por lo tanto, para seleccionar la fuente *switching* se deben seguir los siguientes criterios:

- (i) De montaje carril DIN para que pueda ser instalada dentro de un gabinete de control.
- (ii) Suministre una potencia de por lo menos 10.56 W.
- (iii) Suministre un voltaje de salida de 12V, por ser un valor más estándar para componentes eléctricos y electrónicos.
- (iv) Cuento con protección contra sobrecarga, corto circuito y exceso de temperatura.

A partir de estos criterios, se seleccionó la fuente que se muestra en la Tabla 40.

Tabla 40. Fuentes *switching* y llave térmica seleccionada
Fuente: [64]

Proveedor	DIGIKEY
Fabricante	Phoenix Contact Inc
Modelo	 STEP-PS/1AC/12DC/1
Dimensiones en mm (largo x ancho x alto)	60 x 18 x 90
Voltaje de entrada	85 ~ 264 VAC
Voltaje de salida	12 V \pm 1%
Potencia	12W
Temperatura de operación	-25 °C ~ +70 °C
Eficiencia	83%
Peso	0.07 kg

Para mayor información técnica de la fuente *switching*, ver el Anexo E.13.

El voltaje que entrega la fuente de alimentación principal debe de acondicionarse para energizar a todos los componentes seleccionados que requieren un voltaje diferente a 12V. Para ello, se ha diseñado fuentes reguladoras de voltaje haciendo uso de la herramienta “*WEBENCH Power Designer*” [65] de la compañía “*Texas Instruments*”. En la Tabla 41, se muestra la distribución de voltajes y corriente considerados en el diseño de las fuentes reguladoras.

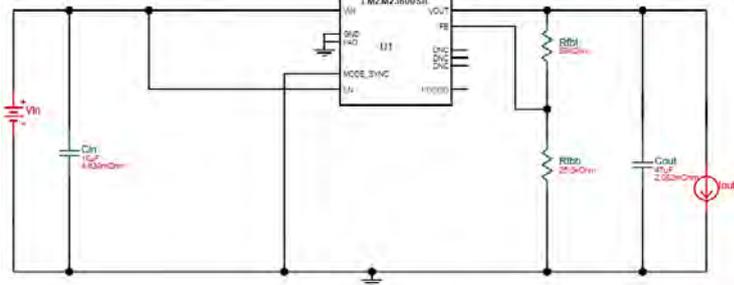
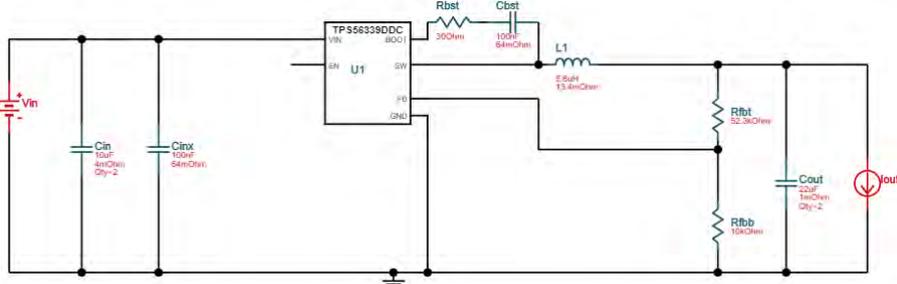
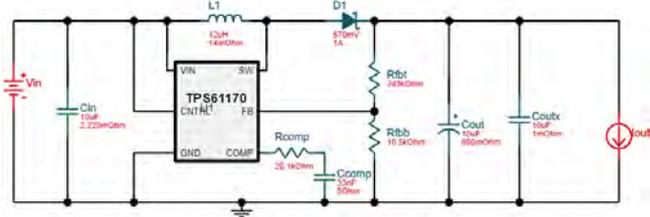
Tabla 41. Características de las fuentes reguladoras de voltaje
Fuente: Elaboración propia

Voltaje (V)	Corriente consumida (A)	Corriente para el diseño (A)
3.3	0.084	0.09
5V	0.42	0.5
29.5	0.095	0.1

Se ha considerado una corriente ligeramente superior, dado que las fuentes reguladoras tienen una eficiencia que oscila entre el 85% y 95%. En la Tabla 42, se muestra las fuentes reguladoras de voltajes.

Tabla 42. Fuentes reguladoras de voltaje

Fuente: [65]

Fuente 1	
Voltaje de salida	3.3 V
Corriente de salida	0.09 A
Eficiencia	86.7%
Cargas	ESP32-WROOM-I Módulo ZMPT101 Módulo MAX3485EESA Módulo TDC-GP30F1
Fuente 2	
Voltaje de salida	5 V
Corriente de salida	0.5 A
Eficiencia	96%
Carga	Escalador de voltaje Circuito divisor de voltaje (*) OMRON G3MB-202P-DC5
Fuente 3	
Voltaje de salida	29.5 V
Corriente de salida	0.1 A (máx.)
Eficiencia	92.6%
Carga	DCPL2

(*) Se va a utilizar un circuito divisor de voltaje para obtener el valor de 2.72V que requiere el circuito escalador de voltaje.

4.2.3.6. Componentes de energía

Se va a dimensionar el sistema solar fotovoltaico haciendo uso de la plataforma web de la empresa Delta Volt [66]. En la Tabla 43, se detallan los parámetros de diseño ingresados en esta plataforma web.

Tabla 43. Parámetros de diseño del sistema solar fotovoltaico
Fuente: Elaboración propia

Parámetro	Valor	Justificación
Potencia	12 W	Potencia de la fuente principal del sistema.
Horas de uso por día	24 h	En el peor de los casos, todos los componentes están encendidos.
Voltaje en baterías	12 V	Valor estándar para sistemas pequeños.
Días de autonomía	1	De acuerdo a la lista de exigencias.
Carga mínima permisible de baterías en % (SoC)	60%	Por recomendación, más del 60% se da en baterías de primera calidad.
Radiación solar del lugar	$5.2 \frac{kWh}{m^2}$	Este valor es el promedio en las regiones de Cusco, Ayacucho, Huancavelica y Ica de acuerdo al atlas solar del Perú [67]
Pérdida del sistema en %	16%	Este valor depende de la calidad de equipos y de los cables usados. Su valor mínimo es 8% y el máximo es 24%, por lo tanto, se elige el valor intermedio.

El resultado arroja que, para una potencia consumida diaria de 288 Wh, es necesario instalar un panel solar con una potencia mayor a 80 W, un controlador solar que soporte mínimo 6A y una batería de 50 Ah para garantizar una autonomía de 24 horas. A continuación, se seleccionan los componentes:

- **Transformar energía renovable en energía eléctrica:** Debido a los climas cálidos característicos de los departamentos de Cusco, Ayacucho, Huancavelica e Ica, por donde pasa el poliducto [68], se selecciona un panel solar de tipo policristalino para que pueda absorber el calor a una mayor velocidad sin que le afecte el sobrecalentamiento. Ver Tabla 44.

Tabla 44. Panel solar seleccionado
Fuente: [69]

Proveedor	Delta Volt SAC
Fabricante	Canadian Solar
Modelo	 CS6C-145
Número de celdas	36
Potencia máxima nominal	105 W
Tensión en el punto de máxima potencia	16.3 V
Corriente en el punto de máxima potencia	6.44 A
Grado de protección	IP67
Dimensiones en mm (largo x ancho x alto)	1485 x 666 x 40
Peso	12 kg

Para mayor información técnica del panel solar, ver Anexo E.14.

- **Regular y convertir carga:** Se selecciona un regulador de carga de tipo MPPT que gestiona de manera inteligente la carga y descarga de la batería, aumentando su vida útil, ver Tabla 45.

Tabla 45. Controlador BlueSolar MPPT 75/10

Fuente: [70]

Proveedor	AutoSolar Energía del Perú
Fabricante	Victron Energy
Modelo	 BlueSolar MPPT 75/10
Corriente de carga nominal	10A
Potencia máxima 12V	135 W
Autoconsumo	10 mA
Eficiencia máxima	98%
Grado de protección	IP22
Dimensiones en mm (largo x ancho x alto)	100 x 110 x 40
Peso	0.5 kg

Para mayor información técnica del controlador de cargar, ver Anexo E.15.

- **Almacenar carga:** Se selecciona una batería de tecnología “AGM (*absorbent glass mat*)” que no requiere de mantenimiento y es ideal para aplicaciones de carga permanente. Ver Tabla 46.

Tabla 46. Batería seleccionada

Fuente: [71]

Proveedor	AutoSolar Energía del Perú
Fabricante	VISION
Modelo	 6FM60D-X
Capacidad	60 Ah. (12 V)
Temperatura de operación	-20 °C ~ +60 °C
Auto descarga	3% de la capacidad disminuida por mes
Dimensiones en cm (largo x ancho x alto)	25.8 x 16.6 x 21.5
Peso	24 kg

Para mayor información técnica de la batería, ver Anexo E.16.

4.2.4. Placa electrónica principal

El esquemático de la placa principal se divide estratégicamente en bloques de acuerdo a su tipo.

- **Bloque de energización del sistema:** Compuesto por las fuentes de alimentación (primaria y secundaria), y las fuentes reguladoras de voltaje, ver Figura 30.

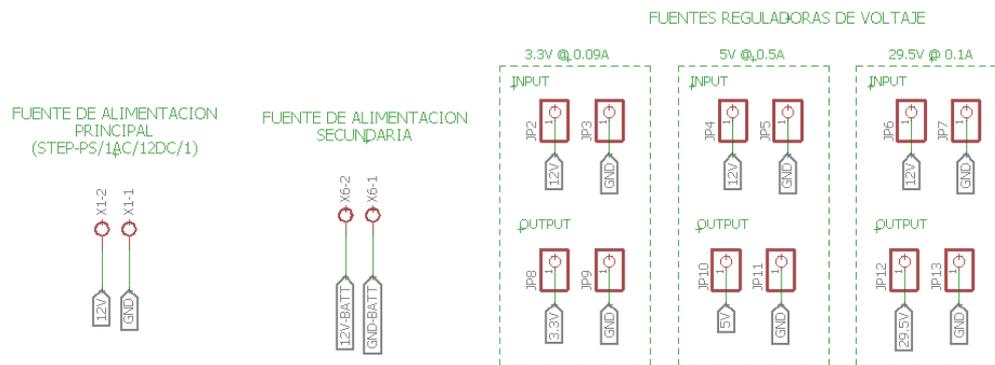


Figura 30. Bloque de energización del sistema
Fuente: Elaboración propia

- **Bloque de sensores:** Compuesto por los cuatro sensores seleccionados de voltaje AC, temperatura, ultrasonido y ruido acústico. Para establecer las señales y/o voltajes se ha seguido las especificaciones según la hoja de datos de cada sensor. Ver Figura 31.

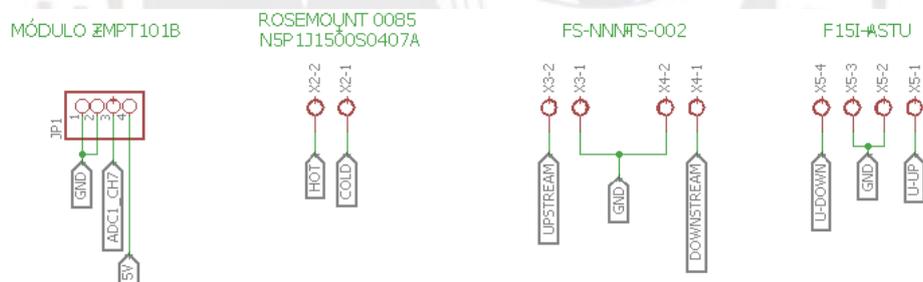


Figura 31. Bloque de sensores
Fuente: Elaboración propia

- **Bloque de acondicionadores de señales:** Compuesto por los esquemáticos de cada uno de los acondicionadores de señales. Cabe resaltar que: (i) el módulo MAX3485EESA tiene dos entradas para la comunicación por el protocolo MODBUS (A y B), y usa el UART2 para la comunicación con el controlador (RX1, TX1); (ii) el módulo TDC-GP30F1 recibe las señales de los sensores de ultrasonido y de temperatura, se comunica con el microcontrolador a través de la interfaz SPI para enviar los datos procesados de flujo, presión y temperatura; y (iii) el escalador de voltaje, se compone del amplificador operacional OPA357 recibe una señal de entrada analógica de amplitud máxima 29.5 V, y la señal de salida de amplitud máxima de 3 V va conectada al ADC2 del microcontrolador. Ver Figura 32.

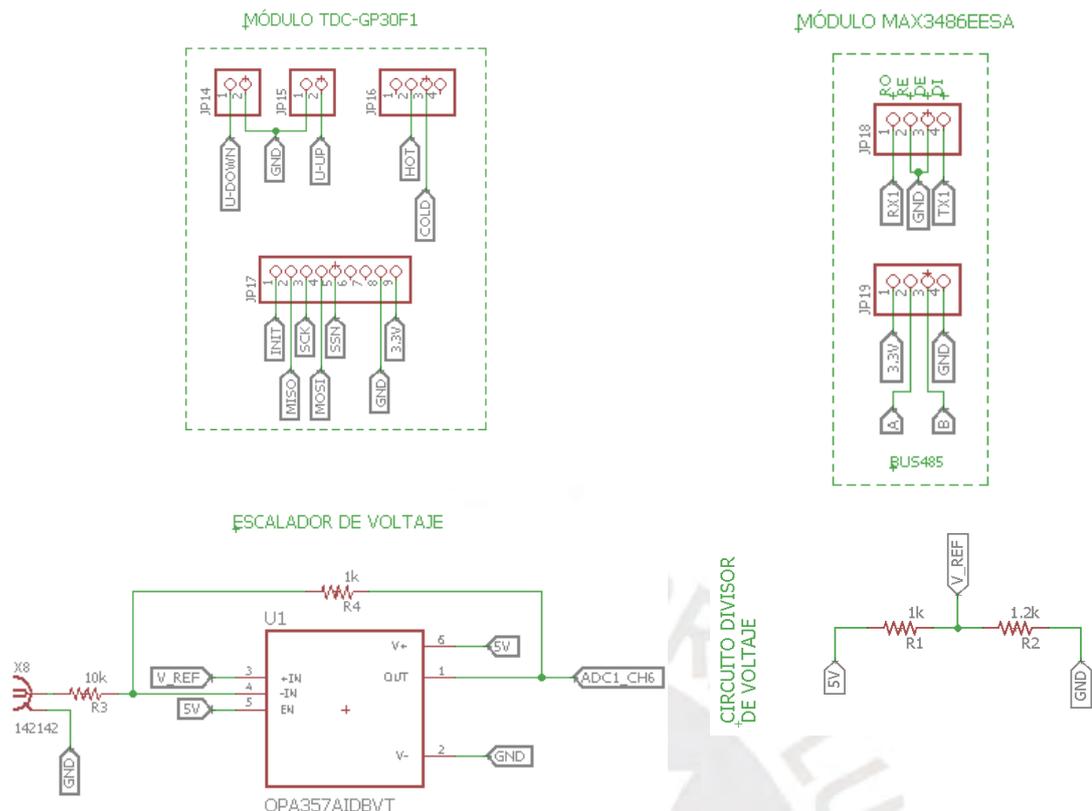


Figura 32. Bloque de acondicionadores de señales
Fuente: Elaboración propia

- **Bloque de actuadores:** Compuesto por los esquemáticos de cada uno de los actuadores. El NX8048T050 se alimenta con 5 V y usa el UART3 para la comunicación con el controlador (RX2, TX2). Para el caso del módulo relevador SSR 4CH, se alimenta también con 5 V y tiene 3 entradas digitales hacia el microcontrolador para activar: (i) la conexión de la fuente secundaria de alimentación (CH1 y CH2); y (ii) la circulina MF125-R (CH3). Ver Figura 33.

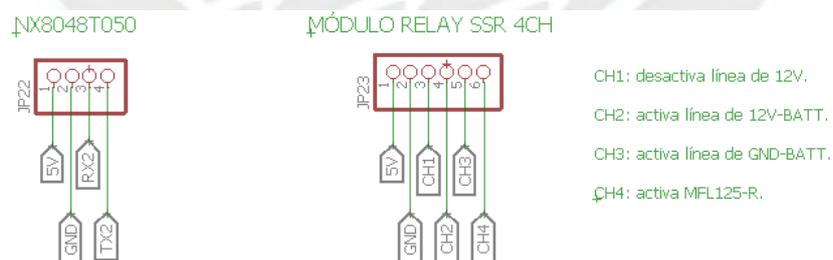


Figura 33. Bloque de actuadores
Fuente: Elaboración propia

- **Bloque de controlador:** Compuesto principalmente por el microcontrolador ESP32-WROVER-I. Se hace uso de las interfaces de comunicación: (i) UART, para Módulo MAX3486EESA (RX1, TX1) y NX8048T050 (RX2, TX2); y (ii) SPI, para el módulo TDC-GP30F1 (MISO, MOSI, SSN, SCK, INIT, RESET). Por otro lado, se utilizan entradas analógicas para el módulo ZMPT101B (ADC2) y el escalador de voltaje OPA357 (ADC2); y salidas digitales para el módulo relevador SSR 4CH (CH1, CH2 y CH3).

Cabe resaltar que las conexiones se han realizado en base a una previa revisión de la hoja de datos del microcontrolador. Ver Figura 34.

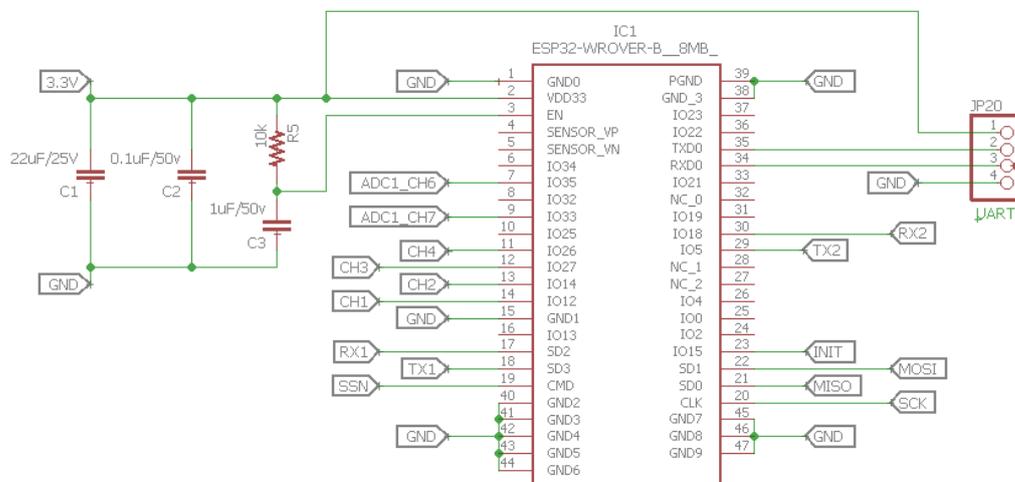


Figura 34. Bloque de controlador
Fuente: Elaboración propia

En el Anexo I.1 y I.2, se adjunta el plano electrónico que corresponden a las fuentes reguladoras de voltaje y a la placa electrónica principal.

4.2.5. Diagramas de flujo

4.2.5.1. General

El microcontrolador (ESP32-WROVER-I) cuenta con dos ADC de resolución de 12bits, lo cual permite obtener un amplio rango de valores desde 0 hasta 4095 [61]. Así mismo, permite realizar múltiples tareas en paralelo a través de FreeRTOS, que es un sistema operativo en tiempo real que gestiona el tiempo y los recursos para obtener resultados exactos en el tiempo.

Previo a la programación de las tareas, es necesario configurar los puertos analógicos y digitales del microcontrolador, definir las interfaces de comunicación que se van a necesitar, y establecer parámetros relacionados a la conexión Wi-Fi (SSID, Password) y la conexión con el sistema ciber (*endpoint*, puerto, certificados TLS, *topics*)

Las tareas que se van a ejecutar son las siguientes: (i) verificar conexión Wi-Fi, (ii) verificar conexión con el sistema ciber, (iii) verificar estado de alimentación primaria, (iv) Leer datos de sistema SCADA, (v) adquirir datos de temperatura, flujo y presión, (vi) adquirir datos de ruido acústico, (vii) mostrar datos almacenados en memoria, (viii) enviar datos al sistema ciber, (ix) alertar de evento de derrame.

En la Figura 35, se muestra el diagrama de flujo general.

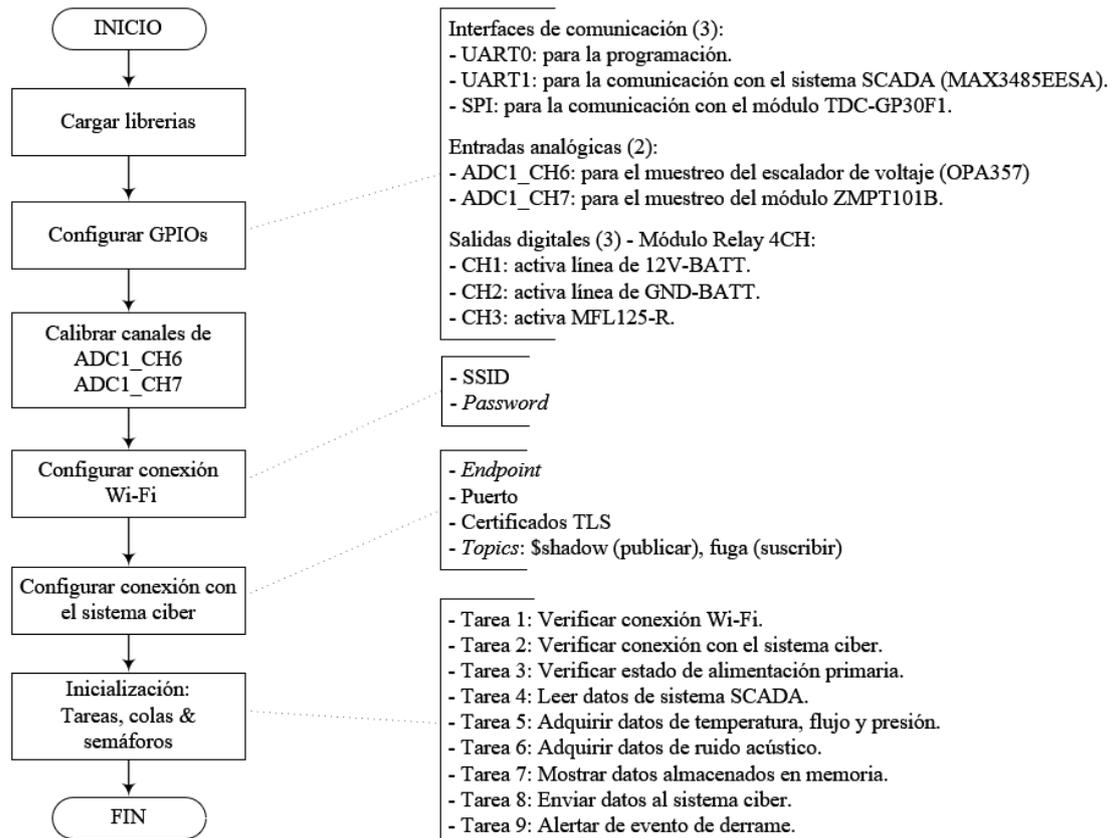


Figura 35. Diagrama de flujo general
Fuente: Elaboración propia

4.2.5.2. Verificar conexión Wi-Fi

Esta tarea consiste en verificar periódicamente que el microcontrolador tenga conexión Wi-Fi. En caso que si lo tenga, la tarea se detiene por 10 segundos y se vuelve a ejecutar. En caso contrario, intentará por un tiempo reconectarse hasta que se establezca la conexión, sino el microcontrolador entrará en un modo “*deepSleep*” por 20 segundos. Ver Figura 36.

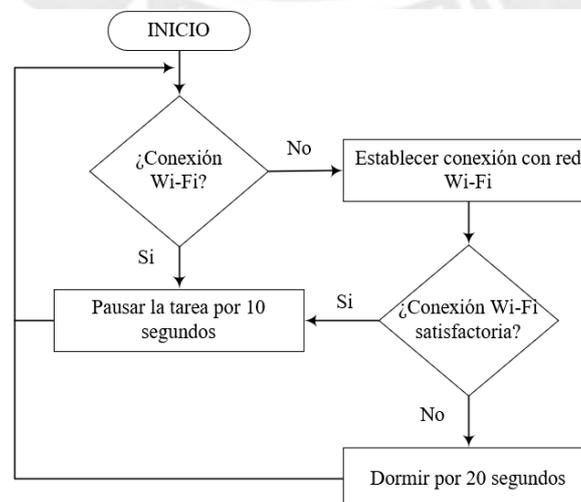


Figura 36. Diagrama de flujo - Verificar conexión Wi-Fi
Fuente: Elaboración propia

4.2.5.3. Verificar conexión con el sistema ciber

Esta tarea consiste en verificar periódicamente la conexión con el sistema ciber. En caso que si lo tenga, la tarea se detiene por 5 segundos. En caso contrario, se verifica que exista la conexión Wi-Fi para luego intentar por un tiempo reconectarse al sistema ciber en caso positivo o para pausar la tarea por 5 segundos en caso negativo. Sea cual fuera el caso, se realiza una nueva verificación de la conexión con el sistema ciber para detener o volver a intentar la reconexión en 3 segundos. Ver Figura 37.

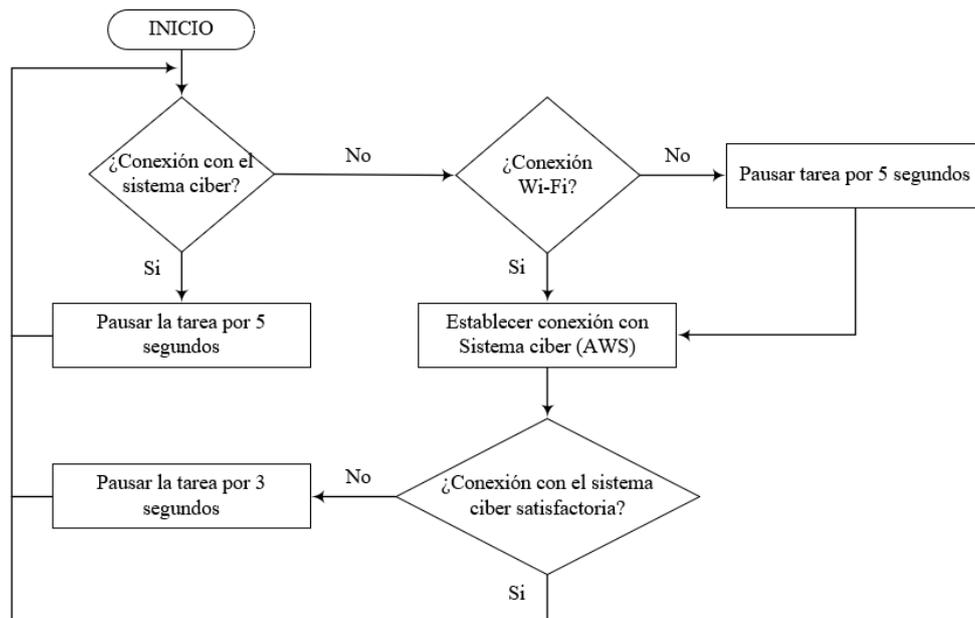


Figura 37. Diagrama de flujo - Verificar conexión con el sistema ciber
Fuente: Elaboración propia

4.2.5.4. Verificar estado de alimentación primaria

Esta tarea consiste en verificar en todo momento la amplitud del voltaje RMS de la fuente de alimentación primaria por medio del sensor ZMPT101 que deberá estar conectado al ADC1_CH7 del microcontrolador para la lectura de datos. A estos datos se le aplica una fórmula matemática para obtener un valor aproximado del voltaje RMS.

En esta tarea se aplican los principios de funcionamiento, de histéresis (niveles TTL), y de diferencias de frecuencia entre el microcontrolador (80 MHz) y la energía eléctrica (60 Hz), descritos en la Unidad de suministro de energía de la sección 4.2.2. Por lo tanto, cuando el valor del voltaje RMS sea menor a 200, será interpretado como el inicio de una posible caída de voltaje, en ese caso se conmutará de forma inmediata a la fuente de alimentación secundaria a través del cambio del estado de tres GPIO (14, 13 y 12) que van conectados a la salida de tres canales del módulo relevador 4CH y la tarea se detendrá por 1 hora y se volverá a ejecutar. Ver Figura 38.

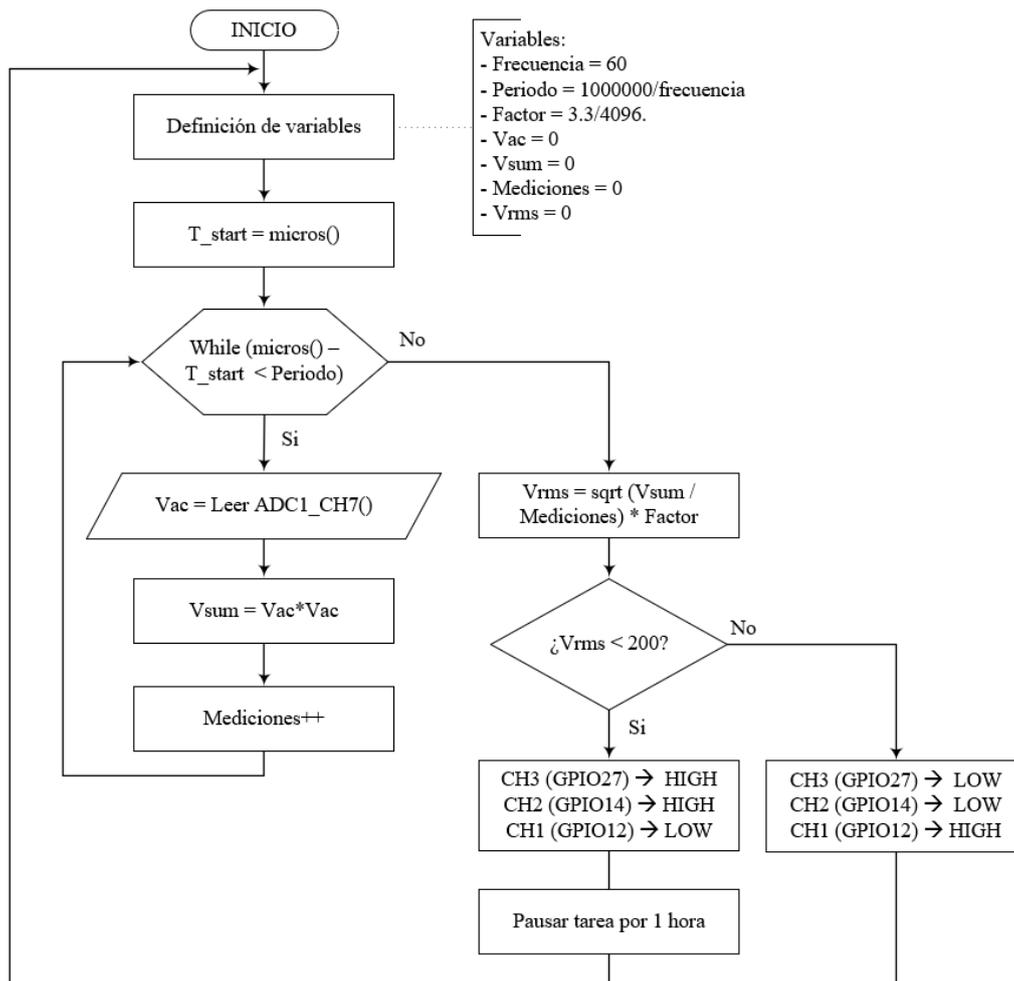
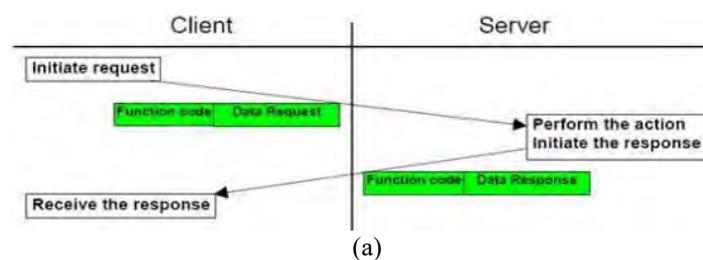


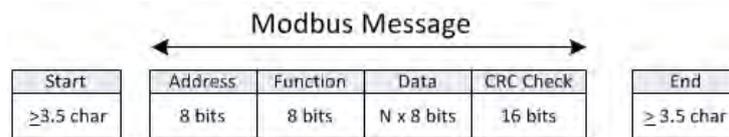
Figura 38. Diagrama de flujo - Verificar estado de alimentación primaria
Fuente: Elaboración propia

4.2.5.5. Leer datos de sistema SCADA

Esta tarea se ejecuta cada 5 segundos y consiste en adquirir datos de los sensores del STD comandado por el sistema SCADA. El microcontrolador (cliente) y la unidad terminal remota (RTU) del Sistema SCADA (servidor) intercambian información, por medio de una petición y respuesta; esta petición (MODBUS *message*) tiene una estructura especial como se muestra en la ver Figura 39.

El intercambio de datos se realiza a través del MAX3486EESA que captura la información solicitada por el controlador hacia el RTU y la representa en valores digitales, para que luego sean almacenados en el controlador, ver Figura 40.





(b)

Figura 39. Protocolo MODBUS
(a) Transacción básica, (b) Estructura de un mensaje
Fuente: [72]

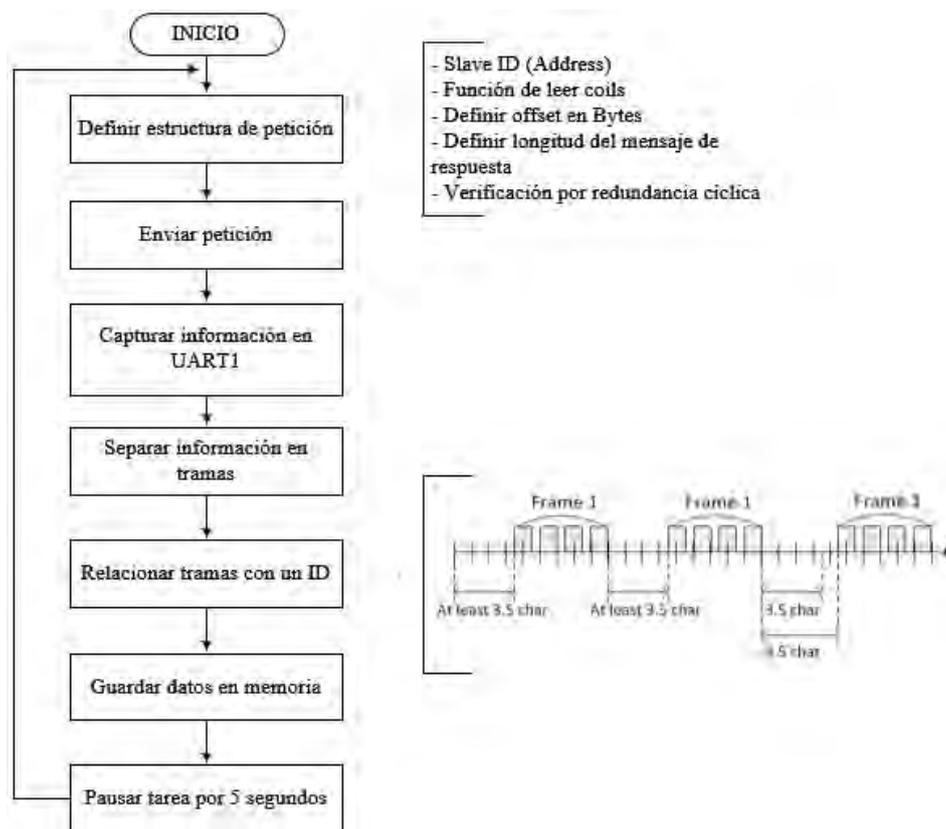


Figura 40. Diagrama de flujo - Leer datos de sistema SCADA
Fuente: Elaboración propia

4.2.5.6. Adquirir datos de temperatura, flujo y presión

Esta tarea se ejecuta a través del módulo TDC-GP30F1, al que se le conectan: (i) el sensor de temperatura (Rosemount 0085 N5P1J1500S0407A) y los sensores ultrasónicos (Flexim FSQ-NNTS-002). Cabe mencionar que este módulo tiene su propia interfaz de programación, comunicación y un algoritmo especializado para ejecutar dicha tarea.

Por el lado del microcontrolador, este se encarga de enviar la instrucción para luego recibir los datos por la interfaz SPI y guardarlos en memoria para su posterior procesamiento. En la Figura 41, se muestra el diagrama de flujo de la tarea, siguiendo la hoja de datos del módulo TDC-GP30F1 [54] y la lógica del microcontrolador ESP32-WROVER-I.

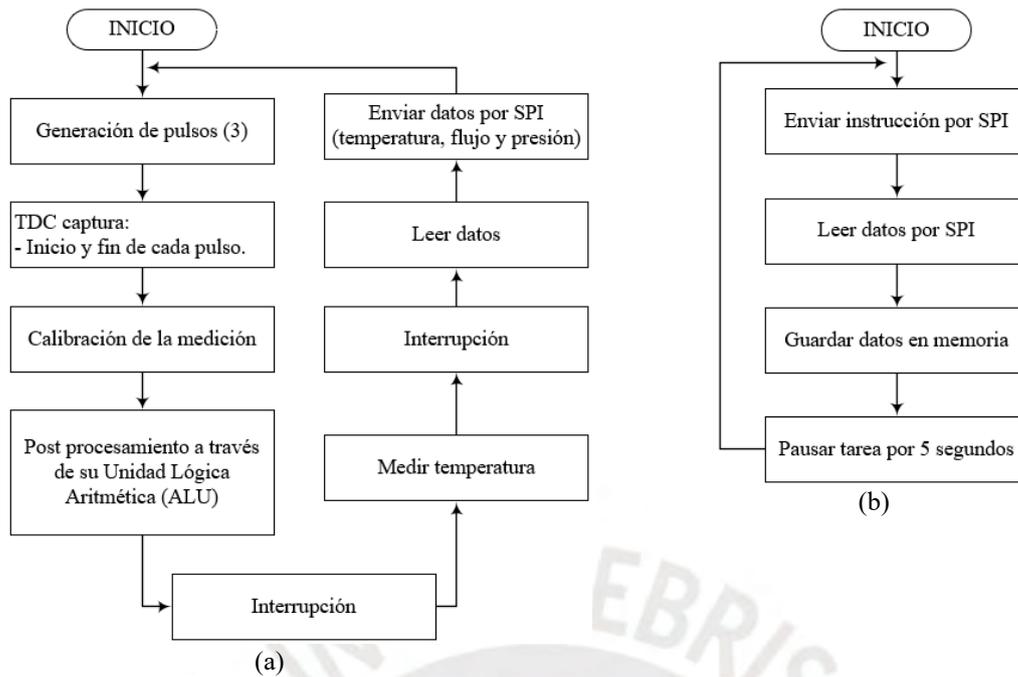


Figura 41. Diagrama de flujo - Adquirir datos de temperatura, flujo y presión
(a) TDC-GP30F1, (b) ESP32-WROVER-I
Fuente: Elaboración propia

4.2.5.7. Adquirir datos de ruido acústico

Esta tarea se ejecuta a una frecuencia de 415 kHz por medio de un “*timer*” y consiste en: (i) adquirir muestras de ruido acústico por un periodo de 5 segundos a través del ADC1_CH6 del microcontrolador, (ii) convertir el espacio de muestras en espectro de frecuencias utilizando una función de transformada discreta de Fourier, y (iii) almacenar el resultado en la memoria del controlador. Ver Figura 42.

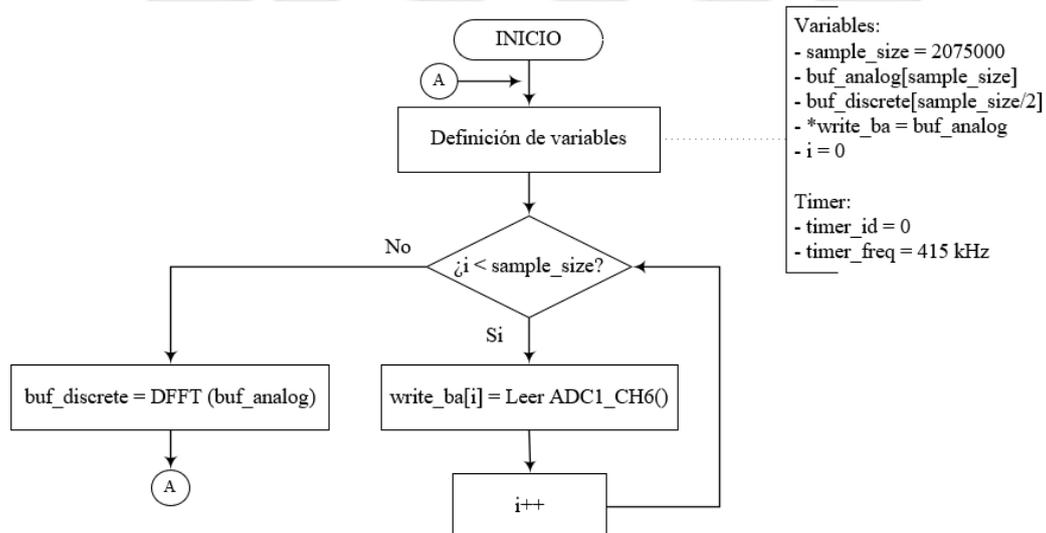


Figura 42. Diagrama de flujo - Adquirir datos de ruido acústico
Fuente: Elaboración propia

4.2.5.8. Mostrar datos almacenados en memoria

Esta tarea consiste leer los datos almacenados en memoria, encapsularlos y enviarlos por el UART2 hacia el panel OLED (NX8048T050). Cabe resaltar que el panel OLED cuenta con su propia interfaz de programación, lo cual permite personalizar lo que se va a mostrar en su pantalla. Ver Figura 43.

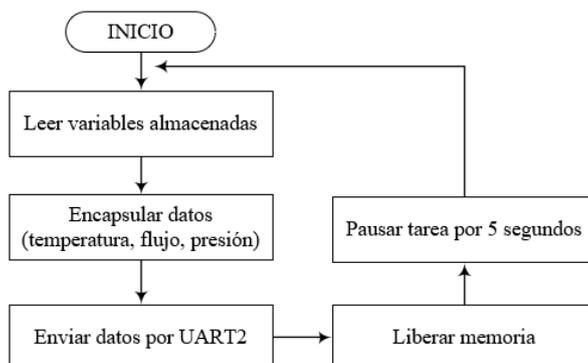


Figura 43. Diagrama de flujo - Mostrar datos almacenados en memoria
Fuente: Elaboración propia

4.2.5.9. Enviar datos al sistema ciber

Esta tarea no inicia hasta que los datos (temperatura, flujo, presión, ruido acústico) se encuentren disponibles, lo cual implica que las tareas anteriores hayan finalizado correctamente; de ser el caso, se verifica la conexión Wi-Fi y la conexión con el sistema ciber, de cumplir esa condición se encapsulan los datos almacenados en memoria (formato JSON) para luego enviarlos al sistema ciber mediante el protocolo MQTT; de lo contrario estos datos se descartan. Ver Figura 44.

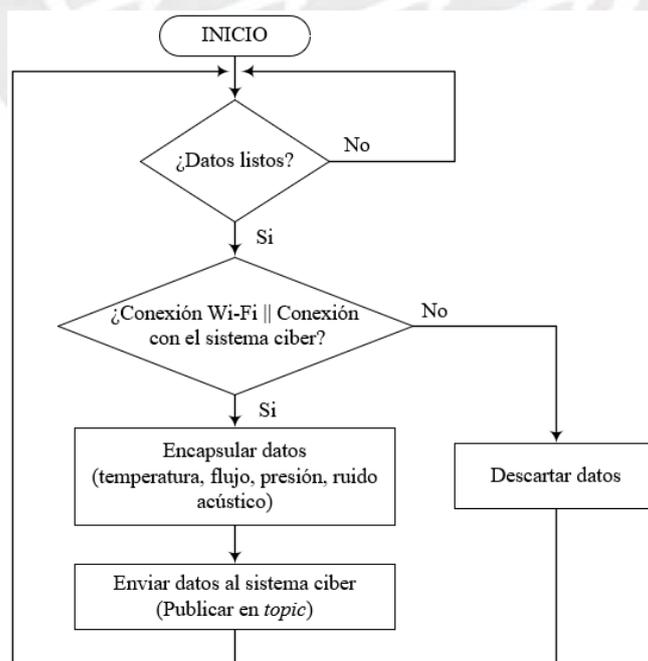


Figura 44. Diagrama de flujo - Enviar datos al sistema ciber
Fuente: Elaboración propia

4.2.5.10. Alertar de evento de derrame

Esta tarea se ejecuta si y solo si se recibe algún dato en el *topic* “*alert*”. Consiste en interpretar si existen valores fuera de los límites máximos permisibles de temperatura, flujo y presión, de ser el caso se conmutar una de las entradas del módulo relevador lo cual activa la circulina. Ver Figura 45.

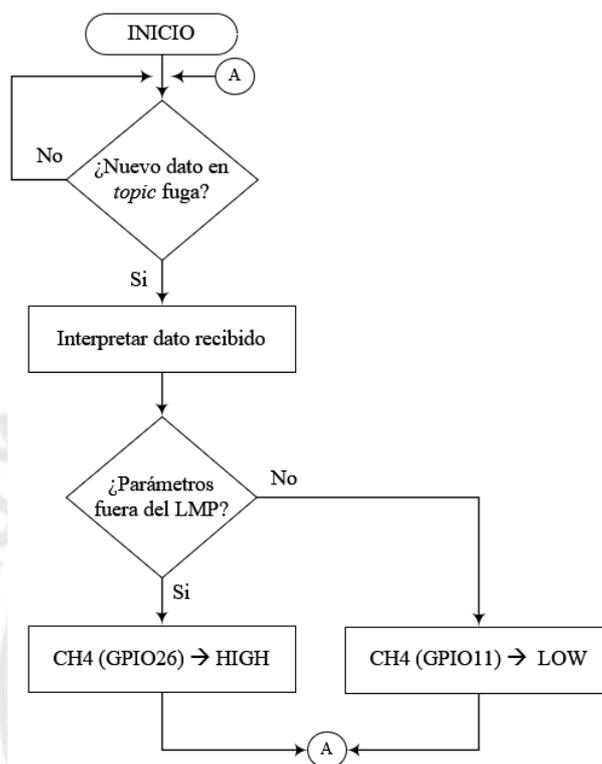


Figura 45. Diagrama de flujo - Alertar de evento de derrame
Fuente: Elaboración propia

4.3. Diseño del sistema físico: mecánico

4.3.1. Selección de componentes

4.3.1.1. Gabinete de control

Es importante listar todos aquellos componentes que irán dentro del gabinete de control teniendo en cuenta sus respectivas dimensiones y peso, ver Tabla 47.

Tabla 47. Componentes internos previstos para el gabinete de control
Fuente: Elaboración propia

Componentes	Dimensiones en mm (largo x ancho x alto)	Peso (kg)
NX8048K070	133.5 x 84 x 04	0.4
STEP-PS/1AC/12DC/1	60 x 18 x 90	0.5
BlueSolar MPPT 75/10	100 x 110 x 40	0.07
6FM60D-X	258 x 166 x 215	24
TOTAL		24.97

El gabinete de control ha sido seleccionado teniendo en cuenta: (i) la lista de exigencias, en el que se especifica el grado de seguridad NEMA 4X, y (ii) las dimensiones de los componentes que irán dentro del gabinete de control. En la Tabla 48, se presentan las características del gabinete seleccionado.

Tabla 48. Gabinete de control seleccionado
Fuente: [73]

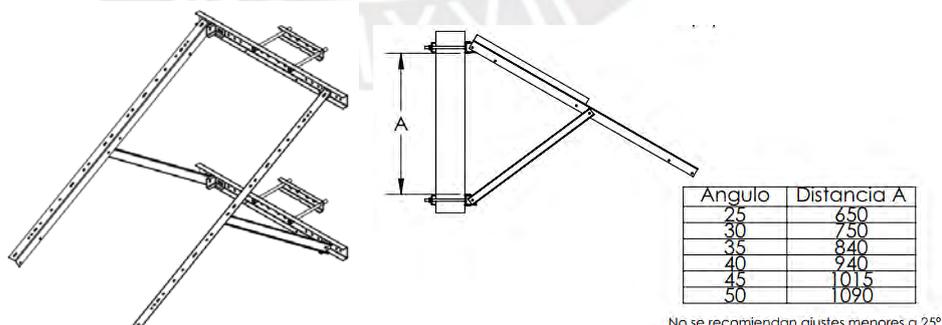
Proveedor	DICOM INGENIEROS
Marca	Wiegmann
Modelo	 BN4141206CHQTSS
Altura	355.6 mm
Ancho	304.8 mm
Profundidad	152.4 mm
Material	Acero Inoxidable 316 L
Peso	8.2 kg

Para mayor información técnica del gabinete de control, ver Anexo E.17.

4.3.1.2. Soporte panel solar

El soporte para el panel solar ha sido seleccionado, teniendo en cuenta las dimensiones del panel solar que se ha seleccionado. En la Tabla 49, se presentan las características del soporte seleccionado.

Tabla 49. Soporte de panel solar seleccionado
Fuente: [74]

Fabricante	EPCOM Industrial
Modelo	 SSPBLV4
Material	Lámina de Acero inoxidable rolado

Para mayor información técnica del soporte del panel solar, ver Anexo E.18.

4.3.1.3. Soporte de la estructura

La selección del mástil se basa en los siguientes criterios: (i) su aplicación para la fijación y soporte de puntas captadoras y un panel solar, (ii) que este tenga alta resistencia en exposición al viento, y (iii) gran durabilidad a la corrosión. En base a estos criterios, los elementos de soporte se muestran en la Tabla 50 y Tabla 51.

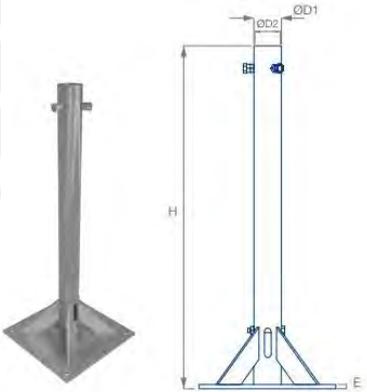
Tabla 50. Mástil seleccionado

Fuente: [75]

Proveedor	ISA INDUSTRIAL
Fabricante	INGESCO LIGHTNING SOLUTIONS
Modelo	 <p>3m Ø1'1/2" unión interior IN</p>
Material	Acero inoxidable
Diámetro exterior (D1)	48 mm
Diámetro interior (D2)	38 mm
Espesor	4.95 mm
Longitud (L)	3000 mm
Peso	9 kg

Tabla 51. Soporte de mástil seleccionado

Fuente: [75]

Proveedor	ISA INDUSTRIAL
Fabricante	INGESCO LIGHTNING SOLUTIONS
Modelo	 <p>Soporte placa base simple Ø1'1/2" IN</p>
Material	Acero galvanizado
Altura	758 mm
Diámetro exterior (D1)	60 mm
Diámetro interior (D2)	53 mm
Peso	12.5 kg

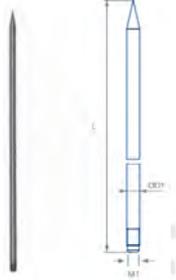
Para mayor información técnica del mástil y del soporte del mástil, ver Anexo E.19.

4.3.1.4. Protección contra rayos

En la Tabla 52 se presentan los elementos protectores contra cargas estáticas a la estructura.

Tabla 52. Elementos protectores contra cargas estáticas seleccionados

Fuente: [75]

Proveedor	ISA INDUSTRIAL	
Fabricante	INGESCO LIGHTNING SOLUTIONS	
Descripción gráfica		
	Punta captadora IN300-16	Pieza de adaptación 1" Ø16RD
Material	Acero inoxidable	Acero inoxidable
Longitud (L / H)	300 mm	80 mm
Diámetro exterior (D1)	16 mm	26 mm
Diámetro interior (D2)	-	12 mm
Rosca interna (M1)	M16	M16
Peso	420 g	316 g

Para mayor información técnica de la punta captadora de rayos, ver Anexo E.20.

4.3.2. Principales cálculos

4.3.2.1. Cálculo del peso

Se considera que la fuerza de la gravedad sobre un kilogramo de masa es aproximadamente 9.81 N. En la Tabla 53, se muestra el cálculo del peso de cada elemento del sistema físico.

Tabla 53. Cálculo del peso
Fuente: Elaboración propia

Parámetro	Valor	Justificación
Peso del mástil y elementos protectores (P_m)	129.85 N	De acuerdo a la Tablas Tabla 50 y Tabla 52.
Peso del gabinete de control y sus elementos internos (P_g)	180.44 N	De acuerdo a la Tabla 48
Peso del panel solar (P_g)	117.72 N	De acuerdo a la Tabla 44.

4.3.2.2. Cálculo de cargas eólicas

De acuerdo a la Norma Técnica Peruana de Edificaciones para Cargas (Norma E.020) [76], que en su artículo 12 establece las generalidades para calcular: (i) las velocidades de diseño del viento; y (ii) las cargas debidas al viento en estructuras. En la Tabla 54 se muestra el procedimiento para el cálculo de la velocidad de diseño del viento en el mástil, el gabinete de control, y el panel solar.

Tabla 54. Cálculo de velocidades de diseño del viento
Fuente: Elaboración propia

Parámetro	Valor	Justificación
Velocidad de diseño hasta 10 m de altura en km/h (V)	18 km/h	El valor máximo de la velocidad media anual del viento a 10m de acuerdo al Atlas Eólico del Perú (2016) [77] en las zonas de cobertura del proyecto de Camisea es de 5 m/s (Ver Figura 46).
Clasificación de la estructura general	Tipo 2	En vista a la esbeltez de la estructura, hace que sea sensible a las ráfagas de viento.
Altura del mástil sobre el terreno (h_m)	3.758 m	Altura del mástil junto con el soporte seleccionado. Se desprecia la punta captadora de rayos debido a su área muy pequeña de impacto con el aire.
Altura del gabinete de control sobre el terreno (h_g)	1.6 m	Con este valor se garantiza una altura ergonómica para manipular el gabinete de control. Además, de acuerdo a la regla 060-706 del Código Nacional de Electricidad del MINEM [78], debe mantenerse entre los conductores de los sistemas captadores de rayos y los equipos eléctricos una distancia de seguridad de por lo menos 2m.
Altura del panel solar sobre el terreno (h_p)	2.4 m	Debido a la ubicación del gabinete de control y la altura que tiene el soporte para panel solar.
Velocidad de diseño en altura para el mástil (V_m)	14.51 km/h	Resultados de fórmula según la norma: $V_x = V \times \left(\frac{h_x}{10}\right)^{0.22}$
Velocidad de diseño para el gabinete de control (V_g)	12.03 km/h	
Velocidad de diseño para el panel solar (V_p)	13.15 km/h	

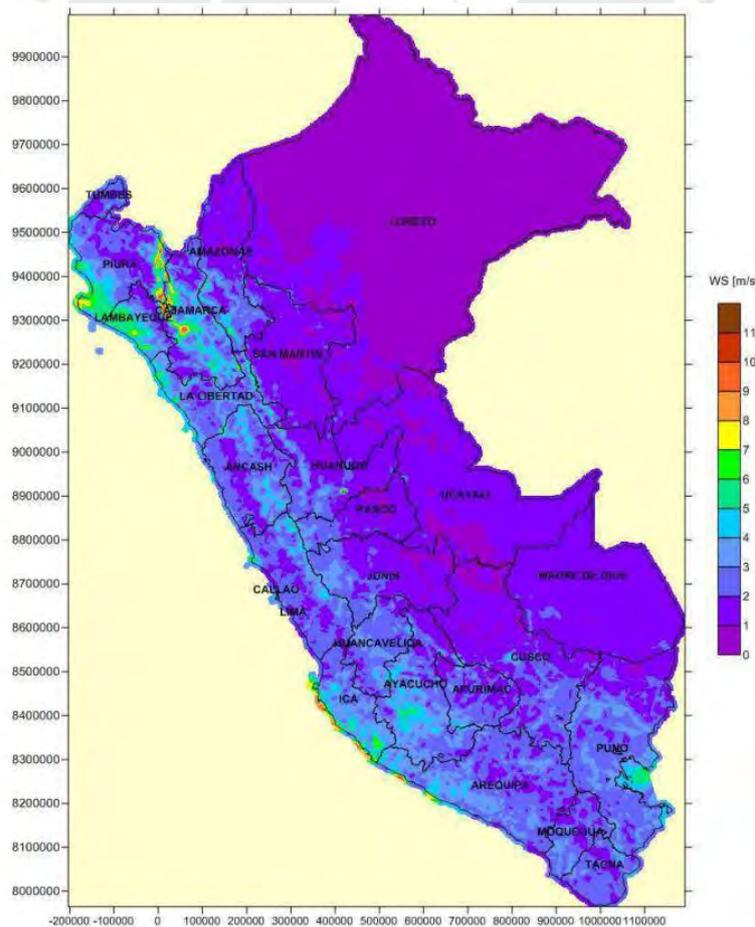
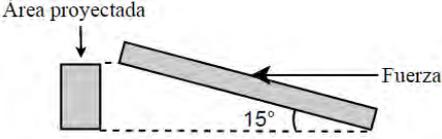


Figura 46. Velocidad media anual del viento a 10 metros
Fuente: Atlas eólico del Perú (2016)

En la Tabla 55 se muestra el cálculo de las cargas debido al viento en la estructura y en cada uno de los elementos montados al mástil. Cabe destacar estas cargas se están considerando estáticas y perpendiculares a la superficie sobre la cual actúe.

Tabla 55. Cálculo de las cargas debido al viento en los elementos de la estructura
Fuente: Elaboración propia

Parámetro	Valor	Justificación
Superficie transversal máxima del mástil (A_m)	0.18 m^2	De acuerdo a la Tabla 50 y Tabla 51, el área del mástil junto con el soporte es un rectángulo. $A_m = 48 \text{ mm} \times (3000 + 758) \text{ mm} \times \left[\frac{1 \text{ m}}{1000 \text{ mm}} \right]^2$
Superficie transversal máxima del gabinete de control (A_g)	0.108 m^2	De la Tabla 48, el área del gabinete de control es un rectángulo. $A_g = 355.6 \text{ mm} \times 304.8 \text{ mm} \times \left[\frac{1 \text{ m}}{1000 \text{ mm}} \right]^2$
Superficie transversal máxima del panel solar (A_p)	0.256 m^2	De acuerdo a la Tabla 44, el área del panel solar es un rectángulo proyectado. $A_p = 1485 \text{ mm} \times 666 \text{ mm} \times \text{sen}(15^\circ)$ 
Factor de forma adimensional del mástil (C_m)	1.5	Elemento con una dimensión corta en la dirección del viento.
Factor de forma adimensional del gabinete de control (C_g)	0.8	Considerado como una superficie vertical en barlovento.
Factor de forma adimensional del panel solar (C_p)	0.7	Considerado como una superficie con una inclinación de entre 15° y 60° en barlovento.
Presión del aire en el mástil (P_m)	1.89 kg/m^2	Resultados de la fórmula según la norma: $P_x = 0.005 \times C_x \times V_x^2 \times F$ Se está considerando un factor de seguridad (F) con un valor de 1.2, en vista que la clasificación de la estructura de Tipo 2.
Presión del aire en el gabinete de control (P_g)	0.69 kg/m^2	
Presión del aire en el panel solar (P_p)	0.73 kg/m^2	
Carga del viento en el mástil (F_m)	3.34 N	Resultados de la fórmula para convertir la carga distribuida en una carga puntual en el centroide de cada elemento: $F_x = P_x \times A_x \times \frac{9.81 \text{ N}}{\text{kgf}}$
Carga del viento en el gabinete de control (F_g)	0.73 N	
Carga del viento en el panel (F_p)	1.83 N	

4.3.2.3. Cálculo de resistencia del mástil

La metodología para determinar la resistencia del mástil consiste comparar el momento flector admisible de la sección de mástil con el momento flector que se genera debido al traslado de todas las fuerzas que afectan al mástil hacia el punto de apoyo del mástil. En resumen: $M_{adm\ mástil} > \sum M$.

Respetando la geometría y posición de cada uno de los componentes seleccionados, se muestra una representación gráfica de las fuerzas que afectan al mástil, ver Figura 47.

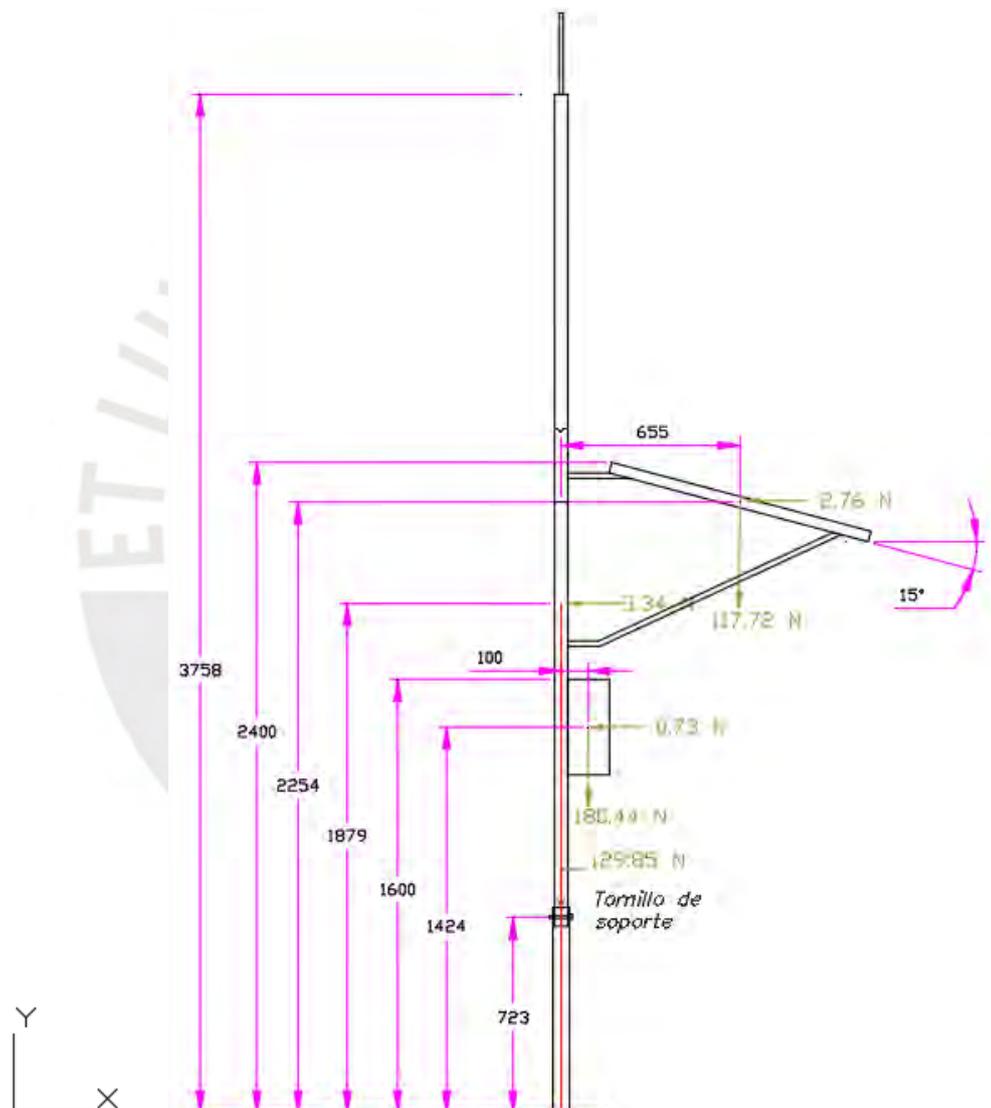


Figura 47. Representación de fuerzas que afectan al mástil

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 56 se detalla todos los momentos generados por el traslado de fuerzas hacia el punto de apoyo, donde se encuentra un tornillo de soporte.

Tabla 56. Cálculo de momentos flectores
Fuente: Elaboración propia

Parámetro	Valor	Justificación
Momento generado por el mástil (M_m)	$+3861.04\vec{k} \text{ Nmm}$	$M_m = [(1879 - 723)\vec{j}]mm$ $\times [-3.34\vec{i}, -129.85\vec{j}] N$
Momento generado por el gabinete de control (M_g)	$-17532.27\vec{k} \text{ Nmm}$	$M_g = [100\vec{i}, (1424 - 723)\vec{j}]mm$ $\times [-0.73\vec{i}, -180.44\vec{j}] N$
Momento generado por el panel solar (M_p)	$-72881.04\vec{k} \text{ Nmm}$	$M_p = [655\vec{i}, (2254 - 723)\vec{j}]mm$ $\times [-2.76\vec{i}, -117.72\vec{j}] N$
Sumatoria de los momentos ($\Sigma \vec{M}$)	$-70773.27\vec{k} \text{ Nmm}$	$\Sigma \vec{M} = M_m + M_p + M_g$

En la Tabla 57 se detalla el cálculo del momento flector admisible por el mástil de acero 316L.

Tabla 57. Cálculo del momento flector admisible por el mástil
Fuente: Elaboración propia

Parámetro	Valor	Justificación
Momento de inercia de flexión (I_f)	158222.387 mm^4	De la fórmula: $I_f = \frac{\pi \times (d_{ext}^4 - d_{int}^4)}{64}$ De la Tabla 50, se conoce: $d_{ext} = 48 \text{ mm}$ $d_{int} = 38 \text{ mm}$
Momento de flexión elástico (S_f)	6592.6 mm^3	De la fórmula: $S_f = \frac{I_f}{r_{ext}}$ $r_{ext} = \frac{d_{ext}}{2} = 24 \text{ mm}$
Límite elástico ($\sigma_{0.2}$)	262 N/mm^2	De acuerdo con la norma ASTM A240 para el acero 316L.
Factor de seguridad ($F.S$)	2.5	Valor recomendado para estructura estáticas bajo cargas estáticas fabricadas de un material dúctil.
Momento flector límite	690904 Nmm	De la fórmula: $M_{adm \text{ mastil}} = \frac{\sigma_{0.2}}{F.S} \times S_f$

Se puede comprobar que $M_{adm \text{ mastil}} > |\Sigma M|$. En conclusión, el mástil no falla ante las fuerzas del viento y el peso de los elementos montados.

4.3.3. Plano mecánico principal

En el Anexo I.3, se presente el plano de ensamble general de la estación de monitoreo.

4.4. Diseño del sistema ciber: Arquitectura de *cloud computing*

4.4.1. Paso 1: Revisión de las entradas

Luego de tener definido los requerimientos del sistema ciber (sección 3.2), el proceso iterativo empieza con definir las entradas que serán considerados como “*drivers*” para la arquitectura de *cloud computing*, ver Tabla 58.

Tabla 58. Descripción de los drivers arquitecturales
Fuente: Elaboración propia

Categoría	Descripción		
Propósito de diseño	Elaborar una arquitectura lo suficientemente detallada que permita iterar fácilmente a medida que el proyecto va adquiriendo mayor complejidad en cuanto a procesamiento de datos.		
Requerimientos funcionales primarios	Todos casos de uso detallados en la Tabla 18 han sido considerados primarios, dado que están directamente relacionados con el propósito de la presente tesis.		
Escenarios de atributos de calidad	Todos los escenarios de atributos de calidad detallados en la Tabla 19 son evaluados en base a la importancia para el usuario y la dificultad para su implementación.		
	ID	Importancia para el usuario	Dificultad de implementación según el arquitecto
	QA-1	Alto	Bajo
	QA-2	Alto	Alto
	QA-3	Alto	Medio
	QA-4	Alto	Medio
	Finalmente, todos los escenarios de atributos de calidad han sido considerados como <i>drivers</i> .		
Restricciones	Todas las restricciones detalladas en la Tabla 20 son seleccionadas como <i>drivers</i> .		
Preocupaciones arquitecturales	Todas las preocupaciones arquitecturales detalladas en la Tabla 21 son seleccionados como <i>drivers</i> .		

4.4.2. Iteración 1: Estructura general del sistema

4.4.2.1. Paso 2: Establecer el objetivo de la iteración por medio de la selección de *drivers*

El objetivo de esta primera iteración es resolver la preocupación arquitectural CRN-1, y establecer una estructura general para el sistema. Así mismo, se ha tenido en cuenta los siguientes *drivers* que influyen en dicho objetivo:

- CON-3: Protocolo de comunicación orientado a IoT.
- CON-4: El acceso al sistema debe ser a través de un navegador web.
- QA-1,2: Rendimiento.
- QA-3: Escalabilidad.
- QA-4: Disponibilidad.

4.4.2.2. Paso 3: Escoger uno o más elementos para ser refinados

Por tratarse de la primera iteración, el elemento a refinar es todo el sistema.

4.4.2.3. Paso 4: Escoger uno o más conceptos de diseño para satisfacer los *drivers* seleccionados

Los conceptos de diseño aplicados en esta iteración se muestran en la Tabla 59.

Tabla 59. Decisiones de diseño - Iteración 1
Fuente: Elaboración

Decisiones de diseño y alojamiento	<i>Rationale</i>								
Definir una arquitectura basada en capas	<p>En vista que se requiere un sistema que recolecte datos de múltiples estaciones de monitoreo, los cuales deberán ser procesados, transformados y presentados a través de un <i>Dashboard</i> a usuarios administrados por el arquitecto de soluciones. Se cree conveniente definir las siguientes capas de la arquitectura:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Capa de ingesta y analítica, en la que se deberá implementar el patrón arquitectural “<i>Broker</i>”, dado que está orientado a sistemas distribuidos, en los cuales los componentes tanto externos (sistema físico) como internos (sistema ciber) son independientes, pero cooperan para proporcionar un servicio general (UC-1). Esa característica es trascendental para cumplir con los atributos de calidad QA-1,3. 2. Capa de ETL (“<i>extract, transform and load</i>”), en la que se deberá implementar el patrón arquitectural “<i>ETL</i>”, en vista que se requiere un sistema que soporte múltiples fuentes de datos semiestructurados. Esta característica refuerza los estándares de consistencia y calidad de los datos (QA-3,4), para que estos tengan un formato adecuado para su posterior presentación. 3. Capa de presentación, en la que se deberá implementar una herramienta de visualización de los datos en tiempo casi real (QA-2) y que además permita a usuarios registrados acceder a un <i>Dashboard</i> personalizable (UC-3). 4. Capa de monitoreo, en la que se deberá implementar servicio(s) que proporcionen: (i) gestión de notificaciones por SMS y/o correo electrónico en caso de caída de algún de los servicios y anomalía en los datos (UC-4); (ii) acceso a información en tiempo real o casi real del estado de los servicios de la arquitectura (UC-6). 5. Capa de seguridad, en la que se deberá implementar servicios para proteger: (i) el acceso hacia los servicios de la arquitectura, entendiendo que debe existir un intercambio de datos entre servicios; y (ii) el acceso a la capa de presentación por parte de los usuarios administrados por el arquitecto de soluciones (UC-2,5). 								
	<table border="1" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th data-bbox="496 1592 724 1637">Alternativa</th> <th data-bbox="724 1592 1398 1637">Motivo de descarte</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="496 1637 724 1776"><i>Microservicios</i></td> <td data-bbox="724 1637 1398 1776"> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Es una muy buena alternativa, pero para su implementación se requiere un equipo de desarrolladores y especialistas en redes. En este caso, el arquitecto de soluciones es el único responsable de orquestar los servicios. </td> </tr> <tr> <td data-bbox="496 1776 724 1879"><i>Data lake</i></td> <td data-bbox="724 1776 1398 1879"> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Ofrece bastante libertad para escoger los servicios, lo cual significa un impacto negativo debido a su complejidad y corta experiencia del arquitecto de soluciones </td> </tr> <tr> <td data-bbox="496 1879 724 2002"><i>Pipe and filters</i></td> <td data-bbox="724 1879 1398 2002"> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Para su implementación se requiere un equipo de desarrolladores y especialista en redes. En este caso, el arquitecto de soluciones es el único responsable de orquestar los servicios. </td> </tr> </tbody> </table>	Alternativa	Motivo de descarte	<i>Microservicios</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Es una muy buena alternativa, pero para su implementación se requiere un equipo de desarrolladores y especialistas en redes. En este caso, el arquitecto de soluciones es el único responsable de orquestar los servicios. 	<i>Data lake</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ofrece bastante libertad para escoger los servicios, lo cual significa un impacto negativo debido a su complejidad y corta experiencia del arquitecto de soluciones 	<i>Pipe and filters</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Para su implementación se requiere un equipo de desarrolladores y especialista en redes. En este caso, el arquitecto de soluciones es el único responsable de orquestar los servicios.
Alternativa	Motivo de descarte								
<i>Microservicios</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Es una muy buena alternativa, pero para su implementación se requiere un equipo de desarrolladores y especialistas en redes. En este caso, el arquitecto de soluciones es el único responsable de orquestar los servicios. 								
<i>Data lake</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ofrece bastante libertad para escoger los servicios, lo cual significa un impacto negativo debido a su complejidad y corta experiencia del arquitecto de soluciones 								
<i>Pipe and filters</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Para su implementación se requiere un equipo de desarrolladores y especialista en redes. En este caso, el arquitecto de soluciones es el único responsable de orquestar los servicios. 								

En la Figura 48 se presenta un boceto inicial del sistema.

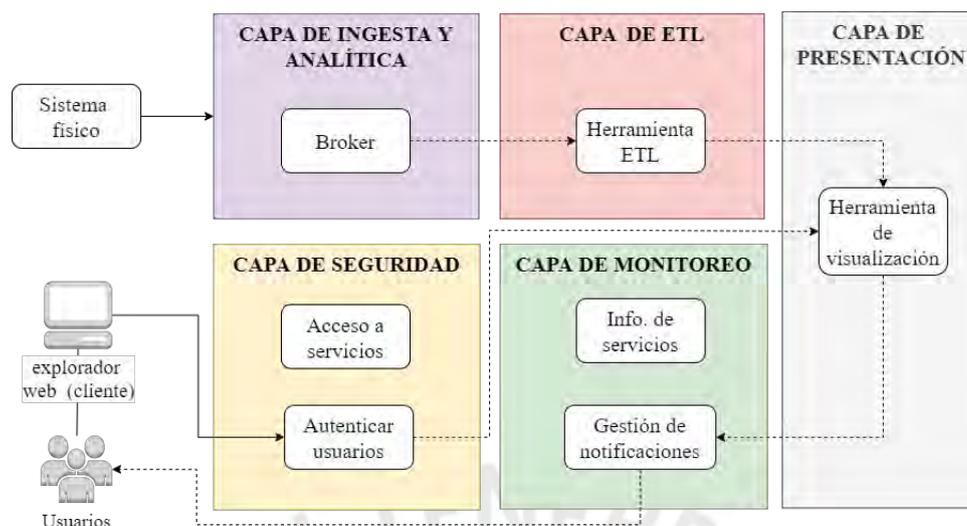


Figura 48. Boceto inicial del sistema ciber
Fuente: Elaboración propia.

4.4.2.4. Paso 5: Instanciar los elementos arquitecturales, asignar responsabilidades y definir interfaces

Las decisiones de diseño aplicadas en esta iteración se resumen en Tabla 60.

Tabla 60. Decisiones de diseño - Iteración 1
Fuente: Elaboración propia

Decisiones de diseño y alojamiento	<i>Rationale</i>	
Implementar el modelo "Publicador/Suscriptor" para mensajería dentro de la capa de ingestión y analítica	En los sistemas distribuidos y basados en la nube, es necesario proporcionar información a otros componentes a medida que ocurren eventos. Es por ello que la mensajería asincrónica bajo el modelo "publicador/suscriptor" es una forma eficaz de desvincular a los "remitentes" de los "consumidores" de los mensajes (paquete de datos) a través del protocolo MQTT (QA-1). Bajo ese contexto, el sistema físico (conjunto de estaciones de monitoreo) tiene el rol de "remitente" en vista que será el productor de eventos, y la arquitectura <i>cloud</i> tiene el rol de "consumidor", en vista que va a procesar dicho mensaje.	
	Notas: <ul style="list-style-type: none"> • El "remitente" es el publicador, y el "consumidor" es el suscriptor. • Un evento es un mensaje que notifica a otros componentes sobre un cambio o acción que se debe de realizar. • Cabe la posibilidad de que el sistema físico actúe como "remitente" y "consumidor" de diferentes tipos de eventos. 	
	Alternativas	Motivos de descarte
	Cola de mensajes	▪ No cumple con CON-3.
	<i>Stream</i> de mensajes	▪ No cumple con CON-3.
Implementar el acceso por DNS (sistema de nombres de dominio) a la capa de presentación a usuarios autorizados.	Cumpliendo con CON-4, y sabiendo que es un estándar utilizar nombre de dominios para acceder a sitios web públicos y privados, se agrega un servicio DNS como un mecanismo adicional de seguridad para el acceso de los usuarios a la capa de presentación.	

4.4.2.5. Paso 6: Boceto de las vistas y registro de las decisiones de diseño

En la Figura 49 se muestra el boceto inicial del sistema teniendo en cuenta las decisiones de diseño.

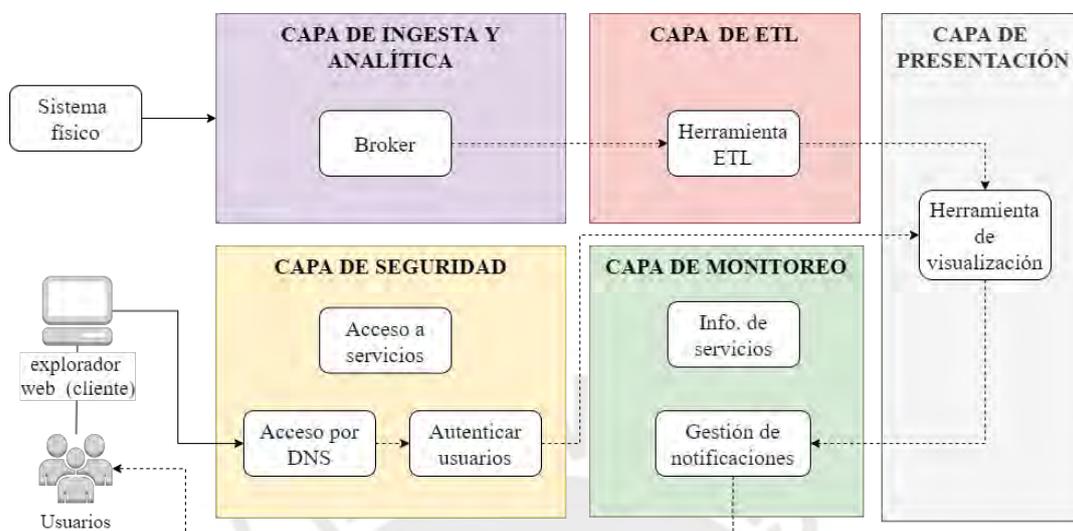


Figura 49. Boceto inicial del sistema ciber - Iteración 1

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 61 se describe la responsabilidad de cada elemento que compone el sistema.

Tabla 61. Elementos de la arquitectura diseñada - Iteración 1

Fuente: Elaboración propia

Elemento	Responsabilidad
Capa de ingesta y analítica	Se encarga de recolectar mensajes de todas las estaciones de monitoreo que representa el sistema físico y enviar dichos mensajes a la capa de ETL.
Capa de ETL	Se encarga transformar la estructura de los mensajes para luego ser enviados a la capa de presentación.
Capa de presentación	Se encarga de brindar el acceso a usuarios registrados hacia un <i>Dashboard</i> personalizable, en el cual se mostrará todos los datos en tiempo casi-real de los datos procesados.
Capa de seguridad	Se encarga de habilitar el acceso a los servicios y usuarios para utilizar los recursos del sistema.
Capa de monitoreo	Se encarga de monitorear el estado de cada servicio y alertar en caso de alguna anomalía tanto de los servicios como de los datos que se registran.

4.4.2.6. Paso 7: Realizar el análisis del diseño actual, revisar el objetivo de la iteración y el logro del propósito del diseño

Las decisiones tomadas en esta iteración abordan importantes consideraciones iniciales que afectan a la estructura general de la arquitectura. No fue necesario empezar desde cero, dado que la arquitectura diseñada está conformada por patrones arquitecturales de referencia que permiten cumplir con los casos de uso y atributos de calidad. De esta manera se logró establecer una estructura inicial y un flujo de datos estandarizado.

Tabla 62. Tablero Kanban - Iteración 1
Fuente: Elaboración propia

No realizado	Parcialmente realizado	Completamente realizado	Decisiones de diseño durante la iteración
	UC-1		Se seleccionó un patrón arquitectural de referencia que proporciona los servicios de ingesta de datos.
	UC-2		Se consideró una capa de seguridad en el diseño del sistema. En dicha capa se tiene dos servicios de seguridad para el acceso por DNS y la autenticación de usuarios.
	UC-3		Se consideró una capa de presentación en el diseño del sistema.
	UC-4		Se consideró un servicio de notificaciones dentro de la capa de monitoreo.
	UC-5		Se consideró un servicio de autenticar usuarios dentro de la capa de seguridad.
	UC-6		Se consideró un servicio de información de servicios dentro de la capa de monitoreo.
UC-7			No se han tomado decisiones relevantes.
	QA-1		Se consideró implementar el modelo "Publicador/Suscriptor".
	QA-2		Se consideró una capa de presentación en el diseño del sistema.
	QA-3		Se consideró el patrón arquitectural "Broker" lo cual garantiza parcialmente la escalabilidad.
		CON-3	Se consideró implementar el modelo "Publicador/Suscriptor" con el protocolo MQTT.
		CON-4	Se consideró implementar el acceso por DNS hacia la capa de presentación
		CRN-1	Se establecieron las capas que van a conformar el sistema.

4.4.3. Iteración 2: Selección de tecnologías

4.4.3.1. Paso 2: Establecer el objetivo de la iteración por medio de la selección de *drivers*

El objetivo de esta iteración es atender las preocupaciones arquitecturales CRN-2 y CRN-3; para aprovechar el *know-how* del arquitecto de soluciones sobre tecnologías de *back-end* (PHP, Javascript, Python) y *front-end* (HTML, CSS); así como en tecnologías *cloud* de Amazon Web Services (AWS). Para ello, se va a seleccionar todos los servicios que conforman las capas del sistema teniendo en consideración las restricciones:

- CON-1: Usar *Cloud* pública como modelo de despliegue con el proveedor AWS.
- CON-2: Usar PaaS como modelo de servicio de *Cloud Computing*.
- CON-5: El sistema debe incorporar una herramienta de inteligencia de negocios con soporte para sentencias SQL.

4.4.3.2. Paso 3: Escoger uno o más elementos para ser refinados

El boceto diseñado en la anterior iteración ha sido descompuesto en elementos que facilitan la selección de tecnologías. En esta interacción todos estos elementos serán refinados.

4.4.3.3. Paso 4: Escoger uno o más conceptos de diseño para satisfacer los drivers seleccionados.

Los conceptos de diseño utilizados en esta iteración son componentes desarrollados por el proveedor de *cloud* pública AWS (CON-1).

4.4.3.4. Paso 5: Instanciar los elementos arquitecturales, asignar responsabilidades y definir interfaces

En esta iteración, los elementos arquitecturales son instanciados a través de la asociación de tecnologías *cloud* de AWS. Las decisiones de diseño de resumen en la Tabla 63, Tabla 64 y Tabla 65.

Tabla 63. Decisiones de diseño - Iteración 2
Fuente: Elaboración propia

Decisiones de diseño y alojamiento	<i>Rationale</i>
Seleccionar Amazon IoT Core como elemento <i>Broker</i>	<p>Este servicio de tipo PaaS (CON-2) hace posible la comunicación bidireccional y segura entre dispositivos conectados a Internet y a la nube de AWS a través del protocolo MQTT (UC-1). Se compone de los siguientes elementos:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ <u>Políticas</u>: a través de certificados X.509 cada dispositivo se autentifica a la contraparte con que se está comunicando (AWS IoT) e intercambia una llave para mantener una sesión activa. De esta manera se garantiza la confiabilidad de dato/mensaje. El estándar de seguridad es “<i>TLS 1.2</i>”. ▪ <u>Topics</u>: es el agente de mensajes, proporciona un mecanismo seguro para que los dispositivos y las aplicaciones de AWS IoT publiquen y reciban mensajes entre sí. ▪ <u>Sombras</u>: es una versión persistente de cada uno de los dispositivos que están conectados hacia AWS IoT Core. La sombra almacena datos del dispositivo en formato JSON, e incluye: el estado, la versión de la sombra y el <i>timestamp</i>. De esta forma, otros servicios e inclusive dispositivos pueden leer (por suscripción) y/o modificar (por publicación) el estado de las sombras. Cada sombra tiene un <i>topic</i> reservado: (i) <i>desired</i>, se utiliza para modificar el estado deseado de la sombra, (ii) <i>reported</i>, se utiliza para modificar el estado real de la sombra, (iii) <i>delta</i>, se utiliza para obtener la diferencia entre los estados anteriores. ▪ <u>Reglas</u>: son acciones que proporcionan funciones de procesamiento de mensajes y de integración con otros servicios de AWS. Puede utilizar un lenguaje basado en SQL para seleccionar datos de cargas de mensajes, procesar y enviar datos a otros servicios. También puede utilizar el agente de mensajes para volver a publicar mensajes para otros suscriptores. <p>Amazon IoT Core se puede integrar con múltiples servicios, así mismo la escalabilidad de este servicio es automático (QA-1) [79].</p>

Tabla 64. Decisiones de diseño - Iteración 2 (Continuación)
Fuente: Elaboración propia

Decisiones de diseño y alojamiento	<i>Rationale</i>	
Seleccionar Amazon Elasticsearch Service como herramienta ETL	<p>Este servicio de tipo PaaS (CON-2) permite realizar fácilmente análisis interactivo de registros, monitoreo de aplicaciones en tiempo real en escala de <i>petabytes</i>. Ofrece un conjunto de elementos integrados (<i>stack</i>) de los cuales destacan:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ <i>Logstash</i>, para el parseo o transformación de datos. ▪ <i>Elasticsearch</i>, para el almacenamiento y búsqueda de datos. Cabe mencionar que el almacenamiento es gestionado internamente por un servicio llamado <i>Elastic Block Storage</i>. ▪ Kibana para la visualización y monitoreo de los datos. <p>Las operaciones de <i>Elasticsearch</i>, como la lectura o escritura de datos, suelen tardar menos de un segundo en completarse, lo cual es ideal para casos de uso en tiempo real (UC-1), como el monitoreo de aplicaciones y la detección de anomalías [80].</p>	
	Alternativa	Motivos de descarte
	<i>AWS Glue</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Va en contra de la CON-2. ▪ Es una excelente alternativa, dado que es un servicio de integración que orquesta múltiples servicios <i>serverless</i> como Amazon Step Functions, Amazon Lambda, Amazon DynamoDB [81]. Sin embargo, esto requiere de un equipo de desarrolladores y especialistas.
Seleccionar Kibana como herramienta de visualización	<p>Kibana es en primera instancia la mejor alternativa como herramienta de visualización dado que es parte de Amazon Elasticsearch Service, y por ende permite integrarse con: (i) servicios de seguridad para establecer mecanismos de acceso por Amazon VPC, Amazon Cognito, SAML 2.0; (ii) servicios de notificación para alertar en caso de anomalía en los datos como Amazon SNS.</p> <p>Kibana ofrece un <i>Dashboard</i> relativamente simple y personalizable, satisface los <i>drivers</i> UC-3 (mostrar datos recolectados), UC-7 (información de los datos con <i>timestamp</i>) y QA-2 (soportar lecturas fuertemente consistentes). Así mismo soporta sentencias SQL (CON-5).</p>	
	Alternativa	Motivos de descarte
	<i>AWS IoT SiteWise</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Es un servicio de tipo PaaS que puede recopilar, modelar, analizar y visualizar datos de equipos industriales a escala. Si bien proporciona un marco de modelado de equipos, procesos e instalaciones industrial sumamente útil, pero para otro tipo de caso de uso en el que se requiera establecer comunicación directa con los equipos industriales [82]. ▪ No soporta el acceso directo a través de un DNS.
<i>AWS QuickSight</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Es un servicio <i>serverless</i> y herramienta BI que permite crear y exportar gráficos interactivos en aplicaciones web externas, características que también posee Kibana [83]. ▪ No soporta el acceso directo a través de un DNS. ▪ Cada usuario “autor” y “lector” que se agregue va generar un costo adicional mensual. 	
Seleccionar Amazon IAM como elemento que protege el acceso a servicios	<p>Este servicio puede administrar el acceso a los servicios y recursos de AWS de manera segura, a través de roles y políticas asociadas a estos para conceder o negar el acceso de estos a los recursos de AWS [84].</p> <p>No genera cargo adicional por su uso.</p>	
Seleccionar Amazon Route 53 como elemento de acceso por DNS	<p>Este servicio conecta de forma efectiva las solicitudes del usuario con la infraestructura en ejecución en AWS, así mismo puede utilizarse para configurar las comprobaciones de estado de DNS, monitorizar continuamente la capacidad de las aplicaciones para recuperarse de los errores y controlar la recuperación de las aplicaciones [85].</p>	

Tabla 65. Decisiones de diseño - Iteración 2 (Continuación)
Fuente: Elaboración propia

Decisiones de diseño y alojamiento	<i>Rationale</i>
Seleccionar Amazon Certificate Manager como complemento de Amazon Route 53	Es un servicio que le permite aprovisionar, administrar e implementar certificados SSL/TLS para proteger la comunicación por red y para definir la identidad de sitios web mediante internet [86]. No genera cargo adicional por su uso.
Seleccionar Amazon Cognito como elemento de autenticar usuarios	Este servicio permite incorporar el control de acceso, la inscripción y el inicio de sesión de los usuarios a aplicaciones web (UC-2, 5). El escalado de Amazon Cognito le permite admitir millones de usuarios e iniciar sesión tanto mediante proveedores de identidad empresarial a través de SAML 2.0 [87].
Seleccionar Amazon CloudWatch como elemento que brinda información de los servicios	Este servicio ofrece datos e información procesable para monitorear la infraestructura, comprender cambios de rendimiento que afectan a todo el sistema y tomar acciones, optimizar el uso de recursos (servicios) y lograr una vista unificada del estado de las operaciones (UC-6) [88].
Seleccionar Amazon SNS como elemento gestor de notificaciones	Este servicio permite enviar mensajes o notificaciones de forma directa a usuarios mediante mensajes de texto (SMS) o correo electrónico (UC-4). Mediante el uso de <i>topics</i> , los sistemas publicadores pueden distribuir los mensajes a una gran cantidad de sistemas suscriptores [89]. Se integra de forma nativa con Amazon CloudWatch.
Seleccionar Amazon SES como complemento de Amazon SNS	Es un servicio de correo electrónico rentable, flexible y escalable que permite enviar correos desde cualquier aplicación (UC-4). Es un complemento perfecto con Amazon SNS, así mismo se integra fácilmente con Amazon Cognito para notificar a usuarios en caso de creación y/o modificación de contraseña [90].

4.4.3.5. Paso 6: Boceto de las vistas y registro de las decisiones de diseño

Las responsabilidades de cada elemento que compone el sistema se describen Tabla 66 y se muestra gráficamente en la Figura 50.

Tabla 66. Elementos de la arquitectura diseñada - Iteración 2
Fuente: Elaboración propia

Elemento	Responsabilidad
Amazon IoT Core	Se encarga de gestionar la comunicación y el flujo de datos entre publicadores y suscriptores, a través de políticas, <i>topics</i> , sombras de dispositivos y reglas.
Amazon Elasticsearch Service	Se encarga de la ingesta, transformación y presentación de los datos, a través de una serie de elementos como <i>Logstash</i> , <i>Elasticsearch</i> y <i>Kibana</i> .
Kibana	Se encarga de proporcionar gráficos personalizables a través de un <i>Dashboard</i> .
Amazon IAM	Se encarga de establecer las políticas de acceso para utilizar recursos del sistema.
Amazon Route53	Se encarga de aprovisionar la zona hospedada, el conjunto de registros DNS y las políticas de direccionamiento para acceder a un dominio personalizado.
Amazon Cognito	Se encarga de administrar el grupo de usuarios que tiene acceso hacia la capa de presentación.
Amazon Cloudwatch	Se encarga de centralizar y obtener una vista unificada del estado de los servicios del sistema, además responde ante cambios de rendimiento de alguno de estos por medio de correos y/o SMS, para lo cual se integra con Amazon SNS.
Amazon SNS	Se encarga de gestionar las notificaciones por correo hacia: (i) el Arquitecto de soluciones, en caso de algún problema con los servicios del sistema; y (iii) el Jefe de Operaciones, en caso de algún evento de derrame o anomalía en los datos.
Amazon SES	Se encarga de enviar correos electrónicos utilizando un dominio personalizado, será utilizado para notificar a usuarios en caso de creación y/o modificación de contraseña.

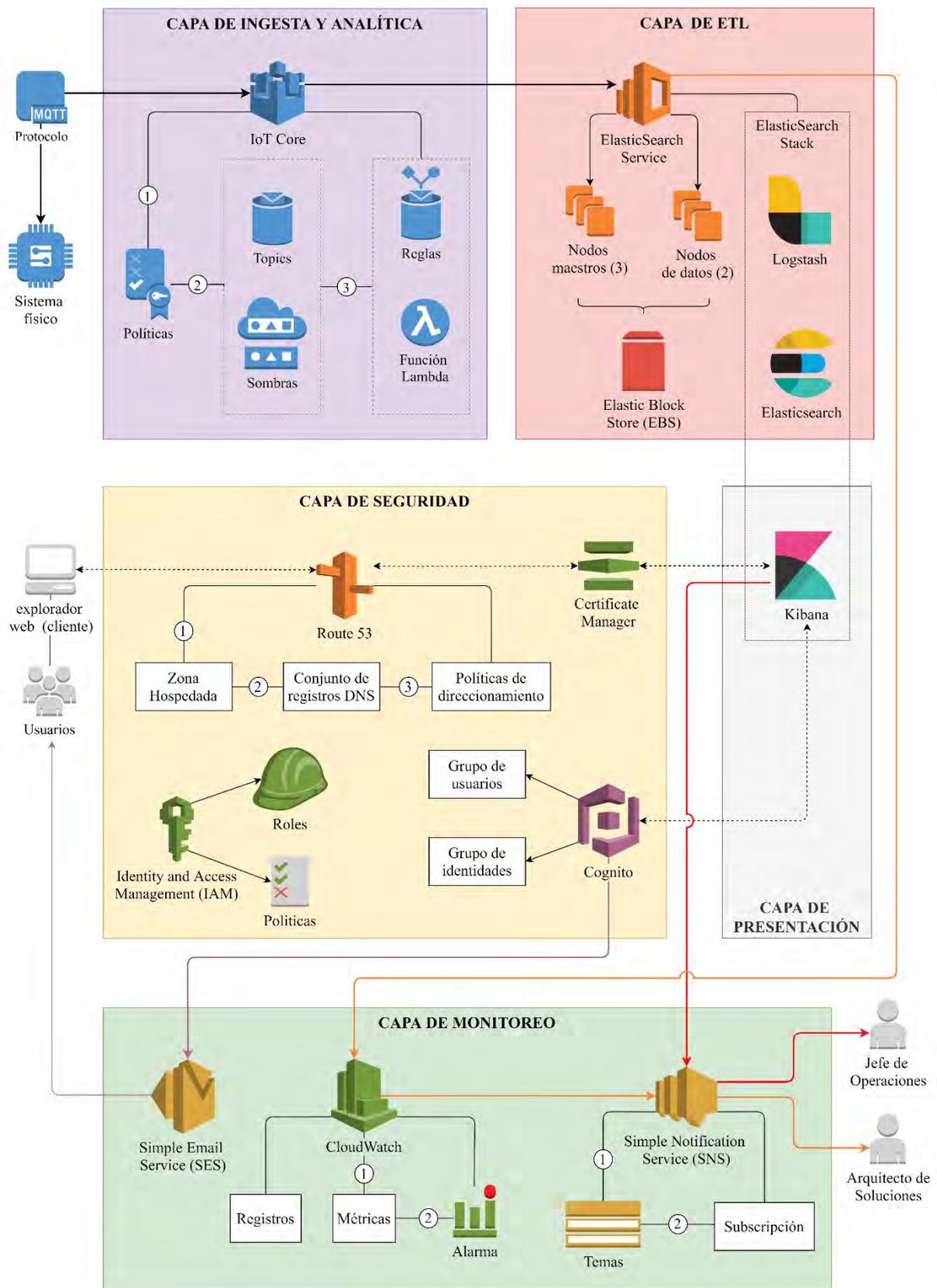


Figura 50. Arquitectura del sistema ciber - Iteración 2
Fuente: Elaboración propia

4.4.3.6. Paso 7: Realizar el análisis del diseño actual, revisar el objetivo de la iteración y el logro del propósito del diseño

En la Tabla 67 se resume el progreso del diseño y las decisiones tomadas durante la iteración 2. Los *drivers* que han sido completamente realizados en la iteración anterior no se muestran.

Tabla 67. Tablero Kanban - Iteración 2

Fuente: Elaboración propia

No realizado	Parcialmente realizado	Completamente realizado	Decisiones de diseño durante la iteración
		UC-1	Se seleccionaron dos servicios: Amazon IoT Core y Amazon Elasticsearch Service.
		UC-2	Se seleccionaron dos servicios: Amazon Cognito y Amazon Route53.
		UC-3	Se seleccionó Kibana, que es un elemento de Amazon Elasticsearch Service.
		UC-4	Se seleccionaron dos servicios: Amazon SNS y Amazon SES.
		UC-5	Se seleccionó el servicio de Amazon Cognito.
		UC-6	Se seleccionó el servicio de Amazon CloudWatch.
		UC-7	Se seleccionó Kibana, que es un elemento de Amazon Elasticsearch Service.
		QA-1	Se seleccionó a Amazon Web Services como proveedor de servicios de <i>cloud</i> pública.
		QA-2	
		QA-3	
		QA-4	
		CON-1	
		CON-2	Se seleccionaron varios servicios de tipo PaaS como: Amazon IoT Core y Amazon Elasticsearch Service.
		CON-5	Kibana permite ejecutar sentencias SQL.
CRN-2			No se tomaron decisiones relevantes, en vista que el sistema diseñado no requiere desarrollo de código, sino una correcta orquestación de los servicios seleccionados.
		CRN-3	Se seleccionó a Amazon Web Services como proveedor de servicios de <i>cloud</i> pública.

Finalmente se observa que todos los *drivers* arquitecturales han sido completamente realizados, lo cual significa que la arquitectura diseñada puede pasar a la etapa de pruebas de concepto e integración, para lo cual va a ser necesario implementar cada uno de los servicios seleccionados.

5. CAPÍTULO V: INTEGRACIÓN DEL SISTEMA CIBER-FÍSICO

Dado los objetivos y alcance del proyecto, en este capítulo se presentan las pruebas de concepto e integración relacionadas a funcionamiento de la arquitectura de *cloud computing*, que representa al sistema ciber; y de las estaciones de monitoreo, que representan al sistema físico. En estas pruebas se explica y evidencia la integración de ambos sistemas a nivel de comunicaciones, decisiones y acciones.

En el Anexo G, se adjunta las políticas establecidas en el servicio de Amazon IoT Core y el *firmware* desarrollado para el microcontrolador.

5.1. Funcionalidad de la arquitectura de *cloud computing*

5.1.1. Recolectar datos

Para esta funcionalidad, se utiliza el servicio de Amazon IoT Core, en el que se ha creado el objeto “eros” de tipo “ESP32”, lo cual representa el registro “digital” del sistema físico.

Así mismo, a este objeto creado se le establecieron: (i) políticas, las cuales están asociadas a un conjunto de certificados; (ii) *topics*, los cuales están asociados al concepto de sombras que representa la versión persistente de las estaciones de monitoreo; y (iii) reglas, que se ejecutan cuando se modifica el estado de una sombra a través de la publicación de mensajes en algún *topic*.

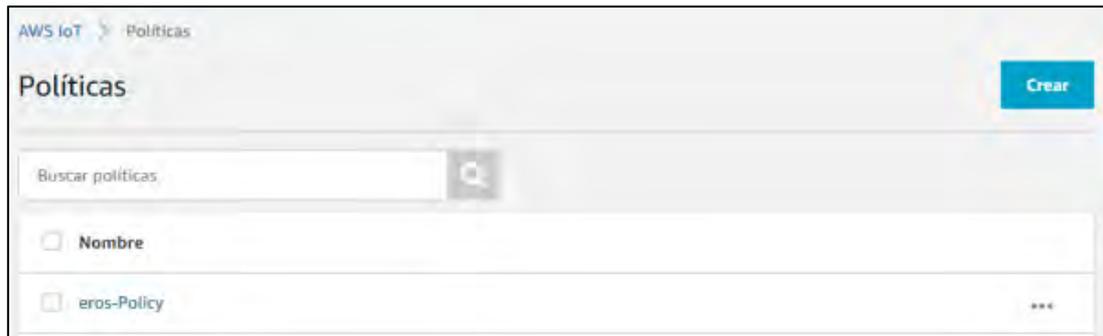
En la Figura 51, se muestran los diferentes elementos creados en el servicio de Amazon IoT Core.



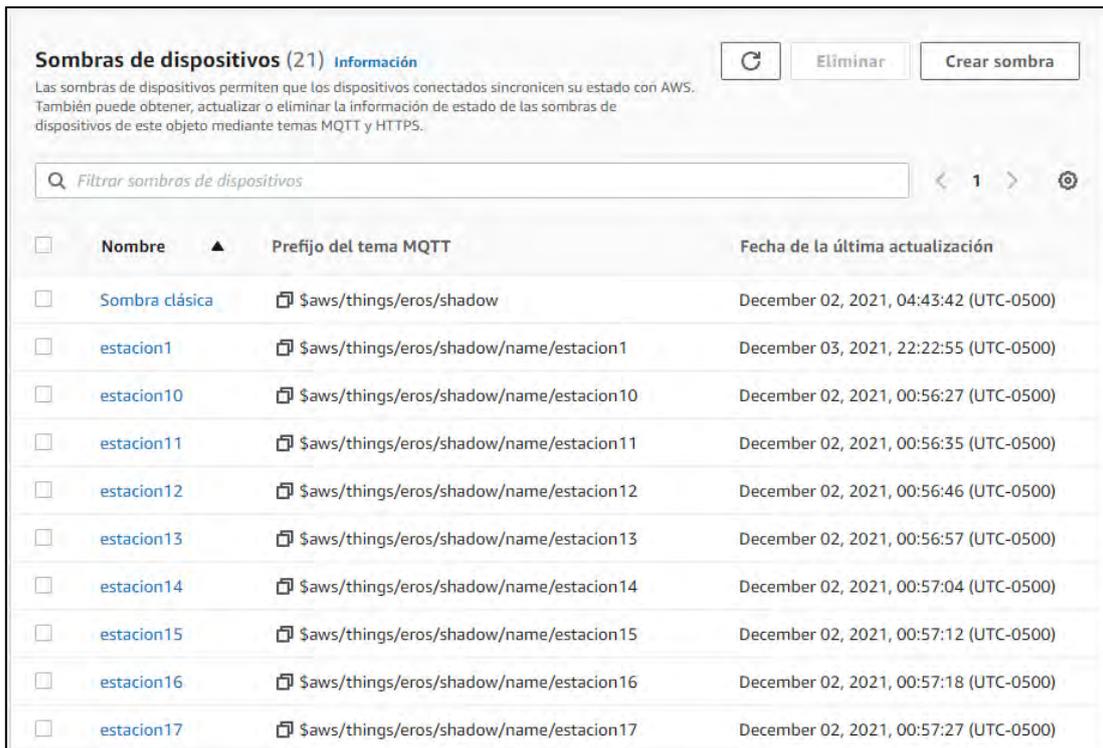
(a)



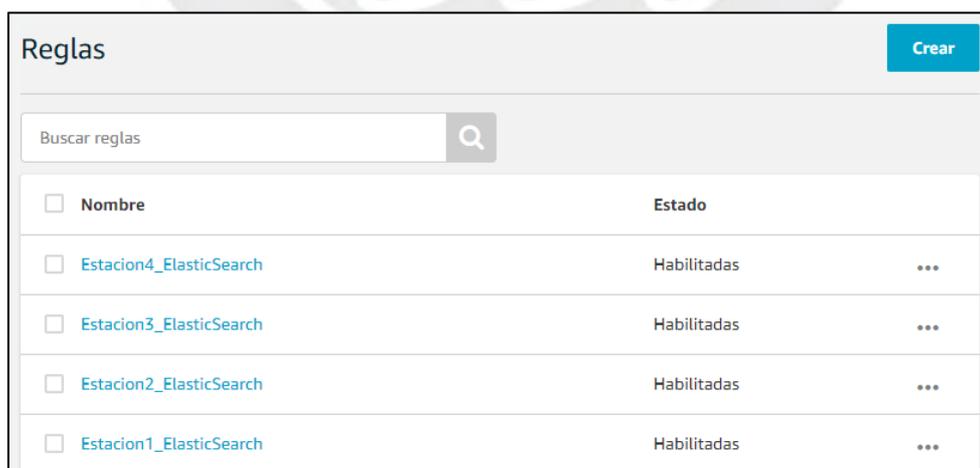
(b)



(c)



(d)



(e)

Figura 51. Implementación Amazon IoT Core – Elementos creados
 (a) Objeto, (b) Certificado, (c) Política, (d) Topics y sombras, (e) Reglas

Fuente: Consola de administración AWS

Cada una de las reglas creadas desencadena las siguientes acciones: (i) filtra el mensaje recibido a través de una sentencia SQL, (ii) envía el mensaje filtrado a Amazon Elasticsearch Service (índice: estacion”X”, donde “X” representa la identidad de la estación de monitoreo), (iii) publica el mensaje filtrado en el *topic* “data/eros”, y (iv) envía el mensaje filtrado a Amazon Elasticsearch Service (índice: “sist_físico”). Ver Figura 52.

Instrucción de consulta de regla
Editar

El origen de los mensajes que desea procesar con esta regla.

```
SELECT state.desired.id_pos as id_pos, state.desired.flow_value as flow_value,
state.desired.pres_value as pres_value, state.desired.temp_value as temp_value,
state.desired.pos_location as pos_location, timestamp as timestamp, FROM
'$aws/things/eros/shadow/name/estacion1/update/accepted'
```

Uso de la versión de SQL 2016-03-23

Acciones

Las acciones son lo que ocurre cuando se activa una regla. [Más información](#)

Enviar un mensaje a Amazon OpenSearch Servi...
<https://search-lexnio-o6pfse6jcgld5rvxw64f7as4.us-east-1.es.amazonaws.com>

Eliminar Editar ▶

Volver a publicar mensajes en un tema de AWS ...
data/eros

Eliminar Editar ▶

Enviar un mensaje a Amazon OpenSearch Servi...
<https://search-lexnio-o6pfse6jcgld5rvxw64f7as4.us-east-1.es.amazonaws.com>

Eliminar Editar ▶

Figura 52. Implementación Amazon IoT Core - Configuración de una regla
Fuente: Consola de administración AWS

Para validar todo lo configurado, se realizar una prueba de concepto que consiste en publicar un mensaje especial en el *topic*: “\$aws/things/eros/shadow/name/estacion1/update” y suscribirse al *topic* “data/eros” para obtener como resultado un mensaje filtrado. Para ello, se ha utilizado el programa MQTTBox [91], en el cual se establecen los siguientes parámetros:

- *MQTT Client Name*: Prototipo
- *MQTT Client Id*: MQTTBox
- *Protocol*: mqtt / tls.
- *Host*: a2fgsiwcxlu3cn-ats.iot.us-east-1.amazonaws.com.
- *CA file, Client certificate file y Client key file*: los cuales se presentan en la Figura 53.



Figura 53. Certificados del objeto IoT
Fuente: Consola de administración AWS

En la Figura 54, se puede observar que luego de publicar un mensaje, las acciones (i) y (ii) se ejecutan, dando como resultado el mensaje filtrado. Es importante mencionar que las acciones (ii) y (iv) están relacionadas con Amazon Elasticsearch Service y estas se validan en la sección 5.1.3.

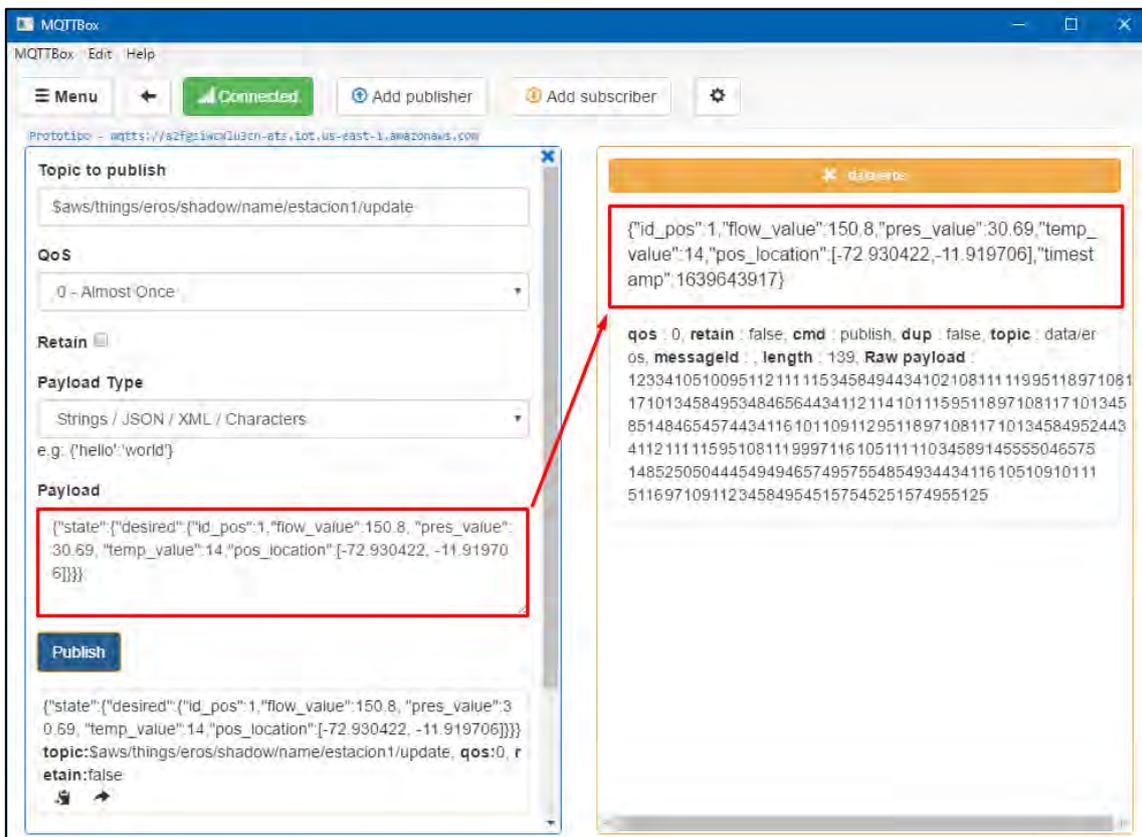


Figura 54. Prueba de concepto – Recolectar datos
Fuente: Elaboración propia

5.1.2. Log-in y autenticar usuarios

Para esta funcionalidad se utilizan varios servicios como:

- Amazon Route 53: para el registro del dominio “*deitax.com*” y la creación de una zona hospedada en la cual se van a crear registros DNS para la integración con servicios como: Amazon Certificate Manager, Amazon Cognito y Amazon Elasticsearch. Cabe mencionar que estos registros han sido creados a medida que se integraban los servicios mencionados. Ver Figura 55.

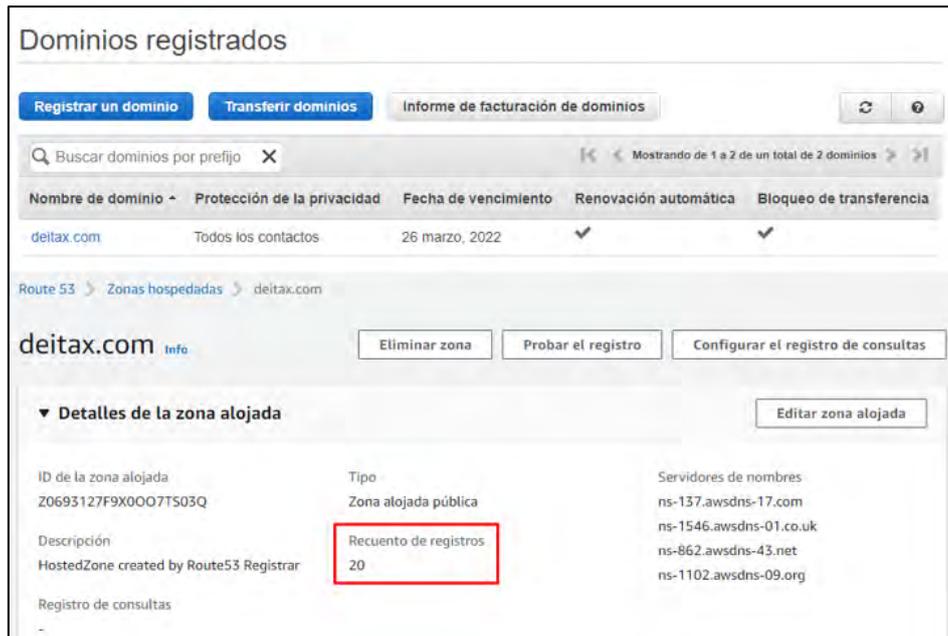


Figura 55. Implementación Amazon Route 53

Fuente: Consola de administración AWS

- Amazon Certificate Manager: para obtener el certificado SSL/TLS con el cual se va a cifrar la comunicación a través del dominio “deitax.com” y subdominios asociados. Cabe mencionar que este servicio se integra con Amazon Route 53 a través de 3 registros DNS, esto significa que se hará uso del protocolo HTTPS en el acceso al dominio y subdominios asociados. Ver Figura 56.



(a)



(b)

Figura 56. Implementación Amazon Certificate Manager

(a) Certificado creado, (b) Dominios creado

Fuente: Consola de administración AWS

- Amazon Cognito: para crear: (i) un grupo usuarios, (ii) un grupo identidades federadas, y (ii) un dominio personalizado para el protocolo de autorización OAuth 2.0. Cabe mencionar que este servicio se integra con: (i) Amazon Route 53, a través de un registro DNS del dominio creado “<https://verify.deitax.com>”, (ii) Amazon Elasticsearch Service, a través de la configuración como cliente de aplicación. Ver Figura 57.

The screenshot displays the Amazon Cognito console interface. At the top, it shows the navigation path 'Amazon Cognito > Grupos de usuarios' and a link to 'Volver a la consola antigua'. The main section is titled 'Grupos de usuarios (2) Info' and includes a descriptive paragraph. Below this is a table with columns for 'Nombre del grupo de usuarios', 'ID de grupo de usuarios', 'Hora de creación', and 'Hora de la actualización más reciente'. One group is listed: 'DX_UserGroup' with ID 'us-east-1_uWbxeijf', created 'El año pasado', and updated 'Hace 2 semanas'. Below the table is a section for 'Configuración para todos los clientes de aplicaciones', which includes a 'Dominio' configuration area. This area has an 'Acciones' dropdown and details for 'Dominio de Cognito' (empty) and 'Dominio personalizado' (https://verify.deitax.com). The domain status is 'Activo', and it is associated with an ACM certificate and a CloudFront alias. The bottom section is 'Lista de clientes de aplicación', which includes a 'Clientes de aplicación (1) Info' section with a 'Crear un cliente de aplicación' button and a search bar. A table below lists one application client: 'AWSElasticsearch-lexnio-us-east-1-o6pfse6jcgjgd5rvxw64f7as4' with ID '7eo4qt6b9qcrobd1rof46s1si'.

Nombre del grupo de usuarios	ID de grupo de usuarios	Hora de creación	Hora de la actualización más reciente
DX_UserGroup	us-east-1_uWbxeijf	El año pasado	Hace 2 semanas

Nombre del cliente de la aplicación	ID de cliente
AWSElasticsearch-lexnio-us-east-1-o6pfse6jcgjgd5rvxw64f7as4	7eo4qt6b9qcrobd1rof46s1si

Figura 57. Implementación Amazon Cognito
Fuente: Consola de administración AWS

- Amazon Elasticsearch: para crear la herramienta ETL que va a transformar, almacenar y presentar los datos recolectados por el servicio de Amazon IoT Core (a través de la regla). Ver Figura 58.

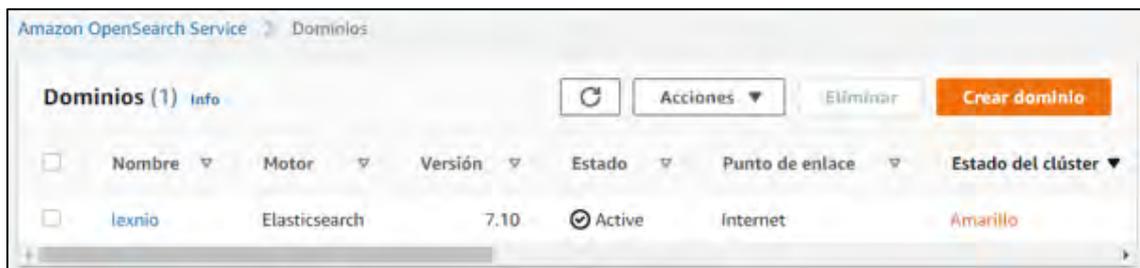


Figura 58. Implementación de Amazon Elasticsearch Service
Fuente: Consola de administración AWS

La integración con el servicio de Amazon Route 53, es a través de un registro DNS y un dominio personalizado “<https://osinergmin.deitax.com>” que se establece en la configuración del clúster de Amazon Elasticsearch. De esta manera, la dirección que hereda el *dashboard* Kibana es “https://osinergmin.deitax.com/_plugin/kibana/”, ver Figura 59.

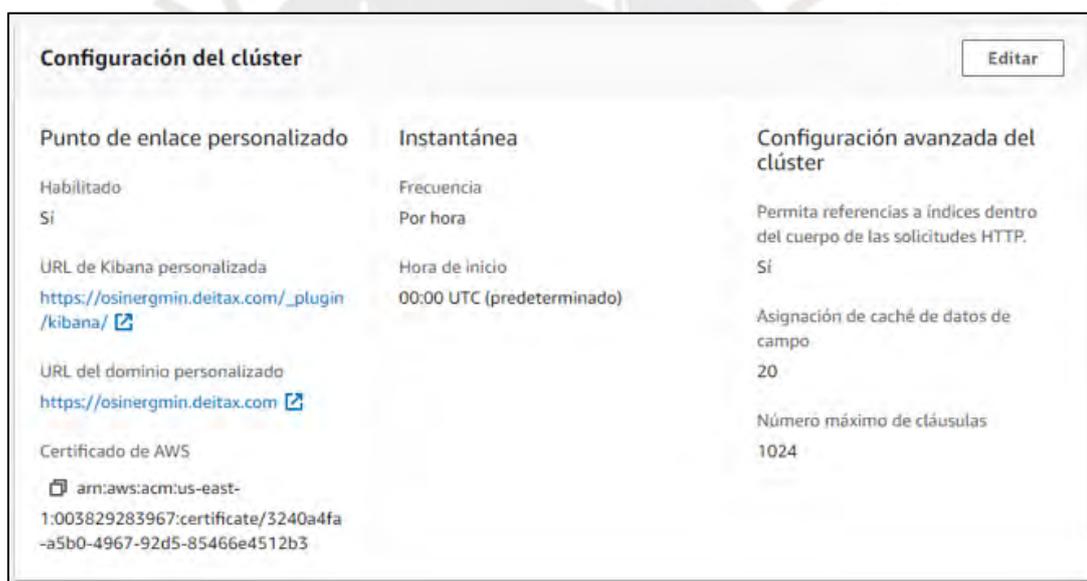


Figura 59. Implementación de Amazon Elasticsearch Service - Configuración clúster
Fuente Consola de administración AWS

La integración con el servicio de Amazon Cognito es a través del grupo de usuarios e identidades los cuales se establecen como parámetros de autenticación para Kibana en la configuración de seguridad de Amazon Elasticsearch Service, ver Figura 60.

Por lo tanto, para que el usuario acceda al *dashboard* deberá primero ingresar a la dirección de Kibana, y luego automáticamente será direccionado al dominio OAuth2.0 de Amazon Cognito para autenticar sus credenciales. En la Figura 61, se muestra la prueba de integración de los servicios Amazon Route 53, Amazon Cognito y Amazon Elasticsearch Service.

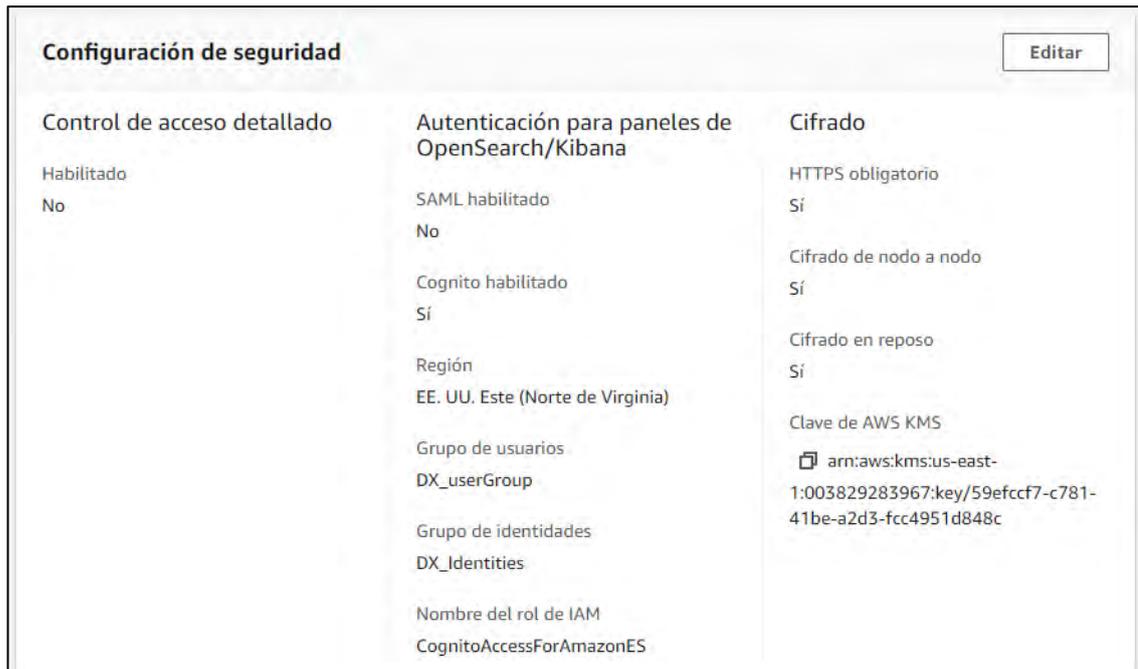
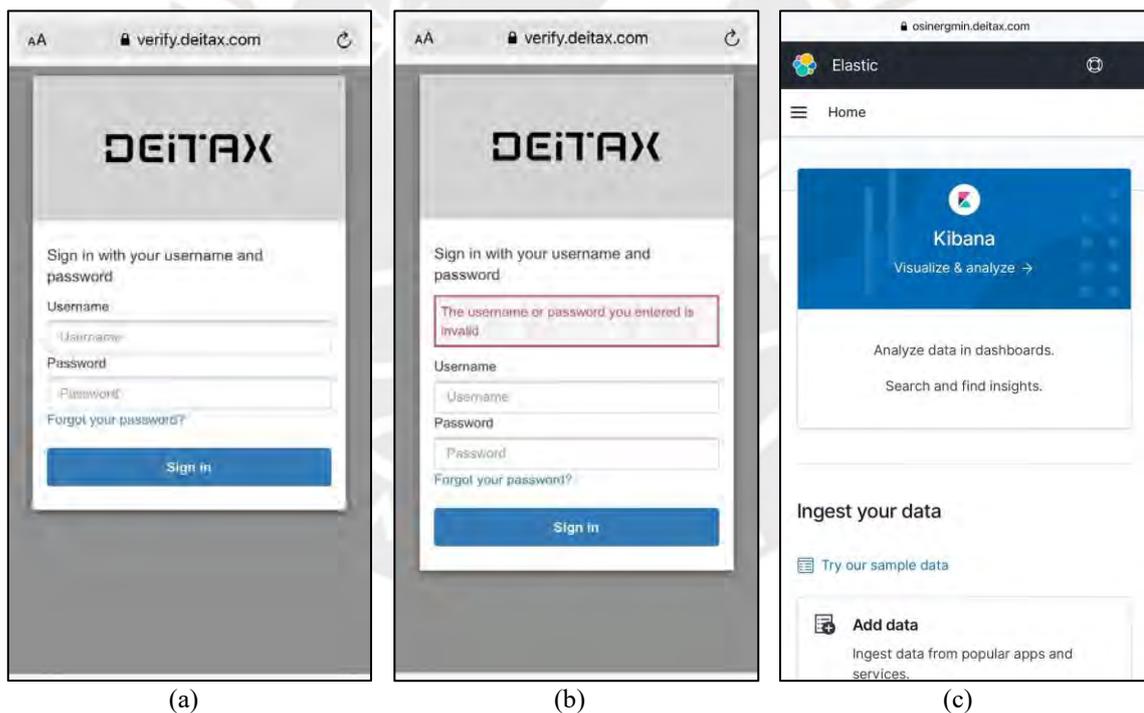


Figura 60. Implementación de Amazon Elasticsearch Service – Configuración de seguridad
Fuente: Consola de administración AWS



(a) (b) (c)
Figura 61. Prueba de integración – Log-in y autenticar usuario
(a) Log-in, (b) Autenticación fallida, (c) Autenticación correcta
Fuente: Elaboración propia

5.1.3. Mostrar datos recolectados

Para esta funcionalidad se configuran índices y “mappings” desde el *dashboard* Kibana. Un índice es una colección de documentos relacionados entre sí. Cabe mencionar que el elemento *Elasticsearch* almacena datos como documentos con formato JSON, cada documento tiene una estructura conocida

como “*mappings*”, que correlaciona un conjunto de claves (nombres de campos o propiedades) con sus valores correspondientes (textos, números, Booleanos, fechas, variedades de valores, geolocalizaciones u otros tipos de datos).

La integración con el servicio de Amazon IoT Core es a través de índices creados para cada estación de monitoreo (“*estacionX*”), y un índice general (“*sist_fisico*”) que agrupa a todas las estaciones de monitoreo, ver Figura 62.

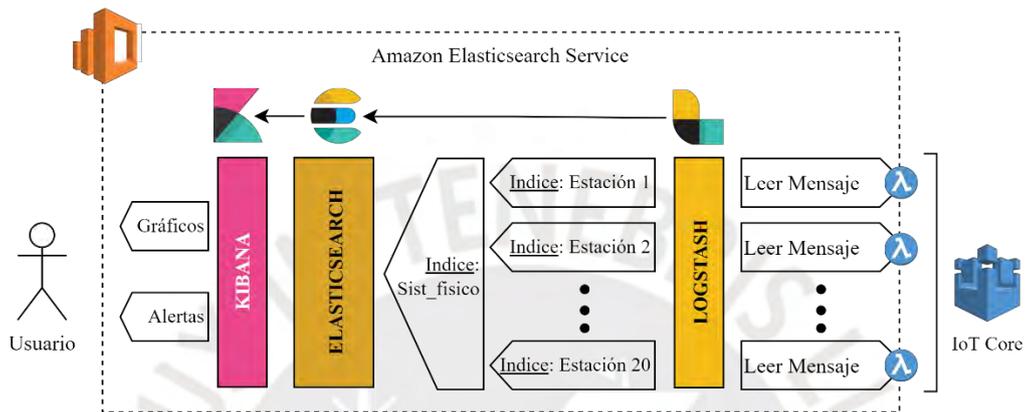
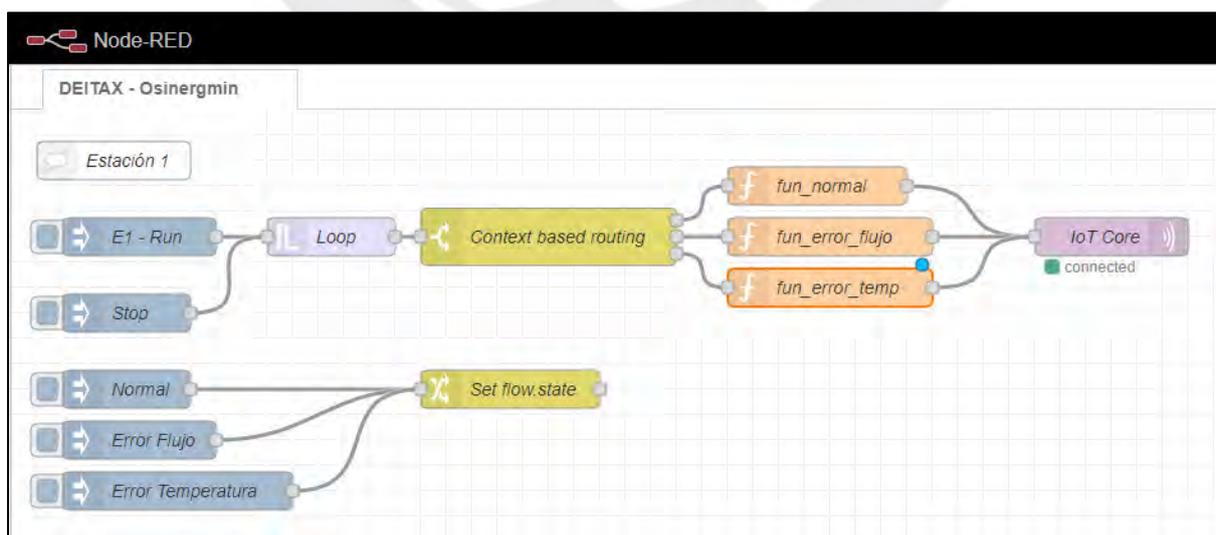
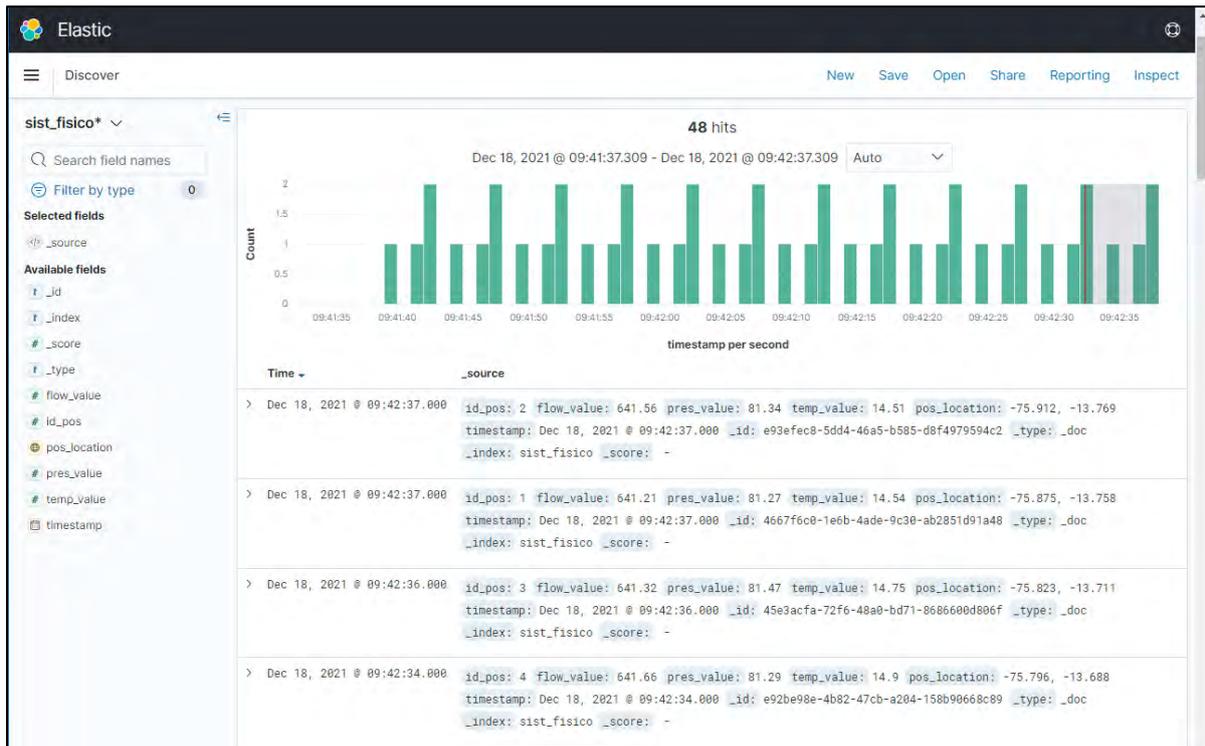


Figura 62. Implementación de Amazon Elasticsearch Service – Configuración de índices
Fuente: Elaboración propia

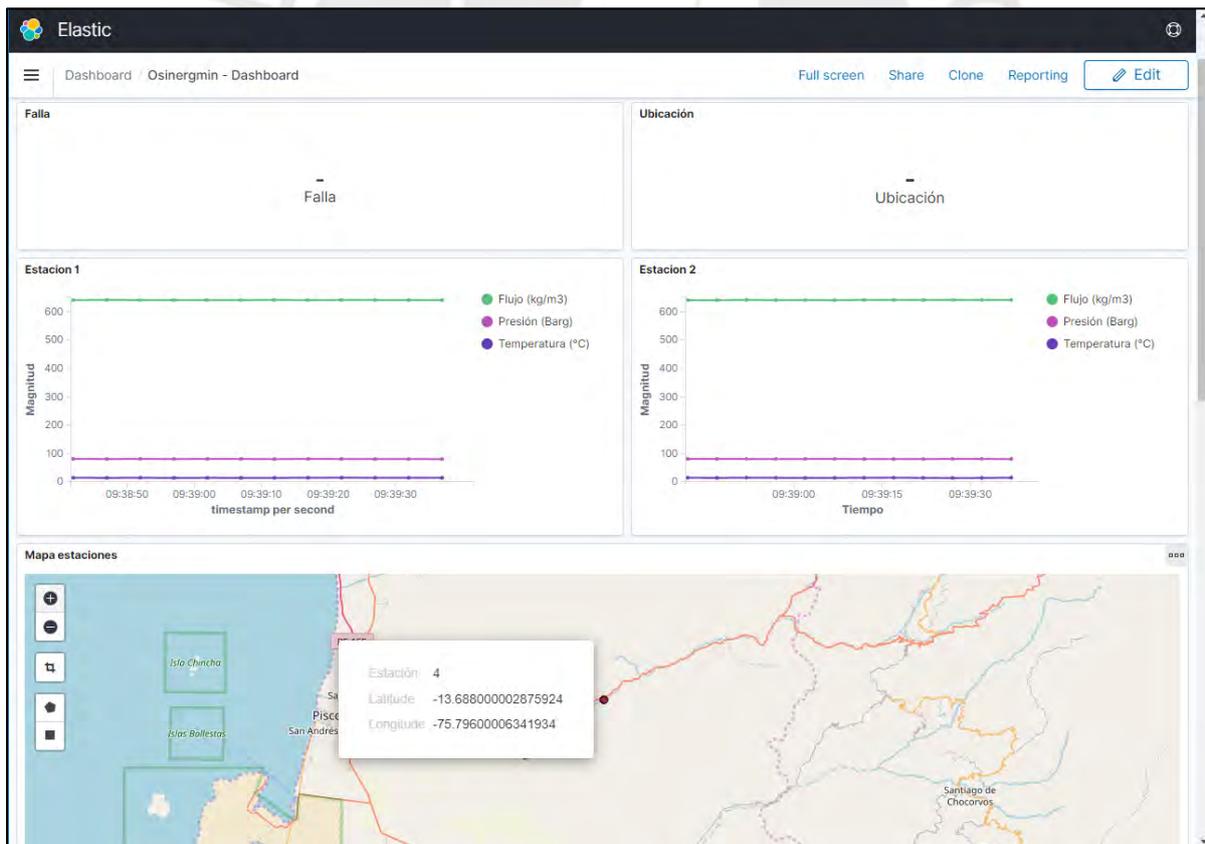
Para validar todo lo configurado, se realiza una prueba de integración que consiste en publicar varios mensajes simulando estaciones de monitoreo para obtener como resultado la presentación de estos datos a través de gráficos en el *dashboard* Kibana. Para ello, se ha utilizado el programa Node-RED [92], en el cual se ha simulado la ingesta de datos de varias estaciones de monitoreo y configurado 3 escenarios: operación en condiciones normales, derrame por decremento del flujo y presión, derrame por incremento de temperatura. Ver Figura 63.



(a)



(b)



(c)

Figura 63. Prueba de integración - Mostrar datos recolectados
 (a) Simulación Node-RED, (b) Datos recolectados, (c) Dashboard Kibana
 Fuente: Elaboración propia

5.1.4. Notificar eventos de derrame

Para esta funcionalidad se configuran: (i) un tema y suscriptores (correos electrónicos y números de celular) en el servicio Amazon SNS con el objetivo que los suscriptores reciban notificaciones cada vez que se publique algún mensaje en dicho tema (ver Figura 64); (ii) una alerta en el *dashboard* Kibana, que se activará cuando un parámetro del índice “*sist_fisico*” está por debajo de un límite máximo permisible, ver Figura 65.

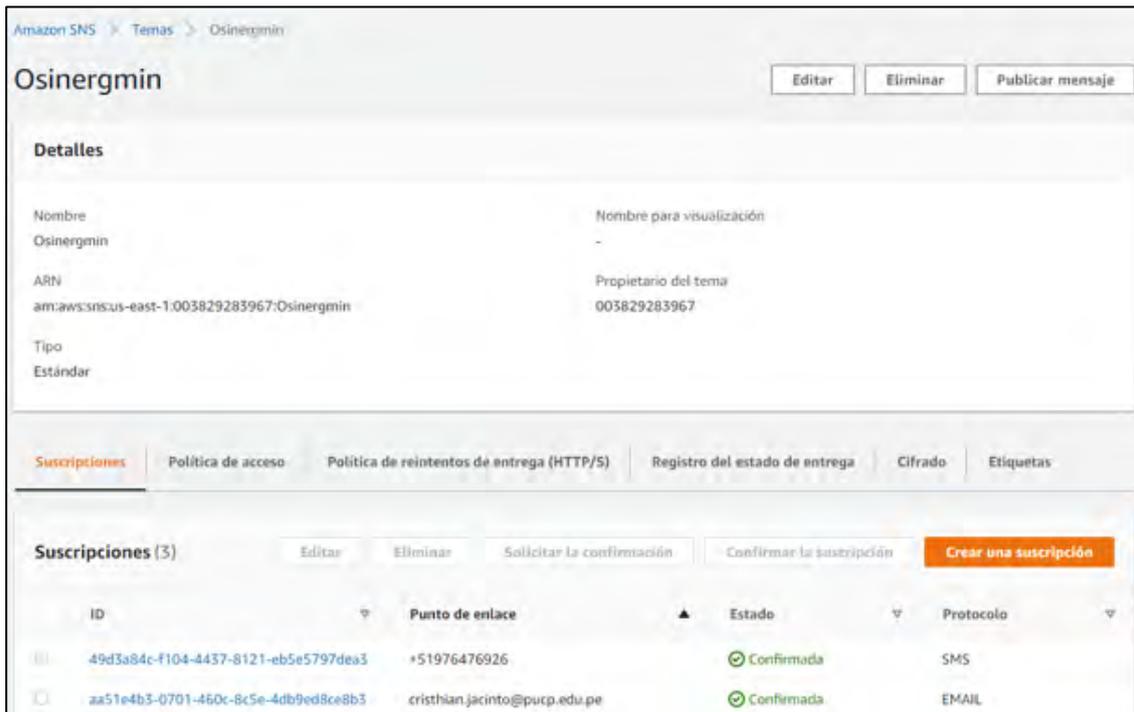


Figura 64. Implementación de Amazon SNS – Configuración de tema y suscriptores
Fuente: Consola de administración AWS

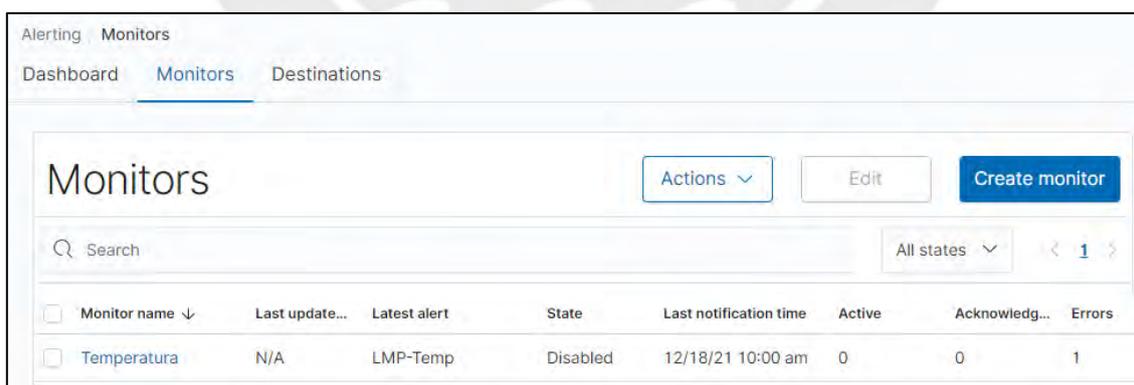
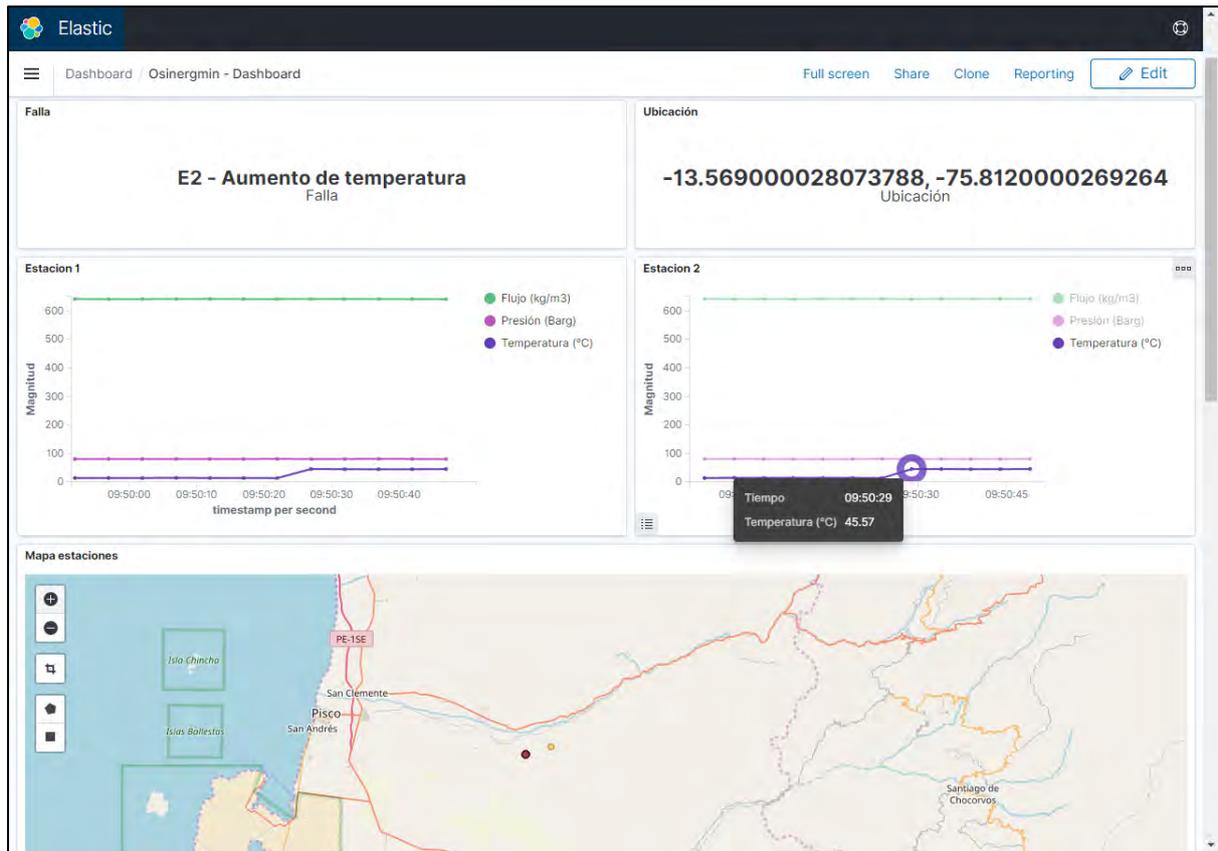
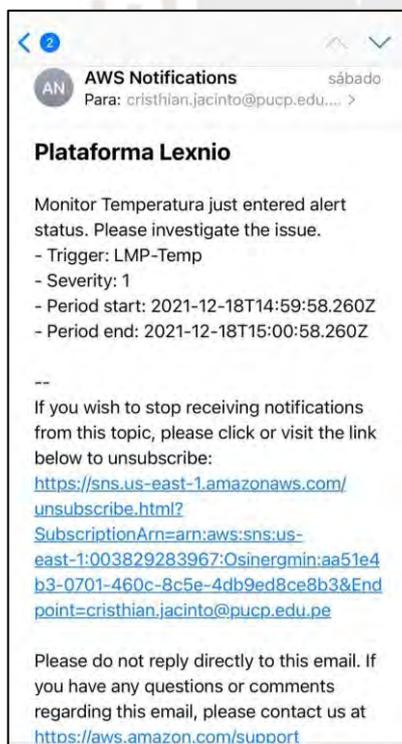


Figura 65. Configuración de alertas en el *dashboard* Kibana
Fuente: Elaboración propia

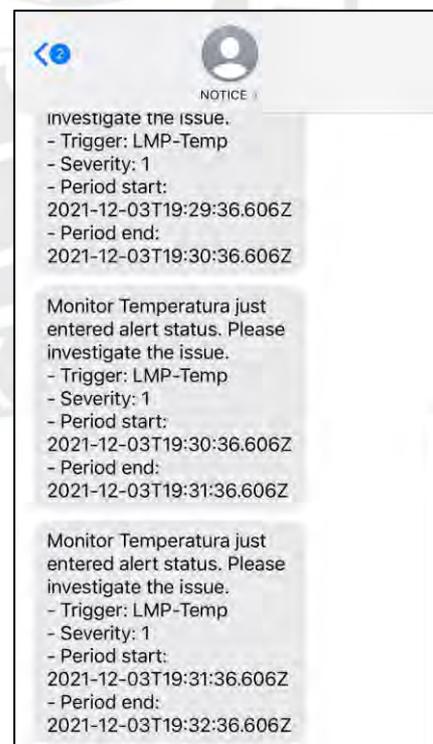
En la Figura 66, se puede observar que luego de simular un error de temperatura, este se ve reflejado en el *dashboard* Kibana, y también de forma automática se disparan las alertas vía correo electrónico y mensaje de texto.



(a)



(b)



(c)

Figura 66. Prueba de integración - Notificar evento de derrame
 (a) Dashboard Kibana, (b) Notificación vía correo electrónico, (c) Notificación vía mensaje de texto
 Fuente: Elaboración propia

5.2. Funcionalidad de las estaciones de monitoreo

El *firmware* ha sido desarrollado de acuerdo a los diagramas de flujo conceptualizados en la sección 4.2.5. Así mismo, se ha utilizado el editor de código Visual Studio Code [93], la herramienta profesional para desarrollo de *firmware* PlatformIO [94], y el sistema operativo FreeRTOS.

El modelo publicador/suscriptor se valida a partir de la interacción bidireccional del microcontrolador ESP-32-WROVER-I con el servicio Amazon IoT Core, y a partir de este, con los demás servicios de la arquitectura de *cloud computing*. A continuación, se presenta la prueba de integración para enviar datos al sistema ciber y la prueba de concepto para alertar de un evento de derrame.

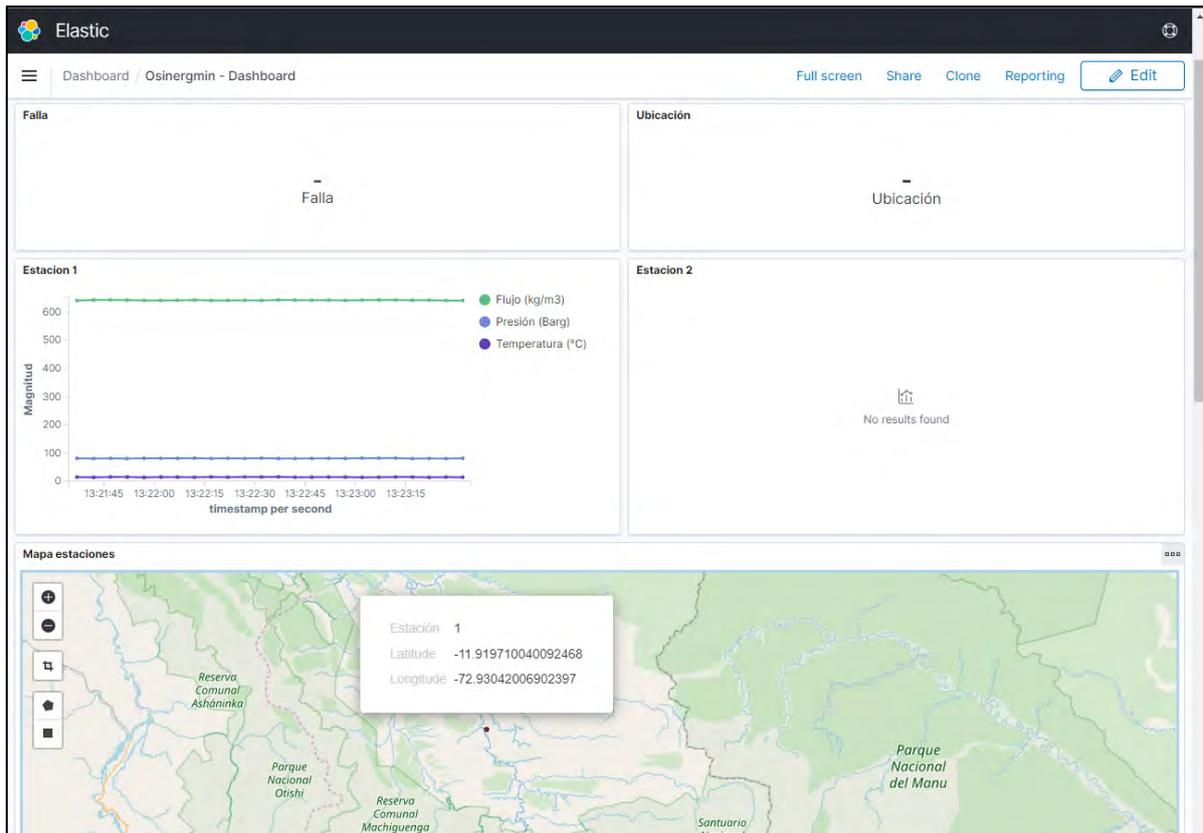
5.2.1. Enviar datos al sistema ciber

En la Figura 67, se puede observar, a través de logs, que en el microcontrolador se ejecutan 4 tareas periódicas: (i) verificación de la conexión Wi-Fi, (ii) verificación de la conexión con el sistema ciber, (ii) adquisición de variables relacionadas con derrames de LGN y (iv) el envío de datos al sistema ciber.

Cabe mencionar que la tarea de adquisición de variables relacionadas con derrames de LGN, es una simulación que genera datos que permanecen en un rango predeterminado de valores.

```
[ESP] Connected:192.168.1.124
[ESP] Wi-Fi connection Ok!
[V][ssl_client.cpp:59] start_ssl_client(): Free internal heap before TLS 169068
[E][WiFiClientSecure.cpp:133] connect(): start_ssl_client: -1
[V][ssl_client.cpp:265] stop_ssl_socket(): Cleaning SSL connection.
[ESP] Connecting to AWS...
[V][ssl_client.cpp:59] start_ssl_client(): Free internal heap before TLS 169064
[V][ssl_client.cpp:65] start_ssl_client(): Starting socket
[V][ssl_client.cpp:104] start_ssl_client(): Seeding the random number generator
[V][ssl_client.cpp:113] start_ssl_client(): Setting up the SSL/TLS structure...
[V][ssl_client.cpp:129] start_ssl_client(): Loading CA cert
[V][ssl_client.cpp:178] start_ssl_client(): Loading CRT cert
[V][ssl_client.cpp:187] start_ssl_client(): Loading private key
[V][ssl_client.cpp:197] start_ssl_client(): Setting hostname for TLS session...
[V][ssl_client.cpp:212] start_ssl_client(): Performing the SSL/TLS handshake...
[ESP] Getting LGN variables...
[ESP] AWS no connection. Discarding data..
[D][ssl_client.cpp:225] start_ssl_client(): Protocol is TLSv1.2 Ciphersuite is TLS-ECDHE-RSA-WITH-AES-128-GCM-SHA256
[D][ssl_client.cpp:227] start_ssl_client(): Record expansion is 29
[V][ssl_client.cpp:233] start_ssl_client(): Verifying peer X.509 certificate...
[V][ssl_client.cpp:242] start_ssl_client(): Certificate verified.
[V][ssl_client.cpp:257] start_ssl_client(): Free internal heap after TLS 122688
[V][ssl_client.cpp:295] send_ssl_data(): Writing MQTT request with 26 bytes...
[V][ssl_client.cpp:295] send_ssl_data(): Writing MQTT request with 17 bytes...
[ESP] AWS connection Ok!
[ESP] AWS connection Ok!
[ESP] AWS connection Ok!
[ESP] Getting LGN variables...
[V][ssl_client.cpp:295] send_ssl_data(): Writing MQTT request with 187 bytes...
[ESP] AWS publish: {"state":{"desired":{"id_pos":1,"flow_value":641.1147,"pres_value":81.75253,"temp_value":14.68025,"pos_location":[-72.93042,-11.91971]}}}
[ESP] AWS connection Ok!
[ESP] Getting LGN variables...
[V][ssl_client.cpp:295] send_ssl_data(): Writing MQTT request with 187 bytes...
[ESP] AWS publish: {"state":{"desired":{"id_pos":1,"flow_value":642.3877,"pres_value":80.63756,"temp_value":14.81981,"pos_location":[-72.93042,-11.91971]}}}
[ESP] AWS connection Ok!
```

(a)



(b)

Figura 67. Prueba de integración - Enviar datos al sistema ciber

(a) Logs ESP32, (b) Dashboard Kibana

Fuente: Elaboración propia

5.2.2. Alertar de un evento de derrame

En la Figura 68 se puede observar, a través de *logs*, que el microcontrolador (que está suscrito el *topic "alert/eros"*) recibe mensajes de un "tercero" indicando un evento de derrame, y a partir de ello, se enciende un LED en representación de la circulina.

```
[ESP] AWS connection Ok!
[ESP] Getting LGN variables...
[V][ssl_client.cpp:295] send_ssl_data(): Writing MQTT request with 187 bytes...
[ESP] AWS publish: {"state":{"desired":{"id_pos":1,"flow_value":640.7614,"pres_value":81.74881,"temp_value":14.50476,"pos_location":[-72.93042,-11.91971]}}}
[ESP] AWS connection Ok!
[ESP] New message at Topic alert/eros: {"state":{"desired":{"id_pos":1,"flow_value":150.8,"pres_value":30.69,"temp_value":14,"pos_location":[-72.930422,-11.919706]}}}
[ESP] AWS connection Ok!
[ESP] Getting LGN variables...
[V][ssl_client.cpp:295] send_ssl_data(): Writing MQTT request with 187 bytes...
[ESP] AWS publish: {"state":{"desired":{"id_pos":1,"flow_value":642.6337,"pres_value":81.33529,"temp_value":14.31551,"pos_location":[-72.93042,-11.91971]}}}
[ESP] AWS connection Ok!

[ESP] Wi-Fi connection Ok!
[ESP] AWS connection Ok!
[ESP] AWS connection Ok!
[ESP] New message at Topic alert/eros: {"state":{"desired":{"id_pos":1,"flow_value":150.8,"pres_value":30.69,"temp_value":14,"pos_location":[-72.930422,-11.919706]}}}
[ESP] AWS connection Ok!
[ESP] AWS connection Ok!
[ESP] AWS connection Ok!
[ESP] New message at Topic alert/eros: {"state":{"desired":{"id_pos":1,"flow_value":150.8,"pres_value":30.69,"temp_value":14,"pos_location":[-72.930422,-11.919706]}}}
[ESP] AWS connection Ok!
[ESP] Getting LGN variables...
[V][ssl_client.cpp:295] send_ssl_data(): Writing MQTT request with 187 bytes...
[ESP] AWS publish: {"state":{"desired":{"id_pos":1,"flow_value":641.9948,"pres_value":81.17986,"temp_value":14.18011,"pos_location":[-72.93042,-11.91971]}}}
```

(a)



(b)



(c)

Figura 68. Prueba de concepto - Alertar evento de derrame
(a) Logs ESP32, (b) LED apagado, (c) LED encendido
Fuente: Elaboración propia



6. CAPÍTULO VI: COSTOS DEL SISTEMA CIBER-FÍSICO

En el presente capítulo se analizan los costos para la implementación: (i) del sistema físico, para lo cual se requieren de 20 estaciones de monitoreo que deberán ser instaladas a lo largo de los 561 km del poliducto de LGN; y (ii) del sistema ciber, para lo cual va a considerar 10 años de continuo funcionamiento de la arquitectura de *cloud computing*.

6.1. Costos de componentes del sistema físico

Para calcular el costo del sistema físico se ha considerado conveniente segmentar los costos de acuerdo a la procedencia de los componentes, dado que estos se encuentran en el mercado local y muchos otros requieren ser importados. En la Tabla 68 y Tabla 69 se detallan el costo de los componentes nacionales e importados respectivamente, que en sumatoria resulta un total de 115 237.6 USD.

Tabla 68. Costo de componentes nacionales
Fuente: Elaboración propia

Ítem	Descripción	Cantidad	C. unitario (USD)	C. Total (USD)
Electrónicos	Sensor de voltaje AC	20	10.00	200.00
	Circulina industrial	20	97.00	1 940.00
	Dispositivo para montaje de circulina	20	09.00	180.00
	Panel solar	20	263.00	5 260.00
	Regulador de carga MPPT	20	110.00	2 200.00
	Batería AGM 12 V	20	159.00	1 908.00
Mecánicos	Mástil	20	198.00	3 960.00
	Soporte mástil	20	341.80	6 836.00
	Punta captadora de rayos	20	84.00	1 680.00
	Pieza de adaptación	20	71.71	1 434.20
Total				25 598.20

Tabla 69. Costo de componentes importados
Fuente: Elaboración propia

Ítem	Descripción	Cantidad	C. Unitario (USD)	C. Total (USD)
Electrónicos	Sensor de temperatura de tipo <i>clamp-on</i>	20	279.13	5 582.60
	Sensor de flujo y presión (ultrasonido)	20	1500.00	30 000.00
	Sensor piezoeléctrico acústico	20	420.00	8 400.00
	Acondicionador de señales RS485	20	02.30	46.00
	Módulo TDC-GPOF1	20	273.00	5 460.00
	Circuito de desacoplamiento	20	50.00	1000.00
	Circuito escalador de voltaje	20	02.50	30.00
	Microcontrolador	20	4.50	90.00
	Pantalla OLED	20	64.00	1 280.00
	Módulo relevador (4 canales)	20	08.00	160.00
	Circuitos reguladores de voltaje	20	10.00	200.00
	Fuente de alimentación	20	59.25	711.00
	Circuitos reguladores de voltaje	20	10.00	200.00
Mecánicos	Gabinete de control	20	245.00	4 900.00
	Soporte de panel solar	20	85.00	1 700.00
Subtotal				59 759.60
Costos de envío e impuestos (50%)				29 879.80
Total				89 639.40

6.2. Costos de componentes del sistema ciber

Para calcular el costos el sistema ciber, los cuales involucran el uso de 8 servicios *cloud* de Amazon Web Services por un periodo de 10 años, se ha utilizado la herramienta “*AWS Pricing Calculator*” [95], teniendo en cuenta las consideraciones presentadas en la Tabla 70.

Tabla 70. Costo del sistema ciber
Fuente: Elaboración propia

Servicio	Consideraciones	C. Mensual (USD)	C. Anual (USD)
Amazon IoT Core	Se ha considerado 20 dispositivos conectados (sistema físico) bajo el régimen 24/7, envían un total de 518400 mensajes (de tamaño 1 KB), por lo tanto, se ejecutan 518400 reglas.	13.56	162.72
Amazon Elasticsearch Service	Se ha considerado 1 instancia de datos y 1 instancia principal dedicada. Ambas instancias son de tipo m3.medium.search (vCPU: 1, Memoria: 3.75 GBi). Así mismo el almacenamiento aprovisionado inicialmente es de 30 GB.	141.29	1695.48
Amazon IAM	No genera cargo adicional por su uso.	0	0
Amazon Route53	Se ha considerado 1 zona alojada y 500 000 consultas al DNS.	0.70	8.4
Amazon Cognito	Se ha considerado 20 usuarios activos mensuales, sin embargo, no se aplican cargos.	0	0
Amazon Cloudwatch	Se ha considerado 1 panel con 5 métricas y 5 alarmas, sin embargo, no se aplican cargos.	0	0
Amazon SNS	Se ha considerado un uso de 1000 notificaciones por SMS y correo electrónico.	0.02	0.24
Amazon SES	Se ha considerado un uso de 1000 email enviados.	0.10	1.2
Costo anual			1 868.04
Costo de 10 años			18 680.40

6.3. Costo total del proyecto

Para calcular el costo total del proyecto, se ha tenido en cuenta lo siguiente:

- Costos de diseño, relacionados a la investigación, análisis y diseño del sistema ciber-físico.
- Costos del sistema físico, relacionados a sus componentes y a la fabricación mecánica y electrónica que conlleva la implementación de 20 estaciones de monitoreo.
- Costos del sistema ciber, relacionados a sus componentes por un periodo de 10 años.
- Costos de integración, relacionado a los honorarios del equipo técnico que va a integrar las tecnologías del sistema físico y ciber.

Por lo tanto, teniendo en cuenta los costos mencionados, se estima que costo total del proyecto, es de 201 018 USD, el detalle se muestra en la Tabla 71.

Tabla 71. Costo total del proyecto
Fuente: Elaboración propia

Concepto	Consideraciones	Costo (USD)
Costo de diseño del sistema ciber-físico	Hace referencia al costo debido a la investigación, análisis y diseño del sistema (600 horas, 25 USD/hora).	15 000.00
Costo del sistema físico	Hace referencia al costo de todos los componentes necesarios para fabricar 20 estaciones de monitoreo. De la Tabla 68 y Tabla 69.	115 237.60
Costo de fabricación - Mecánica	Servicio de tercero para el montaje e instalación de las 20 estaciones de monitoreo.	40 000.00
Costo de fabricación - Electrónica	Servicio de tercero para la fabricación de 20 placas electrónicas.	3 000.00
Costo del sistema ciber	Hace referencia al costo de los servicios <i>cloud</i> para 10 años de continuo funcionamiento. De la Tabla 70.	18 680.40
Costo de integración	Hace referencia los honorarios del equipo técnico que se requiere para la programación de los componentes electrónicos del sistema físico; y el despliegue de los servicios <i>cloud</i> del sistema ciber.	-
	Sistema físico: 1 especialista en <i>firmware</i> y 1 especialista en procesamiento de señales digitales (160 horas por cada especialista, 20 USD/hora).	6 400.00
	Sistema ciber: 1 arquitecto de soluciones (90 horas, 30 USD/hora).	2 700.00
Total		201 018.00



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Al finalizar el presente trabajo, se logró cumplir con el objetivo general de diseñar un sistema ciber-físico para monitorizar derrames de LGN en el sistema de transporte por ductos del Proyecto Camisea, y que este también alerte a las entidades competentes en caso de derrame. La aplicación de la norma de diseño VDI brindó un enfoque sistemático para lograr instanciar todos los componentes del sistema físico en sus dominios: mecánico, electrónica y *software*. Por otro lado, el proceso de diseño ADD 3.0 brindó un enfoque ordenado e iterativo para estructurar una arquitectura *cloud* mediante la aplicación de conceptos de diseño arquitecturales.

Las tecnologías de la información y comunicación habilitan la interoperabilidad entre el sistema físico (representado por estaciones de monitoreo) y el sistema ciber (representado por la plataforma *cloud* de inteligencia de negocios). El intercambio de información se logra a través del protocolo MQTT que está orientado al Internet de las Cosas (IoT) el mismo que habilita el modelo de mensajería asíncrona publicador/suscriptor. Cabe mencionar que se tiene como premisa el acceso a Internet a través la red de comunicación (Wi-Fi) de las instalaciones del Proyecto Camisea.

La tecnología *cloud* que ofrece Amazon Web Services, a través de sus diferentes servicios han sido de mucha utilidad para abordar los casos de uso del proyecto de investigación. Los servicios más importantes de la arquitectura *cloud* son: (i) Amazon IoT Core, cuyo aporte es habilitar el modelo de mensajería asíncrona para el intercambio de datos entre el sistema físico y el sistema ciber, y redirigir los datos hacia el servicio de Amazon Elasticsearch Service a través de sus elementos (políticas, *topics*, sombras y reglas); (ii) Amazon Elasticsearch Service, cuyo aporte ser la herramienta ETL que transforma, almacena, monitorea y presenta los datos recibidos a través de los diferentes elementos de su *stack* (*Logstash*, *Elasticsearch*, *Kibana*); (iii) Amazon SNS, cuyo aporte es gestionar las notificaciones vía SMS y correo electrónico cada vez que se obtenía un valor inferior a un límite máximo permisible configurado en *Kibana*. Estos servicios en conjunto representan una arquitectura de referencia para proyectos que requieran monitorizar variables de procesos físicos.

Por lo antes descrito, la solución propuesta aborda principalmente los elementos de adquisición de datos y de comunicación necesarios a nivel de *software*, *hardware* y *cloud computing*, para monitorizar derrames de pequeña magnitud a lo largo del poliducto de LGN y establecer alertas a tres niveles: *in situ*, a través de SMS y a través de la plataforma *cloud*.

El costo estimado del sistema ciber-físico es de 201 018 USD, lo cual es bastante aceptable considerando la complejidad que conlleva su implementación.

A medida que se priorice el bienestar social de las poblaciones aledañas al poliducto, protegiendo los recursos naturales; y siendo evidente la necesidad de contar con mayor instrumentación y con un proceso más eficiente para la identificación oportuna de derrames; hacen de este proyecto una propuesta atractiva para evaluar su posible implementación.

El gaseoducto y el poliducto representan la columna vertebral de la red energética nacional, por lo que su monitoreo es un factor crítico y un importante primer paso para obtener datos, los mismos que en un futuro permitirán entrenar modelos computacionales que logren identificar la ubicación del derrame, y con ello, observar los factores que podrían ocasionar este tipo de incidentes que afectan a la integridad del ducto.

A futuro, en el Perú, la industria de transporte de GNS y LGN seguirá la tendencia de desarrollar proyectos más grandes y complejos a medida que se resuelvan conflictos políticos que han paralizado los proyectos de masificación de gas natural como el Gaseoducto del Sur Peruano. Es por ello, que investigar e innovar tecnológicamente dentro del sector hidrocarburos significa un valioso aporte para dinamizar la economía nacional en beneficio de los peruanos [96], algo muy necesario en la actual coyuntura.

Recomendaciones

Respecto al algoritmo de detección de derrames, en vista que los sensores seleccionados permiten medir variables de presión, flujo, temperatura y ruido acústico, se recomienda considerar la implementación de dos métodos de detección de derrames: el modelo transitorio en tiempo real y el seguimiento de onda de presión negativa.

Respecto al sistema físico, es posible considerar que:

- La red de comunicación Wi-Fi de las instalaciones del Proyecto Camisea (para el acceso a internet) puede no estar disponible en los diferentes puntos de monitoreo. En ese caso se recomienda cambiar el microcontrolador por uno que admita comunicación por radiofrecuencia y que opere en las frecuencias de los 433 MHz o 915 MHz. Esto habilitaría la topología de red de tipo línea y a su vez se obtendría mayores alcances de comunicación hacia un punto estratégico que tenga acceso a Internet.
- Algunos componentes electrónicos pueden no soporten ambientes complejos, en ese caso se recomienda optar por utilizar equipos industriales que tienen la misma funcionalidad. Así mismo, se recomienda consultar con la empresa CEYESA dado que es un distribuidor autorizado de equipos industriales de marcas conocidas como Schneider Electric, Phoenix Contact, Rittal, Beijer, etc.

- El sistema eléctrico requiere componentes adicionales como electrodos puestos a tierra, varillas de cobre puro, y toda la instalación para la descarga de energía estática. Esto no ha sido calculado puesto que escapa del alcance del proyecto, sin embargo, se recomienda tenerlo en consideración.

Respecto al sistema ciber, la arquitectura diseñada cumple con todos los atributos de un producto mínimo viable, lo cual es importante para las pruebas de concepto que se realicen en campo. Sin embargo, para migrar hacia una solución comercial, se recomienda considerar el uso de servicios *serverless* manteniendo el esquema general del sistema. Cabe mencionar que, a la fecha, es posible ejecutar modelos de inteligencia artificial y de *machine learning* a través de la interacción de servicios *serverless* como Amazon Lambda (procesamiento), Amazon EFS (almacenamiento), y Amazon VPC (redes).



BIBLIOGRAFÍA

- [1] S. Valencia and D. Peña, “Pluspetrol Camisea S.A,” *PCR*, pp. 1–15, 2016.
- [2] A. Dammert and M. Fiorella, “¿Qué significa el Proyecto Camisea?,” Lima, 2006.
- [3] Osinergmin, “Boletín Informativo de Gas Natural 2016-I,” p. 40, 2016.
- [4] Apoyo & Asociados Internacionales S.A.C, “Informe Anual: Transportadora de Gas del Perú S.A. (TGP),” 2019.
- [5] A. Gonzales Ramos, T. Gutiérrez Apolo, and M. Morante Muroy, “Transportadora de Gas del Perú S.A.,” *PCR*, pp. 1–13, 2018.
- [6] H. Tavera, I. Bernal, C. Condori, M. Ordaz, A. Zevallos, and O. Ishizawa, “Evaluación del Peligro Sísmico en Perú: Mapa de Peligro Sísmico para el Perú,” Lima, 2014.
- [7] A. Dammert Lira, “El Gas de Camisea y sus implicancias,” *Rev. Derecho Adm.*, no. 12, pp. 117–120, 2012, Accessed: Jan. 02, 2020. [Online]. Available: <http://revistas.pucp.edu.pe/index.php/derechoadministrativo/article/view/13524>.
- [8] Osinergmin, “Sistemas de transporte y distribución de gas natural en el Perú,” 2012.
- [9] Transportadora de Gas del Perú, “PRIMER REPORTE DE SOSTENIBILIDAD,” Lima, 2010.
- [10] Osinergmin, “Terminos de referencia de empresas supervisoras de nivel A,” 2009.
- [11] Osinergmin, “Informe sobre la primera falla ocurrida en el sistema de transporte de líquidos de gas natural por ductos de Camisea a la costa de la empresa concesionaria Transportadora del Gas del Peru S.A.,” 2004.
- [12] Osinergmin, “Informe sobre segunda falla ocurrida en el sistema de transporte de líquidos de gas natural por ductos de Camisea a la costa de la empresa concecionaria Transportadora del Gas del Peru S.A.,” 2005.
- [13] Osinergmin, “Informe sober la décima primera falla ocurrida en el sistema de transporte de líquidos de gas natural por ductos de Camisea a la costa de la empresa concesionaria Transportadora del Gas del Peru S.A.,” 2015.
- [14] Osinergmin, “Informe sobre décima segunda falla ocurrida en el sistema de transporte de líquidos de gas natural por ductos de Camisea a la costa de la empresa concesionaria Transportadora del Gas del Peru S.A.,” 2016.
- [15] Osinergmin, “Informe sobre la décima tercera falla ocurrida en el sistema de transporte de líquidos de gas natural por ductos de Camisea a la costa de la empresa concesionaria Transportadora del Gas del Peru S.A.,” 2018.
- [16] Osinergmin, “Informe sobre tercera falla ocurrida en el sistema de transporte de líquidos de gas natural por ductos de Camisea a la costa de la empresa concesionaria Transportadora del Gas del Peru S.A.,” 2005.
- [17] Osinergmin, “Informe sobre las fallas ocurridas en el ducto de líquidos de gas natural del sistema de transportes de Camisa: Cuarta falla,” 2005.

- [18] Osinergmin, “Informe sobre fallas ocurridas en el ducto de líquidos de gas natural del sistema de transporte de Camisea: Quinta falla,” 2006.
- [19] Osinergmin, “Informe preliminar sobre falla ocurrida en el ducto de líquidos de gas natural del sistema de transportes de Camisea,” 2007.
- [20] Osinergmin, “Informe sobre falla ocurrida en el sistema de transporte por ductos de líquidos de gas natural de la empresa Transportadora del Gas del Peru S.A.,” 2011.
- [21] Osinergmin, “Informe sobre octava falla ocurrida en el sistema de transporte de líquidos de gas natural por ductos de Camisea a la costa de la empresa concesionaria Transportadora del Gas del Peru S.A.,” 2012.
- [22] Osinergmin, “Informe sobre novena falla ocurrida en el sistema de transporte de líquidos de gas natural por ductos de Camisea a la costa de la empresa concesionaria Transportadora del Gas del Peru S.A.,” 2012.
- [23] Osinergmin, “Informe sobre décima falla ocurrida en el sistema de transporte de líquidos de gas natural por ductos de Camisea a la costa de la empresa concesionaria Transportadora del Gas del Peru S.A.,” 2014.
- [24] W. Fajardo, “Monitoreo de los recursos hídricos y suelos por derrame de líquidos de gas natural en KP 125 + 487 Manatarushiato,” Cusco, 2007.
- [25] J. Manco, “Camisea: afectación líquidos de gas natural – Diario UNO,” Feb. 25, 2018. <https://diariouno.pe/columna/camisea-afectacion-liquidos-de-gas-natural/> (accessed Jul. 22, 2020).
- [26] P. S. Murvay and I. Silea, “A survey on gas leak detection and localization techniques,” *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, vol. 25, no. 6, Elsevier, pp. 966–973, Nov. 01, 2012.
- [27] H. Geuger and T. Wermer, “Leak Detection and Locating - A Survey,” *PSID*, 2003, Accessed: Aug. 10, 2020. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/242384640_Leak_Detection_and_Locating_-_A_Survey.
- [28] E. Butts, “Pipeline leak detection device,” US003564526, Feb. 16, 1971.
- [29] F. Massa, “Automatic leakage detection system form pipelines carrying fluids,” US004066095, Feb. 17, 1976.
- [30] Chang David, “Leak detector for natural gas pipelines,” Feb. 25, 1991.
- [31] J. Baumol, “Method and apparatus for leak detection and pipeline temperature modeling method and apparatus,” Sep. 22, 1992.
- [32] R. Ashworth, “Pipeline leak detector,” Jun. 03, 1998.
- [33] “Atmos International - Gas industry.” <https://www.atmosi.com/en/industries/gas/> (accessed Sep. 15, 2020).
- [34] P. Mell and T. Grance, “The NIST Definition of Cloud Computing,” Sep. 2011. doi:

- 10.6028/NIST.SP.800-145.
- [35] “NIST Cloud Computing Standards Roadmap,” doi: 10.6028/NIST.SP.500-291r2.
- [36] “Diferencias entre una nube pública, una nube privada y una nube híbrida | Microsoft Azure.” <https://azure.microsoft.com/es-es/overview/what-are-private-public-hybrid-clouds/> (accessed Sep. 17, 2020).
- [37] N. Cross, *Engineering Design Methods: Strategies for Product Design*, 4th ed. John Wiley & Sons Inc, 2008.
- [38] H. Cervantes and R. Kazman, *Designing Software Architectures: A Practical Approach*. United States: Addison-Wesley, 2016.
- [39] INSTRUMART, “Rosemount 0085 Pipe Clamp Sensor.” <https://www.instrumart.com/products/43777/rosemount-0085-pipe-clamp-sensor> (accessed Oct. 17, 2020).
- [40] “Product Data Sheet: Rosemount 0085 Pipe Clamp Sensor,” 2020.
- [41] M. J. Guers, C. J. Fontana, and B. R. Tittmann, “A noninvasive pressure measurement technique and the potential for integrated calibration,” *AIP Conference Proceedings*, vol. 975, no. 1, AIP, pp. 1500–1504, Mar. 10, 2008.
- [42] H. Zhou, W. Lin, X. Ge, and J. Zhou, “A non-intrusive pressure sensor by detecting multiple longitudinal waves,” *Sensors (Switzerland)*, vol. 16, no. 8, Aug. 2016, doi: 10.3390/s16081237.
- [43] KROHNE, “OPTISONIC 6300 Hoja de datos técnica.” Accessed: Oct. 18, 2020. [Online]. Available: www.krohne.com.
- [44] KOBOLD LATAM, “Transducer Clamp-on Ultrasonic Flow Meter.” <https://koboldperu.com/producto/kobold/kobold-nivel/nivel-kobold-ultrasonico/transducer-clamp-on-ultrasonic-flow-meter-duc-wf-10-0-10-kobold/> (accessed Oct. 18, 2020).
- [45] FLEXIM, “Catálogo de Productos. Medición ultrasónica clamp-on de flujo y análisis de los procesos.” .
- [46] PHYSICAL ACOUSTICS, “Preamplifiers.” <https://www.physicalacoustics.com/preamplifiers/> (accessed Oct. 18, 2020).
- [47] A. Mostafapour and S. Davoudi, “Analysis of leakage in high pressure pipe using acoustic emission method,” *Appl. Acoust.*, vol. 74, no. 3, pp. 335–342, Mar. 2013, doi: 10.1016/j.apacoust.2012.07.012.
- [48] MISTRAS, “F115I-AST.” http://www.physicalacoustics.com/content/literature/sensors/Model_F15I-AST.pdf (accessed Oct. 18, 2020).
- [49] MISTRAS, “F30I-AST.” http://www.physicalacoustics.com/content/literature/sensors/Model_F30I-AST.pdf (accessed Oct. 18, 2020).
- [50] MISTRAS, “LNWDI .”

- http://www.physicalacoustics.com/content/literature/sensors/Model_LNWDI.pdf (accessed Oct. 18, 2020).
- [51] Naylamp Mechatronics, “Transformador de voltaje AC - ZMPT101B.” <https://naylampmechatronics.com/sensores-corriente-voltaje/393-transformador-de-voltaje-ac-zmpt101b.html> (accessed Oct. 19, 2020).
- [52] Maxim Integrated, “MAX3483 Family Transceivers.” <https://www.maximintegrated.com/en/products/interface/transceivers/MAX3491E.html> (accessed Oct. 19, 2020).
- [53] AliExpress, “Módulo MAX3485EESA.” <https://es.aliexpress.com/item/32827497225.html> (accessed Oct. 19, 2020).
- [54] SCIOSENSE, “TDC-GP22 Ultrasonic Flow Converter - ScioSense.” <https://www.sciosense.com/products/ultrasonic-flow-converters/tdc-gp22-ultrasonic-flow-converter/> (accessed Oct. 20, 2020).
- [55] SCIOSENSE, “TDC-GP30-F01 Ultrasonic Flow Converter - ScioSense.” <https://www.sciosense.com/products/ultrasonic-flow-converters/tdc-gp30-f01/> (accessed Oct. 20, 2020).
- [56] DIGIKEY, “GP30-EVA-F01-BOARD.” <https://www.digikey.com/es/products/detail/sciosense/GP30-EVA-F01-BOARD/7347568> (accessed Oct. 20, 2020).
- [57] “Acoustic Emission Sensors and Preamplifiers,” 2019. Accessed: Oct. 20, 2020. [Online]. Available: https://www.vallen.de/zdownload/pdf/Sensor_Preamplifier_Description.pdf.
- [58] “Accessories for Acoustic Emission Systems,” 2017. Accessed: Oct. 22, 2020. [Online]. Available: www.vallen.de.
- [59] TI, “Amplifier circuits.” <https://www.ti.com/design-resources/design-tools-simulation/analog-circuits/amplifier-circuits.html> (accessed Oct. 20, 2020).
- [60] ESPRESSIF, “ESP32-WROOM-32D and ESP32-WROOM-32U Datasheet,” 2019. Accessed: Oct. 20, 2020. [Online]. Available: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-wroom-32d_esp32-wroom-32u_datasheet_en.pdf.
- [61] ESPRESSIF, “ESP32-WROVER Datasheet,” 2019. Accessed: Oct. 20, 2020. [Online]. Available: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-wrover_datasheet_en.pdf.
- [62] NEXTION, “Intelligent HMI Display.” <https://nextion.tech/intelligent-series-introduction/> (accessed Oct. 21, 2020).
- [63] AliExpress, “Módulo G3MB-202P.” <https://es.aliexpress.com/item/32452407479.html> (accessed Oct. 20, 2020).
- [64] Phoenix Contact Inc, “STEP-PS/1AC/12DC/1,” 2010. Accessed: Oct. 27, 2020. [Online].

- Available: <https://www.phoenixcontact.com/es/productos/2868538>.
- [65] Texas Instruments, “Webench Power Designer,” *Texas Instruments Onlinetool*, 2019. <http://www.ti.com/tools-software/design-center/webench-power-designer.html> (accessed Oct. 23, 2020).
- [66] Delta Volt, “Calculadora para Dimensionar Sistemas Solares Fotovoltaicos.” <https://deltavolt.pe/calculo-solar> (accessed Oct. 25, 2020).
- [67] Delta Volt, “Radiación Solar por Departamento .” <https://deltavolt.pe/atlas/atlassolar/radiacion-departamento> (accessed Oct. 25, 2020).
- [68] Carpeta Pedagógica, “Tipos de Climas en el Perú.” <http://cienciageografica.carpetapedagogica.com/2012/07/tipos-de-climas-en-el-peru.html> (accessed Oct. 25, 2020).
- [69] Canadian Solar, “CS6C-145 | 150P.” Accessed: Apr. 22, 2021. [Online]. Available: <https://deltavolt.pe/documentos/CS6C-P-Off-Grid-Module.pdf>.
- [70] victron energy, “Controlador de carga BlueSolar MPPT 75/10.” Accessed: Oct. 27, 2020. [Online]. Available: <https://autosolar.pe/pdf/Regulador-Victron-Enerergy-MPPT-75V-10A-75V-15A-100V-15A.pdf>.
- [71] VISION, “6FM60D-X.” Accessed: Oct. 27, 2020. [Online]. Available: <https://autosolar.pe/pdf/VISION-12V-60AH.pdf>.
- [72] National Instruments, “Introducción a Modbus.” <https://www.ni.com/es-cr/innovations/white-papers/12/introduction-to-modbus-using-labview.html> (accessed Jan. 08, 2021).
- [73] Hubbell, “BN4141206CHQTSS.” <https://www.hubbell.com/hubbell/en/Products/Electrical-Electronic/Enclosures/NEMA-4X/BN4141206CHQTSS/p/2719194> (accessed Apr. 22, 2021).
- [74] bmassolar, “Montaje para Poste o Torre Arriostriestrada para Paneles Solares.” <http://bmassolar.com/montaje-poste-torre-arriostriestrada-paneles-solares-SSPBLV4> (accessed Apr. 22, 2021).
- [75] INGESCO, “Catálogo 2021 | Protección contra el rayo.” <https://www.ingesco.com/es/catalogo> (accessed Apr. 22, 2021).
- [76] Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, “Norma técnica E.020.”
- [77] Ministerio de Energía y Minas, “Anexo C. Mapas del terreno,” pp. 112–262, 2016.
- [78] Ministerio de Energía y Minas, “Código Nacional de Electricidad,” 2006.
- [79] Amazon Web Services, “AWS IoT Core.” <https://aws.amazon.com/es/iot-core/?c=i&sec=srv> (accessed Nov. 06, 2021).
- [80] Amazon Web Services, “¿Qué es Elasticsearch?” <https://aws.amazon.com/es/opensearch-service/the-elk-stack/what-is-elasticsearch/> (accessed Nov. 07, 2021).
- [81] Amazon Web Services, “AWS Glue: servicio ETL administrado (Amazon Web Services).” <https://aws.amazon.com/es/glue/> (accessed Nov. 08, 2021).
- [82] Amazon Web Services, “AWS IoT SiteWise.” <https://aws.amazon.com/es/iot-sitewise/>

- (accessed Nov. 08, 2021).
- [83] Amazon Web Services, “Amazon QuickSight - Servicio de inteligencia empresarial.” <https://aws.amazon.com/es/quicksight/> (accessed Nov. 08, 2021).
- [84] Amazon Web Services, “Administración de identidades | IAM .” <https://aws.amazon.com/es/iam/> (accessed Nov. 07, 2021).
- [85] Amazon Web Services, “Servicio web DNS en la nube | Amazon Route53.” <https://aws.amazon.com/es/route53/> (accessed Nov. 07, 2021).
- [86] Amazon Web Services, “AWS Certificate Manager.” <https://aws.amazon.com/es/certificate-manager/> (accessed Nov. 08, 2021).
- [87] Amazon Web Services, “AWS | Gestión de identidades y autenticación de usuario en la nube.” <https://aws.amazon.com/es/cognito/> (accessed Nov. 06, 2021).
- [88] Amazon Web Services, “Amazon CloudWatch: Monitoreo de infraestructuras y aplicaciones.” <https://aws.amazon.com/es/cloudwatch/> (accessed Nov. 07, 2021).
- [89] Amazon Web Services, “AWS | Servicio de notificaciones Push (SNS).” <https://aws.amazon.com/es/sns/> (accessed Nov. 07, 2021).
- [90] Amazon Web Services, “Amazon Simple Email Service (SES).” <https://aws.amazon.com/es/ses/> (accessed Nov. 08, 2021).
- [91] “MQTTBox - Microsoft Store.” <https://www.microsoft.com/en-us/p/mqttbox/9nblggh55jzg?activetab=pivot:overviewtab> (accessed Dec. 16, 2021).
- [92] “Node-RED.” <https://nodered.org/> (accessed Dec. 19, 2021).
- [93] “Visual Studio Code.” <https://code.visualstudio.com/> (accessed Dec. 24, 2021).
- [94] “PlatformIO.” <https://platformio.org/> (accessed Dec. 20, 2021).
- [95] Amazon Web Services, “AWS Pricing Calculator.” <https://calculator.aws/#/estimate> (accessed Nov. 08, 2021).
- [96] C. Jacinto, F. M. S. Lopez, and E. R. Villota Cerna, “Cyber-physical cloud computing system for monitoring lng leakage in pipelines,” Aug. 2019, doi: 10.1109/INTERCON.2019.8853629.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**DISEÑO DE UN SISTEMA CIBER-FÍSICO PARA MONITORIZAR
VARIABLES RELACIONADAS CON DERRAMES DE LÍQUIDOS DE
GAS NATURAL EN EL SISTEMA DE TRANSPORTE POR DUCTOS
DEL PROYECTO CAMISEA**

Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Mecatrónico

AUTOR:

Cristhian Gustavo Jacinto Calderon

ASESOR: Elizabeth Roxana Villota Cerna, PhD

CO-ASESOR: Félix Melchor Santos López, MSIS

Lima, Marzo del 2022

INDICE

A.	Mapa referencial del sistema de transporte de GNS y LGN	1
B.	Análisis estadístico de las fugas de LGN	2
C.	Consultas realizadas a personas y entidades relacionadas con el Proyecto Camisea	3
D.	Estructura de funciones	8
E.	Hoja de datos	9
E.1.	Sensor de temperatura de tipo clamp-on Rosemount 0085.....	9
E.2.	Sensor de flujo y presión (ultrasonido) FSQ-NNTS.....	11
E.3.	Sensor piezoeléctrico acústico F15-AST	12
E.4.	Sensor de voltaje alterno ZMPT101B.....	13
E.5.	Acondicionador de señales RS485 (MAX3485EESA).....	14
E.6.	Módulo TDC GP0F1.....	16
E.7.	Circuito de desacoplamiento DCPL2.....	18
E.8.	Amplificador operacional OPA357	19
E.9.	Microcontrolador ESP2-WROVER-I	20
E.10.	Circulina industrial MFL125-R	22
E.11.	Pantalla táctil HMI NX80T050_011N.....	23
E.12.	Módulo relevador OMRON G3MB.....	24
E.13.	Fuente de alimentación STEP-PS/1AC/12DC/10-24.....	25
E.14.	Panel solar CS6P-240P	26
E.15.	Regulador de carga MPPT 75/10.....	28
E.16.	Batería AGM 6FM60D-X.....	29
E.17.	Gabinete de control	30
E.18.	Soporte de panel solar	31
E.19.	Mástil y soporte de mástil.....	32
E.20.	Punta captadora de rayos	34
F.	Cotizaciones realizadas	36
G.	Integración del sistema ciber-físico.....	38
G.1.	Políticas Amazon IoT Core	38
G.2.	<i>Firmware</i>	39
H.	Planos	48
I.1.	Fuentes reguladoras de voltaje.....	48
I.2.	Placa principal.....	49
I.3.	Ensamble general	50

A. Mapa referencial del sistema de transporte de GNS y LGN



Fuente: *Extracción de Madera, Oro y Gas en la Amazonía Sur del Perú: Impactos y Controversias*. Lima, 2014.

B. Análisis estadístico de las fugas de LGN

	Fecha	Motivo	Como fue detectado	Multa (UIT)	Motivo de la Multa	Recursos afectados	Volumen derramado (barriles)	Departamento
1	22/12/2004	Deslizamiento del suelo.	Sala de Control	302	Responsabilidad en la aplicación del plan de contingencia	Quebrada Kemariato, Río Urubamba y Suelos del entorno	723	CUSCO
				113	Responsabilidad en un accidente fatal.			
2	29/08/2005	Mala soldadura	No detectada por SCADA ni LDS. Reportado por un poblador.	172.26	Responsabilidad en el control de calidad de inspección de la soldadura.	Suelo del entorno a KP 222+500 (Pacobamba), Bofedales y en menor proporción la napa freática del entorno	15.5	AYACUCHO
3	16/09/2005	Deslizamiento del suelo.	Detectado por SCADA.	500	Responsabilidad en el control geotécnico de la zona reconocida como inestable.	Suelo del entorno a KP 200 + 700 , Ríos Chunchubamba y Apurimac	4000	AYACUCHO
4	24/11/2005	Falla humana, impacto durante etapa constructiva	Detectado por SCADA.	128.54	Aplicación del plan de contingencia.	Suelo del entorno a KP 50 + 900 , Quebrada Chirumbia, río Paratori, río Piccha, río Urubamba	4630	CUSCO
5	4/03/2006	Deslizamiento del suelo.	Detectado por SCADA.	118.81	Al no haber implementado obras de protección geotécnica durante la etapa constructiva.	Personas afectadas. Zona del entorno de Kp 126. Suelos y ríos por determinarse.	4700	CUSCO
6	2/04/2007	Deslizamiento del suelo.	No detectada por SCADA ni LDS. Operaciones de mantenimiento.	-	Aplicación del Plan de Contingencias del concesionario y la reparación del ducto de transporte de LGN.	Suelo del entorno KP 125 + 487, en el Asentamiento Rural de Manatarushiato	-	CUSCO
7	22/02/2011	Movimiento del suelo.	No detectada por SCADA ni LDS.	-		KP 91+150 Asentamiento Rural Manugali.	-	CUSCO
8	12/04/2012	Movimiento del suelo.	No detectada por SCADA ni LDS. Grupo de vigilancia.	-		KP 56+436 Reserva Comunal Matsiguenga	-	CUSCO
9	11/10/2012	Perforaciones en la pared de la tubería.	No detectada por SCADA ni LDS. Reportado por un poblador.	-		KP 307+007 Distrito de Socos	-	AYACUCHO
10	11/06/2014	Perforaciones en la pared de la tubería.	No detectada por SCADA ni LDS. Reportado por un poblador.	-		KP 409+564 Distrito de Tambo	-	HUANCAVELICA
11	30/04/2015	Deslizamientos del suelo.	Detectado por SCADA.	-		KP-183+644 Distrito de Chiquintirca	-	AYACUCHO
12	19/01/2016	Deslizamiento del suelo.	No detectada por SCADA ni LDS. Inspección por personal de patrullaje TGP.	-		KP 56+565 Reserva Comunal Matsiguenga	-	CUSCO
13	3/02/2018	Deslizamientos del suelo.	Detectado por SCADA.	-		KP 8+900 Quebrada Kemariato, distrito de Megantoni,	-	CUSCO

Fuente: Informes sobre fallas ocurridas en el sistema de transporte de líquidos de gas natural en la empresa concesionaria Transporte de Gas del Perú S.A.

C. Consultas realizadas a personas y entidades relacionadas con el Proyecto Camisea

Consulta Recibidos

Cristhian Jacinto Calderón <cristhian.jacinto@puccp.pe>
para marlon.lujan

jue., 2 ago. 20:20

Estimado Ing. Marion

Buenos días, le saluda Cristhian Jacinto, estudiante de Ingeniería Mecatrónica de la PUCP, actualmente estoy desarrollando mi proyecto de tesis que consiste en el control de fugas de gas. Tengo conocimiento que está llevando la Maestría en Soldadura en la PUCP y que uno de sus docentes ha sido mi asesora, la PhD. Elizabeth Villota, quien me brindo su correo para poder comunicarme con usted. Básicamente quisiera saber si usted conoce sobre la transmisión y/o distribución de gas. Me gustaría poder acceder a una pequeña entrevista.

Agradeciéndole por su tiempo y esperando su pronta respuesta, me despido.
Saludos cordiales.

Atte,
Cristhian Jacinto

MARLON JESAHEL LUJAN PAREDES <marlon.lujan@puccp.edu.pe>
para mí

vie., 17 ago. 16:24

Hola Cristhian,

Yo soy alumno de la maestría de Ingeniería de Control y Automatización, sin embargo conozco un poco del tema porque trabajo en el rubro de gas. Ahora no iré mucho a la universidad porque ya solo estoy haciendo tesis pero si deseas me llamas y conversamos un poco sobre que necesitas saber. Mi teléfono es [911000000](tel:911000000)

Saludos,
Marlon

Consulta OEFA Recibidos

Cristhian Jacinto Calderón <cristhian.jacinto@puccp.pe>
para reyes31

sáb., 25 ago. 10:25

Estimado Sr. Javier,

Hago envío del resumen de lo que estoy realizando como trabajo de fin de carrera. Como le comenté he registrado una solicitud a través de SAIP, en la que textualmente dice: "Solicito reportes de las supervisiones históricas que la OEFA a realizado a las siguientes empresas: TRANSPORTADORA DE GAS DEL PERU S.A. (RUC:20499432021) y PERU LNG S.R.L. (RUC: 20506342563)"

Esperando su pronta respuesta, me despido. Muchas gracias,
Atte.

JAVIER REYES MORE <reyes31@hotmail.com>
para mí

31 ago. 2018 14:04

Estimado Cristian

Algunos alcances normativos

- 1.Ley Orgánica de Hidrocarburos N° 26221. Artículo 72°
2. Reglamento de Transporte de Hidrocarburos por Ductos: Decreto Supremo N° 081-2007-EM

El ducto de TGP y Peu LNG es manejada por el sistema SCADA, que trasmite datos de Q, P y T° en tiempo real, adicionalmente cuenta con válvulas de bloqueo que se pueden operar remotamente con el mismo sistema.

Estamos en comunicación

Saludos Cordiales

Javier Reyes More

Cristhian Jacinto Calderón <cristhian.jacinto@pucp.pe>
para cesargamboadsa, bcc: Felix, bcc: Elizabeth

19 sept. 2018 17:48

Estimado Ing. César,

Le saluda nuevamente Cristhian, alumno de la especialidad de Ingeniería Mecatrónica de la PUCP. Como le comenté me encuentro desarrollando mi proyecto de tesis, y estoy investigando sobre los impactos de una fuga de gas natural y/o líquidos de gas natural, solicitando información a distintas entidades como el OEFA, OSINERGMIN, y MINSA.

Tengo conocimiento que se han venido dando una serie de filtraciones menores de líquidos de gas natural afectando a nuestros recursos naturales y a la población. Sin embargo desconozco, los impactos que estos generan en la salud de la población; por lo cual, me sería de mucha ayuda que usted me pueda facilitar dicha información.

En relación a lo antes mencionado, le he adjuntando tres documentos, entre los cuales se encuentra un breve resumen de mi proyecto.

Esperando su pronta respuesta, me despido.

Muchas gracias.

Saludos cordiales,

Atte,
Cristhian Jacinto C.

3 archivos adjuntos



Cesar Gamboa <cesargamboadsa@gmail.com>
para mi

mar., 9 oct. 12:32

Estimado Cristhian:

Previo saludo, le respondo a la inquietud que usted tiene con respecto a los ductos de gas natural, principalmente relacionando y justificando el trabajo que debe sustentar. permítame felicitarlo pues es bueno reconocer el trabajo de investigación que está realizando. Le envío adjunto un informe sobre el trabajo realizado por unos colegas hace años atrás y otro que personalmente realicé en un incidente éste año, claro que nosotros en el trabajo realizado no podemos dar opinión ni tenemos informes de daños directos a la salud, pero que definitivamente impactan en el ambiente y por ende a la salud, tampoco usted dejará de lado justificarlo en su trabajo, pero en función a los LMP y VMA según normatividad vigente podrá concluir.

Agradeceré confirmar la recepción del presente; cualquier otra pregunta, no dude en hacerla.

Atentamente

César Raúl Gamboa Ugarte
Ingeniero Químico
CIP N° 113613
DESA DIRESA CUSCO

2 archivos adjuntos



Fwd: Re: HOLA ALFREDO iiii Recibidos x



De Los Milagros Viera <delosmilagros3185@hotmail.com>
para cristhian.jacinto@puccp.pe

mar, 25 sept 2018 11:45 ☆ ↶ ⋮

Cristian espero sea de tu ayuda.
Saludos
Lucia

----- Mensaje reenviado -----

De: Alfredo Sergio Tello Iparraguirre <atelloi@oefa.gob.pe>
Fecha: 24 set. 2018 10:03 a. m.
Asunto: Re: HOLA ALFREDO iiii
Para: delosmilagros3185@hotmail.com
Cc:

Hola Lucía;
Espero que te esté yendo bien. Respecto a lo solicitado, la fuente de información principal es la Gerencia de Fiscalización de Gas Natural de Osinergmin (GFGN). Busca la página web www.osinergmin.gob.pe.
En toda supervisión en atención a una emergencia por fuga y/o derrame de gas o líquidos en ductos, el operador está obligado en reportar la emergencia vía un Reporte Preliminar, dentro de las 24 horas de ocurridos los hechos. Asimismo un Reporte Final dentro de los 10 días hábiles. Los supervisores de Osinergmin se hacen presente en el lugar de los hechos a la brevedad posible para obtener información del operador, del accidente, causas y consecuencias. Debe determinar si la causa de la fuga o derrame se debe a algún incumplimiento a las normas técnicas y/o seguridad por parte del operador. Verificar si se aplicó el Plan de Contingencias. Todo ello conlleva registro fotográfico, de ubicación con GPS, recolección de toda la información de campo que permita obtener evidencias de las causas del siniestro. Asimismo, se le solicita al operador toda la información y registros de operación y mantenimiento que permitan dar con el origen del siniestro.
La empresa supervisora luego elabora un informe de supervisión y lo presenta a Osinergmin.
Respecto a la normativa revisar el DS 081-2007-EM Reglamento de Transporte de Hidrocarburos por ductos, adjunto.
Adjunto también los contratos de transporte de GN y LGN.
Conversamos,
Saludos,
Alfredo Tello

informacion Externo Recibidos x



De Los Milagros Viera <delosmilagros3185@hotmail.com>
para cristhian.jacinto@puccp.pe

dom, 26 ago 2018 22:13 ☆ ↶ ⋮

hola Cristhian,
te adjunto algunos archivos, llevaré mi usb para que busques y copies la información porque es muy pesada, para que veas que información tienen los informes.
saludos
Milagros
...

[Mensaje recortado] [Ver todo el mensaje](#)

9 archivos adjuntos





PERÚ

Ministerio
del AmbienteOrganismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental (OEFA)Reglamento de Acceso
a la Información Pública"Decenio de la Igualdad de oportunidades para mujeres y hombres"
"Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional"

Lima, 19 de octubre de 2018

CARTA N° 1814 -2018-OEFA/RAI

Señor
CRISTHIAN JACINTO CALDERON
 Calle Santa Nicerata N° 674, Pueblo Libre
 Lima - 15084 -

Referencia Solicitud de acceso a la información pública del 10/10/2018
 (Expediente N° 2018-E01-082727)

De mi mayor consideración

Es grato dirigirme a usted, en atención al documento de la referencia, mediante el cual requiere que se le brinde la siguiente información:

"[SIC] Solicito reportes de las supervisiones históricas que el OEFA a realizado a las siguientes empresas: TRANSPORTADORA DE GAS DEL PERU S.A. (RUC:20499432021) y PERU LNG S.R.L (RUC: 20506342563)."

Al respecto, es preciso señalar la información solicitada es de carácter público de conformidad a lo establecido en el Artículo 10° del Texto Único Ordenado de la Ley N° 27806, Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública, aprobado por Decreto Supremo N° 043-2003-PCM. En ese sentido, la Dirección de Supervisión Ambiental en Energía y Minas remitió un (01) DVD ROM que contiene la copia digital de los reportes públicos elaborados, a la fecha, correspondientes a las supervisiones realizadas a las empresas Transportadora de Gas del Perú S.A. (TGP) y Perú LNG S.R.L.

En ese contexto, se pone a su disposición un (1) DVD ROM, que contienen la información solicitada, el cual le será entregado previa presentación de la copia del recibo de pago por la suma de S/ 2,49. Dicho pago podrá ser abonado en la Caja de la Sede Central del OEFA, ubicada en avenida Faustino Sánchez Carrión 603, 607 y 615, distrito de Jesús María, provincia y departamento de Lima, en el horario de lunes a viernes de 8:45 a.m. a 4:45 p.m.; o en la Cuenta Corriente Recursos Directamente Recaudados del OEFA N° 00-068-199344 del Banco de la Nación, debiendo remitir copia escaneada del recibo de pago al correo electrónico accesoinformacion@oefa.gob.pe.

Adicionalmente, resulta necesario señalar que según lo establecido en el último párrafo del Artículo 13° del Reglamento de la Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública, aprobado por Decreto Supremo N° 072-2003-PCM, si el solicitante incumple con cancelar el monto previsto en el párrafo anterior o habiendo cancelado dicho monto, no requiera su entrega, dentro del plazo de treinta (30) días calendario contados a partir de la puesta a disposición de la liquidación o de la información, según corresponda, su solicitud será archivada.

Atentamente,

ANGELO LÉVANO CAÑO

Responsable de Acceso a la Información Pública (RAI)
 Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA)

Nag

www.oefa.gob.pe

Av. Faustino Sánchez Carrión 603, 607 y 615
 Jesús María, Lima - Perú
 Telf: (511) 204 9900



Cristhian Jacinto Calderón <cristhian.jacinto@puccp.pe>

15 oct. 2018 15:10



para atencionalcliente

Buenas tardes.

Mediante el presente hago la siguiente consulta:

¿Cuáles son los rangos de presión y temperatura de: (i) gas natural; y (ii) líquidos de gas natural, en la red de transporte del Proyecto Camisea?. Además si fuera posible me interesa conocer la precisión de los instrumentos para obtener los rangos de valores.

Atte



Atencion al Cliente <atencionalcliente@osinergmin.gob.pe>

mié., 17 oct. 10:20



para mí

Estimado señor Cristhian Jacinto Calderón:

Nos es grato dirigirnos a usted para saludarlo y brindar una respuesta a su consulta. De acuerdo a lo indicado por el área correspondiente, informarle lo siguiente:

1.- ¿Cuáles son los rangos de presión y temperatura de: (i) gas natural; y (ii) líquidos de gas natural, en la red de transporte del Proyecto Camisea?

1.1.- Para información en general y diaria, de la estadística relevante del Sector de Gas Natural; visite nuestra página web: http://gasnatural.osinergmin.gob.pe/contenidos/empresas_sector/informacion_estadistica.html

1.2.- Los rangos de temperatura son variados de acuerdo a los diferentes tramos por donde discurre y a las condiciones operativas, principalmente. Sin embargo haciendo un cálculo aproximado del promedio diario podría decirse:

Ductos de GN: entre 45°C y 5°C (Promedio a grosso modo calculados por un día operativo, sin considerar condiciones de emergencia operativa)

Ductos de LGN: entre 41°C y 11°C (Promedio a grosso modo calculados por un día operativo, sin considerar condiciones de emergencia operativa)

1.3.- Los rangos de presión son variados de acuerdo a los diferentes tramos por donde discurre y a las condiciones operativas, principalmente. Sin embargo haciendo un cálculo aproximado del promedio diario podría decirse:

Ductos de GN: entre 147 Barg y 90 Barg (Promedio a grosso modo calculados por un día operativo, sin considerar condiciones de emergencia operativa)

Ductos de LGN: entre 115 Barg y 5 Barg (Promedio a grosso modo calculados por un día operativo, sin considerar condiciones de emergencia operativa)

2.- "Además si fuera posible, me interesa conocer la precisión de los instrumentos para obtener los rangos de valores."

2.1.- Los instrumentos son variados en tecnología y tienen que estar certificados permanentemente para aceptar los valores que registran.

2.1.- Si consulta páginas web donde diga: "natural gas measurement instruments" encontrará copiosa información al respecto.

Estamos a su servicio brindándole una atención personalizada en nuestras oficinas, de [lunes a viernes](#). De requerir mayor información o cualquier consulta adicional, también puede comunicarse al 219-3410 desde Lima o a la línea gratuita 0800-41-800 para llamadas desde provincia.

Saludos cordiales,

Atención al cliente

Osinergmin

Ca. Bernardo Monteagudo 222

Magdalena del Mar, Lima 17

Tel. (511) 219 - 3410

www.osinergmin.gob.pe

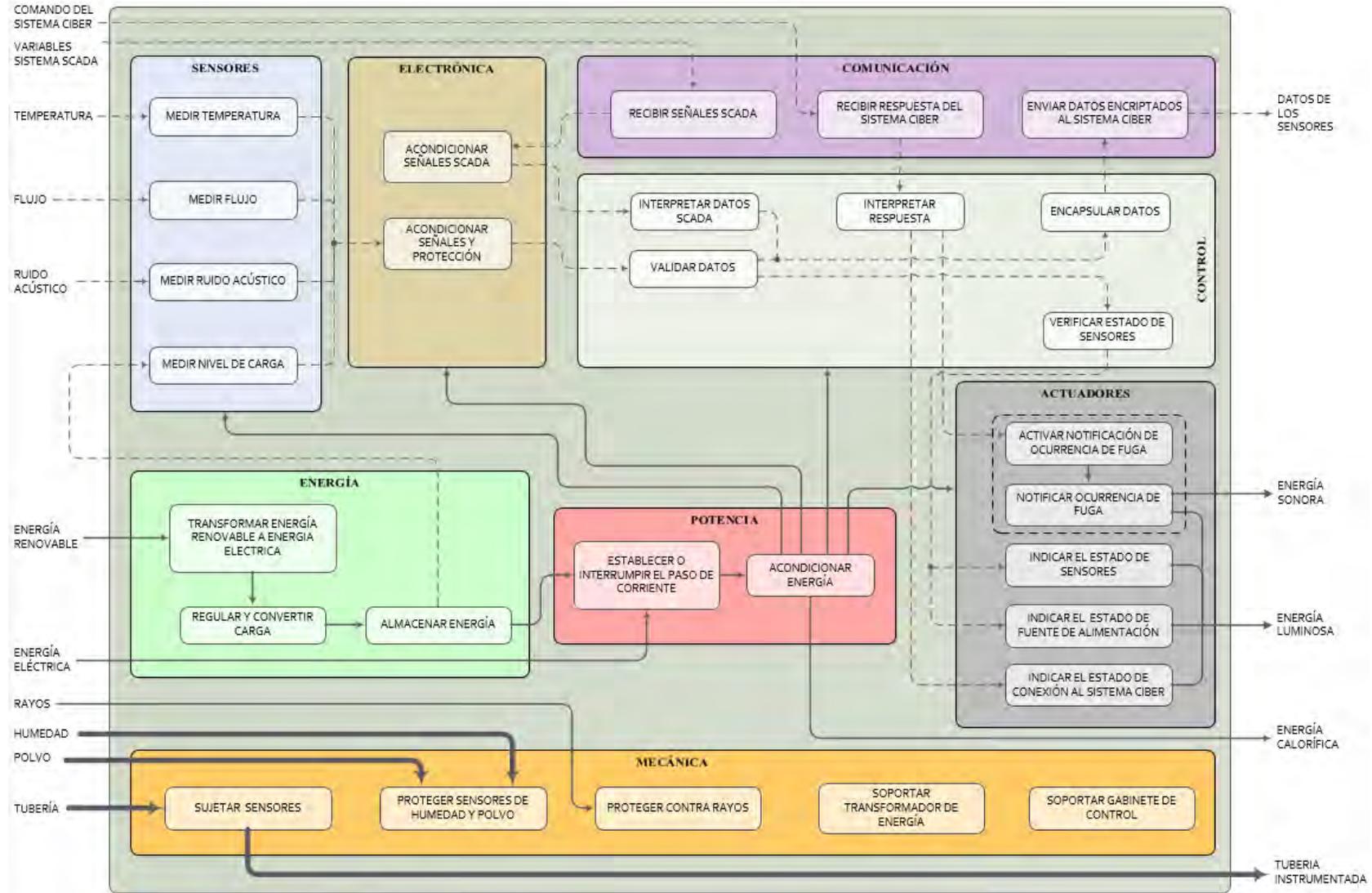


Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería

Síguenos en:



D. Estructura de funciones



E. Hoja de datos

E.1. Sensor de temperatura de tipo clamp-on Rosemount 0085

Rosemount 0085 Pipe Clamp Sensor	October 2018						
<h2>Specifications</h2>							
<h3>Material selection</h3>	<h3>Identification data</h3>						
<p>Emerson provides a variety of Rosemount product with various product options and configurations including materials of construction that can be expected to perform well in a wide range of applications. The Rosemount product information presented is intended as a guide for the purchaser to make an appropriate selection for the application. It is the purchaser's sole responsibility to make a careful analysis of all process parameters (such as all chemical components, temperature, pressure, flow rate, abrasives, contaminants, etc.), when specifying product, materials, options and components for the particular application. Emerson is not in a position to evaluate or guarantee the compatibility of the process fluid or other process parameters with the product, options, configuration or materials of construction selected.</p>	<p>The model and serial numbers are engraved directly on the spring loaded adapter.</p>						
<h3>Rosemount Pipe Clamp Platinum RTD</h3>	<h3>Ingress Protection (IP) rating for connection head</h3>						
<h4>Nominal resistance</h4>	<p>IP68 and NEMA® 4X</p>						
<p>In accordance with DIN EN 60751/IEC 751 1983 incorporating Amendments 1 and 2, the nominal resistance is defined:</p>	<p>Figure 2. Sensor Lead Wire Termination – Pipe Clamp RTD Spring Loaded</p>						
<p>100 Ω RTD at 0 °C</p>	<p>Single element 4-wire</p>						
<p>$\alpha = 0.00385 \Omega \times \text{°C}/\Omega$, averaged between 0 and 100 °C</p>	<p>Dual element 3-wire</p>						
<h4>Limit deviations</h4>							
<p>Tolerance Class B, as standard $t = \pm(0.3 + 0.005 \times [t])$; temperature range –200 to 300 °C (–328 to 572 °F)</p>							
<p>Tolerance Class A, as option $t = \pm(0.15 + 0.002 \times [t])$; temperature range –50 to 300 °C (–58 to 572 °F)</p>	<h3>Vibration effect</h3>						
<h4>Process temperature range</h4>	<p>The Rosemount 0085 Pipe Clamp Sensor is tested to the following specifications with no effect on performance per IEC 60770-1, 2010:</p>						
<p>–200 to 300 °C (–328 to 572 °F)</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Frequency</th> <th>Vibration</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>10 to 60 Hz</td> <td>0.075 mm displacement</td> </tr> <tr> <td>60 to 1000 Hz</td> <td>1 g (10 m/s²) peak acceleration</td> </tr> </tbody> </table>	Frequency	Vibration	10 to 60 Hz	0.075 mm displacement	60 to 1000 Hz	1 g (10 m/s ²) peak acceleration
Frequency	Vibration						
10 to 60 Hz	0.075 mm displacement						
60 to 1000 Hz	1 g (10 m/s ²) peak acceleration						
<h4>Ambient temperature range</h4>							
<p>–40 to 85 °C (–40 to 185 °F)</p>							
<h4>Self-heating</h4>							
<p>0.15 K/mW when measured as defined in DIN EN 60751; 1996</p>							
<h4>Insulation resistance (RTD)</h4>							
<p>1,000 MΩ minimum insulation resistance when measured at 500 V dc at room temperature</p>							
<h4>Sheath material</h4>							
<p>321 SST with mineral insulated cable construction and silver or nickel tip</p>							
<h4>Lead wires</h4>							
<p>PTFE insulated, silver-coated copper wire (Figure 2)</p>							

Product Certifications

Rev 1.12

European Directive Information

A copy of the EU Declaration of Conformity can be found at the end of the Quick Start Guide. The most recent revision of the EU Declaration of Conformity can be found at Emerson.com/Rosemount.

Ordinary Location Certification

As standard, the transmitter has been examined and tested to determine that the design meets the basic electrical, mechanical, and fire protection requirements by a nationally recognized test laboratory (NRTL) as accredited by the Federal Occupational Safety and Health Administration (OSHA).

North America

The US National Electrical Code® (NEC) and the Canadian Electrical Code (CEC) permit the use of Division marked equipment in Zones and Zone marked equipment in Divisions. The markings must be suitable for the area classification, gas, and temperature class. This information is clearly defined in the respective codes.

USA

- E5** FM Explosionproof and Dust-Ignitionproof
Certificate: 0R7A2.AE
Standards: FM Class 3600- 2011, FM Class 3615-2006, FM Class 3810-2005, ANSI/NEMA 250-1991
Markings: XP CL I, DIV 1, GP B, C, D, T6; DIP CL II/III, DIV 1, GP E, F, G, T6; Type 4X; Installed per 00068-0013
- E6** CSA Explosionproof, Dust-Ignitionproof
Certificate: 1063635
Standards: CAN/CSA C22.2 No. 0-M91, CSA Std. C22.2 No. 25-1966, CSA Std. C22.2 No. 30-M1986, CSA Std. C22.2 No.94-M91, CSA Std. C22.2 No. 142-M1987, CSA Std. C22.2 No. 213-M1987
Markings: XP Class I Groups B, C, and D; DIP Class II Groups E, F, G; Class III; Class I Div. 2 Groups A, B, C, D; Class I Zone 1 Group IIB+H2; Class I Zone 2 Group IIC; Installed per 00068-0033;

Europe

- E1** ATEX Flameproof
Certificate: FM12ATEX0065X
Standards: EN60079-0:2012, EN60079-1:2007
Markings:  II 2 G Ex d IIC T6...T1 Gb

Special Conditions for Safe Use (X):

- See certificate for ambient temperature range
- The non-metallic label may store an electrostatic charge and become a source of ignition in Group III environments
- Guard the LCD cover against impact energies greater than 4 joules
- Flameproof joints are not intended for repair
- A suitable certified Ex d or Ex tb enclosure is required to be connected to temperature probes with Enclosure option 'N'.
- Care shall be taken by the end user to ensure that the external surface temperature on the equipment and the neck of DIN Style Sensor probe does not exceed 130 °C.
- Non-Standard Paint options may cause risk from electrostatic discharge. Avoid installations that cause electrostatic build-up on painted surfaces, and only clean the painted surfaces with a damp cloth. If paint is ordered through a special option code, contact the manufacturer for more information

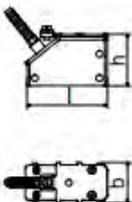
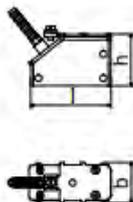
- I1** ATEX Intrinsic Safety
Certificate: Baseefa16ATEX0101X
Standards: EN 60079-0:2012+A11:2013, EN 60079-11:2012
Markings:  II 1 G Ex ia IIC T5/T6 Ga SEE CERTIFICATE FOR SCHEDULE

Thermocouples; Pi = 500 mW	T6 60 °C ≤ T _a ≤ +70 °C
RTDs; Pi = 192 mW	T6 60 °C ≤ T _a ≤ +70 °C
RTDs; Pi = 290 mW	T6 60 °C ≤ T _a ≤ +60 °C
	T5 60 °C ≤ T _a ≤ +70 °C

Special Condition of Use (X):

- The equipment must be installed in an enclosure which affords it a degree of ingress protection of at least IP20

E.2. Sensor de flujo y presión (ultrasonido) FSQ-NNTS

Technical Specification				
Shear Wave Transducers (FM or not explosion proof)				
technical type		CDM2N52	CDP2N52	CDQ2N52
order code		FSM-NF2TS FSM-NF2TS/OS FSM-NNNTS FSM-NNNTS/OS	FSP-NF2TS FSP-NF2TS/OS FSP-NNNTS FSP-NNNTS/OS	FSQ-NF2TS FSQ-NF2TS/OS FSQ-NNNTS FSQ-NNNTS/OS
transducer frequency	MHz	1	2	4
inner pipe diameter d				
min. extended	in	2	0.98	0.39
min. recommended	in	3.9	2	0.98
max. recommended	in	78.7	7.9	5.9
max. extended	in	133.9	23.6	15.7
pipe wall thickness				
min.	in	-	-	-
max.	in	-	-	-
material				
housing		PEEK with stainless steel cap 304, option OS: 316L	PEEK with stainless steel cap 304, option OS: 316L	PEEK with stainless steel cap 304, option OS: 316L
contact surface		PEEK	PEEK	PEEK
degree of protection		NEMA 6	NEMA 6	NEMA 6
transducer cable				
type		1699	1699	1699
length	ft	13	13	9
dimensions				
length l	in	2.52	2.52	1.57
width b	in	1.26	1.26	0.87
height h	in	1.59	1.59	1
dimensional drawing				
ambient temperature				
min.	°F	-40	-40	-40
max.	°F	+266	+266	+266
temperature compensation		x	x	x
explosion protection				
order code		FSM-NF2TS FSM-NF2TS/OS	FSP-NF2TS FSP-NF2TS/OS	FSQ-NF2TS FSQ-NF2TS/OS
explosion protection temperature				
min.	°F	-67	-67	-67
max.	°F	+374	+374	+374
marking		NI/Cl. I,II,III/Div. 2 / ¹ APPROVAL * GP A,B,C,D,E,F,G/ Temp. Codes dwg 3860	NI/Cl. I,II,III/Div. 2 / ¹ APPROVAL * GP A,B,C,D,E,F,G/ Temp. Codes dwg 3860	NI/Cl. I,II,III/Div. 2 / ¹ APPROVAL * GP A,B,C,D,E,F,G/ Temp. Codes dwg 3860
type of protection		non incendive	non incendive	non incendive

E.3. Sensor piezoeléctrico acústico F15-AST





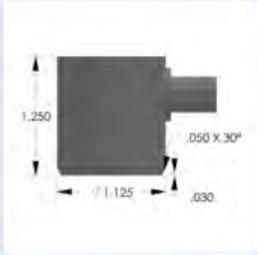
F15I-AST Sensor

Integral Pre-amplifier Sensor



DESCRIPTION AND FEATURES

The F-series sensors are designed to incorporate the latest advances in materials and transducer design principles. These sensors unlike the resonant sensors (R-series) have a very high sensitivity and flat response in the bandwidth of operation. The F15I is an integral pre-amplifier wideband sensor with a flat frequency response over the range of 100 – 450 kHz. This sensor is an ideal candidate for applications requiring high bandwidth for frequency analysis of the AE signals for noise discrimination and source identification. This sensor features a rugged steel construction and an SMA connector exiting from the side of the sensor.



APPLICATIONS

This sensor is well suited for structural health monitoring of large structures like storage tanks, pipelines etc. Flat response of these sensors help eliminate the sharp rise and fall in the sensitivity with frequency commonly seen in resonant sensors, providing additional information for engineers to analyze. Wideband sensors are well suited for research applications where a high fidelity AE response is required. It can be easily mounted using epoxy.

PRODUCT DATA SHEET

OPERATING SPECIFICATIONS

Dynamic

Peak Sensitivity, Ref V/(m/s)	110 dB
Peak Sensitivity, Ref V/ μ bar	-22 dB
Operating Frequency Range	100-450 kHz
Resonant Frequency, Ref V/(m/s)	75 kHz
Resonant Frequency, Ref V/ μ bar	150 kHz
Directionality	+/-1.5 dB

Environmental

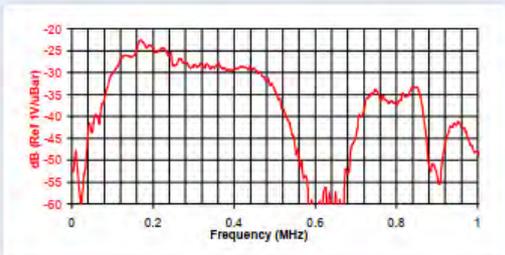
Temperature Range	-35 to 75°C
Shock Limit	500 g
Completely enclosed crystal for RFI/EMI immunity	

Physical

Dimensions	1.125"OD X 1.25"H
	28.5 mm OD X 31.8 mm H
Weight	70 grams
Case Material	Stainless steel
Face Material	Ceramic
Connector	BNC
Connector Locations	Side

Electrical

Gain	40 dB
Power Requirements	20-30 VDC @ 25 mA
Dynamic Range	> 87 dB
Noise Level (RMS RTI)	< 3 μ V
Output Drive Impedance	50 Ω
Grounding	Case Grounding,
	Isolated from mounting surface



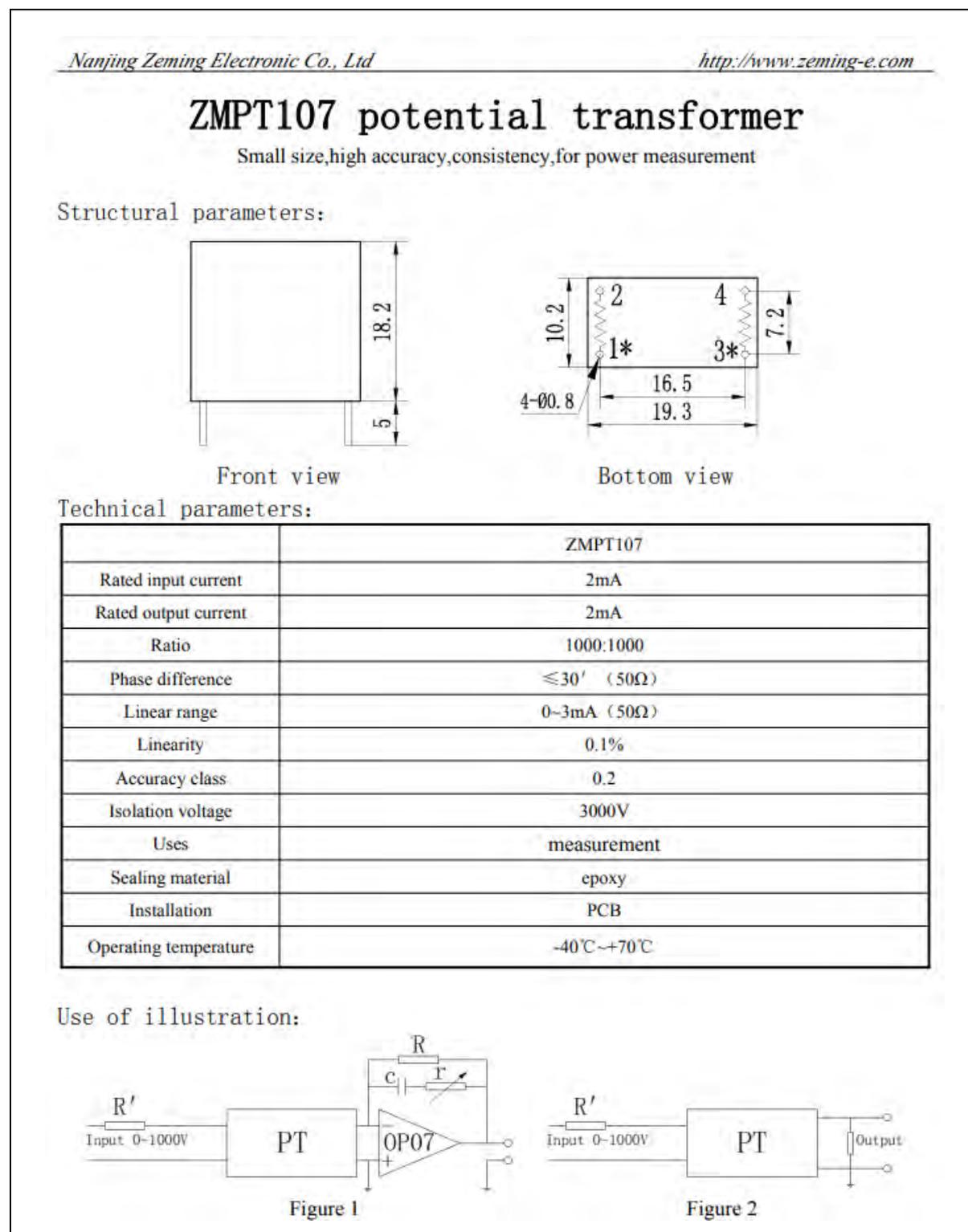
ORDERING INFORMATION AND ACCESSORIES

F15I-AST	F15I-AST
Cable (specify length in 'm')	1234-X
Magnetic Hold-Down	MHR15A
Pre-amplifier	0/2/4, 2/4/6

Sensors include
NIST Calibration Certificate & Warranty



E.4. Sensor de voltaje alterno ZMPT101B



E.5. Acondicionador de señales RS485 (MAX3485EESA)

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Supply Voltage (V_{CC}).....	7V	14-Pin Plastic DIP (derate 10mW/°C above +70°C).....	800mW
Control Input Voltage (\overline{RE} , DE).....	-0.3V to 7V	14-Pin SO (derate 8.33mW/°C above +70°C).....	667mW
Driver Input Voltage (DI).....	-0.3V to 7V	Operating Temperature Ranges	
Driver Output Voltage (A, B, Y, Z).....	-7.5V to 12.5V	MAX34_ _C_.....	0°C to +70°C
Receiver Input Voltage (A, B).....	-7.5V to 12.5V	MAX34_ _E_.....	-40°C to +85°C
Receiver Output Voltage (RO).....	-0.3V to ($V_{CC} + 0.3V$)	Storage Temperature Range.....	
Continuous Power Dissipation ($T_A = +70^\circ\text{C}$)		-65°C to +160°C	
8-Pin Plastic DIP (derate 9.09mW/°C above +70°C).....	727mW	Lead Temperature (soldering, 10sec).....	
8-Pin SO (derate 5.86mW/°C above +70°C).....	471mW	+300°C	

Stresses beyond those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated in the operational sections of the specifications is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

($V_{CC} = 3.3V \pm 0.3V$, $T_A = T_{MIN}$ to T_{MAX} , unless otherwise noted. Typical values are at $T_A = +25^\circ\text{C}$)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Differential Driver Output	V_{OD}	$R_L = 100\Omega$ (RS-422), Figure 4	2.0		V	
		$R_L = 54\Omega$ (RS-485), Figure 4	1.5			
		$R_L = 60\Omega$ (RS-485), $V_{CC} = 3.3V$, Figure 5	1.5			
Change in Magnitude of Driver Differential Output Voltage for Complementary Output States (Note 1)	ΔV_{OD}	$R_L = 54\Omega$ or 100Ω , Figure 4			0.2	V
Driver Common-Mode Output Voltage	V_{OC}	$R_L = 54\Omega$ or 100Ω , Figure 4			3	V
Change in Magnitude of Common-Mode Output Voltage (Note 1)	ΔV_{OC}	$R_L = 54\Omega$ or 100Ω , Figure 4			0.2	V
Input High Voltage	V_{IH}	DE, DI, \overline{RE}	2.0			V
Input Low Voltage	V_{IL}	DE, DI, \overline{RE}			0.8	V
Logic Input Current	I_{IN1}	DE, DI, \overline{RE}			± 2	μA
Input Current (A, B)	I_{IN2}	DE = 0V, $V_{CC} = 0V$ or 3.6V	$V_{IN} = 12V$	1.0		mA
			$V_{IN} = -7V$	-0.8		
Output Leakage (Y, Z)	I_O	DE = 0V, $\overline{RE} = 0V$, $V_{CC} = 0V$ or 3.6V, MAX3491	$V_{OUT} = 12V$	20		μA
			$V_{OUT} = -7V$	-20		
Output Leakage (Y, Z) in Shutdown Mode	I_O	DE = 0V, $\overline{RE} = V_{CC}$, $V_{CC} = 0V$ or 3.6V, MAX3491	$V_{OUT} = 12V$	1		μA
			$V_{OUT} = -7V$	-1		
Receiver Differential Threshold Voltage	V_{TH}	$-7V \leq V_{CM} \leq 12V$	-0.2	0.2		V
Receiver Input Hysteresis	ΔV_{TH}	$V_{CM} = 0V$	50			mV
Receiver Output High Voltage	V_{OH}	$I_{OUT} = -1.5\text{mA}$, $V_{ID} = 200\text{mV}$, Figure 6	$V_{CC} - 0.4$			V
Receiver Output Low Voltage	V_{OL}	$I_{OUT} = 2.5\text{mA}$, $V_{ID} = 200\text{mV}$, Figure 6			0.4	V
Three-State (High Impedance) Output Current at Receiver	I_{OZR}	$V_{CC} = 3.6V$, $0V \leq V_{OUT} \leq V_{CC}$			± 1	μA
Receiver Input Resistance	R_{IN}	$-7V \leq V_{CM} \leq 12V$	12			k Ω

Pin Description

PIN			NAME	FUNCTION
MAX3483/ MAX3485/ MAX3486	MAX3488/ MAX3490	MAX3491		
1	2	2	RO	Receiver Output. If $A > B$ by 200mV, RO will be high; if $A < B$ by 200mV, RO will be low.
2	—	3	RE	Receiver Output Enable. RO is enabled when RE is low; RO is high impedance when RE is high. If RE is high and DE is low, the device will enter a low-power shutdown mode.
3	—	4	DE	Driver Output Enable. The driver outputs are enabled by bringing DE high. They are high impedance when DE is low. If RE is high and DE is low, the device will enter a low-power shutdown mode. If the driver outputs are enabled, the parts function as line drivers. While they are high impedance, they function as line receivers if RE is low.
4	3	5	DI	Driver Input. A low on DI forces output Y low and output Z high. Similarly, a high on DI forces output Y high and output Z low.
5	4	6, 7	GND	Ground
—	5	9	Y	Noninverting Driver Output
—	6	10	Z	Inverting Driver Output
6	—	—	A	Noninverting Receiver Input and Noninverting Driver Output
—	8	12	A	Noninverting Receiver Input
7	—	—	B	Inverting Receiver Input and Inverting Driver Output
—	7	11	B	Inverting Receiver Input
8	1	13, 14	V _{CC}	Positive Supply: $3.0V \leq V_{CC} \leq 3.6V$
—	—	1, 8	N.C.	No Connect—not internally connected

Function Tables

Devices with Receiver/Driver Enable (MAX3483/MAX3485/MAX3486/MAX3491)

Table 1. Transmitting

RE	INPUTS			OUTPUTS		MODE
	DE	DI	B*	A*		
X	1	1	0	1	Normal	
X	1	0	1	0	Normal	
0	0	X	High-Z	High-Z	Normal	
1	0	X	High-Z	High-Z	Shutdown	

* B and A outputs are Z and Y, respectively, for full-duplex part (MAX3491).

X = Don't care; High-Z = High impedance

Table 2. Receiving

RE	INPUTS		OUTPUTS	MODE
	DE	A, B	RO	
0	0*	$\geq +0.2V$	1	Normal
0	0*	$\leq -0.2V$	0	Normal
0	0*	Inputs Open	1	Normal
1	0*	X	High-Z	Shutdown

* DE is a "don't care" (x) for the full-duplex part (MAX3491).

X = Don't care; High-Z = High impedance

Devices without Receiver/Driver Enable (MAX3488/MAX3490)

Table 3. Transmitting

INPUT	OUTPUTS	
DI	Z	Y
1	0	1
0	1	0

Table 4. Receiving

INPUTS	OUTPUT
A, B	RO
$\geq +0.2V$	1
$\leq -0.2V$	0
Inputs Open	1

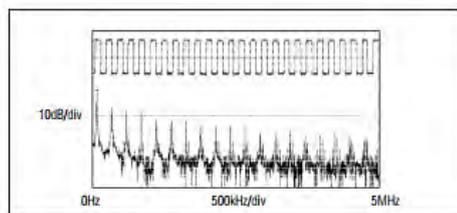


Figure 13. Driver Output Waveform and FFT Plot of MAX3485/MAX3490/MAX3491 Transmitting a 125kHz Signal

Applications Information

The MAX3483/MAX3485/MAX3486/MAX3488/MAX3490/MAX3491 are low-power transceivers for RS-485 and RS-422 communications. The MAX3483 and MAX3488 can transmit and receive at data rates up to 250kbps, the MAX3486 at up to 2.5Mbps, and the MAX3485/MAX3490/MAX3491 at up to 10Mbps. The MAX3488/MAX3490/MAX3491 are full-duplex transceivers, while the MAX3483/MAX3485/MAX3486 are half-duplex. Driver Enable (DE) and Receiver Enable (RE) pins are included on the MAX3483/MAX3485/MAX3486/MAX3491. When disabled, the driver and receiver outputs are high impedance.

Reduced EMI and Reflections (MAX3483/MAX3486/MAX3488)

The MAX3483/MAX3488 are slew-rate limited, minimizing EMI and reducing reflections caused by improperly terminated cables. Figure 13 shows both the driver output waveform of a MAX3485/MAX3490/MAX3491 transmitting a 125kHz signal and the Fourier analysis of that waveform. High-frequency harmonics with large amplitudes are evident. Figure 14 shows the same information, but for the slew-rate-limited MAX3483/MAX3488 transmitting the same signal. The high-frequency harmonics have much lower amplitudes, and the potential for EMI is significantly reduced.

Low-Power Shutdown Mode (MAX3483/MAX3485/MAX3486/MAX3491)

A low-power shutdown mode is initiated by bringing both RE high and DE low. The devices will not shut down unless both the driver and receiver are disabled (high impedance). In shutdown, the devices typically draw only 2nA of supply current.

For these devices, the t_{PSH} and t_{PSL} enable times assume the part was in the low-power shutdown mode; the t_{PZH} and t_{PZL} enable times assume the receiver or driver was disabled, but the part was not shut down.

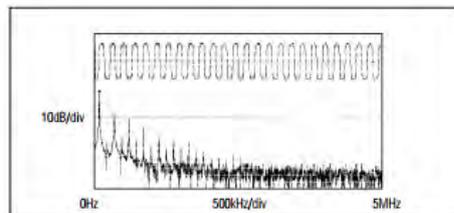


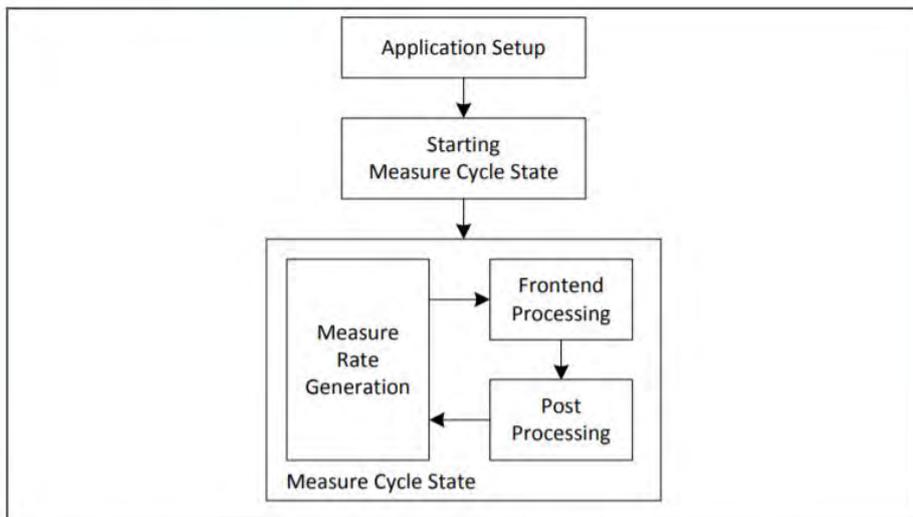
Figure 14. Driver Output Waveform and FFT Plot of MAX3483/MAX3488 Transmitting a 125kHz Signal

E.6. Módulo TDC GP0F1

Ultrasonic Flow Converter (UFC) Processes

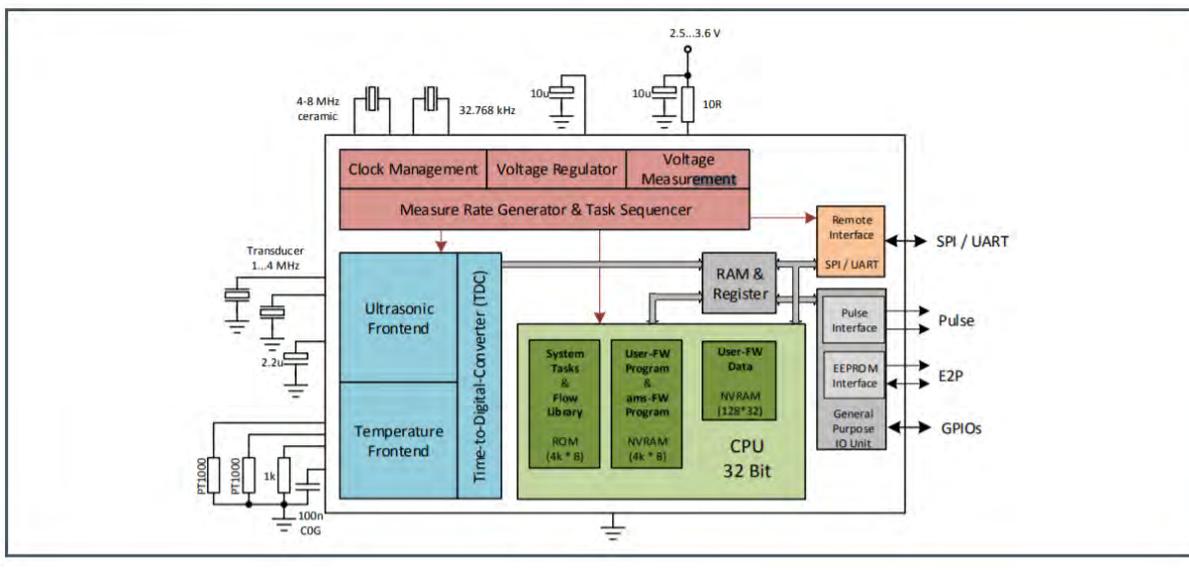
When integrating **ams** UFCs (TDC-GP21 / -GP22 / -GP30) into water, gas or heat meter applications there is always a basic set of processes needed for the ultrasonic and temperature measurements:

Figure 1:
Basic Processes



- Application Setup Initial configuration with application parameters
- Measure Rate Generation Controlling the ultrasonic and temperature sensors
- Frontend Processing TDC measurement of ultrasonic and temperature sensors
- Post Processing Conversion of time based frontend results into flow and temperature results

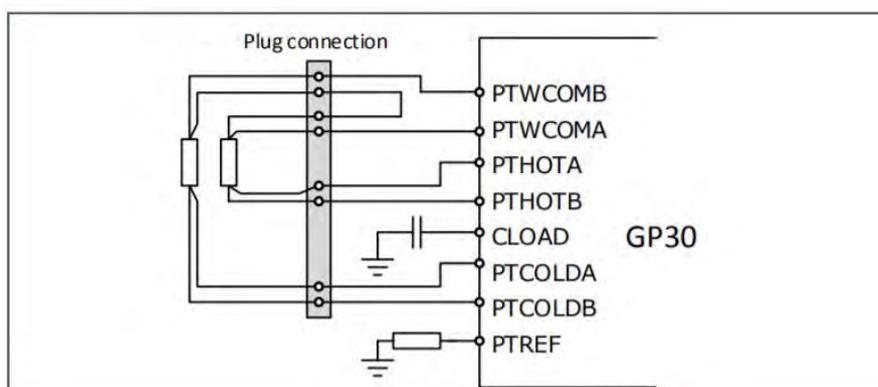
Figure 3:
Block Diagram



Four-Wire Mode

In 4-wire mode, the temperature interface does a sequence of resistor measurements in different configurations to provide a set of measurements for accurate determination of the sensor resistance of one or two 4-wire sensors. The sensors should be connected to the chip as drawn in the following figure:

Figure 28:
4-Wire T-Measurement



In case only one 4-wire sensor is used, connect its two ground cables separately to PTWCOMA and PTWCOMB.

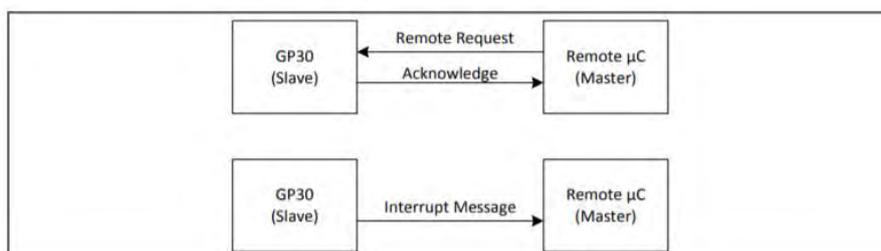
UART Communication

Basic Modes

For UART communication the TDC-GP30 typically acts as a slave, which gets a request from the remote μC . TDC-GP30 itself confirms each request by sending an acknowledge.

As an exception, TDC-GP30 is also able to send an automatic interrupt message (e.g. to initiate a request performed by remote μC to read out measuring results). Optionally the interrupt message can also include measuring results, such that no subsequent remote request is needed to get the results.

Figure 42:
UART Modes



The default and initial baud rate of TDC-GP30 is 4800 Baud and a baud rate change is typically requested by the remote μC .

E.7. Circuito de desacoplamiento DCPL2

6.1 Decoupling Box (DCPL2)

The Decoupling Box (DCPL2) contains a suited decoupling circuit in a metal box, providing two BNC connectors and two 4mm banana sockets:

BNC1, labelled "Preamp", is to connect the output of a Vallen Systeme preamplifier (combined AC signal/DC power line), to provide DC supply, 50 Ω termination and to receive the high frequency AE signal.

BNC2, labelled "ADC/Scope", is to provide the high frequency AC signal, decoupled from DC over 0.1 μF , to a measuring unit (e.g. an oscilloscope or an ADC-Board), with an input impedance of at least 1 M Ω .

28...30 VDC are to be fed-in over two separate 4mm banana sockets from an external power supply. Plus: red, minus: blue. Minus is connected to BNC shield over an internal 3.3 mH inductor. The voltage supplied to the preamplifier (connector "Preamp") is about 1.5 V less than the voltage at the V_{DC} input. The Vallen preamplifiers require a supply voltage of 28 VDC. However, the preamplifiers work also with supply voltages between 27 and 29 VDC – only a little change in gain will be observed (<0.1 dB change). Therefore as supply voltage for the DCPL2 a range of 28 to 30 V_{DC} is acceptable.

One power supply can supply multiple decoupling boxes, because both DC-voltage inputs (plus and minus) are internally decoupled from the AC signal path over 3.3 mH inductors. We recommend using a linearly regulated supply, because switched power supplies may add undesired noise to the AE signal.

The external supply for decoupling box shall at least meet the following requirements:

- 28 ... 30 VDC (isolated from earth), see above for more information
- 150 mA per decoupling box (during power-on),
- 70 mA per decoupling box continuous

Each preamplifier requires one decoupling box.

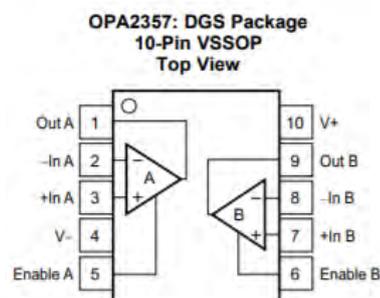
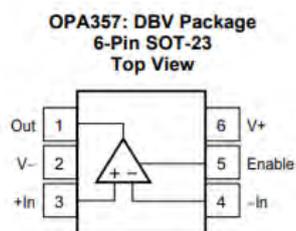
Dimensions: 30 x 55 x 91 mm (HxWxL, including BNC connectors). Weight: 145g
Temperature range: -5 °C to 85 °C

Remark to DCPL1: this was the predecessor of DCPL2 with different housing and very similar electrical properties.



E.8. Amplificador operacional OPA357

5 Pin Configuration and Functions



(1) Pin 1 of the SOT23-6 is determined by orienting the package marking as indicated in the diagram.

Pin Functions

NAME	PIN		I/O	DESCRIPTION
	DBV (SOT-23)	DGS (VSSOP)		
Enable	5	—	—	Amplifier power down. Low = disabled, high = normal operation (pin must be driven).
Enable A	—	5	—	Amplifier power down, channel A. Low = disabled, high = normal operation (pin must be driven).
Enable B	—	6	—	Amplifier power down, channel B. Low = disabled, high = normal operation (pin must be driven).
-In	4	—	I	Inverting input pin
-In A	—	2	I	Inverting input pin, channel A
-In B	—	8	I	Inverting input pin, channel B
+In	3	—	I	Noninverting input pin
+In A	—	3	I	Noninverting input pin, channel A
+In B	—	7	I	Noninverting input pin, channel B
Out	1	—	O	Output pin
Out A	—	1	O	Output pin, channel A
Out B	—	9	O	Output pin, channel B
V-	2	4	—	Negative power supply
V+	6	10	—	Positive power supply

6 Specifications

6.1 Absolute Maximum Ratings⁽¹⁾

	MIN	MAX	UNIT
Supply voltage, V+ to V-		7.5	V
Signal input pins	Voltage	(V-) - 0.5 (V+) + 0.5	V
	Current	10	mA
Enable input	(V-) - 0.5	(V+) + 0.5	V
Output short-circuit ⁽²⁾	Continuous		
Operating temperature	-55	150	°C
Junction temperature		150	°C
Storage temperature, T _{stg}	-65	150	°C

(1) Stresses beyond those listed under *Absolute Maximum Ratings* may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, which do not imply functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under *Recommended Operating Conditions*. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.

(2) Short-circuit to ground, one amplifier per package.

E.9. Microcontrolador ESP2-WROVER-I

2.2 Pin Description

ESP32-WROVER has 38 pins. See pin definitions in Table 3.

Table 3: Pin Definitions

Name	No.	Type	Function
GND	1	P	Ground
3V3	2	P	Power supply
EN	3	I	Module-enable signal. Active high.
SENSOR_VP	4	I	GPIO36, ADC1_CH0, RTC_GPIO0
SENSOR_VN	5	I	GPIO39, ADC1_CH3, RTC_GPIO3
IO34	6	I	GPIO34, ADC1_CH6, RTC_GPIO4
IO35	7	I	GPIO35, ADC1_CH7, RTC_GPIO5
IO32	8	I/O	GPIO32, XTAL_32K_P (32.768 kHz crystal oscillator input), ADC1_CH4, TOUCH9, RTC_GPIO9
IO33	9	I/O	GPIO33, XTAL_32K_N (32.768 kHz crystal oscillator output), ADC1_CH5, TOUCH8, RTC_GPIO8
IO25	10	I/O	GPIO25, DAC_1, ADC2_CH8, RTC_GPIO6, EMAC_RXD0
IO26	11	I/O	GPIO26, DAC_2, ADC2_CH9, RTC_GPIO7, EMAC_RXD1
IO27	12	I/O	GPIO27, ADC2_CH7, TOUCH7, RTC_GPIO17, EMAC_RX_DV
IO14	13	I/O	GPIO14, ADC2_CH6, TOUCH6, RTC_GPIO16, MTMS, HSPICLK, HS2_CLK, SD_CLK, EMAC_TXD2
IO12	14	I/O	GPIO12, ADC2_CH5, TOUCH5, RTC_GPIO15, MTDI, HSPIQ, HS2_DATA2, SD_DATA2, EMAC_TXD3
GND	15	P	Ground
IO13	16	I/O	GPIO13, ADC2_CH4, TOUCH4, RTC_GPIO14, MTCK, HSPID, HS2_DATA3, SD_DATA3, EMAC_RX_ER
SHD/SD2*	17	I/O	GPIO9, SD_DATA2, SPIHD, HS1_DATA2, U1RXD
SWP/SD3*	18	I/O	GPIO10, SD_DATA3, SPIWP, HS1_DATA3, U1TXD
SCS/CMD*	19	I/O	GPIO11, SD_CMD, SPICSS0, HS1_CMD, U1RTS
SCK/CLK*	20	I/O	GPIO6, SD_CLK, SPICLK, HS1_CLK, U1CTS
SDO/SD0*	21	I/O	GPIO7, SD_DATA0, SPIQ, HS1_DATA0, U2RTS
SDI/SD1*	22	I/O	GPIO8, SD_DATA1, SPID, HS1_DATA1, U2CTS
IO15	23	I/O	GPIO15, ADC2_CH3, TOUCH3, MTDO, HSPICSS0, RTC_GPIO13, HS2_CMD, SD_CMD, EMAC_RXD3
IO2	24	I/O	GPIO2, ADC2_CH2, TOUCH2, RTC_GPIO12, HSPWP, HS2_DATA0, SD_DATA0
IO0	25	I/O	GPIO0, ADC2_CH1, TOUCH1, RTC_GPIO11, CLK_OUT1, EMAC_TX_CLK
IO4	26	I/O	GPIO4, ADC2_CH0, TOUCH0, RTC_GPIO10, HSPHD, HS2_DATA1, SD_DATA1, EMAC_TX_ER
NC1	27	-	-
NC2	28	-	-
IO5	29	I/O	GPIO5, VSPICSS0, HS1_DATA6, EMAC_RX_CLK
IO18	30	I/O	GPIO18, VSPICLK, HS1_DATA7

Name	No.	Type	Function
IO19	31	I/O	GPIO19, VSPIQ, U0CTS, EMAC_TXD0
NC	32	-	-
IO21	33	I/O	GPIO21, VSPIHD, EMAC_TX_EN
RXD0	34	I/O	GPIO3, U0RXD, CLK_OUT2
TXD0	35	I/O	GPIO1, U0TXD, CLK_OUT3, EMAC_RXD2
IO22	36	I/O	GPIO22, VSPIWP, U0RTS, EMAC_TXD1
IO23	37	I/O	GPIO23, VSPID, HS1_STROBE
GND	38	P	Ground

Notice:

* Pins SCK/CLK, SDO/SD0, SDI/SD1, SHD/SD2, SWP/SD3 and SCS/CMD, namely, GPIO6 to GPIO11 are connected to the SPI flash integrated on the module and are not recommended for other uses.

5. Electrical Characteristics

5.1 Absolute Maximum Ratings

Stresses beyond the absolute maximum ratings listed in the table below may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and do not refer to the functional operation of the device that should follow the [recommended operating conditions](#).

Table 5: Absolute Maximum Ratings

Symbol	Parameter	Min	Max	Unit
VDD33	Power supply voltage	-0.3	3.6	V
I_{output}^1	Cumulative IO output current	-	1,100	mA
T_{store}	Storage temperature	-40	150	°C

1. The module worked properly after a 24-hour test in ambient temperature at 25 °C, and the IOs in three domains (VDD3P3_RTC, VDD3P3_CPU, VDD_SDIO) output high logic level to ground. Please note that pins occupied by flash and/or PSRAM in the VDD_SDIO power domain were excluded from the test.
2. Please see Appendix IO_MUX of [ESP32 Datasheet](#) for IO's power domain.

5.2 Recommended Operating Conditions

Table 6: Recommended Operating Conditions

Symbol	Parameter	Min	Typical	Max	Unit
VDD33	-	2.3	3.3	3.6	V
I_{VDD}	Current delivered by external power supply	0.5	-	-	A
T	Operating temperature	-40	-	85	°C

E.10. Circulina industrial MFL125-R

MFL series

Multi-functional model with selectable steady/ flashing strobe, and simulated revolving flashing mode



MFL100



MFL125





LED Signal Light with Multiple Light Functions

MFL100 Ø100mm Multiple Light Function LED Signal Light

Model number	Voltage	Current	Certificates	Weight	Color
MFL100	DC12V-24V	Max 0.255A	 	0.30kg	<ul style="list-style-type: none"> • R-Red • A-Amber • G-Green • B-Blue
	AC110V-220V	Max 0.067A		DC only	

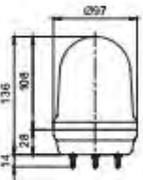
MFL125 Ø125mm Multiple Light Function LED Signal Light

Model number	Voltage	Current	Certificates	Weight	Color
MFL125	DC12V-24V	Max 0.255A	 	0.52kg	<ul style="list-style-type: none"> • R-Red • A-Amber • G-Green • B-Blue
	AC110V-220V	Max 0.067A		DC only	

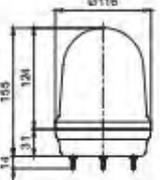
* DC type model has a free-voltage range of 10V-30V.
* AC type model has a free-voltage range of 100V-240V.

Technical Diagram (Units : mm)

MFL100



MFL125







Wiring Instructions

- External power line standard : UL1015 AWG18(0.75sq)×2C 400mm
- Product can be wired regardless of polarity

Accessories

- Wall mounting bracket options : Bracket structure allows for threading through the bracket hole or into the wall mount

• MFL60	• MFL80	• MFL100/ MFL125	
Wall Mount Bracket TWS45	Wall Mount Bracket TWA45	Wall Mount Bracket TWS80	Wall Mount Bracket TWA80
		Wall Mount Bracket SWP125	Wall Mount Bracket SWM125

Ordering Specification

MFL100	• BZ	• 110/220	• R
[Model number]	[Buzzer option]	[Voltage]	[Color]
<ul style="list-style-type: none"> • MFL60 • MFL80 • MFL100 • MFL125 	<ul style="list-style-type: none"> • None - No buzzer • BZ - Built-in buzzer 	<ul style="list-style-type: none"> • 12/24 -DC12V-24V • 110/220 -AC110V-220V 	<ul style="list-style-type: none"> • R-Red • A-Amber • G-Green • B-Blue

104 | www.qlight.com

E.11. Pantalla OLED NX80T050_011N

Electronic Characteristics

	Test Conditions	Min	Typical	Max	Unit
Operating Voltage		4.75	5	7	V
Operating Current	VCC=+5V, Brightness is 100%	-	410	-	mA
	SLEEP Mode	-	15	-	mA
Power supply recommend : 5V, 1A, DC					

Working Environment & Reliability Parameter

	Test Conditions	Min	Typical	Max	Unit
Working Temperature	5V, Humidity 60%	-20	25	70	°C
Storage Temperature	-	-30	25	85	°C
Working Humidity	25°C	10%	60%	90%	RH

Interfaces Performance

	Test Conditions	Min	Typical	Max	Unit
Serial Port Baudrate	Standard	2400	9600	115200	bps
Output High Voltage	IOH=-1mA	3.0	3.2	-	V
Output low Voltage	IOL=1mA	-	0.1	0.2	V
Input High Voltage	-	2.0	3.3	5.0	V
Input low Voltage	-	-0.7	0.0	1.3	V
Serial Port Mode	TTL				
Serial Port	4Pin_2.54mm				
USB interface	NO				
SD card socket	Yes (FAT32 format), support maximum 32G Micro SD Card				

Memory Features

Memory Type	Test Conditions	Min	Typical	Max	Unit
FLASH Memory	Store fonts and images	-	-	16	MB
RAM Memory	Store variables	-	3584	-	BYTE

E.12. Módulo relevador OMRON G3MB

■ INPUT RATINGS

Ambient temperature 25° (77°F)

Type	Rated voltage	Operating voltage range	Impedence	Voltage Level	
				Must operate voltage	Must release voltage
G3MB-102PL	5 VDC	4 to 6 VDC	440 Ω, ±20%	4 VDC max.	1 VDC min.
G3MB-202P	12 VDC	9.60 to 14.40 VDC	1 kΩ, ±20%	9.60 VDC max.	1 VDC min.
G3MB-202PL	24 VDC	19.20 to 28.80 VDC	2.20 kΩ, ±20%	19.20 VDC max.	1 VDC min.

Note: Each model has 5 VDC, 12 VDC, and 24 VDC input versions.

■ OUTPUT RATINGS

Type	Applicable load			
	Rated load voltage	Load voltage range	Load current	Surge current
G3MB-102PL	100 to 120 VAC, 50/60 Hz	75 to 132 VAC, 50/60 Hz	0.10 to 2 A	30 A (60 Hz, 1 cycle)
G3MB-202P	120 to 240 VAC, 50/60 Hz	75 to 264 VAC, 50/60 Hz	0.10 to 2 A	30 A (60 Hz, 1 cycle)
G3MB-202PL	100 to 240 VAC, 50/60 Hz	75 to 264 VAC, 50/60 Hz	0.10 to 2 A	30 A (60 Hz, 1 cycle)

■ CHARACTERISTICS

Type	G3MB-102PL	G3MB-202P	G3MB-202PL
Operate time	1 ms max.	1/2 of load power source cycle + 1 ms max.	1 ms max.
Release time	1/2 of load power source cycle + 1 ms max.		
Output ON voltage drop	1.60 V (RMS) max.		
Leakage current	1 mA max. at 100 VAC	1 mA max. at 100 VAC, 1.50 mA at 200 VAC	
Non-repetitive peak surge	30 A		
Output	PIV (V _{DRM})		
	600 V		
	di/dt		
	40 A/μs		
		dv/dt	
		100 V/μs	
		I ² t	
		4 A ² s	
Junction temperature (T _j)	125°C (257°F) max.		
Insulation resistance	1,000 MΩ min. at 500 VDC		
Dielectric strength	2500 VAC, 50/60 Hz for 1 minute; 3750 VAC max., 1 second		
Vibration	Malfunction	10 to 55 Hz, 0.75 mm (0.03 in) double amplitude, approx. 5 G	
Shock	Malfunction	Approx. 100 G	
Ambient temperature	Operating	-30° to 80°C (-22° to 176°F) with no icing	
	Storage	-30° to 100°C (-22° to 212°F) with no icing	
Humidity	Operating	45% to 85% RH	
Weight	Approx. 5 g (0.18 oz)		

Note: Data shown are of initial value.

■ APPROVALS

UL (File No. E64562)

SSR Type	Input voltage	Load type	Contact ratings
G3MB-102P	5 to 24 VDC	General purpose	2 A, 120 VAC
		Tungsten	1 A, 120 VAC
		Motor	1.60 FLA/9.60 LRA, 120 VAC
G3MB-202P G3MB-202PL		General purpose	2 A, 240 VAC
		Tungsten	1 A, 240 VAC
		Motor	1.60 FLA/9.60 LRA, 240 VAC

CSA (File No. LR35535-274)

SSR Type	Input voltage	Load type	Contact ratings
G3MB-102P	5 to 24 VDC	General purpose	2 A, 120 VAC
		Tungsten	1 A, 120 VAC
		Motor	1.60 FLA/8.60 LRA, 120 VAC
G3MB-202P G3MB-202PL		General purpose	2 A, 240 VAC
		Tungsten	1 A, 240 VAC
		Motor	1.60 FLA/8.60 LRA, 240 VAC

Note: 1. The rated values approved by each of the safety standards (e.g., UL and CSA) may be different from the performance characteristics individually defined in this catalog.
2. In the interest of product improvement, specifications are subject to change.

E.13. Fuente de alimentación STEP-PS/1AC/12DC/10-24

Technical data	
Input data	
Nominal input voltage	100 V AC ... 240 V AC
AC input voltage range	85 V AC ... 264 V AC
DC input voltage range	95 V DC ... 250 V DC
AC frequency range	45 Hz ... 65 Hz
DC frequency range	0 Hz
Current consumption	Approx. 0.26 A (120 V AC) Approx. 0.13 A (230 V AC)
Inrush surge current	< 15 A (typical)
Power failure bypass	> 15 ms (120 V AC) > 90 ms (230 V AC)
Input fuse	1.25 A (slow-blow, internal)
Permissible backup fuse	B6 B10 B16
Output data	
Nominal output voltage	12 V DC \pm 1%
Output current	1 A (-25°C ... 55°C) 1.1 A (-25 °C ... 40 °C permanent) 1.8 A (maximum output current)
Derating	From +55°C to 70°C: 2.5% per Kelvin 55 °C ... 70 °C 2.5%/K
Connection in parallel	Yes, for redundancy and increased capacity
Connection in series	Yes
Control deviation	< 1 % (change in load, static 10% ... 90%) < 2 % (change in load, dynamic 10% ... 90%) < 0.1 % (change in input voltage \pm 10%)
Residual ripple	< 10 mV _{pp} (20 MHz)
Peak switching voltages nominal load	< 10 mV _{pp} (20 MHz)
Maximum power dissipation idling	< 0.4 W
Power loss nominal load max.	< 2.8 W
General data	
Width	18 mm

Height	90 mm
Depth	61 mm
Weight	0.1 kg
Efficiency	> 83 % (for 230 V AC and nominal values)
Insulation voltage input/output	4 kV AC (type test) 2 kV AC (routine test)
Degree of protection	IP20
Class of protection	II
MTBF	> 500 000 h in acc. with IEC 61709 (SN 29500)
Ambient temperature (operation)	-25 °C ... 70 °C (> 55° C derating)
Ambient temperature (storage/transport)	-40 °C ... 85 °C
Max. permissible relative humidity (operation)	95 % (at 25 °C, no condensation)
Mounting position	Horizontal DIN rail NS 35, EN 60715
Assembly instructions	Can be aligned: Horizontal 0 cm, vertical 3 cm
Electromagnetic compatibility	Conformance with EMC directive 2004/108/EC
Immunity to interference	EN 61000-6-2:2005
Low Voltage Directive	Conformance with LV directive 2006/95/EC
Standard – Electrical equipment of machines	EN 60204
Standard - Safety of transformers	IEC 61558-2-17
Standard - Electrical safety	IEC 60950/VDE 0805 (SELV)
Standard – Electronic equipment for use in electrical power installations and their assembly into electrical power installations	EN 50178/VDE 0160 (PELV)
Standard – Safety extra-low voltage	IEC 60950 (SELV) and EN 60204 (PELV)
Standard - Safe isolation	DIN VDE 0100-410 DIN VDE 0106-1010
Standard – Protection against electric shock	DIN 57100-410
Standard – Protection against shock currents, basic requirements for protective separation in electrical equipment	DIN VDE 0106-101
Standard – Limitation of mains harmonic currents	EN 61000-3-2
UL approvals	UL/C-UL listed UL 508 UL/C-UL Recognized UL 60950 NEC Class 2 as per UL 1310
Connection data, input	
Type of connection	Screw connection

E.14. Panel solar CS6P-240P

Datos eléctricos

STC	CS6P-235P	CS6P-240P	CS6P-245P	CS6P-250P	CS6P-255P
Potencia máxima nominal (P _{máx})	235W	240W	245W	250W	255W
Tensión en el punto de máxima potencia (V _{mp})	29,8V	29,9V	30,0V	30,1V	30,2V
Corriente en el punto de máxima potencia (I _{mp})	7,90A	8,03A	8,17A	8,30A	8,43A
Tensión de circuito abierto (V _{ca})	36,9V	37,0V	37,1V	37,2V	37,4V
Intensidad de cortocircuito (I _{cc})	8,46A	8,59A	8,74A	8,87A	9,00A
Eficiencia del módulo	14,61%	14,92%	15,23%	15,54%	15,85%
Temperatura de funcionamiento	-40°C~+85°C				
Tensión máxima del sistema	1000V (IEC) /600V (UL)				
Fusible de bloqueo máximo	15A				
Clasificación de aplicación	Clase A				
Tolerancia de potencia	0 ~ +5W				

Bajo condiciones de prueba estándar (STC): irradiancia de 1.000 W/m², espectro AM 1,5 y temperatura de célula de 25°C

NOCT	CS6P-235P	CS6P-240P	CS6P-245P	CS6P-250P	CS6P-255P
Potencia máxima nominal (P _{máx})	170W	174W	178W	181W	185W
Tensión en el punto de máxima potencia (V _{mp})	27,2V	27,3V	27,4V	27,5V	27,5V
Corriente en el punto de máxima potencia (I _{mp})	6,27A	6,38A	6,49A	6,60A	6,71A
Tensión de circuito abierto (V _{ca})	33,9V	34,0V	34,1V	34,2V	34,4V
Intensidad de cortocircuito (I _{cc})	6,86A	6,96A	7,08A	7,19A	7,29A

A temperatura de funcionamiento normal de la célula, irradiancia de 800 W/m², espectro AM 1,5, temperatura de célula de 20°C, velocidad del viento de 1 m/s

Datos mecánicos

Tipo de célula	Policristalino 156 x 156 mm, 3 o 4 busbars
Número de células	60 (6 x 10)
Dimensiones	1638 x 982 x 40 mm (64,5 x 38,7 x 1,57 pulg.)
Peso	19 kg (41,9 lbs)
Cubierta delantera	Cristal templado de 3,2 mm
Material del marco	Aleación de aluminio anodizado
Caja de conexiones	IP65 or IP67, 3 diodos
Cable	4 mm ² (CEI)/12 AWG(UL), 1000 mm
Conectores	MC4 o similar a MC4
Embalaje estándar (módulos por palé)	24 unidades
Número de módulos por contenedor (contenedor de 40 pies)	672 unidades (40'HQ)

E.15. Regulador de carga MPPT 75/10

Controlador de carga BlueSolar	MPPT 75/10	MPPT 75/15	MPPT 100/15
Tensión de la batería	Selección automática: 12/24 V		
Corriente de carga nominal	10A	15A	15A
Potencia FV nominal, 12V 1a,b)	145W	220W	220W
Potencia FV nominal, 24V 1a,b)	290W	440W	440W
Max. corriente de cortocircuito PV 2)	10A	15A	15A
Desconexión automática de la carga	Sí, carga máxima 15A		
Tensión máxima del circuito abierto FV	75V		100V
Eficiencia máxima	98%		
Autoconsumo	12V: 20 mA 24V: 10 mA		
Tensión de carga de "absorción"	14,4V / 28,8V (ajustable)		
Tensión de carga de "flotación"	13,8V / 27,6V (ajustable)		
Algoritmo de carga	variable multietapas		
Compensación de temperatura	-16 mV / °C, -32mV / °C resp.		
Corriente de carga continua/cresta	15A/50A		
Desconexión de carga por baja tensión	11,1V / 22,2V o 11,8V / 23,6V o algoritmo de BatteryLife		
Reconexión de carga por baja tensión	13,1V / 26,2V o 14V / 28V o algoritmo de BatteryLife		
Protección	Polaridad inversa de la batería (fusible) Corto circuito de salida / sobrecalentamiento		
Temperatura de trabajo	-30 a +60°C (potencia nominal completa hasta los 40°C)		
Humedad	95%, sin condensación		
Puerto de comunicación de datos	VE.Direct Consulte el libro blanco sobre comunicación de datos en nuestro sitio web		
CARCASA			
Color	Azul (RAL 5012)		
Terminales de conexión	6 mm ² / AWG10		
Tipo de protección	IP43 (componentes electrónicos), IP22 (área de conexiones)		
Peso	0,5 kg		
Dimensiones (al x an x p)	100 x 113 x 40mm		
STANDARDS			
Seguridad	EN/IEC 62109-1, UL 1741, CSA C22.2		
1a) Si se conecta más potencia FV, el controlador limitará la potencia de entrada.			
1b) La tensión FV debe exceder en 5V la Vbat (tensión de la batería) para que arranque el controlador. Una vez arrancado, la tensión FV mínima será de Vbat + 1V.			
2) Un generador fotovoltaico con una corriente de cortocircuito más alta puede dañar el controlador.			

E.16. Batería AGM 6FM60D-X

6FM60D-X 12V 60Ah(20h)

The rechargeable batteries are lead-lead dioxide systems. The dilute sulfuric acid electrolyte is absorbed by separators and plates and thus immobilized. Should the battery be accidentally overcharged producing hydrogen and oxygen, special one-way valves allow the gases to escape thus avoiding excessive pressure build-up. Otherwise, the battery is completely sealed and is, therefore, maintenance-free, leak proof and usable in any position.



Battery Construction

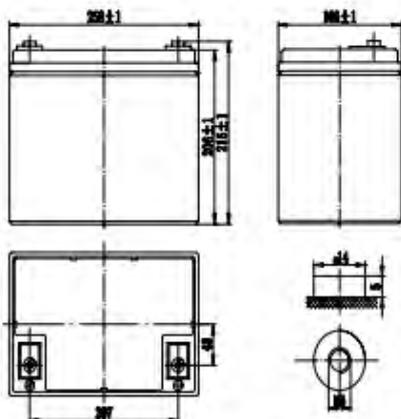
Component	Positive plate	Negative plate	Container	Cover	Safety valve	Terminal	Separator	Electrolyte
Raw material	Lead dioxide	Lead	ABS	ABS	Rubber	Pb	Fiberglass	Sulfuric acid

General Features

- Absorbent Glass Mat (AGM) technology for efficient gas recombination of up to 99% and freedom from electrolyte maintenance or water adding.
- Not restricted for air transport-complies with IATA/ICAO Special Provision A67.
- UL-recognized component.
- Can be mounted in any orientation.
- Computer designed lead, calcium tin alloy grid for high power density.
- Long service life, float or cyclic applications.
- Maintenance-free operation.
- Low self discharge.

Dimensions and Weight

Length(mm / inch)	258 / 10.16
Width(mm / inch)	166 / 6.54
Height(mm / inch)	206 / 8.11
Total Height(mm / inch)	215 / 8.46
Approx. Weight(Kg / lbs)	24 / 52.9



Performance Characteristics

Nominal Voltage	12V
Number of cell	6
Design Life	10 years
Nominal Capacity 77°F(25°C)	
20 hour rate (3.00A, 10.8V)	60Ah
10 hour rate (5.87A, 10.8V)	58.7Ah
5 hour rate (10.6A, 10.5V)	53.0Ah
1 hour rate (40.4A, 9.6V)	40.4Ah
Internal Resistance	
Fully Charged battery 77°F(25°C)	5.5mOhms
Self-Discharge	
3% of capacity declined per month at 20°C(average)	
Operating Temperature Range	
Discharge	-20~60°C
Charge	-10~60°C
Storage	-20~60°C
Max. Discharge Current 77°F(25°C)	600A(5s)
Short Circuit Current	1450A
Charge Methods: Constant Voltage Charge 77°F(25°C)	
Cycle use	2.30-2.35VPC
Maximum charging current	18A
Temperature compensation	-30mV/°C
Standby use	2.23-2.27VPC
Temperature compensation	-20mV/°C

Discharge Constant Current (Amperes at 77°F25°C)

End Point Volts/Cell	5min	10min	15min	30min	45min	1h	3h	5h	10h	20h
1.60V	192	141	112	65.4	49.3	40.4	16.5	11.3	5.98	3.08
1.65V	179	138	107	63.4	47.9	38.8	16.1	11.0	5.96	3.06
1.70V	171	128	102	61.5	46.7	38.6	16.1	10.8	5.93	3.04
1.75V	159	118	96.5	59.4	45.3	38.3	15.8	10.6	5.90	3.02
1.80V	148	108	89.3	57.3	44.0	36.1	15.0	10.4	5.87	3.00

Discharge Constant Power (Watts at 77°F25°C)

End Point Volts/Cell	5min	10min	15min	30min	45min	1h	2h	3h	5h
1.60V	333	249	194	119	92.3	76.5	43.9	32.7	22.1
1.65V	321	238	184	113	90.8	74.7	43.0	32.5	22.0
1.70V	302	225	182	111	88.9	73.0	42.1	31.8	21.6
1.75V	282	212	178	109	87.0	71.3	41.2	31.1	21.3
1.80V	264	197	169	106	86.2	70.0	40.3	30.4	20.7

(Note)The above characteristics data are average values obtained within three charge/discharge cycles not the minimum values.

E.17. Gabinete de control

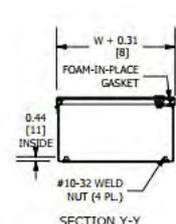


Application

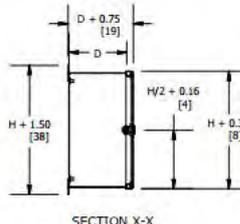
Ultimate Mini-Max™ Series enclosures are designed to house and protect electrical and electronic components from harsh, dirty environments. For use in installations where dirt, dust, oil, water and other contaminants are present. Streamlined styling, ¼ turn latch and attractive durable finish complement any high tech electronic equipment.

Stainless Steel Enclosures

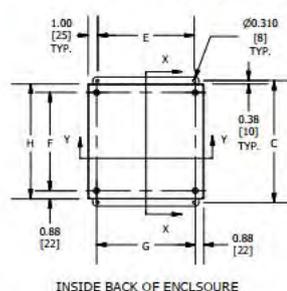
- New ¼ turn style JIC enclosure makes for easy door seal
- Eliminates the need for exterior clips to secure door shut
- ¼ turn latch is interchangeable with many locking designs available to better suit the customer
- FTC flange around the entire door opening to channel liquids away
- Available in light grained finish 304 or 316 Stainless Steel



SECTION Y-Y



SECTION X-X



INSIDE BACK OF ENCLOSURE

Industry Standards

- UL Listed Enc. Types 4, 4X, & 12
- NEMA Type 4, 4X, & 12
- UL Classified IEC 60529 IP66

UL Files E64791, E470978



ENCLOSURE CATALOG NUMBER		ENCLOSURE SIZE	WHITE	BACK PANEL CATALOG NUMBER		BACK PANEL SIZE A X B	MOUNTING C X E	F	G
304 SS	316L SS			304 SS	"B"				
BN4060604CHQTSS	BN4060604CHQTSSA	6" x 6" x 4"	P0606	P0606SS	P0606G	4.88 x 4.88	6.75 x 4.00	4.25	4.25
BN4080604CHQTSS	BN4080604CHQTSSA	8" x 6" x 4"	P0806	P0806SS	P0806G	6.88 x 4.88	8.75 x 4.00	6.25	4.25
BN4100804CHQTSS	BN4100804CHQTSSA	10" x 8" x 4"	P1008	P1008SS	P1008G	8.88 x 6.88	10.75 x 6.00	8.25	6.25
BN4100806CHQTSS	BN4100806CHQTSSA	10" x 8" x 6"	P1008	P1008SS	P1008G	8.88 x 6.88	10.75 x 6.00	8.25	6.25
BN4121006CHQTSS	BN4121006CHQTSSA	12" x 10" x 6"	P1210	P1210SS	P1210G	10.88 x 8.88	12.75 x 8.00	10.25	8.25
BN4121206CHQTSS	BN4121206CHQTSSA	12" x 12" x 6"	P1212	P1212SS	P1212G	10.88 x 10.88	12.75 x 10.00	10.25	10.25
BN4141206CHQTSS	BN4141206CHQTSSA	14" x 12" x 6"	P1412	P1412SS	P1412G	12.88 x 10.88	14.75 x 10.00	12.25	10.25

E.18. Soporte de panel solar

Gracias por seleccionar el Soporte SSPBLV4 de EPICOM Industrial. La información contenida en este manual lo ayudará en la instalación del producto, además de encontrar características físicas, partes incluidas y recomendaciones de uso.

Recomendaciones

Debido a la naturaleza de la instalación, se recomienda que sea realizada por un mínimo de 2 personas con el equipo de seguridad adecuado y a una altura no mayor a 6 metros. La herramienta requerida para la instalación es:

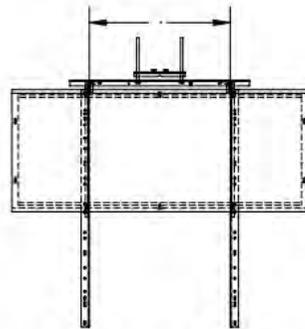
- Llave de 3/4"
- Llave y/o dado 9/16"
- Llave y/o dado de 7/16"

Utilice los tornillos de 5/16" para la instalación del montaje y los de 1/4" para la instalación de los módulos

No se requiere fleje.

Modo de Instalación/ Operación

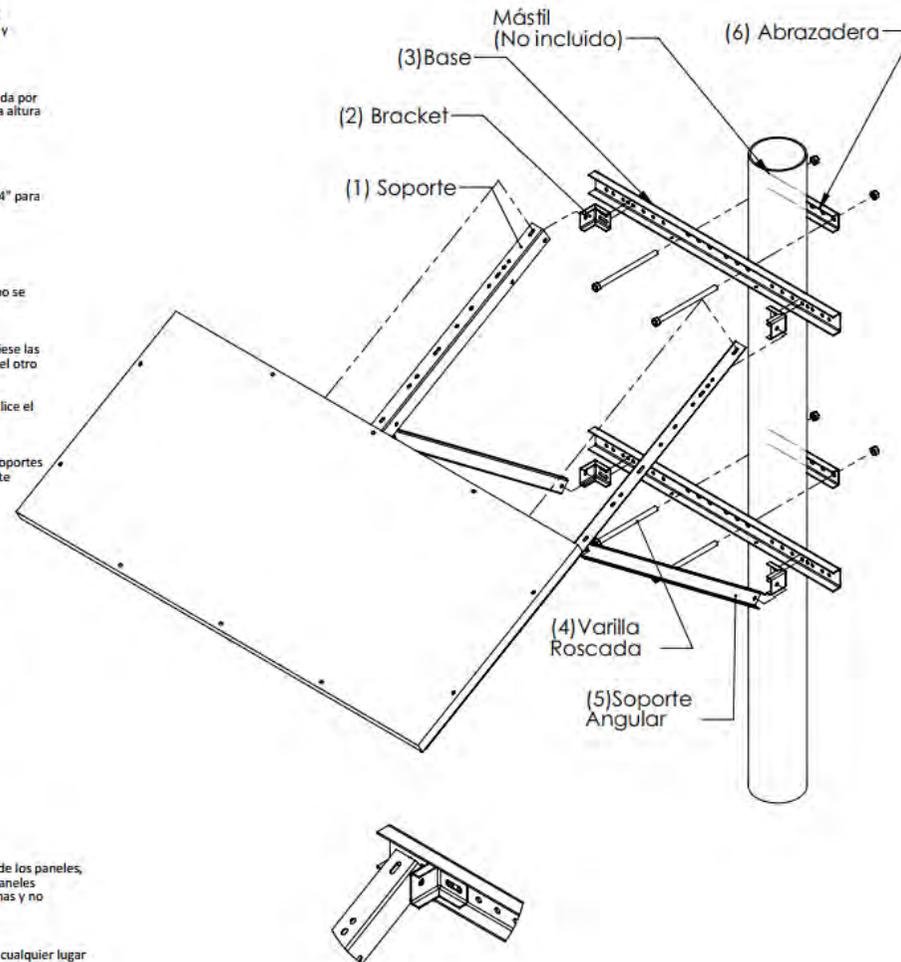
- Instale los soportes (1) en los módulos solares que vaya a utilizar como se muestra en la imagen.
- Ajuste los brackets (2) a la longitud resultante entre los soportes y atorníllelos a la base (3).
- Coloque una tuerca en un extremo de las varillas roscadas (4) y atraviese las bases. Elija las perforaciones según el diámetro del poste. Apriete por el otro lado con 1 tuerca.
- Instale la base superior con la abrazadera (6) y otra tuerca.
- Instale la 2ª base a la distancia indicada para el ángulo que desea. Utilice el diagrama incluido como referencia.
- Atornille los soportes con los módulos a la base superior sin apretar completamente.
- Atornille los soportes angulares (5) a los brackets y finalmente a los soportes.
- Apriete todos los tornillos hasta que el montaje quede completamente firme.



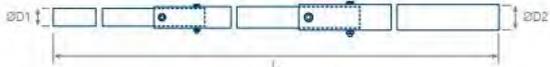
Aunque hemos tomado precauciones para asegurar la compatibilidad de los paneles, es posible que, por variaciones en el proceso del proveedor, algunos paneles presenten dificultades en el ensamble. Sin embargo, estas serán mínimas y no requerirán material adicional.

Asistencia Técnica:

Si requiere asesoría técnica. Comuníquese al 01 (614) 415-2525 desde cualquier lugar de la República Mexicana.



E.19. Mástil y soporte de mástil





» MÁSTILES

Mástiles en un solo tramo de 1, 2 y 3m fabricados en acero galvanizado en caliente o en acero inoxidable.

Mástiles telescópicos de 5'8, 7'6 y 8'6m en tramos empalmables, y mástiles de 4, 6, 8 y 9m con unión interior. Fabricados en acero galvanizado en caliente.

» aplicaciones

- Fijación y soporte de puntas captadoras y pararrayos PDC.
- Sujeción vertical a estructura mediante anclajes.
- Fijación horizontal sobre cubierta plana mediante soportes placa base.

» características y beneficios

- Resistencia en exposición al viento.
- Fácil montaje del sistema de captación mediante pieza de adaptación.
- Diversas soluciones de anclaje a todo tipo de estructura.
- Gran durabilidad a la corrosión.

» instalación

- Acoplar el pararrayos en la parte superior del mástil mediante la pieza de adaptación y fijar ésta al mástil mediante tornillo hexagonal M8.
- Unión segura de mástiles telescópicos mediante 2 tornillos hexagonales de M10. Para los modelos con unión interior, la tornillería utilizada será de M12.

» especificaciones técnicas

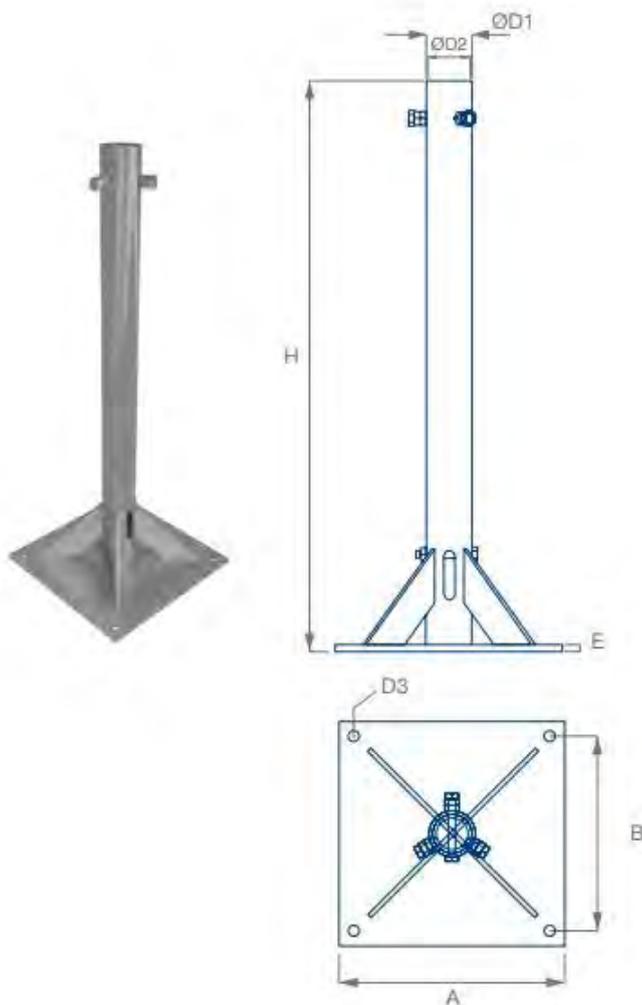
Descripción	Ref.	Material	L (mm)	Núm. Tramos	D1 (mm)	D2 (mm)	Peso (kg)
Mástil 3m Ø 1"1/2" IN	114045	Inox	3000	1	48	48	9
Mástil 6m Ø 1"1/2" unión interior IN	114042	Inox	6000	2	48	48	22

ANCLAJES Y SOPORTES PARA MÁSTILES

► Soporte placa base superficies horizontales para mástiles hasta 3 m de longitud

Modelo	Ref.	Mat.	H (mm)	D1 (mm)	D2 (mm)	D3 (mm)	A (mm)	B (mm)	E (mm)	Peso (kg)
--------	------	------	-----------	------------	------------	------------	-----------	-----------	-----------	--------------

Soporte placa base simple Ø1 1/2"	113037	Ac.galv.	758	60	53	14	300	260	8	12,5
--	--------	----------	-----	----	----	----	-----	-----	---	------



E.20. Punta captadora de rayos

Cobre

Acero inoxidable

L

D1

M1

▶ PUNTAS CAPTADORAS

Puntas captadoras de 16 mm y 20 mm de diámetro con longitud desde 300 mm a 2.000 mm. Fabricadas en cobre o en acero inoxidable. Otras dimensiones o materiales consultar.

▶ aplicaciones

- Protección externa de SPCR (Sistemas de protección contra el rayo).
- Forma parte del sistema de protección pasiva, puntas y mallas conductoras.

▶ características y beneficios

- Simplicidad
- Bajo coste.
- Fácil instalación.
- Unidas mediante conductores forman las mallas conductoras o "jaulas de Faraday".

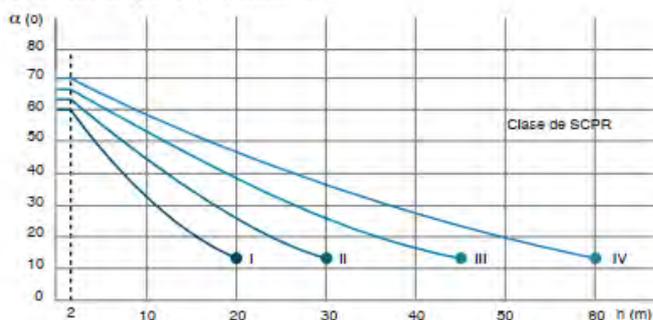
Puntas captadoras acero inoxidable	Referencia	Material	L (mm)	D1 (mm)	M1	Peso (g)
IN300-16	110080	Inox	300	16	M16	420
IN500-16	110082	Inox	500	16	M16	740
IN1000-16	110084	Inox	1000	16	M16	1530
IN2000-16	110086	Inox	2000	16	M16	3110
IN300-20	110088	Inox	300	20	M20	690
IN500-20	110090	Inox	500	20	M20	1180
IN1000-20	110092	Inox	1000	20	M20	2420
IN2000-20	110031	Inox	2000	20	M20	4880

► instalación

Montaje directo sobre pieza de adaptación estándar o base horizontal.

En función de la estructura a proteger y el nivel de protección requerido, la Norma IEC 62305-3 establece los siguientes métodos de cálculo del área de protección:

a) Método ángulo de protección (α)



NOTA 1. No es aplicable para valores superiores a los marcados con ●. En estos casos sólo se aplican métodos de la esfera rodante y de la malla.

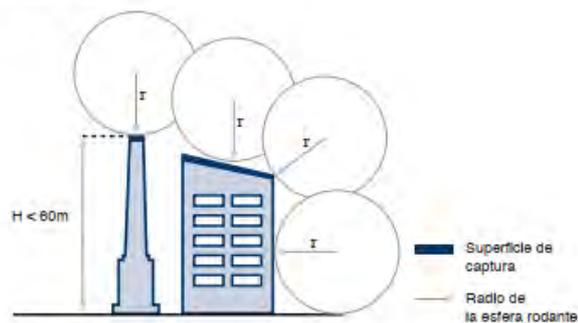
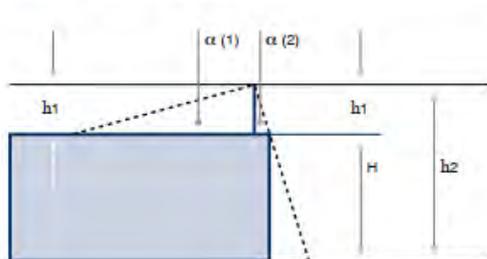
NOTA 2. h (m) es la altura del captador por encima del plano de referencia de la zona a proteger.

NOTA 3. El ángulo de protección (α) no varía para valores de h inferiores a 2 m.

b) Método de la esfera rodante y malla:

Clase de SCPR	Radio de esfera rodante (m)	Tamaño de la malla (m)
I	20	5x5
II	30	10x10
III	45	15x15
IV	60	20x20

TABLA 2. Valores máximos de radio de la esfera rodante y tamaño de la malla para cada clase de SCPR.



► normas y ensayos

Normas de aplicación:

- IEC 62.305-3

F. Cotizaciones realizadas



MC SUMINISTROS INDUSTRIALES S.A.C. - RUC: 20565723171
 CAL. DOS MZ. J.LT. 2 URB. PROCION, BELLAVISTA, CALLAO - TELEFONO: 464-8815
 E-mail: ventas@mcsuministros.com - www.mcsuministros.com

PROFORMA N° : 002606

SEÑORES: PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU RUC: 20155945860 FECHA: 09/10/18
 DIRECCION: AV. UNIVERSITARIA NRO. 1801 URB. PANDO SAN MIGUEL REFERENCIA: CRISTHIAN MONEDA: DOLARES USD\$

ESTIMADOS SEÑORES,
 DE ACUERDO A VUESTRO REQUERIMIENTO NOS ES GRATO PRESENTARLES NUESTRA COTIZACIÓN DE LOS SIGUIENTES PRODUCTOS Y/O SERVICIOS:

ITEM	CANT.	U.M.	CODIGO	DESCRIPCION DEL PRODUCTO	MODELO	MARCA	T. ENTREGA	P.U. NETO \$	TOTAL \$
1	1	PZA.	10051208	CIRCULINA GIRATORIA 10W S125S 140RPM 220VAC IP44 ROJO	S125U-220-R	QLIGHT	INMEDIATO	49.00	49.00
2	1	PZA.	10061201	CIRCULINA GIRATORIA CON LED S125LR 140RPM 220VAC IP44 ROJO	S125LR-220-R	QLIGHT	INMEDIATO	68.00	68.00
3	1	PZA.	10061216	CIRCULINA LED SERIE MFL125 FIJA/FLASH/GIRATORIA 110/220V IP65 ROJO	MFL125-R	QLIGHT	INMEDIATO	97.00	97.00
4	1	PZA.	10081217	BASE DE MONTAJE EN PARED CON RECUBRIMIENTO ANTICORROSIVO P/CIRCULINAS	SWM125	QLIGHT	INMEDIATO	9.00	9.00
5	1	PZA.	10050524	CIRCULINA GIRATORIA SERIE R400 60W 120RPM 230VAC ROJA IP65	R400-05-02	MOFLASH	INMEDIATO	136.00	136.00
6	1	PZA.	30051818	CIRCULINA GIRATORIA SERIE 883 35W 180RPM 230VAC ROJA IP65	883.100.68	WERMA	INMEDIATO	158.00	158.00



FORMA DE PAGO: CONTADO CASH	OBSERVACIONES:	TOTAL NETO:	517.00
VALIDEZ: 30 DÍAS		IGV:	93.06
Cuentas Bancarias: BCP Dolares: 192-2232384-1-42 ; Código Cuenta Interbancario: 00219200223238414233		TOTAL VENTA: USD\$	610.06
BCP Soles: 192-2205589-0-75 ; Código Cuenta Interbancario: 00219200220558907534		TIPO DE CAMBIO (S./.) :	3.30
EJECUTIVO COMERCIAL: Stephanie Santos	TELEFONO / MOVIL: 4648815 (Anexo 21) / 922338104	E-MAIL: ssantos@mcsuministros.com	



Proyecto, Diseño e Instalación de Sistemas de Puestas a Tierra, Centro de Cómputo Telecomunicaciones y Equipos Electrónicos, Pruebas de Mediciones de potencial Toque y Paso en Subestaciones, Pararrayos PDC

Lima, 28 de Noviembre de 2018

COT – 209 - 2018

SEÑORES

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA

ATT : ING, CRISTIAN JACINTO

PRESENTE.-

REF : Materiales Para protección contra Descargas atmosféricas franklin Ingesco
Proyecto de estaciones de Monitoreo de fugas de GNV

Por la presente, le alcanzamos nuestra propuesta económica por lo Siguiente:

PROPUESTA ECONOMICA

CANT	UND	DESCRIPCION	US\$/UND	US\$
20	und	Mástil de 1 ½ " x 3 m Acero Inoxidable Ref. 114045	198.00	3,960.00
20	und	Soporte placa Base simple 1 ½" Ref. 113037	341.80	6836.00
20	und	Punta Simple INOX – 300 /16 mm Ref 110080	84.00	1680.00
20	und	Pieza de adaptación 1 ½" x 16 mm redondo Ref 111022	71.71	1,434.20
			Subtotal	13,910.20
			IGV	2,503.84
			Total	16,614.04

CONDICIONES COMERCIALES

Forma de Pago : 50% ADELANTO SALDO CONTADO C/E
Deposito en Cta Banco Scotiabank cta corriente de Dólares
000-4266092

Tiempo de entrega : Importacion 40 dias (España)

Validez de la oferta : 15 dias

ATENTAMENTE

CARLOS YUPANQUILINO

GERENTE OPERACIONES

G. Integración del sistema ciber-físico

G.1. Políticas Amazon IoT Core

```

{
  "Version": "2012-10-17",
  "Statement": [
    {
      "Effect": "Allow",
      "Action": [
        "iot:Publish",
        "iot:Receive"
      ],
      "Resource": [
        "arn:aws:iot:us-east-1:003829283967:topic/data/eros",
        "arn:aws:iot:us-east-1:003829283967:topic/alert/eros",
        "arn:aws:iot:us-east-1:003829283967:topic/$aws/things/eros/shadow/update",
        "arn:aws:iot:us-east-1:003829283967:topic/$aws/things/eros/shadow/name/*",
        "arn:aws:iot:us-east-1:003829283967:topic/$aws/things/eros/shadow/update/accepted",
        "arn:aws:iot:us-east-1:003829283967:topic/$aws/things/eros/shadow/name/*/update/accepted"
      ]
    },
    {
      "Effect": "Allow",
      "Action": [
        "iot:Subscribe"
      ],
      "Resource": [
        "arn:aws:iot:us-east-1:003829283967:topicfilter/data/eros",
        "arn:aws:iot:us-east-1:003829283967:topicfilter/alert/eros",
        "arn:aws:iot:us-east-1:003829283967:topicfilter/$aws/things/eros/shadow/update/accepted",
        "arn:aws:iot:us-east-1:003829283967:topicfilter/$aws/things/eros/shadow/name/*/update/accepted"
      ]
    },
    {
      "Effect": "Allow",
      "Action": [
        "iot:Connect"
      ],
      "Resource": "*"
    },
    {
      "Effect": "Allow",
      "Action": "iot:UpdateThingShadow",
      "Resource": [
        "arn:aws:iot:us-east-1:003829283967:thing/eros",
        "arn:aws:iot:us-east-1:003829283967:thing/eros/shadow/name/*"
      ]
    }
  ]
}

```

G.2. Firmware

Archivo: main.cpp

```

#include <Arduino.h>
#include <driver/adc.h>
#include "config/config.h"
#include "tasks/WiFiConn.h"
#include "tasks/IOTConn.h"
#include "tasks/Sensors.h"
#include "tasks/Alerts.h"

/*Global variables*/
QueueHandle_t qSensors; //For the next queue extern handles

void memory_available(){
    log_d("Total heap: %d", ESP.getHeapSize());
    log_d("Free heap: %d", ESP.getFreeHeap());
    log_d("Total PSRAM: %d", ESP.getPsramSize());
    log_d("Free PSRAM: %d", ESP.getFreePsram());
}

void setup() {
    Serial.begin(115200);
    /*Setup the ADC*/
    adc1_config_channel_atten(ADC1_CHANNEL_0, ADC_ATTEN_DB_11);
    analogReadResolution(12);
    pinMode(ADC_INPUT, INPUT);

    /*Setup the LED indicator*/
    pinMode(LED,OUTPUT);

    /*Setup semaphore*/
    sema_MQTT_KeepAlive = xSemaphoreCreateBinary();
    xSemaphoreGive(sema_MQTT_KeepAlive); //-> Initialize to 1
    BaseType_t xRTask1, xRTask2, xRTask3;

    /*Task 1: Connect to WiFi & keep the connection alive.*/
    xRTask1 = xTaskCreatePinnedToCore(
        keepWiFiConnAlive,
        "keepWiFiConnAlive", // Task name [WiFiConn.h]
        5000,                // Stack size (bytes)
        NULL,                // Parameter
        1,                   // Task priority
        NULL,                // Task handle
        MAIN_CORE
    );
}

```

```

/*Task 2: Connect to AWS & keep the connection alive.*/
xRTask2 = xTaskCreatePinnedToCore(
    keepAWSConnAlive,
    "keepAWSConnAlive", // Task name [IOTConn.h]
    5000,                // Stack size (bytes)
    NULL,               // Parameter
    1,                  // Task priority
    NULL,               // Task handle
    MAIN_CORE
);

/*Task 3: Sense LGN variables*/
xRTask3 = xTaskCreatePinnedToCore(
    measureVariables,
    "measureVariables", // Task name [Sensor.h]
    10000,              // Stack size (bytes)
    NULL,               // Parameter
    2,                  // Task priority
    NULL,               // Task handle
    SECONDARY_CORE
);

/*Verify task created*/
if (xRTask1 == pdPASS || xRTask2 == pdPASS || xRTask3 == pdPASS ){
    Serial.println("[ESP] Task created correctly");
    memory_available();
}else{
    Serial.println("[ESP] Task error !");
}
}

void loop() {
    vTaskDelay(10000 / portTICK_PERIOD_MS);
}

```

Archivo: config/config.h

```

#ifndef CONFIG
#define CONFIG

/*General Configuration*/
#define MAIN_CORE 0
#define SECONDARY_CORE 1
#define ADC_INPUT 36
#define LED 19
#define DEEP_SLEEP_TIME 2 //minutes

/*Geo Points*/

```

```
static const float longitude = -72.930422f;
static const float latitude = -11.919706f;

/* Wifi Configuration*/
#ifndef WIFI_SSID
#define WIFI_SSID "(SSID not defined)"
#endif

#ifndef WIFI_PASSWORD
#define WIFI_PASSWORD "(PASSWORD not defined)"
#endif

#define WIFI_CONNECT_DELAY 10
#define WIFI_RECOVER_TIME_MS 20000 //Waited time before trying to set one up
again
#define WIFI_TIMEOUT 10000 //Waited time for WiFi connection

/*AWS Configuration*/
#define AWS_ENABLED true

extern const uint8_t aws_root_ca_pem_start[]
asm("_binary_src_certs_aws_root_ca_pem_start");
extern const uint8_t aws_root_ca_pem_end[]
asm("_binary_src_certs_aws_root_ca_pem_end");
extern const uint8_t certificate_pem crt_start[]
asm("_binary_src_certs_certificate_pem crt_start");
extern const uint8_t certificate_pem crt_end[]
asm("_binary_src_certs_certificate_pem crt_end");
extern const uint8_t private_pem_key_start[]
asm("_binary_src_certs_private_pem_key_start");
extern const uint8_t private_pem_key_end[]
asm("_binary_src_certs_private_pem_key_end");

#ifndef AWS_IOT_ENDPOINT
#define AWS_IOT_ENDPOINT "(AWS_ENDPOINT not defined)"
#endif

#ifndef DEVICE_NAME
#define DEVICE_NAME "(DEVICE not defined)"
#endif

#define AWS_MAX_MSG_SIZE_BYTES 512
#define AWS_IOT_PUB_TOPIC "$aws/things/eros/shadow/name/estacion1/update"
#define AWS_IOT_SUB_TOPIC "alert/eros"
#define AWS_MAX_RECONNECT_TRIES 5

#define MQTT_CONNECT_DELAY 10
#define MQTT_RECOVER_TIME_MS 3000
```

```

#define MQTT_CONNECT_TIMEOUT 5000 //Waited time for AWS connection

/*Data Structure*/
#ifndef PRE_JSON
#define PRE_JSON

struct sensors{
    float flow_value;
    float pres_value;
    float temp_value;
};

#endif

/**Binary Semaphore**/
#ifndef SEMA
#define SEMA

SemaphoreHandle_t sema_MQTT_KeepAlive;

#endif

#endif

```

Archivo: tasks/WiFiComm.h

```

#ifndef TASK_WiFiConn
#define TASK_WiFiConn

#include <Arduino.h>
#include <esp_wifi.h>
#include <esp_bt.h>
#include <driver/adc.h>
#include "WiFi.h"
#include "../config/config.h"

/**
 * TASK: Connect to WiFi & keep the connection alive
 */

void goToDeepSleep()
{
    Serial.println("Going to sleep...");
    WiFi.disconnect(true);
    WiFi.mode(WIFI_OFF);
    btStop();
    adc_power_release();
    esp_wifi_stop();
}

```

```

esp_bt_controller_disable();
// Configure the timer to wake us up!
esp_sleep_enable_timer_wakeup(DEEP_SLEEP_TIME * 60L * 1000000L);
// Go to sleep! Zzzz
esp_deep_sleep_start();
}

void keepWiFiConnAlive(void * parameter){
    for(;;){
        if(WiFi.status() == WL_CONNECTED){
            Serial.println("\n[ESP] Wi-Fi connection Ok!");
            vTaskDelay(10000 / portTICK_PERIOD_MS);
            continue;
        }

        Serial.println("[ESP] Reconnecting to Wi-Fi Server");

        WiFi.mode(WIFI_STA);
        WiFi.setHostname(DEVICE_NAME);
        WiFi.begin(WIFI_SSID, WIFI_PASSWORD);

        unsigned long startAttemptTime = millis();

        // Keep looping while we're not connected and haven't reached the
        timeout
        while (WiFi.status() != WL_CONNECTED && millis() - startAttemptTime <
WIFI_TIMEOUT){
            Serial.print(".");
            vTaskDelay(WIFI_CONNECT_DELAY);
        }
        Serial.println();
        // Make sure that we're actually connected, otherwise go to deep sleep
        if(WiFi.status() != WL_CONNECTED){
            Serial.println("\n[ESP] Connection timeout. Retray in 20 s.");
            goToDeepSleep();
            vTaskDelay(WIFI_RECOVER_TIME_MS / portTICK_PERIOD_MS);
        }

        Serial.print("[ESP] Connected:");
        Serial.println(WiFi.localIP());
    }
}
#endif

```

Archivo: tasks/IOTConn.h

```

#ifndef TASK_IOTConn
#define TASK_IOTConn

#if AWS_ENABLED == true

#include <Arduino.h>
#include <ArduinoJson.h>
#include <WiFiClientSecure.h>
#include <PubSubClient.h>
#include "../config/config.h"
#include "Sensors.h" // Trigger a task
#include "Alerts.h" // Create a task here

int blink_message = 2;
int blink_alert = 6;

struct sensors rxStation1;
extern QueueHandle_t qSensors;

WiFiClientSecure AWS_net;
PubSubClient IOTClient(AWS_IOT_ENDPOINT, 8883, AWS_net);

String str_eTopic;
char strPayload [MQTT_MAX_PACKET_SIZE];

/**
 * FUNCTION: Notify if there is any message, and turn on the alert
[Alerts.h]
 */
void mqttCallback(char* topic, uint8_t *payload, uint8_t
payloadSize){
    Serial.printf( "[ESP] New message at Topic %s: %.*s\n\r", topic,
payloadSize, (char*)payload);

    //Blink LED
    xTaskCreate(
        blinkLED,
        "blinkLED",
        1000,
        (void*)&blink_alert,
        5,
        NULL
    );
}

/**

```

```

    * TASK: Keep AWS (IoT Core) connection alive. This runs every 500 ms.
    */
    void keepAWSConnAlive(void * parameter){
        //IOTClient.setKeepAlive(90);
        for(;;){
            if(IOTClient.connect(DEVICE_NAME)){
                Serial.println("[ESP] AWS connection Ok!");
                xSemaphoreTake(sema_MQTT_KeepAlive, portMAX_DELAY); //Block
the task keepAWSConnAlive and their resources
                IOTClient.loop();//Until this function is done
                xSemaphoreGive(sema_MQTT_KeepAlive); //Then release it
            }else{
                if(!WiFi.isConnected()){
                    vTaskDelay(1000 / portTICK_PERIOD_MS);
                    continue;
                }
                // Configure certificates
                AWS_net.setCACert((const char *) aws_root_ca_pem_start);
                AWS_net.setCertificate((const char *)
certificate_pem crt_start);
                AWS_net.setPrivateKey((const char *) private_pem_key_start);

                Serial.println("[ESP] Connecting to AWS...");
                long startAttemptTime = millis();

                while (!IOTClient.connect(DEVICE_NAME) && millis() -
startAttemptTime < MQTT_CONNECT_TIMEOUT){
                    Serial.print(".");
                    vTaskDelay(MQTT_CONNECT_DELAY);
                }

                if(IOTClient.connected()){
                    IOTClient.subscribe(AWS_IOT_SUB_TOPIC);
                    IOTClient.setCallback(mqttCallback);
                }else{
                    Serial.println("[ESP] AWS connection timeout. Retry in
3s.");
                    vTaskDelay(MQTT_RECOVER_TIME_MS / portTICK_PERIOD_MS);
                }
            }
            Serial.println("[ESP] AWS Connected!");
            vTaskDelay(500 / portTICK_PERIOD_MS);
        }
    }
}

/**

```

```

    * TASK: Send data to AWS (IoT Core). This runs only when the "queue"
message is sent.
    * It's called by the measureVariables function [Sensors.h].
    */
void sendToAWS(void * parameter){
    xQueueReceive (qSensors, &rxStation1, portMAX_DELAY);

    if(!WiFi.isConnected() || !IOTClient.connected()){
        Serial.println("[ESP] AWS no connection. Discarding data..");
        vTaskDelete(NULL);
    }else{

        StaticJsonDocument< AWS_MAX_MSG_SIZE_BYTES> jsonDoc;

        JsonObject stateObj = jsonDoc.createNestedObject("state");
        JsonObject reportedObj = stateObj.createNestedObject("reported");

        reportedObj["id_pos"] = ID_POS;
        reportedObj["flow_value"] = rxStation1.flow_value;
        reportedObj["pres_value"] = rxStation1.pres_value;
        reportedObj["temp_value"] = rxStation1.temp_value;
        reportedObj["pos_location"][0] = longitude;
        reportedObj["pos_location"][1] = latitude;

        char jsonBuffer[AWS_MAX_MSG_SIZE_BYTES];

        serializeJson(jsonDoc, jsonBuffer);
        IOTClient.publish(AWS_IOT_PUB_TOPIC, jsonBuffer);
        Serial.print("[ESP] AWS publish: ");
        serializeJson(jsonDoc, Serial);
        Serial.println();

        //Blink LED
        xTaskCreate(
            blinkLED,
            "blinkLED",
            1000,
            (void*)&blink_message,
            5,
            NULL
        );
        // Task is done!
        vTaskDelete(NULL);
    }
}

#endif
#endif

```

Archivo: tasks/Alerts.h

```
#ifndef TASK_Alerts
#define TASK_Alerts

#include <Arduino.h>
#include "../config/config.h"

int i;

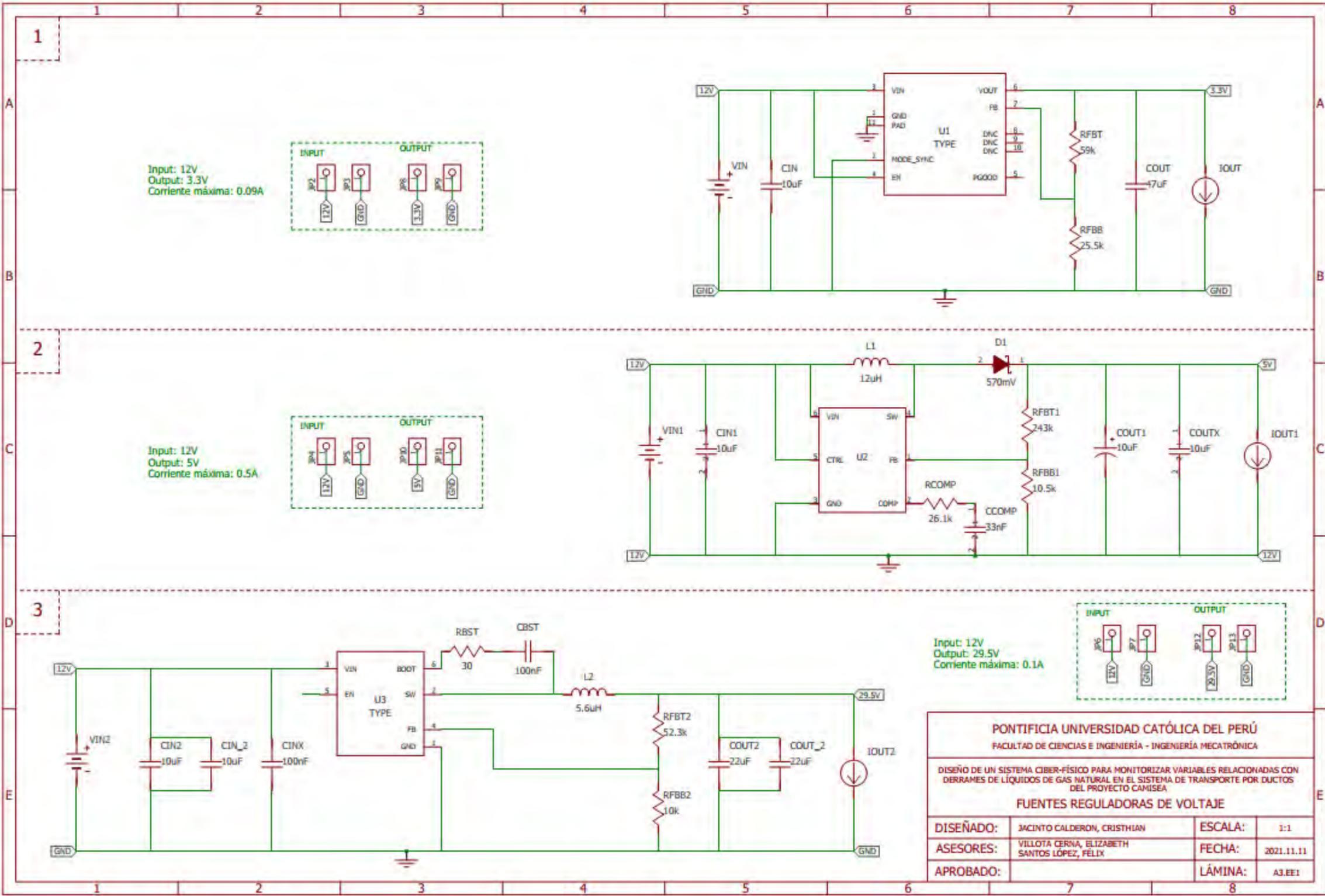
void blinkLED(void * parameter){
    for(i=0;i<*((int*)parameter);i++){
        digitalWrite(LED,HIGH);
        vTaskDelay(250 / portTICK_PERIOD_MS);
        digitalWrite(LED,LOW);
        vTaskDelay(250 / portTICK_PERIOD_MS);
    }
    // Task is done!
    vTaskDelete(NULL);
}

#endif
```



H. Planos

I.1. Fuentes reguladoras de voltaje



I.3. Ensamble general

