



*Trabajo final presentado  
en opción al Título de  
Máster en Automática*

Autor: Ing. Sergio Daniel Cruz Pupo

Tutores: Dr. Rafael Arturo Trujillo Codorniu

Dr. Israel Francisco Benítez Pina

**Santiago de Cuba**

2021



UNIVERSIDAD  
DE ORIENTE

Facultad de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Ingeniería Automática

*Trabajo final presentado  
en opción al Título de  
Master en Automática*

Título: Desarrollo de un PLC distribuido aplicado a la dosificación de mineral y petróleo.

Autor: Ing. Sergio Daniel Cruz Pupo

Tutores: Dr. C. Rafael Arturo Trujillo Codorniu

Dr. C. Israel Francisco Benítez Pina

## ***Resumen***

El objetivo del presente trabajo es mostrar el desarrollo e implementación de un controlador lógico programable (PLC) con periferia distribuida para la dosificación de mineral y petróleo aditivo para la planta de hornos de reducción de la Empresa Comandante Ernesto Guevara de la Serna (ECG), Moa, Holguín.

Para ello se hizo un estudio y caracterización de las diferentes tecnologías utilizadas a lo largo de los años en la propia ECG y en la extinta productora de Níquel Empresa Comandante René Ramos Latour (ECRRL), de Nicaro, Holguín, así como de otras tecnologías utilizadas en los procesos de dosificación.

Se exponen además los elementos tomados en cuenta para la selección del tipo de controlador, así como las diferentes tecnologías tanto para los buses físicos como los protocolos de comunicación y la interconexión de los diferentes módulos de entrada/salida con la unidad procesadora central (CPU). Se brinda una explicación detallada de las características de la comunicación del controlador con otros dispositivos y SCADA.

Se detalló, de forma general, el funcionamiento del sistema de dosificación de mineral y el papel que juega cada uno de los módulos en dicho proceso, así como su posible utilización en procesos de otras industrias del país.

Se describen los esquemas en bloques y algunos de los circuitos electrónicos principales de cada uno de los diferentes módulos integrantes del PLC.

## ***Abstract***

The objective of this work is to show the development and implementation of a programmable logic controller (PLC) with distributed periphery for the dosing of mineral and additive oil for the reduction furnace plant of the Comandante Ernesto Guevara de la Serna (ECG) Company, Moa, Holguin.

For this, a study and characterization of the different technologies used throughout the years in the ECG itself and in the former producer of Nickel Commander Company René Ramos Latour (ECRRL), from Nicaro, Holguin, as well as other technologies used in the dosing processes.

The elements to be taken into account for the selection of the type of controller are also exposed, as well as the different technologies for both the physical buses and the communication protocols and the interconnection of the different input / output modules with the central processing unit (CPU). A detailed explanation of the characteristics of the controller's communication with other devices and SCADA is given.

It was detailed, in general, the operation of the mineral dosing system and the role played by each of the modules in this process, as well as its possible use in processes of other industries in the country.

Block diagrams and some of the main electronic circuits of each of the different PLC modules are described.

---

## *Índice*

Introducción.....	1
Capítulo 1. Caracterización de los sistemas de control para la dosificación. ....	6
Introducción.....	6
1.1. Caracterización gnoseológica de los sistemas y controladores para la dosificación.....	6
1.1.1. Caracterización de los sistemas de dosificación.....	7
1.1.2. Caracterización de los sistemas de control de dosificación. ....	11
1.2. Caracterización histórica de los sistemas de control para la dosificación en la industria del níquel.....	14
Conclusiones.....	16
Capítulo 2. Diseño de un controlador lógico programable para la dosificación de mineral y petróleo.....	17
Introducción.....	17
2.1. Periferia de Entrada/Salida descentralizada o distribuida.....	17
2.1.1. Buses de campo .....	18
2.1.2. Interconexión de las unidades de entrada/salida. ....	23
2.1.3. Bus CAN .....	24
2.2. Diseño Electrónico.....	28
2.2.1. Unidad Procesadora Central.....	29
2.2.2. Periferia Distribuida.....	51
2.3. Valoración o corroboración de los resultados alcanzados.....	87
2.3.1. Análisis valorativo de los aspectos económicos y medioambientales.....	88
Conclusiones.....	90
Conclusiones.....	91
Recomendaciones .....	94

---

Bibliografía .....	95
Anexos .....	98
Anexo 1 Esquema mecánico dosificadores Thayer. ....	98
Anexo 2 Esquema eléctrico dosificador Thayer. ....	99
Anexo 3 Dosificador de pesaje específico SIEMENS .....	100
Anexo 4 Controladores de pesaje mediante PLC. ....	101
Anexo 5 Tolva de pesaje diseñada en la ECRRL. ....	102
Anexo 6 Controladores desarrollados por el grupo EROS.....	103
Anexo 7 Estructura de la IEC 61158, bus de campo para sistemas de control industrial.....	104
Anexo 8 Topología de red en forma de BUS[12]. ....	105
Anexo 9 Esquema de configuración del bus CAN, estándar ISO 11898[18].....	106
Anexo 10 Arquitectura estándar en capas ISO 11898 del BUS CAN[19]. ....	107
Anexo 11 Modelo OSI[12].....	108
Anexo 12 Unidad Procesadora Central del EROSPLC-D. ....	109
Anexo 13. Diagrama de flujo general EROSPLC-D[21]. ....	110
Anexo 14. Interfaces de Operación EROSPLC-D[21]. ....	111
Anexo 15. Módulo Entradas/Salidas digitales IOD8x4v1. ....	112
Anexo 16. Módulo Entradas/Salidas analógicas IOA4x2v1. ....	113
Anexo 17. Módulo Entradas analógicas de bajo nivel IOW2v1.....	114
Anexo 18. Módulo de Visualización IOLCDv1.....	115
Anexo 19. Misión de trabajo en la República Popular China. ....	116
Anexo 20. Certificado de aceptación en fábrica CPU195v1.....	117
Anexo 21. Certificado de aceptación en fábrica IOD8x4v1.....	118
Anexo 22. Certificado de aceptación en fábrica IOA4x2v1. ....	119
Anexo 23. Certificado de aceptación en fábrica IOW2v1.....	120

Anexo 24. Certificado de aceptación en fábrica IOLCDv1. ....	121
Anexo 25. Ensamblaje, pruebas y puesta en marcha de los componentes integrantes del PLC con periferia distribuida.....	122
Anexo 27. prototipos en operación en la planta de hornos de la ECG.....	124
Anexo 28. Criterio valorativo sobre sistema de dosificación. ....	125
Anexo 29. Precios tecnologías sistemas de pesaje. ....	126

## ***Lista de símbolos, términos especiales y abreviaturas no normalizadas***

<b>PLC</b>	Controlador Lógico Programable.
<b>ECG</b>	Empresa Che Guevara.
<b>ECRRL</b>	Empresa Comandante René Ramos Latour.
<b>PSA</b>	Pedro Sotto Alba.
<b>CPU</b>	Unidad Procesadora Central.
<b>SCADA</b>	Supervisory control and data acquisition.
<b>NiO</b>	Óxido de Níquel.
<b>TCA</b>	Tecnología Carbonato - Amoniacal o Proceso CARON.
<b>PHR</b>	Planta Hornos de Reducción.
<b>HMI</b>	Interface Hombre Máquina.
<b>SADPT</b>	Sistemas Automatizados de Dirección de Procesos Tecnológicos.
<b>CAN</b>	Controller Area Network.
<b>CIM</b>	Computer Integrated Manufacturing.
<b>OSI</b>	Open Systems Interconnection.
<b>RTC</b>	Real Time Clock.
<b>MMU</b>	Memory Management Unit.
<b>MMS</b>	Manufacturing Message Specification.
<b>SDS</b>	Smart Distributed System.
<b>ASI</b>	Actuator Sensor Interface.
<b>ISO</b>	International Standardization Organization.
<b>SDS</b>	Smart Distributed System.
<b>SAE</b>	Society of Automotive Engineers.
<b>IEC</b>	International Electrotechnical Commission.
<b>ESD</b>	Electrostatic Discharge.
<b>TIA</b>	Telecommunications Industry Association.
<b>EIA</b>	Electronic Industries Alliance.
<b>ECAN</b>	Enhanced Controller Area Network.
<b>IEEE</b>	Institute of Electrical and Electronics Engineers.

*Lista de símbolos, términos especiales y abreviaturas no normalizadas*

---

<b>LCD</b>	Liquid-Crystal Display.
<b>SPST</b>	Simple Polo Simple Tiro.
<b>EPROM</b>	Erasable Programmable Read-Only Memory.
<b>SRAM</b>	Static Random Access Memory
<b>PWS</b>	Power Supply.
<b>LED</b>	Light Emitting Diode.
<b>SPD</b>	Sistema de Pesaje y Dosificación.
<b>E/S</b>	Entrada/Salida.
<b>SPI</b>	Serial Peripheral Interface.
<b>SOP</b>	Small-outline package.
<b>CTR</b>	Current transfer ratio.
<b>RMS</b>	root mean squar.
<b>SMD</b>	Surface Mounted Device.
<b>PCB</b>	Printed circuit board.
<b>RET</b>	Resistor-Equipped Transistors.
<b>EUSART</b>	Enhanced Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter.
<b>MSSP</b>	Master Synchronous Serial Port.
<b>I<sup>2</sup>C</b>	Inter-Integrated Circuit.
<b>ADC</b>	Analogue to Digital Converter.
<b>DAC</b>	Digital to Analogue Converter.
<b>DNL</b>	Differential Non-linearity.
<b>PTC</b>	Positive Temperature Coefficient.
<b>TVS</b>	Transient Voltage Suppression.
<b>PGA</b>	Programmable Gain Amplifier.
<b>RTD</b>	Resistance Temperature Detector.
<b>SPI</b>	Serial Peripheral Interface.
<b>CEXNI</b>	Empresa Comercializadora y Exportadora del Níquel.
<b>FAT</b>	Factory Acceptance Test.

## ***INTRODUCCIÓN***

---

---

La intervención norteamericana en la II Guerra Mundial, a partir de 1941, propició la necesidad de incrementar la producción de níquel. En el año 1942 comenzó la construcción de la primera fábrica del mundo de Óxido de Níquel (NiO) con la Tecnología Carbonato - Amoniacal (TCA o Proceso CARON). La planta fue fundada en Nicaro, Cuba, en el año 1943 por la Freeport Sulphur Co. (E.U.A), nace la industria cubana del Níquel. Luego, en el año 1959, comenzó sus operaciones la Moa Bay Mining Co. en Moa, Holguín.

Después de la nacionalización por el gobierno revolucionario en 1960, reciben el nombre de Empresa Comandante René Ramos Latour (ECRRL) y Empresa Comandante Pedro Sotto Alba (PSA) respectivamente, las mismas constituyeron desde los mismos inicios de la revolución cubana, un pilar importante en el desarrollo económico y social del país. Muestra de la importancia de esta industria para el naciente gobierno revolucionario, fueron las constantes visitas de los dirigentes de la revolución a las zonas niquelíferas de Nicaro y Moa, las cuales se mantienen hasta la actualidad. En 1984 se pone en marcha la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara (ECG), en Moa, Holguín.

En la actualidad quedan en explotación las dos fábricas productoras del municipio de Moa, la ECG con proceso TCA y la PSA con proceso de lixiviación ácida a presión.

Los costos cada vez más altos de las materias primas y portadores energéticos, la minería cada vez más alejada de los yacimientos producto del agotamiento de las fuentes más cercanas, el empobrecimiento de las leyes de minerales, las afectaciones cada vez más frecuentes motivadas por el cambio climático, los bajos precios sostenidos del níquel durante los últimos años y, en el caso de la ECG, los bajos índices de eficiencia de la TCA, entre otras causas, obligan a la producción cada vez más eficiente de este importante rublo exportable para nuestra economía.

Entre las diferentes plantas que formaron la extinta ECRRL y la actual ECG, se encuentra la de hornos de reducción (PHR), la misma juega un papel importantísimo en la eficiencia metalúrgica de la empresa.

En el proceso carbonato amoniacal el níquel y el cobalto necesitan reducirse a metal antes de ponerse en contacto con las soluciones carbonato amoniacales lixivadoras. En este proceso de reducción se calienta el mineral con gases obtenidos de la combustión incompleta del petróleo (Monóxido de Carbono) que aportan los reductores, aunque no son suficientes. En Cuba, en la Empresa Comandante René Ramos Latour (ECRRL), se empleó adicionalmente gas obtenido del carbón antracita. A partir de 1968 se empleó también petróleo sin combustionar, conocido como petróleo aditivo, añadido directamente al mineral para sustituir parcialmente el gas. En 1990 se obtenían muy malos resultados en los hornos de la Empresa Comandante Ernesto Guevara (ECECG), debido en gran parte a que la planta de gas de carbón antracita, montada después del fracaso de la planta de gasificación del petróleo y de añadir petróleo al mineral por dos tipos distintos de equipos, había fracasado. En el proyecto de intensificación de la reducción se decidió profundizar en el estudio del uso del petróleo aditivo, pudiéndose definir que las condiciones que permitieron operar con éxito en la ECRRL, y en Yabulu (Greenvale) no se podían aplicar en la Empresa Comandante Ernesto Guevara.[1]

Estudios a nivel de banco, permitieron fijar las condiciones necesarias para poder añadir el petróleo a los molinos. El pilotaje en dos instalaciones experimentales industriales, montadas a partir de octubre de 1992, permitieron definir el efecto favorable del petróleo y se montó la instalación definitiva con recursos propios en la correa de alimentación a los molinos de bolas. En junio de 1993, al acabarse el carbón antracita, la instalación permitió la operación exitosa de los hornos.

En 1996, se aceptó definitivamente la sustitución del gas por petróleo.[1]

La sustitución de la alimentación de gas pobre proveniente del carbón antracita a la PHR por la dosificación de petróleo aditivo al mineral en las correas de alimentación a los molinos, provoca varias afectaciones, como es la disminución de la productividad de estos equipos y pérdidas de componentes más volátiles, por lo que en el año 2004 se hicieron las primeras pruebas en la ECRRL para la dosificación de petróleo en la PHR.

La estabilidad del suministro de mineral a los hornos de reducción resulta imprescindible para lograr parámetros idóneos que redundan en altos índices de

metalización y por consiguiente eficiencia productiva de toda la industria. Lo que no se logre metalizar en los hornos no es alcanzable en ninguno de los procesos sucesivos. Actualmente en la ECG, este proceso de suministro se realiza mediante el pesaje de mineral con un equipamiento que posee elevado envejecimiento tecnológico, cuyo controlador está implementado en base a microprocesadores Intel 8085 y todos los periféricos asociados a esta antigua tecnología, la mayoría de ellos obsoletos en el mercado. Además de no poseer ningún tipo de comunicación con los sistemas SCADA existentes en la planta.

La automatización de la planta de hornos es extremadamente compleja porque cuenta con varios niveles o pisos, el panel de control está centralizado en el nivel 2, los controles de los accionamientos están en el nivel 9 y más arriba la plataforma de pesaje. Al estar el sistema de control de la dosificación soportado de forma centralizada posee altos costos de implementación y mantenimiento por concepto de trazas de cables y sus conductos.

Todo lo anterior conlleva a un sistema de control con baja precisión y exactitud, no permisible en la dosificación de mineral a los hornos de reducción, causado fundamentalmente por desajustes en los componentes electrónicos, instrumentales y mecánicos.

Los métodos empleados en las calibraciones estáticas y dinámicas son extremadamente rudimentarios. Esta última se realiza de forma totalmente manual extrayendo una muestra de mineral en un recipiente para pesarlo en una plataforma y luego ingresarlo nuevamente al proceso. Esto provoca pérdidas y un gran esfuerzo humano en condiciones ambientales adversas; lo cual imposibilita la ejecución de dichas calibraciones con una frecuencia superior.

Teniendo en cuenta todo lo antes señalado, es imprescindible el desarrollo de una investigación la cual considere como **problema**, la baja confiabilidad de la dosificación del mineral y de la información del proceso en los hornos de reducción por la imposibilidad de comunicación con el Sistema de Supervisión y Control de la Planta, lo que afecta la eficiencia y contabilidad metalúrgica de la Empresa.

Por lo planteado anteriormente, se considera como **objeto de la investigación** la dosificación de mineral y petróleo en la PHR, teniendo como **campo de acción**, un

sistema de control para la dosificación de mineral y petróleo en la PHR de la ECG, que permita desarrollar mejores algoritmos y que sean adaptables a las rigurosas condiciones ambientales de esta industria.

El **objetivo de la investigación** es diseñar e implementar un nuevo sistema de control para la dosificación de mineral y petróleo aditivo, concibiendo el diseño electrónico del controlador y que permita la integración con los sistemas SCADA.

Como **hipótesis** se plantea que, si se diseña e implementa un nuevo sistema de control moderno e integrable al SCADA, se resolvería la falta de supervisión y control del mineral dosificado mediante un SCADA o HMI, lo que permitiría desarrollar mejores algoritmos de control y dosificación de mineral y disminuir ostensiblemente los gastos por concepto de trazas de señales y control y se tendrá una estructura mucho más sencilla de toda la instalación.

Las **tareas** para dar cumplimiento al objetivo de la presente investigación se relacionan a continuación:

- Caracterizar desde el punto de vista gnoseológico, histórico y actual los sistemas de control para la dosificación.
- Diseño electrónico, utilizando el software Altium Designer, de los diferentes componentes del sistema de control.
- Obtención de Prototipos y realizar pruebas de implementación.

### **Técnicas y métodos utilizados en la investigación.**

- Análisis de fuentes documentales: Estudio teórico sobre los sistemas de dosificación.
- Histórico-lógico: Exposición del estado del arte y determinación de las tendencias para el óptimo cumplimiento del objetivo de la investigación.
- Observación, encuestas, entrevistas: Utilizado para tomar en cuenta todas las experiencias acumuladas dentro del grupo empresarial del Níquel respecto al objeto de la investigación.
- Análisis y síntesis: Importante para lograr la correcta armonía de cada uno de los entes que conforman el objetivo de la investigación.

- Diseño y Simulación: Aplicado mediante la utilización de la herramienta Altium Designer.

La **significación práctica de la investigación** consiste en la mejora de la eficiencia de la planta de hornos de reducción. Adicionalmente el controlador electrónico diseñado puede utilizarse en muchos de los procesos de la industria actual, dentro y fuera de la organización.

La investigación posee además un **impacto social**:

1. Soberanía tecnológica al contar con un diseño electrónico y software de producción nacional.
2. Menor costo para las nuevas inversiones, pues se adapta a las condiciones actuales de la PHR.
3. Al tener mayor capacidad de procesamiento, permite introducir nuevos y mejorar los algoritmos que redundan en menos emisiones de contaminantes al medio ambiente que tanto afectan a la población del municipio Moa.

La presente tesis se encuentra estructurada de la forma siguiente: Introducción. Capítulo 1 donde se realiza una caracterización gnoseológica en general de los sistemas y controladores para la dosificación, así como una descripción histórica de estos dentro de la industria del níquel, además de exponer la situación actual en la Empresa del Níquel Ernesto Guevara. Capítulo 2 con una detallada explicación del proceso de desarrollo de hardware de un controlador lógico programable para la dosificación de mineral y petróleo, así como su valoración técnico-económica y ambiental. Conclusiones generales. Recomendaciones. Bibliografía y Anexos.

## **Capítulo 1. CARACTERIZACIÓN DE LOS SISTEMAS DE CONTROL PARA LA DOSIFICACIÓN.**

---

---

### **INTRODUCCIÓN**

En el presente capítulo se exponen conceptos generales sobre la dosificación y la importancia de este proceso para la industria. Se explican diferentes métodos y tecnologías para acometerla con ejemplos de cada uno. Se hará una caracterización histórica de la dosificación de mineral dentro de la industria del níquel, explicando brevemente los hitos de cada etapa, por último, se describe la situación actual en la PHR de la ECG así como la importancia del control de la dosificación del mineral y petróleo en esta entidad.

### **1.1. CARACTERIZACIÓN GNOSEOLÓGICA DE LOS SISTEMAS Y CONTROLADORES PARA LA DOSIFICACIÓN.**

Existe una gran cantidad de definiciones técnicas y de funciones de la dosificación:

- Los sistemas de dosificación son sistemas capaces de preparar cantidades predeterminadas de un líquido o materia prima en un período de tiempo concreto y en relación definida. [2]
- Garantizar que los productos y cantidades que tienen una fórmula se adicionan en forma precisa. [3]
- Disponer de materiales en unas proporciones y tiempo concreto definido.
- Distribuir la materia prima en cantidades y secuencias temporales exactas.
- Uso o incorporación de determinadas cantidades de ingredientes y materias primas durante un proceso productivo.

Lo cierto, es que se trata de un sistema esencial en todas las industrias, prácticamente en todos los procesos; ya sea, en menor o mayor escala, se necesita tener control sobre las materias primas, producto final o subproducto. La correcta dosificación es necesaria para una mayor rentabilidad y eficiencia (optimiza los recursos), evitar pérdida de tiempo, producción, económicas (en ocasiones la mala dosificación de un

producto puede hacernos perder toda una producción) y mejorar la calidad de los productos.

La dosificación industrial puede llevarse a cabo en una única máquina, una línea de producción o toda una planta.

### **1.1.1. CARACTERIZACIÓN DE LOS SISTEMAS DE DOSIFICACIÓN.**

Los dosificadores industriales se dividen en dos principales familias: los **dosificadores gravimétricos** y los **dosificadores volumétricos**. El dosificador deberá adaptarse al producto y a su capacidad de flujo. El funcionamiento del dosificador no será el mismo con líquidos más o menos viscosos, masas, polvos o gránulos. La elección del dosificador también dependerá del caudal deseado: puede ser necesaria una dosificación ponderal por lotes para llenar un contenedor, en continuo o con caudal constante, de alto caudal, etc.

Para la precisión de la dosificación y la exactitud de la receta es decisiva la masa (no el volumen) del dispositivo dosificador.

#### **1.1.1.1. DOSIFICADORES VOLUMÉTRICOS**

Los dispositivos volumétricos dispensan material en relación al volumen y deben ser calibrados antes de cada uso pues normalmente no son capaces de compensar de forma automática los cambios en la densidad de los materiales.

Los mismos permiten medir de forma precisa el volumen de un producto y descargarlo, por ejemplo, en una tolva, línea de envase, tornillo sinfín, equipo tecnológico, etc. Pueden utilizarse para la dosificación de productos como la harina, materiales en polvo, frutos secos en el sector agroalimentario o en la industria para la dosificación de gránulos en el procesamiento de plásticos, colas, etc.

Para la dosificación de productos en polvo, en gránulos o con una viscosidad muy elevada estos se retienen en una tolva y se introducen en el contenedor siguiendo un patrón de unidades de tiempo, por ejemplo, mediante un tornillo sinfín con una velocidad de rotación ajustable.

En el caso de los productos gelatinosos o líquidos un pistón empuja los productos hacia el contenedor.

Los dosificadores volumétricos suelen ser de **tornillo** o de **pistón**.

Los dosificadores volumétricos de **tornillo** se caracterizan por un husillo que se utiliza tanto para medir el volumen como para evacuar el producto con cada vuelta. La ventaja de este tipo de dosificador es que el volumen es idéntico con cada ciclo medido, por ejemplo, en rotaciones del husillo y la densidad del producto es regular.

Estos dosificadores se dividen en 3 categorías:

- Los **dosificadores mono tornillo** se utilizan principalmente con materiales de flujo libre.
- Los **dosificadores de doble tornillo** son especialmente idóneos para la dosificación de materiales en polvo, granulares o en copos.
- Los **dosificadores de triple tornillo** se destinan a la dosificación de materiales de muy alta viscosidad, como pigmentos o colas.

Los dosificadores de **pistón** son los más adecuados para líquidos viscosos y masas, en los casos en los que es necesario empujar el producto que no puede fluir por sí mismo; se utilizan en particular para la dosificación bi-componente, entre otros, en las mezclas de resina y endurecedor. Los dosificadores de pistón no funcionan en continuo al ser necesaria una fase de llenado por succión, seguida de una fase de descarga que dosifica el producto en proporción a la carrera del pistón.

Existen dos tipos de dosificadores de pistón:

- Los pistones **neumáticos**, que son relativamente económicos, aunque requieren una red de aire comprimido adaptada.
- Los pistones **mecánicos**, accionados por leva, que ofrecen una dosificación más precisa y regular que los pistones neumáticos. Suelen ser más robustos.

#### **1.1.1.2. DOSIFICADORES GRAVIMÉTRICOS.**

Los dosificadores **gravimétricos** ayudan a dosificar de manera exacta los diferentes componentes del producto final, a diferencia de los volumétricos, estos pesan el material, por lo que no hace falta calibrarlos.

Se podrá optar por un dosificador gravimétrico, también llamado dosificador ponderal, en caso de necesitar una **dosificación de alta precisión.**

## *Capítulo 1. Caracterización de los sistemas de control para la dosificación.*

---

Los dosificadores gravimétricos se utilizan sobre todo en la industria agroalimentaria, farmacéutica, química o del plástico, para el procesamiento de una gran diversidad de productos.

Para los productos en polvo, en gránulos o con una viscosidad muy elevada, los productos se retienen en una tolva conectada a una balanza dinámica que controla permanentemente su peso.

En el caso de los gelatinosos o líquidos estos se inyectan en una bomba conectada a una balanza de precisión, lo que permite medir al detalle la masa del producto suministrado por el dosificador.

De acuerdo al principio de funcionamiento, los dosificadores gravimétricos pueden ser clasificados en:

1. Dosificadores **gravimétricos de pérdida de peso**, "Loss in weight" (LIW).
2. Dosificadores **gravimétricos por ganancia de peso**, "Gain in weight" (GIW).

Los dosificadores **gravimétricos de pérdida de peso** controlan continuamente el peso de entrada —en una tolva o bomba de pistón— y el caudal del producto para una dosificación exacta: el peso del material se calcula a partir de la disminución del peso en la tolva o en la bomba. La tolva o la bomba se llenan automáticamente cuando el peso medido alcanza un determinado umbral, lo que permite una dosificación continua. Los dosificadores por pérdida de peso se utilizan en mayor medida para la dosificación ponderal precisa de productos pulverulentos o en gránulos en el llenado de contenedores. Este tipo de dosificadores es óptimo para aplicaciones que requieran un confinamiento del producto, el cual debe estar aislado para no perturbar el proceso de pesaje.

Los dosificadores **gravimétricos por ganancia de peso** se utilizan para la dosificación discontinua de productos a granel puesto que el pesaje se lleva a cabo a la salida del dosificador. Los dosificadores gravimétricos por ganancia de peso pueden combinarse con varios dosificadores volumétricos para que cada uno suministre la de producto definida hasta alcanzar el peso total.

Los dosificadores gravimétricos de **banda pesadora** también forman parte de los alimentadores por ganancia de peso, ya que miden continuamente el peso del producto depositado en una longitud definida de la cinta transportadora gracias a un sensor de carga situado bajo ella. Un sistema de control compara constantemente el peso real con el peso de consigna y adapta la velocidad de la cinta, manteniéndose así un caudal constante en la tolva. Los dosificadores gravimétricos de banda pesadora se destinan principalmente a la dosificación de productos en gránulos o en polvo o de cualquier producto que ofrezcan un flujo continuo.

Los métodos gravimétricos en sus inicios se soportaban sobre sistemas electromecánicos de contrapeso, los cuales tenían serias limitaciones y muy baja precisión pues requerían el constante concurso de operadores para su calibración y ajuste.

Los avances de la electrónica fueron sustituyendo los sistemas electromecánicos por modernos controladores electrónicos y sensores muy económicos.

#### **1.1.1.3. DOSIFICADORES POR EFECTO CORIOLIS.**

Cada medidor de flujo Coriolis dispone de uno o más tubos de medición que oscilan artificialmente a causa de un excitador. Cuando un fluido pasa por el tubo de medición, se superpone una torsión a dichas oscilaciones a causa de la inercia del fluido. Dos sensores detectan este cambio en la oscilación del tubo en tiempo y espacio como "desfase". Este desfase es una medida directa del caudal másico.

El principio de medición Coriolis se utiliza en un amplio rango de distintas ramas de la industria, como las ciencias de la vida, los productos químicos y petroquímicos, oil & gas, la alimentación y no menos importante en aplicaciones de facturación. Un caudalímetro másico Coriolis pueden medir prácticamente todos los fluidos: detergentes, disolventes, combustibles, petróleo crudo, aceites vegetales, grasas animales, látex, aceites de silicona, alcohol, soluciones de fruta, pasta de dientes, vinagre, ketchup, mayonesa, gases o gases licuados.

Su estructura estanca, al circular el fluido por dentro de las tuberías, lo hace atractivo para productos muy polvorientos como el carbón, cementos y minerales molidos con baja granulometría, evitando la emisión al exterior.

### **1.1.2. CARACTERIZACIÓN DE LOS SISTEMAS DE CONTROL DE DOSIFICACIÓN.**

Para la caracterización de los sistemas de control para la dosificación, los análisis estarán consignados fundamentalmente a tres variantes: electromecánicos, equipos específicos y los PLC.

#### **1.1.2.1. CONTROLADORES ELECTROMECAÑICOS DE DOSIFICACIÓN.**

En la actualidad es poco probable encontrar un fabricante con este tipo de tecnología, difíciles de calibrar y ajustar, poca precisión, no poseen realimentación de la dosificación real, gran cantidad de elementos mecánicos que disminuyen su fiabilidad, etc., ver **anexo 1**, aunque sabemos de la existencia de algunos similares en la industria nacional.

Estos sistemas se caracterizan por poseer un sistema de balanza e interruptores mecánicos, imanes, ampolletas de mercurio, levas, entre otros y controlados por algún elemento temporizador (en los inicios mecánicos, con el desarrollo se fueron reemplazando por electrónicos) lograban los ciclos de dosificación; además, utilizaban contadores mecánicos o electrónicos para registrar las estadísticas de los ciclos de carga ejecutados.

En el **anexo 2** mostramos el esquema eléctrico de las romanas Thayer, en el mismo apreciamos algunos de los elementos anteriormente mencionados. T1 y T2, temporizadores mecánicos; ampolletas de pesaje, contador, etc.

#### **1.1.2.2. CONTROLADORES DE DOSIFICACIÓN ESPECÍFICOS.**

Como su nombre lo indica, estos controladores están destinados específicamente para la dosificación. En el **anexo 3** se muestra el esquema en bloques del cableado del dosificador SITRANS WW100[4] , donde aparece el controlador de dosificación BW500[5], ambos de SIEMENS.

En el esquema se tiene un controlador que recibe de la banda dosificadora las señales de los sensores de masa y velocidad, con estos valores es calculado el caudal real que está pasando por la instalación y en correspondencia con el error actúa sobre el variador de velocidad PM340 para controlar el valor deseado.

Por lo general estos tipos de controladores poseen pocas entradas/salidas y limitadas funciones para las mismas, lo que impide su utilización en cualquier otra aplicación. Normalmente no puede ser modificada su aplicación por el usuario final.

Otra de las características de los controladores específicos, es que suelen tener protocolos propietarios de los fabricantes, lo que limita la supervisión a sus propios SCADA.

### **1.1.2.3. CONTROLADORES DE DOSIFICACIÓN MEDIANTE PLC.**

Un Controlador Lógico programable (PLC por sus siglas en Inglés) es un sistema electrónico programable diseñado para ser utilizado en un entorno industrial, que utiliza una memoria programable para el almacenamiento interno de instrucciones orientadas al usuario, para implantar soluciones específicas tales como funciones lógicas, secuencias, temporizadores, contadores y aritméticas con el fin de controlar mediante entradas y salidas, digitales o analógicas diversos tipos de máquinas o procesos.[6]

Los PLC pueden ser considerados como computadoras especiales para uso industrial, y no son afectados por vibraciones, temperatura, humedad y ruidos, lo que significa que es un controlador para áreas abiertas.[7]

Desde su aparición, los PLC han sido utilizados satisfactoriamente en cada sector de la industria y los sistemas de control para la dosificación no son la excepción, muestra de ello es la diversidad de fabricantes que poseen módulos de PLC destinados al pesaje, piedra angular de la dosificación gravimétrica; entre ellos podemos mencionar SIWAREX WP231[8], Siemens; 1771-WS, Allen-Bradley / Rockwell Automation; PMESWT0100[9], Schneider Electric. En el **anexo 4**, se muestran dos ejemplos genéricos de pesaje uno sugerido por SIEMENS, utilizando un PLC S7-1200 con un módulo SIWAREX WP231[8] y otro con PLC Mitsubishi utilizado en el país por la empresa ZETI del grupo AZCUBA para el pesaje de azúcar crudo.

En la siguiente tabla aparece un resumen de las ventajas de los sistemas desarrollados mediante PLC:

**Capítulo1. Caracterización de los sistemas de control para la dosificación.**

*Tabla1.1. Listado de alguna de las características y beneficios obtenidos con un controlador programable.[6]*

<b>Características Inherentes</b>	<b>Beneficios</b>
Componentes de estado sólido	Alta fiabilidad
Memoria programable	Simplifica los cambios
	Control flexible
Pequeño tamaño	Mínimo requerimiento de espacio
Basado en microprocesadores	Capacidad de comunicación
	Alto nivel de prestaciones
	Producto de alta calidad
	Capacidad multifuncional
Temporizadores/Contadores por Software	Elimina Hardware
	Pre-establecimiento fácilmente cambiabile
Relé de Control por software	Reduce los costos de hardware y cableado
	Reduce los requerimientos de espacio
Arquitectura Modular	Instalación flexible
	Fácil instalación
	Reduce costos de hardware
	Capacidad de expansión
Variedad de interfaces de Entrada/Salida	Controla una variedad de dispositivos
	Elimina el control personalizado
Estaciones de entrada/Salida Remota	Elimina cableados largos/conductos
Indicadores de diagnóstico	Reduce tiempo de reparación
	Señal de funcionamiento adecuado
Interfaz de E/S modular	Aspecto ordenado del panel de control.
	De fácil mantenimiento
	Fácilmente cableado
Desconexiones de E/S rápidas	Servicio sin perturbar el cableado
Variables del sistema	Gestión útil / mantenimiento
Almacenado en la memoria de datos	Se puede generar en forma de informe

Todo lo anterior hace extremadamente atractivo para muchos fabricantes y desarrolladores de nuevos sistemas de dosificación la utilización de los PLC como elemento controlador.

## **1.2. CARACTERIZACIÓN HISTÓRICA DE LOS SISTEMAS DE CONTROL PARA LA DOSIFICACIÓN EN LA INDUSTRIA DEL NIQUEL.**

La masa por unidad de tiempo con que se alimentan las PHR, es uno de los parámetros a controlar para su correcto funcionamiento. Esta tarea corresponde a las conocidas romanas (dosificadores), que ejecutan el primer proceso del mineral en la planta: el pesaje. [10]

Desde los inicios de la producción de la industria del níquel, año 1943, la dosificación en la PHR comenzó a trabajar con sistemas de la firma norteamericana Richarson, eran controladas bajo el principio de gravimetría con un sistema de control electromecánico.

A raíz de la agresión bélica de Estados Unidos a Corea entre 1950-1953, en 1951 se decide la ampliación de la fábrica de Nicaro, la misma estuvo a cargo de la Nickel Processing Corporation. Dicha ampliación incluyó una nueva PHR comenzando sus operaciones con sistemas de pesajes de la firma Thayer, algo más avanzadas que las Richarson, pero con el mismo principio gravimétrico y controlador electromecánico.

Los controladores Richarson y Thayer se mantuvieron en operación hasta mediados de la década del 80, cuando fue diseñada por el departamento de instrumentación de la ECRRL un nuevo sistema de control electrónico, denominada TUXPAN, que abarcó tanto el diseño del módulo electrónico, como la parte mecánica, utilizando como novedad el empleo de las celdas extensiométricas. Diseño electrónico acometido con técnicas de electrónica analógica.

Poco tiempo después, el departamento de Sistemas Automatizados de Dirección de Procesos Tecnológicos (SADPT) de la propia ECRRL diseña un nuevo controlador electrónico, esta vez utilizando técnicas de electrónica digital en base a microprocesadores, denominada TUXPAN IV, junto con el diseño electrónico se hizo un nuevo diseño mecánico, soportado igual sobre celdas extensiométricas, ver **anexo 5**.

Paralelamente a estos diseños anteriores, se realizaron pruebas con un sistema dosificador extranjero de la firma Philips en un horno, con muy malos resultados, el tiempo de trabajo fue bastante corto.

## *Capítulo 1. Caracterización de los sistemas de control para la dosificación.*

---

Entre los años 1989 y 1990, se desarrolló otra versión del sistema de dosificación de mineral para la PHR de la empresa ECRRL, la cual se nombró EROSSPC, ver **anexo 6 a**, también basado en microprocesadores. Generalizándose esta versión a partir del año 1996 en todos los hornos de reducción de la ECRRL y la ECG.

Posteriormente, tras la sustitución de la alimentación de gas pobre a la PHR por la dosificación de petróleo aditivo al mineral en las “correas calientes”, provocó varias afectaciones, como es la disminución de la productividad de los molinos y pérdidas de componentes más volátiles; a finales de la década del 90, se hicieron varias pruebas para adicionar petróleo a través del controlador EROSSPC con muy buenos resultados. En el año 2000, se decidió el diseño y fabricación de una nueva versión del módulo electrónico de Sistema de Pesaje de mineral, el EROSmPLC **ver anexo 6 b**, incluyendo la opción de dosificación de un producto adicional; de esta forma, en el año 2004 se realizó la automatización del sistema de dosificación de petróleo aditivo a los hornos de reducción de la ECRRL.

En el año 2007 fueron instalados en los hornos 1 y 2 de la PHR de la ECG los controladores EROSmPLC, para una prueba piloto de dosificación de mineral y petróleo, dichas pruebas de petróleo nunca se ejecutaron, pero se mantienen en la actualidad dosificando mineral. Los controladores EROSSPC, se mantienen en operación en la mayoría de los hornos de la ECG.

El EROSmPLC se mantuvo trabajando en la ECRRL hasta el cierre de esta industria en diciembre del año 2012.

Después de prácticamente 25 años de trabajo, en un ambiente altamente nocivo (influencia de los gases, polvo, altas temperaturas) y de operación ininterrumpida (salvo averías o situaciones puntuales, mantenimiento, afectaciones climáticas) los sistemas de pesaje y dosificación EROSSPC poseen un envejecimiento tecnológico elevado, casi imposible de mantener pues las limitaciones de piezas de repuestos son cada vez mayores con una gran cantidad de componentes electrónicos obsoletos.

Los procedimientos de calibración y ajustes son extremadamente arcaicos, todos realizados ajustando el hardware. El controlador actual tiene limitada cantidad de memoria y está programado en “ensamblador” del sistema 8085 de Intel, resulta

imposible hacer cambios para introducir los procedimientos de calibración más modernos, así como introducir mejoras a la dosificación.

Los controladores de dosificación EROSmPLC montados en los hornos 1 y 2 de esta industria, a pesar de ser mucho más avanzado que los antiguos EROSSPC, tienen las características de ser dispositivos compactos, lo que exige una arquitectura centralizada.

Todo lo anterior obliga a la ECG a acometer importantes inversiones, resultando imprescindible actualizar el tipo de tecnología, pues la actual centralizada eleva significativamente los costos de implementación por conceptos de trazas de cables y conductos de los mismos, además de ser menos confiable y difícil de mantener.

### **CONCLUSIONES**

Teniendo en cuenta todo lo analizado en el capítulo, llegamos a las siguientes conclusiones:

1. Es imprescindible la sustitución de la versión EROSSPC de los controladores de dosificación de mineral en la PHR de la ECG.
2. Se debe escoger la variante del controlador del dosificador mediante un PLC, por las evidentes ventajas expuestas anteriormente lo que permitirá además la supervisión y control mediante un SCADA, tan importante en el balance de toda la planta.
3. La arquitectura del PLC debe ser descentralizada para ejecutar las inversiones con un menor costo y mayor sencillez.
4. Teniendo en cuenta los lineamientos de la política del partido y el gobierno cubano, donde se pone empeño en lograr cada día más soberanía tecnológica, el PLC debe ser desarrollado nacionalmente.

---

## **Capítulo 2. DISEÑO DE UN CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE PARA LA DOSIFICACIÓN DE MINERAL Y PETRÓLEO.**

---

### **INTRODUCCIÓN**

En el presente capítulo se hará una descripción detallada del hardware de un controlador lógico programable destinado a la dosificación de mineral y petróleo, comenzando por una breve explicación de los motivos que originaron la selección de la arquitectura, el soporte de la misma, así como su impacto económico, social y ambiental.

#### **2.1. PERIFERIA DE ENTRADA/SALIDA DESCENTRALIZADA O DISTRIBUIDA.**

En el mundo industrial, ocurre con frecuencia que el PLC de control está colocado a una distancia tal que, el llevar todos los cables de las entradas y salidas hasta los órganos de control y accionamiento de la máquina, exigirían un volumen de cables de unas proporciones elevadas, con los consiguientes problemas de tendido de los mismos, espacio, pérdidas de señal, costo económico de material y colocación, etc. Para evitar estos problemas, los fabricantes de PLC y otros componentes industriales, proporcionan dentro de su gama de productos, la posibilidad de enlazar el PLC y los elementos de la máquina mediante un bus de datos, el cual con sólo dos o cuatro hilos (según el tipo de bus), transmite la información de forma rápida y eficaz. Lógicamente, es necesario colocar a pie de máquina un módulo que centralice la conexión de todos los controles y accionamientos, que enlace (mediante el bus) con el PLC y que procese la información recibida para transmitirla al PLC. Estos módulos pueden ser de E/S descentralizadas, válvulas inteligentes o elementos similares.

Este tipo de arquitectura que consiste en implementar las señales de E/S próximos a los sensores, instrumentos y actuadores de nuestro sistema de control, se conoce como periferia descentralizada, distribuida o entradas/salidas remotas.

Su característica principal es la alta velocidad de comunicación, de tal forma que, prácticamente no influye en el tiempo total de Scan del PLC (aumenta con valores inferiores a un 5 %).

## *Capítulo 2. Diseño de un controlador lógico programable para la dosificación de mineral y petróleo.*

---

Actualmente existen productos adaptados a todas las necesidades: E/S digitales y analógicas, temporizadores, contadores, etc. Incluso existen productos dotados de CPU propia, mediante la cual pueden ser maestros de otros módulos de E/S descentralizada.

Existen muchas ventajas de la arquitectura de periferia descentralizada que motivaron su selección para nuestro diseño, entre otras podemos mencionar:

- Reduce los tiempos de diseño, instalación y configuración.
- Disminuye las dimensiones de armarios en los proyectos.
- Menor número de cables, mangueras y canalizaciones.
- Simplifica la identificación de E/S.
- Facilita el diagnóstico y reparación de averías.
- Reduce los tiempos de parada e indisponibilidad.
- Gran flexibilidad ante ampliaciones y modificaciones.
- Reduce los costos de mantenimiento, al focalizar los repuestos, siendo las afecciones por averías más pequeñas.

Aunque no deja de tener sus inconvenientes, pues al aumentar la arquitectura de comunicaciones y en función del bus o red de control que elijamos, también podría aumentar el número de equipos específicos para las comunicaciones, la arquitectura de control y su configuración requiere de conocimientos de buses y redes, además de personal con mayor formación o experiencia en automatización y sistemas.

Dependiendo del fabricante, se pueden incluir todo tipo de redes o buses de campo, los cuales son el soporte de la periferia descentralizada.

### **2.1.1. BUSES DE CAMPO**

El viejo estándar industrial de corriente de 4-20 mA, es ampliamente utilizado en la actualidad para la comunicación entre dispositivos de campo y el controlador central. Sin embargo, este protocolo tiene sus desventajas ya que requiere que cada dispositivo disponga de su propio grupo de cables y su propio punto de conexión. La información transmitida es unidireccional y limitada, solamente la variable de proceso o la señal de control es transmitida por el conductor. [11]

## *Capítulo 2. Diseño de un controlador lógico programable para la dosificación de mineral y petróleo.*

---

A finales de la década de los 80, se comenzaron a desarrollar dispositivos de campo inteligentes basados en microprocesadores. Estos instrumentos digitales requerían una nueva generación de redes de campo de comunicación digital. El término genérico dado a todas estas redes de comunicación digital usada en la industria es “buses de campo” que en inglés es *fieldbus*. [11]

Entre las definiciones de buses de campo que hemos encontrado en la bibliografía consultada podemos citar las siguientes:

- Enlace de comunicaciones digital, bidireccional y multipunto entre dispositivos inteligentes de control y medida.[12]
- Red multipunto que recibe y envía datos, conectando dispositivos de entrada y salida (analógicos y/o on\_off) a una línea troncal.[13]
- Bus digital, serie, multipunto, de datos para la comunicación con el control industrial y la instrumentación.[14]

La historia de los sistemas de buses de campo no comenzó a mediados de la década de 1980; de hecho, las raíces de las redes industriales son mucho más antiguas y se remontan a principios de la década de 1970. Sin embargo, fue solo durante la década de 1980 cuando los sistemas de buses de campo comenzaron a crecer. Tan diferentes como las diversas áreas de aplicación fueron los enfoques inventados, y desde el punto de vista actual, parece que la creación de nuevos sistemas de buses de campo fue una ocupación de moda para muchas empresas en el negocio de la automatización. La abrumadora cantidad de sistemas diferentes horrorizó a los clientes en lugar de atraerlos, lo que siguió fue un feroz proceso de selección en el que no siempre sobrevivieron los más aptos, sino a menudo los que tenían el mayor poder de marketing detrás de ellos. En consecuencia, la mayoría de los sistemas recientemente desarrollados desaparecieron o quedaron restringidos a pequeños nichos.[15]

Lo anterior quedó registrado en la historia científica como “La guerra de los buses de campo”.

Sin embargo, también las grandes empresas pronto se dieron cuenta de que los sistemas de buses de campo propietarios siempre tendrán un éxito limitado y que el mayor beneficio radica en hacer que las especificaciones estén disponibles públicamente, de modo que los diferentes proveedores puedan producir dispositivos

## *Capítulo 2. Diseño de un controlador lógico programable para la dosificación de mineral y petróleo.*

---

compatibles, lo que devuelve al cliente su libertad de elección. Finalmente, fue esta apertura la que allanó el camino para el avance de los sistemas de buses de campo.[15]

El 15 de junio de 1999, el “Comité de Acción” de la IEC decidió emprender un camino completamente nuevo a manera de romper el estancamiento. Un mes después, el 16 de julio, los representantes de las principales contendientes en el debate (Fieldbus Foundation, Fisher Rosemount, ControlNet International, Rockwell Automation, usuarios de la organización PROFIBUS y Siemens) firmaron un “Memorando de entendimiento”, que pretendía poner fin a la guerra de los buses de campo. La solución salomónica era crear una IEC 61158, ver **anexo 7**, grande y completamente estándar para todos los sistemas de buses de campo.[16]

La comunicación digital, en comparación con la analógica, permite una mejor calidad de las señales que viajan por la red ya que éstas son menos sensibles a las perturbaciones provenientes del ambiente hostil industrial que la rodean. Además, permite implementar diferentes métodos de detección y corrección de errores. Todo esto hace que la información transmitida sea más confiable, permitiendo cubrir mayores distancias manteniendo la misma calidad de las señales. La comunicación digital es bidireccional, los dispositivos de campo pueden enviar y recibir información referente al proceso. Los instrumentos sólo ocupan el bus cuando necesitan enviar información, dejando desocupado el canal para que pueda ser utilizado por otro instrumento de campo conectado a la red.[11]

Esta tecnología digital de bus de campo permite reducir significativamente los costos de instalación, debido a que múltiples dispositivos pueden compartir el mismo medio para comunicarse sobre la red. Se obtiene un ahorro significativo en el cableado, tuberías, conectores, bandejas, cajas de conexión, etc. Asociados a esta reducción de los materiales en el tendido de la red, se producen otros ahorros como simplificación del diseño, instalación y puesta en marcha de la instrumentación y los lazos de control.[11]

El desarrollo de los buses de campo fue inicialmente impulsado por los fabricantes de dispositivos de control. Esto trajo como resultado, la aparición en el mercado de una gran cantidad de buses de campo con diferentes protocolos de comunicación. Muchos

*Capítulo 2. Diseño de un controlador lógico programable para la dosificación de mineral y petróleo.*

de estos se han convertido en estándares y han sido difundidos y mantenidos por organizaciones o fundaciones sin fines de lucro. [11]

En la siguiente tabla se muestran los principales buses de campo con sus características más relevantes:

*Tabla 2.1. Características fundamentales de los principales buses de campo.[12]*

<b>Bus de campo</b>	<b>Topología</b>	<b>Medio Físico</b>	<b>Velocidad</b>	<b>Distancia segmento</b>	<b>Nodos segmento</b>	<b>Acceso al bus-Estándar</b>
<b>ARCNET</b>	Bus Estrella	Par trenzado Fibra óptica Coaxial	2.5 Mbps	122m	255	Paso testigo-ANSI 878
<b>AS-I</b>	Bus Árbol Estrella	Cable de dos hilos	167 kbps	100m	32	Sondeo principal-subordinadas
<b>Bitbus</b>	Bus	Par trenzado Fibra óptica	62.5/375 kbps 1.5 Mbps	1200m/300m	29	Sondeo principal-subordinadas-IEEE 1118
<b>CAN</b>	Bus	Par trenzado	50 kbps a 1 Mbps	1000m a 40m	127	CSMA/CD con arbitraje de bit-ISO 11898/11519
<b>CC-Link</b>	Bus	Par trenzado	156 bps a 10 Mbps	1200m a 100m	64	Sondeo principal-subordinadas
<b>ControlNet</b>	Bus Árbol Estrella	Coaxial Fibra óptica	5 Mbps 5 Mbps	1000m 3000m	48	CTDMA-Basado en CAN
<b>DeviceNet</b>	Bus	Par trenzado	125-250-500 kbps	500-250-100m	64	CSMA/CD-ISO 11898 y 11519 (basado en CAN)
<b>EIB</b>	Libre	Par trenzado Infrarrojos Red eléctrica radio				CSMA/CA-CENELEC TC105
<b>Filbus</b>		Par trenzado	375 kbps	1200m	32	
<b>Firewire</b>	Bus Árbol	Cable de 6 hilos Fibra óptica	100 Mbps 200-400 Mbps	700m	63	Ranuras de tiempos-IEEE1394
<b>Foundation Fieldbus</b>		Par trenzado		1900m	32	Paso testigo-ISA SP50/IECTC65

**Capítulo 2. Diseño de un controlador lógico programable para la dosificación de mineral y petróleo.**

<b>HART</b>	Bus	Par trenzado apantallado	1200 bps	3000m	30	Sondeo principal-subordinadas- IEC TC65
<b>Interbus-S</b>	Anillo	Par trenzado	500 kbps	400m	256	Paso testigo- DIN E19258
<b>J1939</b>	Bus	Par trenzado apantallado	250 kbps			CSMA/CD con arbitraje de bit- SAE J1939 (Basado en CAN)
<b>LonWorks</b>	Bus Anillo Libre	Par trenzado Fibra óptica Red eléctrica Coaxial Radio Infrarrojos	78 kbps a 1.25 Mbps	130 a 2700m	64	CSMA/CA EIA-709
<b>M3S</b>	Bus	Cable de 6 hilos				CSMA/CD con arbitraje de bit- Basado en CAN
<b>M-Bus</b>	Bus	Cable de 2 hilos	300 a 9600 bps	1000 m	250	Centralizado- IEC 870; EN1435-3
<b>Measurement Bus</b>	Bus	Cable de 4 hilos	110 bps a 1 Mbps	500 m	31	Sondeo principal-subordinadas- DIN 66348
<b>Modbus</b>	Bus	Par trenzado	300 bps a 19.2 kbps	1000 m	248	Sondeo principal-subordinadas
<b>NBIP</b>	Bus	Cable de 2 hilos				Sondeo principal-subordinadas
<b>P-NET</b>	Anillo	Par trenzado apantallado	76.8 kbps	1200 m	125	Paso testigo Sondeo principal-subordinadas- CENELEC EN50170 Vol.1; DSF 21906; DK 502058; DK 502066
<b>PROFIBUS</b>	Bus	Par trenzado apantallado	9.6 kbps 19.2 kbps 93.75 kbps 187.5 kbps 500 kbps	1200 m 1200 m 1200m 600 m 200 m	32	Paso testigo Sondeo principal-subordinadas- CENELEC EN50170 Vol.2; DIN STD 19245

*Capítulo 2. Diseño de un controlador lógico programable para la dosificación de mineral y petróleo.*

<b>SDS</b>	Bus	Cable de 4 hilos	125 kbps 250 kbps 500 kbps 1 Mbps	500 m	64	CSMA-ISO 11989 (basado en CAN)
<b>SENSOPLEX</b>	Bus	Coaxial			120	Sondeo principal-subordinadas
<b>SERCOS</b>	Anillo	Fibra óptica	2 Mbps		255	Anillo ranurado-IEC 61491
<b>SERIPLEX</b>	Bus	Cable de 4 hilos apantallado	98 kbps	1500 m	300	Sondeo principal-subordinadas
<b>WorldFIP</b>	Bus	Par trenzado apantallado Fibra óptica	31.25 kbps 1 Mbps 2.5 Mbps 5 Mbps	1000 m 750 m 500 m	32	Centralizado (árbitro de bus)- CENELEC EN50170 Vol. 3; NFC 46 601 a 607

**2.1.2. INTERCONEXIÓN DE LAS UNIDADES DE ENTRADA/SALIDA.**

Para el diseño del PLC con periferia distribuida se debía seleccionar un bus que sirviera para las comunicaciones de todos los dispositivos o unidades de entrada/salida.

Actualmente no es fácil ponerse de acuerdo al intentar escoger los buses, teniendo en cuenta las pretensiones, exigencias técnicas particulares y la existencia de mercados suficientemente importantes para justificar, optimizar cada concepto y reducir los costos.

En el sistema de dosificación de mineral y petróleo es importante, para la precisión del peso, lograr una transmisión de la información en tiempo real hacia la CPU, además las órdenes emitidas en orden inverso, es decir, desde la CPU hacia las unidades de entrada/salida deben ejecutarse con una elevada fiabilidad.

En la topología de red en forma de bus, ver **anexo 8**, todos los componentes que conforman la red estarán conectados en serie a un cable central, este será el encargado de distribuir toda la información a los nodos conectados[12], por tanto, es importante el uso eficiente y seguro, de este único medio de comunicación compartido entre todos los participantes, por lo que el tratamiento de errores ante posibles colisiones por el uso simultáneo del bus es de vital importancia.

### **2.1.3. Bus CAN**

Uno de los buses que desde su presentación hasta nuestros días se ha convertido es uno de los protocolos líderes en la utilización de la comunicación serie ha sido sin dudas el bus **CAN**, desarrollado por la compañía Robert Bosch GmbH en 1986, surgido por la necesidad de conectar cada vez más y más dispositivos electrónicos en el interior de los coches.

Es por esto que este protocolo se ideó para aumentar la fiabilidad, seguridad y funcionalidad, además de obtener una reducción en el gasto de combustible, debido a que la reducción en el peso y la complejidad de las comunicaciones en los automóviles mediante la reducción del cableado iban a favorecer este hecho.

La industria automotriz adoptó rápidamente **CAN** y en 1993 se convirtió en el estándar internacional conocido como ISO 11898.

A pesar de haber sido originalmente concebido para aplicaciones en el área automotriz, rápidamente despertó una creciente atención en el área de control y automatización industrial, la marina, industria médica, manufacturera y aeroespacial.

**CAN**, por sí mismo, no es necesariamente un sistema de red completo. Consiste solo en la capa física (los dos cables), el esquema de prioridad (el mensaje de mayor prioridad siempre se recibe primero) y algunos circuitos de detección y manejo de errores[17], ver **anexo 9**[18].

La mayoría de los sistemas de red que utilizan **CAN** emplearán un protocolo de nivel superior o un esquema propietario para crear y procesar mensajes a través de la red CAN básica.

Desde 1994, varios protocolos emergentes de nivel superior se han estandarizado en **CAN**, dedicados a aplicaciones particulares como la automatización industrial, la aviación, etc. Entre ellos encontramos a CANopen, apoyado por el grupo internacional de usuarios y fabricantes, CAN in Automation (CiA); DeviceNet, de Allen-Bradley; CAN Kingdom, de KVASER; el sistema distribuido inteligente de Honeywell (SDS); SAE J1939, de la Sociedad de Ingeniería Automotriz.

Otros mercados han adoptado ampliamente estos protocolos adicionales, muchos de ellos ahora son estándares para las comunicaciones industriales.

*Capítulo 2. Diseño de un controlador lógico programable para la dosificación de mineral y petróleo.*

La primera versión de los estándares CAN enumerados en la **Tabla 2.1**, ISO 11519 (CAN de baja velocidad) es para aplicaciones de hasta 125 kbps con un identificador estándar de 11 bits. La segunda versión, ISO 11898 (1993), también con identificadores de 11 bits, proporciona velocidades de señalización de 125 kbps a 1 Mbps mientras que la enmienda más reciente de ISO 11898 (1995) introduce el identificador extendido de 29 bits. La versión ISO 11898 de 11 bits a menudo se denomina versión 2.0A del CAN estándar, mientras que la enmienda a la versión ISO 11898 se conoce como Extended CAN Version 2.0B (ECAN). El campo del identificador estándar CAN de 11 bits proporciona  $2^{11}$  o 2048 identificadores de mensaje diferentes, mientras que en el CAN Extendido identificador de 29 bits proporciona  $2^{29}$  o 537 millones de identificadores.[19]

*Tabla 2.1. Versiones CAN.[19]*

<b>NOMENCLATURE</b>	<b>STANDARD</b>	<b>MAX. SIGNALING RATE</b>	<b>IDENTIFIER</b>
Low-Speed CAN	ISO 11519	125 kbps	11-bit
CAN 2.0A	ISO 11898:1993	1 Mbps	11-bit
CAN 2.0B	ISO 11898:1995	1 Mbps	29-bit

La ISO 11898, describe cómo se pasa la información entre dispositivos en una red y se ajusta al modelo de interconexión de sistemas abiertos (OSI) que es definido en términos de capas. La Comunicación real entre dispositivos conectados por el medio físico está definido por la capa física del modelo. La arquitectura ISO 11898, ver **anexo 10**, define las dos capas más bajas del modelo OSI/ISO, ver **anexo 11**[12], de siete capas como la capa de enlace de datos y la capa física, la capa de aplicación establece el enlace de comunicación con Protocolos específicos de nivel superior independientemente del proveedor. [19]

Este bus constituye una atracción para su utilización por varias razones, que incluyen:

- Muy bajo costo.
- Alta fiabilidad.
- Componentes comerciales y núcleos VHDL fácilmente disponibles[20].

*Capítulo2. Diseño de un controlador lógico programable para la dosificación de mineral y petróleo.*

---

- Capas físicas subyacentes con características de alta confiabilidad y alta disponibilidad[20].
- Muchos protocolos de capa superior emergentes y bien establecidos para su uso a través del bus CAN[20].
- Alta inmunidad a la interferencia eléctrica.
- Capacidad para auto diagnosticar y reparar errores de datos.
- La transmisión se realiza siempre en tiempo real.

Sin embargo, el bus **CAN** es significativamente diferente en varios aspectos de los buses que tradicionalmente se han utilizado. En particular, **CAN** no funciona en un modo maestro/esclavo pues el control del bus y en particular el acceso al medio, es distribuido entre todos los nodos conectados al bus. Otras dos diferencias importantes son que el bus **CAN** es inherentemente asíncrono por naturaleza y utiliza identificador de tramas en lugar del direccionamiento de nodo [19].

El Identificador tiene información sobre el contenido de los datos dentro de la trama y también la prioridad del mensaje. Cuanto mayor sea la prioridad, menor es el número. La longitud del identificador es normalmente de 11 bits (CAN estándar) y la segunda generación puede tener un Identificador de 29 bits (CAN Extendido).

El bus **CAN** fue desarrollado como un sistema de transmisión de mensajes multimaestro que especifica una tasa de señalización máxima de 1 Mbit por segundo (bps). A diferencia de una red tradicional como USB o Ethernet, CAN no envía grandes bloques de datos punto a punto del nodo A al nodo B bajo la supervisión de un maestro de bus central. En una red **CAN** muchos mensajes cortos como la temperatura o las RPM se transmiten a toda la red, lo que permite la coherencia de los datos en cada nodo del sistema.[19]

Este protocolo se basa en el principio “productor/consumidor”, es una red de igual a igual. Esto significa que no hay ningún maestro que controle cuándo los nodos individuales tienen acceso para leer y escribir datos en el bus **CAN**. Cuando un nodo **CAN** está listo para transmitir datos, verifica si el bus está ocupado y luego simplemente escribe una trama **CAN** en la red. Las tramas **CAN** que se transmiten no contienen direcciones ni del nodo transmisor ni de ninguno de los nodos receptores

## *Capítulo 2. Diseño de un controlador lógico programable para la dosificación de mineral y petróleo.*

---

previstos. En cambio, una ID de arbitraje que es única en toda la red etiqueta la trama. Todos los nodos de la red **CAN** reciben la trama **CAN** y según el ID de arbitraje de esa trama transmitida, cada nodo **CAN** de la red decide si acepta la trama.

Si varios nodos intentan transmitir un mensaje al bus **CAN** al mismo tiempo, el nodo con la prioridad más alta (ID de arbitraje más bajo) obtiene acceso al bus automáticamente. Los nodos de menor prioridad deben esperar hasta que el bus esté disponible antes de intentar transmitir nuevamente. De esta manera, puede implementar redes CAN para garantizar una comunicación determinista entre los nodos CAN.

Algo muy importante tomado muy en cuenta para este trabajo y futuros desarrollos de la división de automatización es el estado del estándar alcanzado por CAN, que lo convierte en una tecnología habitual en la industria y numerosas firmas fabrican y distribuyen productos compatibles con este protocolo de comunicaciones.

Entre los productos existentes se cuentan:

1. Controladores CAN, que gestionan las comunicaciones a través de este protocolo.

Se subdividen a su vez en:

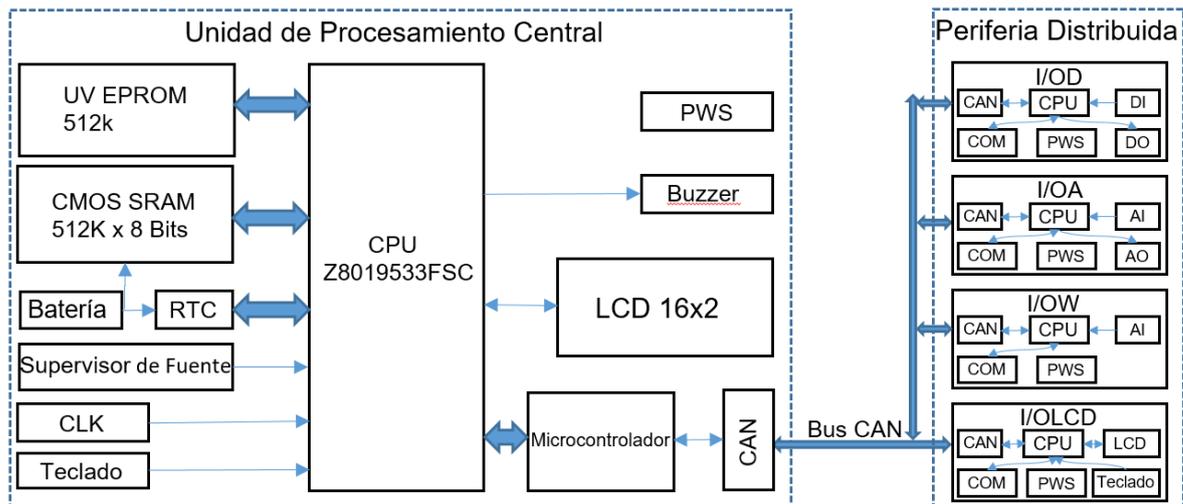
- Módulos CAN integrados en el mismo chip del microcontrolador. Existen versiones CAN de muchos de los microcontroladores más populares del mercado.
- Controladores CAN independientes que permiten a microcontroladores no incluidos en la anterior categoría comunicarse a través del CAN.
- Tarjetas de conexión con PCs.

2. Software y herramientas diversas de monitorización de sistemas CAN, útiles tanto en la fase de diseño y simulación como en la de test.

Lo anterior incluso evita utilizar en muchas aplicaciones un dispositivo exclusivo para el control del bus; pues los mismos microcontroladores, útiles en disímiles soluciones inteligentes, cuentan con esta función del bus CAN implícita.

## **2.2. DISEÑO ELECTRÓNICO.**

En la **Figura 2.1** se muestra la arquitectura general del controlador lógico programable con periferia distribuida, EROSPLC-D, diseñado por la División de Automatización EROS de SERCONI.



*Figura 2.1. Arquitectura general de los módulos del PLC con periferia Distribuida.*

Como se observa, el mismo está formado por los siguientes dispositivos:

- CPU195: Unidad de procesamiento central.
- I/OD: Módulo de 8 entradas y 4 salidas digitales.
- I/OA: Módulo de 4 entradas de alto nivel (Volts ó mA) y 2 salidas analógicas.
- I/OW: Módulo de 2 entradas analógicas de bajo nivel (mV), entre otros tipos de señales pueden ser utilizadas para medir salidas de celdas de carga.
- I/O LCD: Módulo de visualización, permite interactuar remotamente con el proceso.

Este conjunto es ideal para medir y controlar procesos de pesaje y dosificación, con considerables ventajas sobre los controladores digitales tradicionales, aunque permite su utilización en otros procesos, con tan solo seleccionar los módulos en cantidades necesarias para los mismos.

## Capítulo 2. Diseño de un controlador lógico programable para la dosificación de mineral y petróleo.

El EROSPLC-D fue diseñado atendiendo a las características muy especiales del proceso de dosificación de mineral, aprovechando la experiencia del grupo EROS en la fabricación de versiones anteriores de equipos específicos y PLC compactos, además de disponer en almacén de componentes electrónicos acordes a las funcionalidades necesarias para esta aplicación.

La estrategia de periferia distribuida con las bondades del bus CAN, ver **Figura 2.2**, permite además futuros diseños de módulos de entrada/salida sin tener que cambiar todo el PLC, tanto por la obsolescencia de algunos de sus componentes electrónicos como por la necesidad de nuevos módulos o para otros procesos o nuevos requerimientos en el proceso actual.

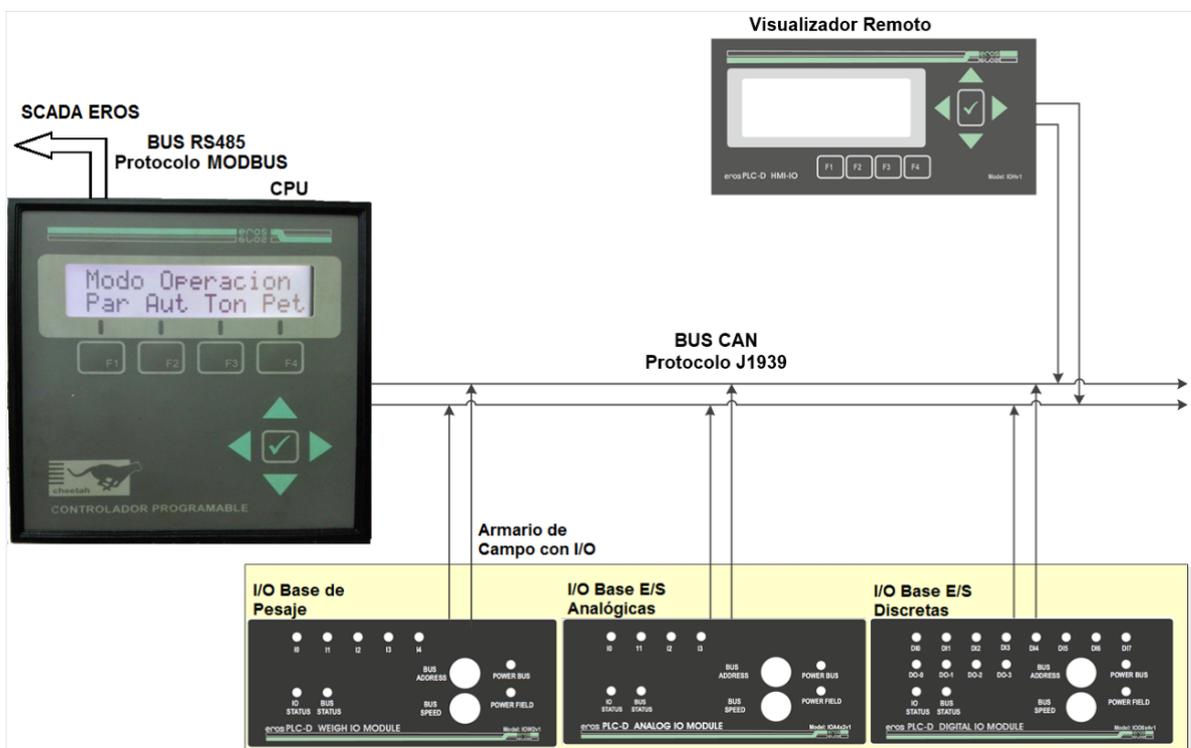


Figura 2.2. EROSPLC-D, PLC con periferia Distribuida[21].

### 2.2.1. UNIDAD PROCESADORA CENTRAL.

La unidad de procesamiento central, ver **anexo 12**, es la encargada de la ejecución del software de la aplicación del sistema, recibe información de las unidades de entradas/salidas distribuidas en el bus CAN, emite los comandos y "latidos" necesarios a las mismas, realiza los cálculos programados, muestra información de operación

*Capítulo 2. Diseño de un controlador lógico programable para la dosificación de mineral y petróleo.*

instantánea, datos acumulados y estado del sistema. Otra de las funciones importantes es ejecutar los bloques de control PID y actuar sobre la salida del lazo de regulación de flujo de petróleo. Mediante los puertos de comunicaciones disponibles, permite enviar al SCADA datos y parámetros, así como ejecutar comandos recibidos desde el nivel superior, todo utilizando el protocolo Modbus RTU.

En la **tabla 2.2** se muestra un resumen de las características técnicas.

*Tabla 2.2. Características técnicas de la Unidad de Procesamiento Central.*

<b>Característica</b>	<b>Descripción</b>
Microprocesador	<b>Z8019533FSC</b> , 100-Pin QFP Package, 5.0-Volt Operating Range, Low-Power Consumption, 0°C to +70°C Temperature Range, Enhanced Z8S180 MPU, Four Z80 CTC Channels, One Channel ESCC™ Controller, Two 8-Bit Parallel I/O Ports, Bidirectional Centronics Interface (IEEE 1284), Low-EMI Option, 25 bits of parallel I/O, Two Enhanced DMA Channels, On-Chip Interrupt Controllers, Expanded MMU Addressing up to 1MB, Clocked Serial I/O Port, Two 16-Bit Counter, Two Enhanced UARTs(to 512 Kbps), Clock Speed 29.4912 MHz
Memoria	<b>BS62LV4006PCP55</b> , High performance and very low power CMOS SRAM 512Kbx 8 Bit, Wide Vcc operating voltage 2.4 to 5.5 V, high speed access time, Data retention supply voltage as low as 1.5V, Three state outputs and TTL Compatible.
	<b>M27C4001</b> , 512Kb x 8) UV EPROM, 5V ± 10% supply voltage in Read operation, Access time: 35ns, Low power consumption: Active Current 30mA at 5MHz and Standby Current 100µA, Programming voltage: 12.75V ± 0.25V.
Puertos	2x <b>RS485</b> , Comunicación con SCADA y otros dispositivos, Modbus RTU hasta 115200 1x <b>RS232</b> , programación, comunicación con otros dispositivos, Modbus RTU 1x <b>CAN</b> , Alta velocidad para la comunicación con las unidades de Entrada/Salida.
Protocolos	CAN J1939, Modbus RTU.
Interfaces	Teclado(9 teclas), Display (LCD 2x16 caracteres), beeper
Alimentación	85-264 VAC, 47-63 Hz,
Condiciones Ambientales	Temperatura de operación: 5 a 60 grados, humedad relativa: 50-95 % (sin condensación), altitud: menor o igual a 2000m.

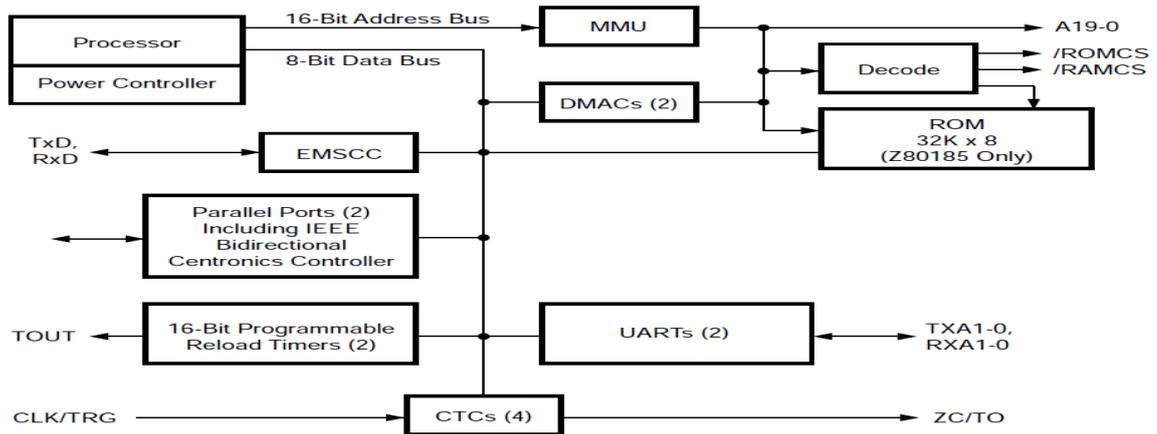
**2.2.1.1. MICROPROCESADOR.**

Como pudimos ver en la figura 2.1, la CPU está soportada sobre la arquitectura del microprocesador **Z8019533FSC**.

Los controladores Z80185 y Z80195, **ver figura 2.3**, son periféricos inteligentes diseñados para aplicaciones generales de comunicaciones de datos diseñado

*Capítulo 2. Diseño de un controlador lógico programable para la dosificación de mineral y petróleo.*

específicamente para adaptarse a todo tipo de requisitos de conectividades de entrada y salida (E/S) serie y paralelo, combinando un núcleo de CPU de alto rendimiento con una variedad de recursos del sistema de E/S, los Z80185/195 son útiles en una amplia gama de aplicaciones. El Z80195 es la versión sin ROM del dispositivo.[22]



*Figura 2.3 Diagrama de Bloques Funcionales del Z80185/195.[22]*

El Z80185/Z80195 incluye un MPU Zilog Z8S180 (Static Z80180MPU). Esto permite la compatibilidad con código de software Z80/Z180.[22]

La CPU está micro codificada para proporcionar un núcleo que sea compatible con código objeto de la CPU Z80. También proporciona un súper conjunto del conjunto de instrucciones Z80, incluyendo la multiplicación de 8 bits. Este núcleo ha sido modificado para permitir que muchas de las instrucciones se ejecuten en menos ciclos de reloj.[22]

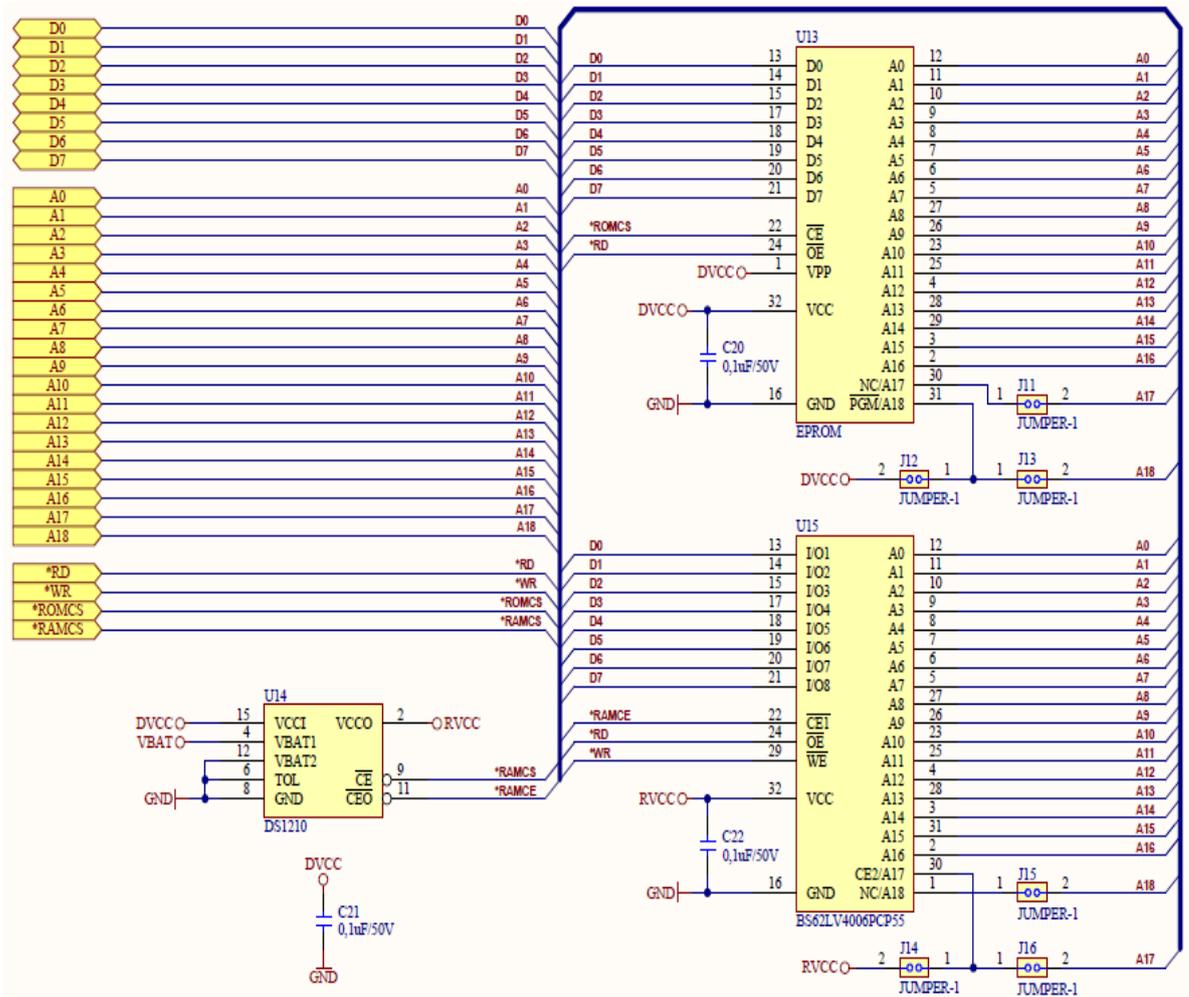
Todo lo anterior fueron elementos valorados por los técnicos de la división de automatización para la elección de este procesador, pues era compatible a nivel de software con el procesador usado en el desarrollo de equipos anteriores, lo que redundaría en una disminución de costos de programación permitiendo reutilizar todo el código existente, una asimilación más rápida del equipo y algo muy importante, tener un resultado concreto de este proyecto con la premura que se necesitaba.

Otro aspecto que resalta en el diagrama de bloques funcionales es el bus de datos de 8 bits, esto puede ser visto como un inconveniente de este desarrollo, pero toda la

*Capítulo 2. Diseño de un controlador lógico programable para la dosificación de mineral y petróleo.*

aritmética flotante, así como los tipos de datos enteros del núcleo son convertidos a formato de 32 bits, a pesar de esto, se logran tiempos de ciclos del PLC en el orden de los 20 ms, aceptable para la mayoría de los procesos industriales.

A pesar de tener un bus de direcciones interno de 16 bits, que solo le permitiría direccionar lógicamente 64 kbytes, la Unidad Manejadora de Memoria (MMU por sus siglas en inglés), permite al usuario "Mapear" la memoria utilizada por la CPU en el rango de direccionamiento de 1 Mbyte admitido por el Z80185/Z80195. La organización del código objeto MMU mantiene la compatibilidad con la CPU Z80 mientras ofrece acceso a un espacio de memoria ampliado, en la **Figura 2.4** observamos el fragmento de esquema electrónico de la CPU donde puede apreciarse la posibilidad de aprovechar el direccionado de memoria hasta el máximo de 1MB, (512K RAM y 512K EPROM).



*Figura 2.4 Esquema de Memoria de la Unidad de Procesamiento Central.*

La unidad de procesamiento central trabaja en dos modos:

1. Modo Programación.
2. Modo Aplicación.

Es importante aclarar que el primer modo solo se logra siempre que en la memoria EPROM esté grabado el kernel del PLC, si en su defecto estuviera grabada la aplicación, solo operaría en modo aplicación.

El modo programación es necesario para transferir la aplicación a la memoria RAM y requiere resetear manualmente la unidad mediante el botón de reset de la interfaz de programación o de forma automática alimentando el PLC con la interfaz ya conectada. El modo aplicación es el utilizado para ejecutar la secuencia o programa de operación, para trabajar en este modo se requiere alimentar el PLC con una secuencia previamente descargada en RAM sin la interfaz de programación conectada o de forma automática posterior a la descarga de una aplicación, el núcleo devolverá el control del microprocesador a la aplicación.

Cuando una aplicación esté grabada en EPROM, siempre trabajará en modo aplicación, luego de ser alimentada la unidad.

#### **2.2.1.2. CIRCUITO CONTROLADOR DE RAM.**

El circuito integrado DS1210 [23] fue la elección para el respaldo de la RAM pues realiza cinco funciones dentro de un solo dispositivo, necesarias para convertir una CMOS SRAM en memoria no volátil y protegerla contra la pérdida y corrupción de los datos, dichas funciones son:

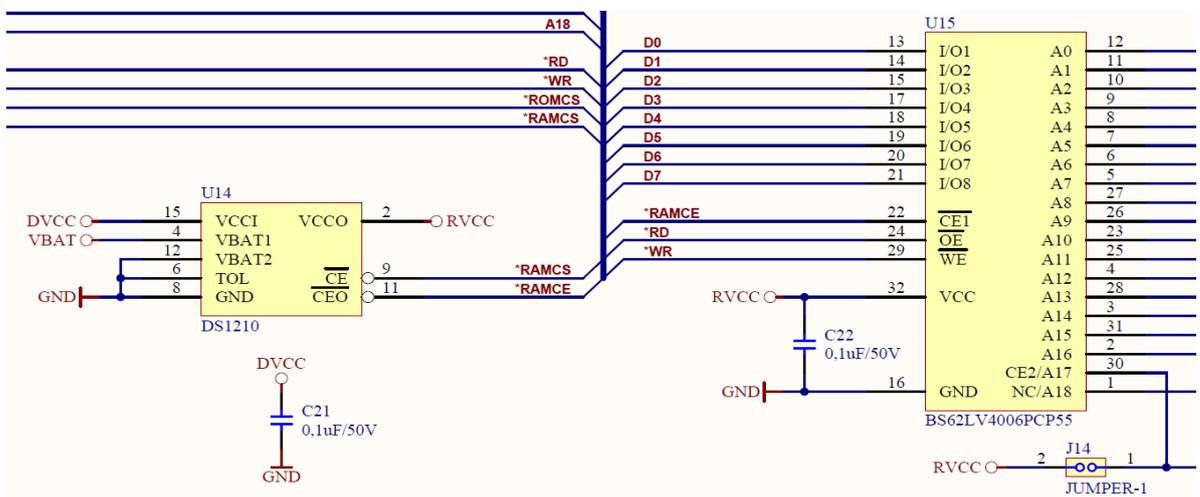
1. Respaldo de Energía.
2. Detección de fallas de energía para inhibir la RAM.
3. Protección contra escritura no deseada.
4. Advertencia del estado de la batería para evitar una posible pérdida de datos.
5. Proporciona redundancia de batería.

Si se revisan diseños anteriores se notará que estas funciones normalmente se resolvían utilizando entre 3 y 4 compuertas de 2 o 3 componentes electrónicos

*Capítulo 2. Diseño de un controlador lógico programable para la dosificación de mineral y petróleo.*

diferentes, lo que avala la disminución de costos y la simplicidad de los nuevos diseños.

En la figura **Figura 2.5** se observa que el DS1210 intercepta la alimentación (DVCC) y la línea de habilitación de la RAM (\*RAMCS). La fuente de alimentación entrante se monitorea para chequear si está fuera de tolerancia, cuando se detecta una condición de este tipo, la habilitación del chip (\*RAMCE) se inhibe para lograr la protección contra escritura no deseada y la batería se conecta para suministrar energía ininterrumpida a la RAM (RVCC), garantizando de esta forma el respaldo de los datos, tal como funcionaría una memoria no volátil.



*Figura 2.5. Circuito de respaldo y protección de los datos en la memoria SRAM.*

**2.2.1.3. RELOJ DE TIEMPO REAL.**

El chip de reloj de tiempo real (RTC) DS1302Z+ [24] con respaldo de batería garantiza mantener este importante parámetro a pesar de la falta de energía, ver **Figura 2.6**, contiene un reloj/calendario en tiempo real y 31 bytes de RAM estática. Se comunica con el microprocesador a través de una sencilla interfaz serie. El reloj/calendario en tiempo real proporciona información sobre segundos, minutos, horas, día, fecha, mes y año. La fecha de fin de mes se ajusta automáticamente para los meses con menos de 31 días, incluidas las correcciones por año bisiesto. El reloj funciona en formato de 24 horas o de 12 horas con un indicador AM/PM.[24]

## Capítulo 2. Diseño de un controlador lógico programable para la dosificación de mineral y petróleo.

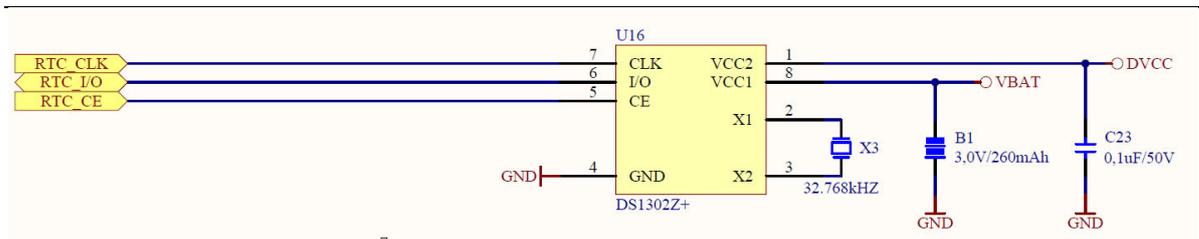


Figura 2.6. Circuito de Reloj de Tiempo Real.

Varios elementos coincidentes se tomaron en cuenta para su elección entre tantos ya utilizados y otros nuevos en el mercado, entre ellos podemos mencionar:

1. La interconexión con el microprocesador se simplifica mediante el uso de comunicación serie síncrona. Solo se requieren tres líneas para comunicarse con el reloj/RAM: CE, I/O (línea de datos) y SCLK (reloj serie).
2. Los datos se pueden transferir hacia y desde el reloj/RAM mediante 1 byte a la vez o en una ráfaga de hasta 31 bytes, lo que permite un acceso muy rápido a sus datos.
3. Está diseñado para funcionar con muy poca energía y retener los datos y la información del reloj con menos de  $1\mu\text{W}$ , importante para alargar la vida de la batería de respaldo del equipo.

### 2.2.1.4. GENERADOR DE RESET.

La unidad procesadora central posee un chip generador de reset, ver **Figura 2.7**, el DS1813 [25] tiene las funciones de detectar condiciones de suministro de energía fuera de tolerancia y resetear el microprocesador ante el inminente fallo de energía. Igualmente, en el encendido, la señal RST se mantiene activa durante aproximadamente 150 ms después de la fuente de alimentación haber alcanzado la tolerancia seleccionada, permitiendo que se establezca antes de quitar el RST al microprocesador.[25] Esto es importante para evitar que los datos en la RAM se corrompan por un mal funcionamiento del microprocesador debido a fallas de alimentación.

*Capítulo 2. Diseño de un controlador lógico programable para la dosificación de mineral y petróleo.*

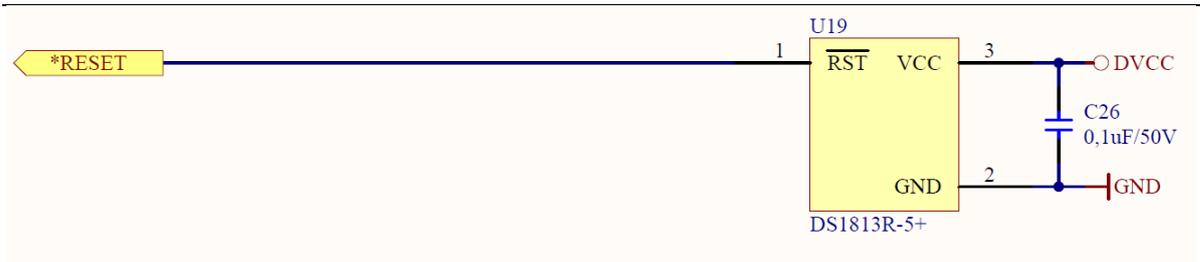


Figura 2.7. Circuito de reset (RST) del microprocesador.

**2.2.1.5. PUERTOS DE COMUNICACIONES RS485.**

La CPU del EROSPLC-D está provisto de 2 puertos RS485, que permite la comunicación a grandes distancias mediante una red industrial con otros dispositivos o sistemas SCADA, programables desde 19200 hasta 115200 bps, usando el protocolo MODBUS RTU en bus multipunto como amo o esclavo, soportado sobre el circuito integrado ADM2483[26], ver **Figura 2.8**.

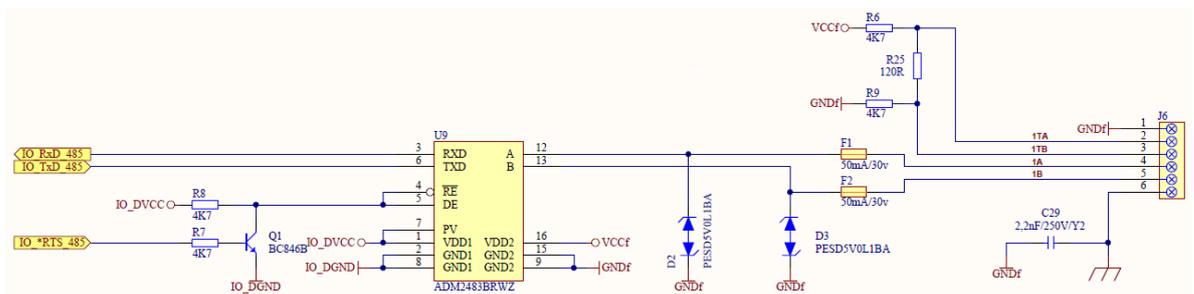


Figura 2.8. Esquema de las Comunicaciones RS485 EROSPLC-D.

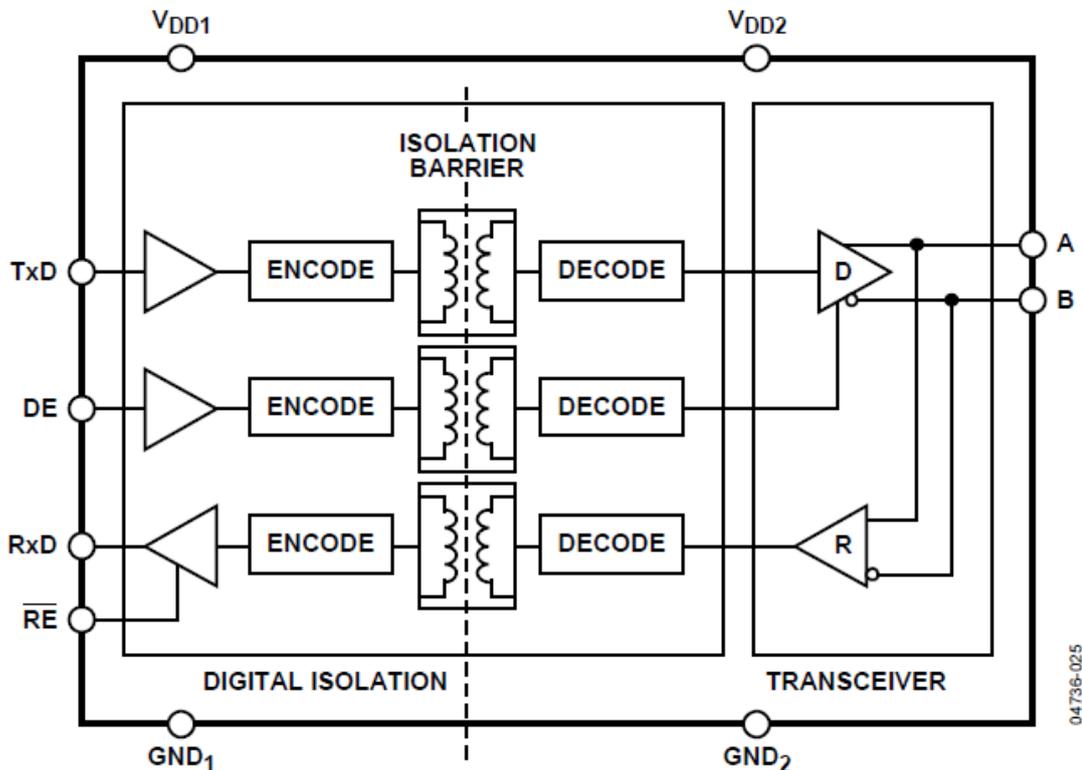
El transceptor de bus diferencial ADM2483 es un componente aislado galvánicamente diseñado para las comunicaciones de datos bidireccionales en líneas de transmisión de bus multipunto balanceadas.

Cumple con ANSI EIA/TIA-485-A e ISO 8482: 1987(E). Usando la tecnología iCoupler [27] de Analog Devices, el ADM2483 combina un aislador de 3 canales, una línea diferencial de tres estados, controlador y un receptor de entrada diferencial en un solo paquete.

El lado lógico del dispositivo se alimenta con 5 V o 3 V y el lado del bus utiliza sólo una alimentación de 5 V.[26]

*Capítulo 2. Diseño de un controlador lógico programable para la dosificación de mineral y petróleo.*

En el ADM2483, el aislamiento eléctrico se implementa en el lado lógico de la interfaz. Por lo tanto, el dispositivo tiene dos secciones principales: una sección de aislamiento digital y una sección de transceptor (ver **Figura 2.9**). Las señales de entrada del controlador y de habilitación de datos, aplicadas a los pines TxD y DE, respectivamente y referenciadas a tierra lógica (GND<sub>1</sub>), se acoplan a través de una barrera de aislamiento para aparecer en la sección del transceptor referenciada a tierra aislada (GND<sub>2</sub>). De manera similar, la salida del receptor, referenciada a tierra aislada en la sección del transceptor, está acoplada a través de la barrera de aislamiento para aparecer en el pin RxD referenciado a tierra lógica.



*Figura 2.9. Sección del aislamiento digital y transceptor del ADM2483.[26]*

Las señales digitales se transmiten a través de la barrera de aislamiento utilizando tecnología iCoupler. Esta técnica utiliza devanados de transformadores a escala de chip para acoplar magnéticamente las señales digitales de un lado de la barrera al otro. Las entradas digitales están codificadas en formas de onda que son capaces de excitar el devanado primario del transformador. En el devanado secundario, las formas de

*Capítulo 2. Diseño de un controlador lógico programable para la dosificación de mineral y petróleo.*

---

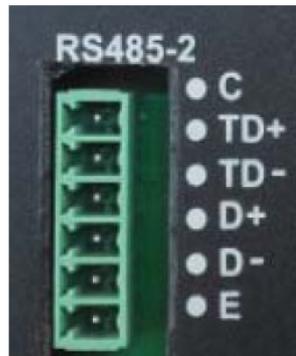
onda inducidas se decodifican en el valor binario que fue transmitido originalmente.  
[26]

Al fabricar los transformadores directamente en el chip utilizando procesamiento a nivel de oblea, los canales iCoupler se pueden integrar con otras funciones de semiconductores a bajo costo.[27]

La tecnología utilizada en el diseño de iCoupler elimina las ineficientes conversiones electro-ópticas que tienen lugar en los optoacopladores. Esto se debe a que los iCouplers eliminan los LED utilizados en los optoacopladores. Además, debido a que los canales se fabrican completamente con procesamiento a nivel de oblea, se pueden integrar fácilmente múltiples canales iCoupler en un solo paquete. La tecnología iCoupler proporciona mayor rendimiento, menor consumo de energía, tamaño más pequeño, mayor confiabilidad y beneficios de costos.[27]

Otra clara ventaja de los iCouplers sobre los optoacopladores es la eliminación de componentes externos. Además de los condensadores de derivación, los optoacopladores requieren dispositivos discretos externos para polarizar los transistores de salida y activar los LED, mientras que los dispositivos iCoupler no requieren componentes externos más que los condensadores de derivación. La solución iCoupler da como resultado una menor complejidad de circuitos y un menor costo.[27]

El aislamiento digital proporciona protección crucial contra sobretensiones transitorias entre la red de cable RS-485 y los sistemas conectados a ella, elimina los bucles de tierra en la red RS-485. Aislar digitalmente el bus RS-485 de cada sistema conectado al bus reduce la distorsión de la señal, errores y brinda protección al sistema y a los componentes de los desbalances de tierra, voltaje del bus y del sistema.



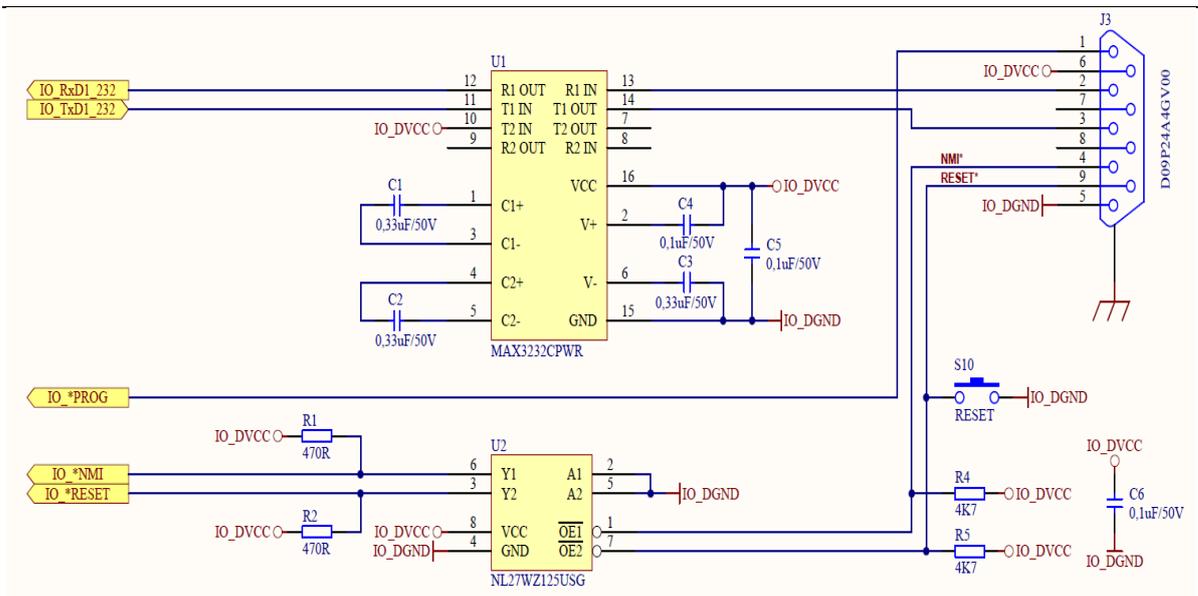
*Figura 2.10 Conector externo trasero de uno de los puertos RS485 de la CPU del EROSPLC-D.*

#### **2.2.1.6. PUERTO DE COMUNICACIONES RS232.**

Está destinado principalmente para la programación del EROSPLC-D mediante el uso de dos herramientas que son, una llave de hardware entre la PC y el PLC y el software de programación. También puede ser usado para la comunicación punto a punto mediante el protocolo MODBUS RTU, este puerto no está desacoplado galvánicamente por lo que su utilización con este fin debe hacerse con cautela.

Está soportado sobre el MAX3232CPWR[28], ver **Figura 2.11**, el dispositivo MAX3232E consta de dos controladores de línea, dos receptores de línea y un circuito de bomba de carga doble con  $\pm 15$  kV de protección IEC ESD pin a pin (pines de conexión del puerto serie, incluido GND). El dispositivo cumple con requisitos de TIA/EIA-232-F y proporciona la interfaz eléctrica para una comunicación asíncrona entre el controlador y el conector del puerto serie, ver **Figura 2.12**. Los dispositivos funcionan a velocidades de señales de datos de hasta 250 kbit/s y un máximo de velocidad de respuesta de salida del controlador de 30 V/ms.

**Capítulo 2. Diseño de un controlador lógico programable para la dosificación de mineral y petróleo.**



**Figura 2.11. Esquema de Comunicaciones RS232 del EROSPLC-D.**

Su elección se debe a que está basado en la tecnología de bomba de carga que permite cumplir con los requerimientos de doble tensión multipolar de la norma TIA/EIA-232-F, logrado a partir de una sencilla fuente de suministros entre 3V a 5.5 V, con un mínimo de componentes electrónicos de 4 capacitores externos, lo que redunda en mucha mayor sencillez y menos costos del canal de comunicaciones.

El circuito integrado NL27WZ125USG es solo un buffer para las señales NMI y RESET que van al microprocesador, utilizado para aislar y de esa forma proteger estas líneas que van directamente al cable de programación, exterior a nuestro equipo y que llegan a través del conector externo trasero.



*Figura 2.12. Conector externo trasero puerto RS232 de la CPU del EROSPLC-D.*

#### **2.2.1.7. CONTROLADOR Y TRANSCEPTOR DEL BUS CAN.**

El microprocesador Z80195 no posee controlador alguno para manejar el protocolo CAN. El objetivo de esta sección del diseño de la CPU es proporcionar al microprocesador esta función y un transceptor que le permita comunicarse con las unidades de entradas/salidas distribuidas en el bus CAN.

##### **2.2.1.7.1. Tecnología utilizada.**

Como se muestra en la sección del esquema electrónico que mostramos en la **Figura 2.13**, para el fin de controlador el bus CAN utilizamos el microcontrolador PIC18F2685[29], del fabricante Microchip Technology Inc.



*Capítulo 2. Diseño de un controlador lógico programable para la dosificación de mineral y petróleo.*

La **Tabla 2.3** muestra un resumen de las características del microcontrolador PIC18F2685:

*Tabla 2.3. Características del PIC18F2685.[29]*

<b>Características</b>	<b>PIC18F2685</b>
Operating Frequency	DC – 40 MHz
Program Memory (Bytes)	96K
Program Memory (Instructions)	49152
Data Memory (Bytes)	3328
Data EEPROM Memory (Bytes)	1024
Interrupt Sources	19
I/O Ports	Ports A, B, C, (E)
Timers	4
Capture/Compare/PWM Modules	1
Enhanced Capture/ Compare/PWM Modules	0
ECAN Module	1
Serial Communications	MSSP, Enhanced USART
Parallel Slave Port Communications (PSP)	No
10-bit Analog-to-Digital Module	8 input Channels
Comparators	0
Resets (and Delays)	POR, BOR, RESET Instruction, Stack Full, Stack Underflow (PWRT, OST), MCLR (optional), WDT
Programmable High/Low-Voltage Detect	Yes
Programmable Brown-out Reset	Yes
Instruction Set	75 Instructions; 83 with Extended Instruction Set Enabled
Packages	28-pin PDIP 28-pin SOIC

**2.2.1.7.2. Protocolo CAN en el Microcontrolador PIC18F2685.**

Los dispositivos PIC18F2682/2685/4682/4685 contienen un módulo controlador de red de área mejorada (ECAN). El módulo ECAN es totalmente compatible con versiones anteriores del módulo CAN disponible en PIC18CXX8 y PIC18FXX8.[29]

## *Capítulo 2. Diseño de un controlador lógico programable para la dosificación de mineral y petróleo.*

El módulo CAN es un módulo interfaz que es útil para comunicarse con otros periféricos o dispositivos microcontroladores. Esta interfaz, o protocolo, fue diseñado para permitir comunicaciones en entornos ruidosos.[29]

El módulo ECAN es un controlador de comunicaciones que implementa el protocolo CAN 2.0A o B como se define en las especificaciones BOSCH. El módulo soporta las versiones CAN 1.2, CAN 2.0A, CAN 2.0B pasiva y CAN 2.0B activa del protocolo.[29]

El módulo de bus CAN consta de un motor de protocolo y almacenamiento y control de mensajes en un búfer. El motor de protocolo CAN maneja automáticamente todas las funciones para recibir y transmitir mensajes en el bus CAN. Los mensajes son transmitidos cargando primero el registro de datos apropiado. El estado y los errores se pueden verificar leyendo los registros apropiados. Cualquier mensaje detectado en el bus CAN se chequea en busca de errores y luego se verifica contra filtros para ver si debe recibirse y almacenarse en uno de los dos registros de recepción.[29]

El módulo CAN admite los siguientes tipos de tramas:[29]

- Trama de datos estándar.
- Trama de datos extendido.
- Trama remota.
- Trama de error.
- Recepción de trama de sobrecarga.
- Generación/detección de espacio entre tramas.

### **2.2.1.7.3. Implementación del protocolo en la CPU del EROSPLC-D**

La tecnología nanoWatt, de Microchip Technology Inc, es la de la potencia más baja de la industria, el voltaje de funcionamiento de más amplio rango y la tecnología de administración de energía más flexible disponible para sistemas embebidos en la actualidad, lo que permite incorporar tanto la alimentación eléctrica como la infraestructura de Comunicaciones a través del BUS.

Las comunicaciones entre la CPU y las unidades de entradas/salidas distribuidas se sustentan utilizando protocolo J1939 cuyas especificaciones establece los requerimientos de las capas: física, enlace de datos y aplicación.

## *Capítulo 2. Diseño de un controlador lógico programable para la dosificación de mineral y petróleo.*

---

El intercambio de datos se realiza mediante mensajes con prioridad donde, como ya habíamos visto anteriormente, no existe una relación maestro-esclavo ni tampoco de múltiples maestros entre la CPU y las unidades de E/S. Aun cuando los mensajes fluyen desde la CPU hacia las unidades de E/S y viceversa, sin posibilidad de comunicación directa entre las unidades de E/S, no se hace uso del concepto de encuesta, significando que la CPU no se comunica cíclicamente con cada una de las E/S para adquirir el valor de los canales de entrada ni tampoco para actualizar el valor de los canales de salida, esto se hace apelando a un mecanismo más eficiente que distribuye los datos durante el arranque, cuando se detecta un cambio en ellos o cuando se incorpora en caliente una unidad de E/S que forma parte del proyecto.

Los mensajes se subdividen en 3 grupos principales y a estos grupos se les asigna una prioridad, a continuación, se muestran en orden de prioridad decreciente:

- Mensajes para ejercer control sobre las salidas
- Mensajes para recolectar el valor de las entradas
- Mensajes para configurar los parámetros de las unidades de E/S

Fuera de estos tres grupos existe otro mensaje para garantizar el funcionamiento del sistema al cual se le asigna la prioridad más alta:

- Latido en el bus (heartbeat)

Al inicio de cada ciclo de PLC se debe actualizar una imagen de memoria en la CPU con el valor de todas las entradas físicas, las cuales son usadas por la aplicación durante todo el ciclo. Este proceso de recolección del valor de las entradas de cada una de las unidades de E/S se realiza sin la intervención de la CPU siendo las propias unidades de E/S las que envían sus valores, al iniciar cada arranque del PLC, cuando al menos una de sus entradas experimenta algún cambio de valor, luego de 5 segundos sin cambio y cuando entran al bus en caliente luego de haber sido retiradas por algún motivo.

Durante cada ciclo de PLC la aplicación escribe los valores de las salidas en una imagen de memoria en la CPU, desde la que se actualizan cada una de las salidas físicas distribuidas en las unidades de E/S. Este proceso lo lleva a cabo la CPU al final de cada ciclo de PLC enviando el valor de las salidas solo a las unidades de E/S que

*Capítulo 2. Diseño de un controlador lógico programable para la dosificación de mineral y petróleo.*

---

experimentaran cambios en al menos una de sus salidas, e instantáneamente a las que entraron al bus en caliente luego de haber sido retiradas por algún motivo.

Del mismo modo la CPU mantiene una imagen en memoria de la configuración de cada una de las unidades de E/S desde la que se actualizan las configuraciones de las unidades de E/S. Este proceso lo lleva a cabo la CPU al final de cada ciclo de PLC enviando la configuración solo a las unidades de E/S que experimentaran cambios en al menos uno de sus parámetros e instantáneamente a las que entraron al bus en caliente luego de haber sido retiradas por algún motivo.

#### **2.2.1.7.4. Seguridad del BUS CAN en el EROSPLC-D.**

Es primordial para el funcionamiento del PLC distribuido la presencia tanto de la CPU como de las unidades de E/S, a diferencia de un PLC compacto donde las E/S físicas se encuentran formando parte del hardware de la propia CPU, en un sistema distribuido existe el riesgo de que por alguna interrupción física del bus de E/S el sistema quede fraccionado y se debe reaccionar de modo seguro para proteger el proceso. Para solventar esta situación se cuenta con dos estrategias:

- Protección a nivel de la CPU
- Protección a nivel de las unidades de E/S

La primera protección consiste en la supervisión por parte de la CPU del estado de cada una de las unidades de E/S para notificar oportunamente a la aplicación ante la ausencia de una o más unidades de E/S, lo cual le toma a la CPU aproximadamente 5s que es el tiempo máximo que transcurre sin que una unidad de E/S envíe sus datos.

La segunda protección consiste en la supervisión individual que realiza cada unidad de E/S para detectar la ausencia de la CPU y pasar al modo seguro, lo cual le toma a una unidad de E/S aproximadamente 2s, esto lo hace monitoreando el mensaje 'latido en el bus' que se emite periódicamente por la CPU una vez en cada ciclo de PLC.

El modo seguro es característico de las unidades de E/S que tienen salidas de algún tipo (digitales, analógicas o mensaje) a las que se le configura de forma individual uno de los estados de seguridad permitidos:

- Asignar un valor de seguridad específico en correspondencia con el tipo de las salidas, por ejemplo: ON, OFF, 0% (4mA), 50% (12mA),

100% (20mA), zumbador activado, luz de fondo encendida.

- Permanecer con el último valor presente en el momento que la unidad de E/S se queda aislada.

#### **2.2.1.7.5. Velocidad del bus CAN en el EROSPLC-D.**

A pesar de que el bus CAN puede operar a 125kbps, 250 kbps, 500 kbs y 1 Mbps, en el caso específico de este PLC, estas velocidades no pueden ser alteradas por el usuario desde la aplicación, aunque sí pueden ser configuradas convenientemente durante el proceso de acondicionamiento, para brindar una mejor respuesta a los criterios del sistema de PLC distribuido a instalar. Estos criterios pueden ser, entre otros:

- Longitud del bus de E/S.
- Tiempo de ciclo esperado.
- Cantidad de E/S, en el futuro cuando puedan ser admitidas en el bus una cantidad variable de E/S

En la aplicación de dosificación, teniendo en cuenta la longitud del bus y el proceso de dosificación se decidió la operación del bus CAN a 125 kbps.

#### **2.2.1.7.6. Transceptor de bus**

En la **Figura 2.13** se aprecia otro componente electrónico importante para el bus CAN de la CPU, el MCP2551[30], del fabricante Microchip Technology Inc.

El MCP2551 es un dispositivo CAN de alta velocidad, tolerante a fallas que sirve como interfaz entre el controlador de protocolo CAN y el bus físico. El MCP2551 proporciona capacidad de transmisión y recepción diferencial para el controlador de protocolo CAN y es totalmente compatible con el estándar ISO-11898, incluidos los requisitos de 24V. Este funcionará a velocidades de hasta 1 Mb/s.[30]

Normalmente, cada nodo de un sistema CAN debe tener un dispositivo para convertir las señales digitales generadas por un controlador CAN a señales adecuadas para la transmisión a través del cableado del bus (salida diferencial). También proporciona un búfer entre el controlador CAN y los picos de alto voltaje que se pueden generar en el bus CAN por fuentes externas (EMI, ESD, transitorios eléctricos, etc.).[30]

## *Capítulo 2. Diseño de un controlador lógico programable para la dosificación de mineral y petróleo.*

Las salidas CAN del MCP2551 manejará una carga mínima de  $45 \Omega$ , lo que permite un máximo de 112 nodos conectados (dada una resistencia de entrada diferencial mínima de  $20 \text{ k}\Omega$  y una resistencia terminal nominal de valor  $120\Omega$ ).[30]

En este PLC solo se necesitaron 5 nodos en el bus CAN para satisfacer las necesidades de variables de proceso para la dosificación, por lo que queda un amplio margen para nuevos dispositivos.



Figura 2.14 Conector externo trasero bus CAN EROSPLC-D.

### **2.2.1.8. INTERFACES DE OPERACIÓN.**

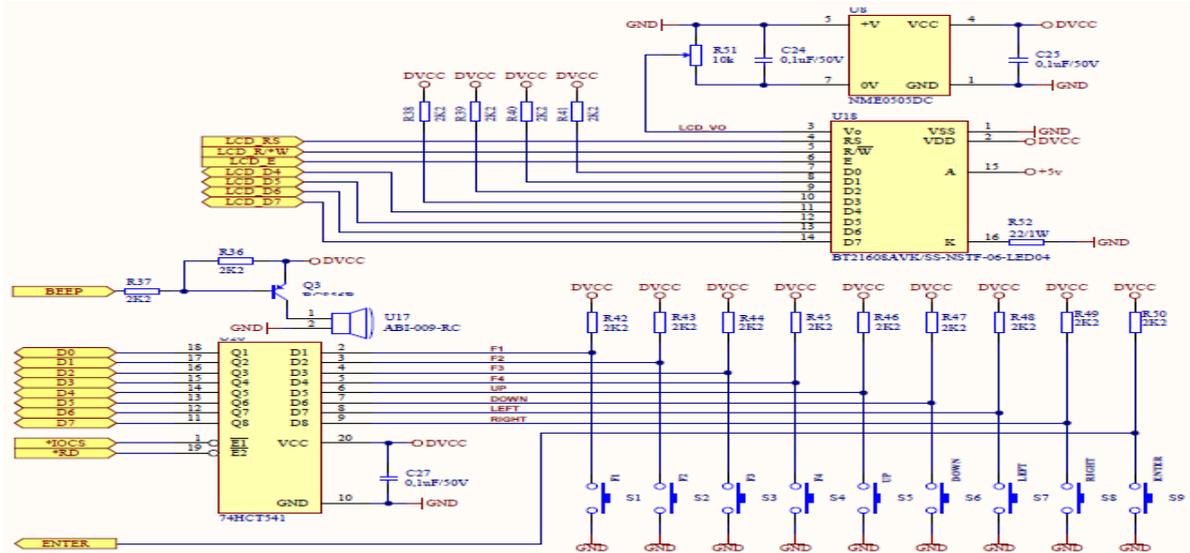
Una de las características más interesantes del EROSPLC-D, que lo distingue de otros PLC convencionales, son las interfaces de operación implícitas en su CPU. Compuesto por un teclado de 9 Interruptores de llave momentáneos SPST, un display de cristal líquido (LCD) y un zumbador (buzzer), ver **Figura 2.15**; los cuales permiten la interacción del operador con el PLC de forma local con total independencia de SCADA o HMI, algo muy importante en industrias de producción continua encadenadas, donde cualquier parada implica grandes pérdidas económicas.



Figura 2.15 Interfaces para la operación local del EROSPLC-D.

*Capítulo 2. Diseño de un controlador lógico programable para la dosificación de mineral y petróleo.*

En la **Figura 2.16** se puede apreciar la sección del circuito electrónico del EROSPLC-D donde aparecen dichas interfaces.



*Figura 2.16 Esquema electrónico interfaces operación local del EROSPLC-D.*

El display de cristal líquido (LCD), LMB162ABC[31] (durante el proceso de fabricación se sustituyó el BT21608), posee 32 caracteres distribuidos en dos líneas de 16 cada una, los mismos tienen una altura de 8 mm y una resolución de 5x8 puntos. Además, posee una lámpara de iluminación de fondo de tecnología LED que permite observar la información bajo cualquier nivel de iluminación.

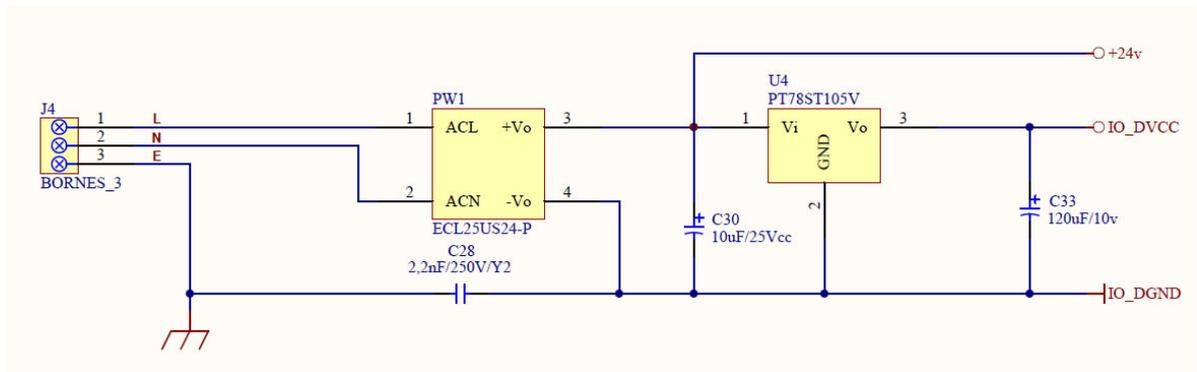
El buzzer, ABI-009-RC, juega un papel importante pues alerta al operador de cualquier anomalía detectada en la operación del proceso, el PLC o cualquier condición que se desee.

A través de las interfaces teclado y display, se ejecutan comandos y se modifican parámetros operativos de forma local, muchos de ellos susceptibles para el proceso, para lo cual se requiere previa autorización mediante niveles de acceso configurables. En los **anexos 13** y **14** se aprecia el diagrama de flujo general y un ejemplo de uno de los modos de trabajo del EROSPLC-D respectivamente, ejecutados todos a través de las interfaces.

**2.2.1.9. FUENTE DE SUMINISTRO**

*Capítulo 2. Diseño de un controlador lógico programable para la dosificación de mineral y petróleo.*

La fuente de suministro de la CPU del EROSPLC-D se soporta sobre el módulo integrado ECL25US24[32] del fabricante XP Power, ver **Figura 2.17**.



*Figura 2.17 Fuente de suministro de la CPU del EROSPLC-D.*

XP Power ofrece la gama más potente del mundo de fuentes de alimentación de corriente alterna (CA) a corriente continua (CC), con productos que van desde 3 vatios hasta más de 5000 vatios. Muchas de sus fuentes de alimentación están clasificadas como 'las más pequeñas del mundo' y están diseñadas con un enfoque de bajo nivel de ruido, alta eficiencia y confiabilidad, están diseñadas y aprobadas para su uso en sistemas de control de procesos industriales, equipos de fabricación de semiconductores, equipos de prueba y medición, instrumentos científicos, dispositivos médicos, el hogar y dispositivos de consumo doméstico y aplicaciones para la defensa.

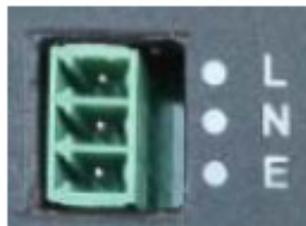
*Tabla 2.4. Resumen de características del módulo ECL25US24-P*

Parámetro	Valor	U/M
Tensión de Entrada	85-264	VAC
Frecuencia de Entrada	47-63	Hz
Protección de Entrada	Fusible T 2A/250 VAC	
Tensión de Salida	24	VDC
Máxima Corriente de Salida	1.04	A
Tecnología	Conmutación	
Eficiencia	82	%
Aislamiento	3000 entrada a salida	VAC

*Capítulo 2. Diseño de un controlador lógico programable para la dosificación de mineral y petróleo.*

Dimensiones	49.5x25.4x22.9	mm
-------------	----------------	----

El módulo se alimenta directamente de la red de corriente alterna mediante el conector J4 del esquema electrónico, situado en la parte trasera de la CPU, ver **Figura 2.18**, suministrando la alimentación primaria de 24 VDC al regulador de conmutación PT78ST105V de 5 VDC de salida, el cual distribuye a todos los subsistemas de la CPU y además cumpliendo con las normas provee de alimentación de 24 VDC a todo el bus de campo a través del conector del BUS CAN, ver **Figura 2.14**.



*Figura 2.18 Conector alimentación de corriente alterna EROSPLC-D.*

**2.2.2. PERIFERIA DISTRIBUIDA**

Las unidades de la periferia distribuida fueron diseñadas con el microcontrolador PIC18F4685[29], de la misma serie que el PIC18F2685 (utilizado como controlador CAN en la CPU), pero de mayor cantidad de pines de entrada/salida para cumplir requerimientos superiores en cuanto a número de señales.

*Tabla 2.5. Características del PIC18F4685.*

<b>Características</b>	<b>PIC18F4685</b>
Operating Frequency	DC – 40 MHz
Program Memory (Bytes)	96K
Program Memory (Instructions)	49152
Data Memory (Bytes)	3328
Data EEPROM Memory (Bytes)	1024
Interrupt Sources	20
I/O Ports	Ports A, B, C, E
Timers	4
Capture/Compare/PWM Modules	1
Enhanced Capture/ Compare/PWM Modules	1
ECAN Module	1
Serial Communications	MSSP, Enhanced USART
Parallel Slave Port Communications (PSP)	Yes
10-bit Analog-to-Digital Module	11 input Channels

*Capítulo 2. Diseño de un controlador lógico programable para la dosificación de mineral y petróleo.*

Comparators	2
Resets (and Delays)	POR, BOR, RESET Instruction, Stack Full, Stack Underflow (PWRT, OST), MCLR (optional), WDT
Programmable High/Low-Voltage Detect	Yes
Programmable Brown-out Reset	Yes
Instruction Set	75 Instructions; 83 with Extended Instruction Set Enabled
Packages	40-pin PDIP 44-pin QFN 44-pin TQFP

Si comparamos las **Tablas 2.3** y **2.5** se puede comprobar que existen muy pocas diferencias entre estos dos microcontroladores.

Las unidades de entrada/salida se encargan de la ejecución del programa o firmware correspondiente a su tipo. A pesar de recibir la energía necesaria para el funcionamiento de su parte lógica a través del bus las que procesan señales (digitales, analógicas de bajo y alto nivel) provenientes del campo, están eléctricamente desacopladas, de esta forma la energía que reciben del bus es independiente de la que utilizan para acondicionar las señales y se debe suministrar localmente, por lo que el sistema se torna robusto al eliminar la posibilidad de que un fallo eléctrico en el campo trascienda hacia la parte lógica afectando la ejecución de los distintos niveles de software que conforman el PLC distribuido.

Todos los dispositivos cuentan con un puerto RS485 y el transceptor del bus CAN, ver **Figura 2.19**, diseñados con los mismos componentes electrónicos de la CPU, por lo que no entraremos en detalles nuevamente.

## Capítulo 2. Diseño de un controlador lógico programable para la dosificación de mineral y petróleo.

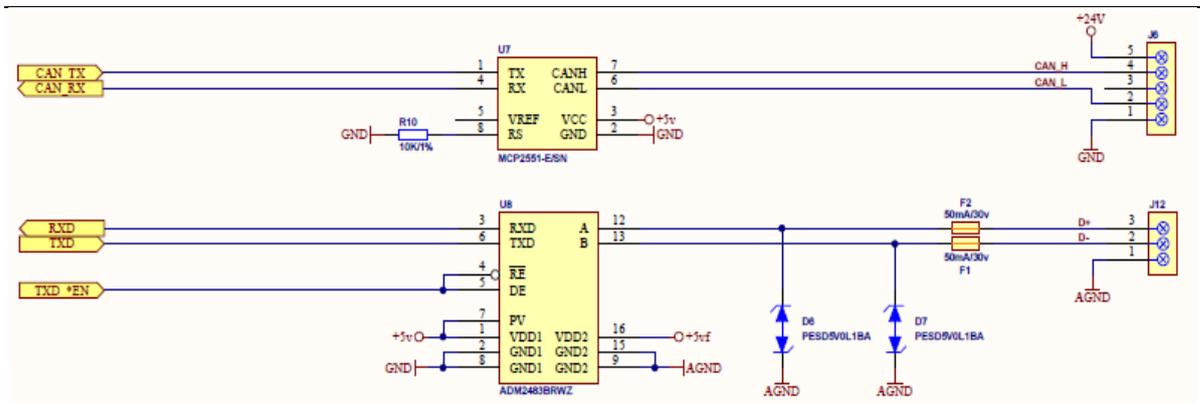


Figura 2.19 Transceptor CAN y puerto de comunicaciones RS 485 de los dispositivos de la periferia.

En el análisis de cada uno de los módulos de E/S se dejará siempre el microprocesador para el final de forma que nos sea más fácil comprender el esquema de señales, previamente debatida en cada una de las secciones.

### 2.2.2.1. MÓDULO DE ENTRADAS/SALIDAS DIGITALES.

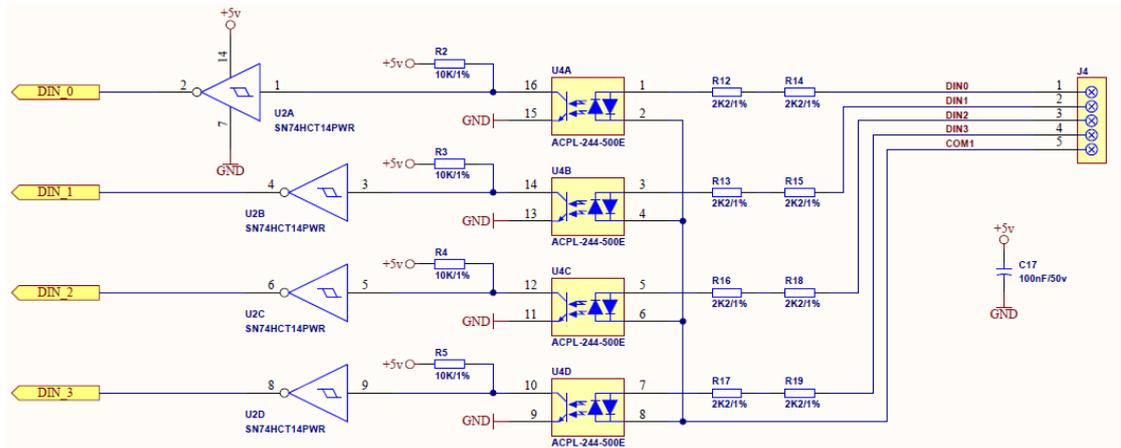
Para el diseño de este módulo de entradas/salidas digitales se tuvo en consideración como primer requisito las señales del proceso, las cuales se relacionan a continuación:

- Entrada
  1. Estado del eje central del horno.
  2. Estado de la protección de celdas de alimentación.
  3. Bit 0 ID Modbus EROSPLC-D.
  4. Bit 1 ID Modbus EROSPLC-D.
  5. Bit 2 ID Modbus EROSPLC-D.
- Salidas
  1. Compuerta de carga.
  2. Compuerta de descarga.
  3. Compuerta de tolva de calibración.
  4. Electroválvula de vapor.

Como se puede apreciar para esta cantidad de señales y considerando una relación de 2 entradas/ 1 salida, se decidió el diseño de un módulo de 8 entradas y 4 salidas digitales **IOD8x4v1**, ver **anexo 15**.

### 2.2.2.1.1. Entradas digitales.

En la **Figura 2.20**, se muestra una sección del esquema electrónico del módulo donde aparecen 4 de las 8 entradas digitales del módulo.



*Figura 2.20 Entradas digitales módulo de Entradas/Salidas digitales.*

Los canales de entrada están desacoplados del campo con el circuito integrado ACPL-244[33], el cual consta de cuatro canales de entrada de corriente alterna optoacoplados, cada uno de los cuales contiene 2 diodos emisores de luz conectados inversamente en paralelo y acoplado ópticamente a un foto-transistor, empaquetado en un encapsulado SOP de 16 pines.

Para todos los dispositivos, el voltaje nominal de aislamiento de entrada-salida es de 3000 Vrms. El tiempo de respuesta,  $t_r$ , es normalmente de 2  $\mu s$ , mientras que el CTR (Current transfer ratio) mínimo es del 20% a una corriente de entrada de  $\pm 1$  mA.

Cada canal cuenta además con una compuerta inversora del circuito integrado SN74HCT14 de Schmitt trigger, que cumple dos funciones principales, primeramente hacer coincidir directamente el estado lógico entrada-salida pues el foto-transistor con salida por colector invierte el estado lógico; la segunda está relacionada con la conformación y el acondicionamiento de señales, pues los dispositivos de disparo de Schmitt trigger se utilizan normalmente en aplicaciones para eliminar el ruido de las señales utilizadas en circuitos digitales, en particular el rebote de contacto mecánico en interruptores.

### 2.2.2.1.2. Salidas digitales.

La Figura 2.21 muestra el esquema de las 4 salidas digitales del módulo.

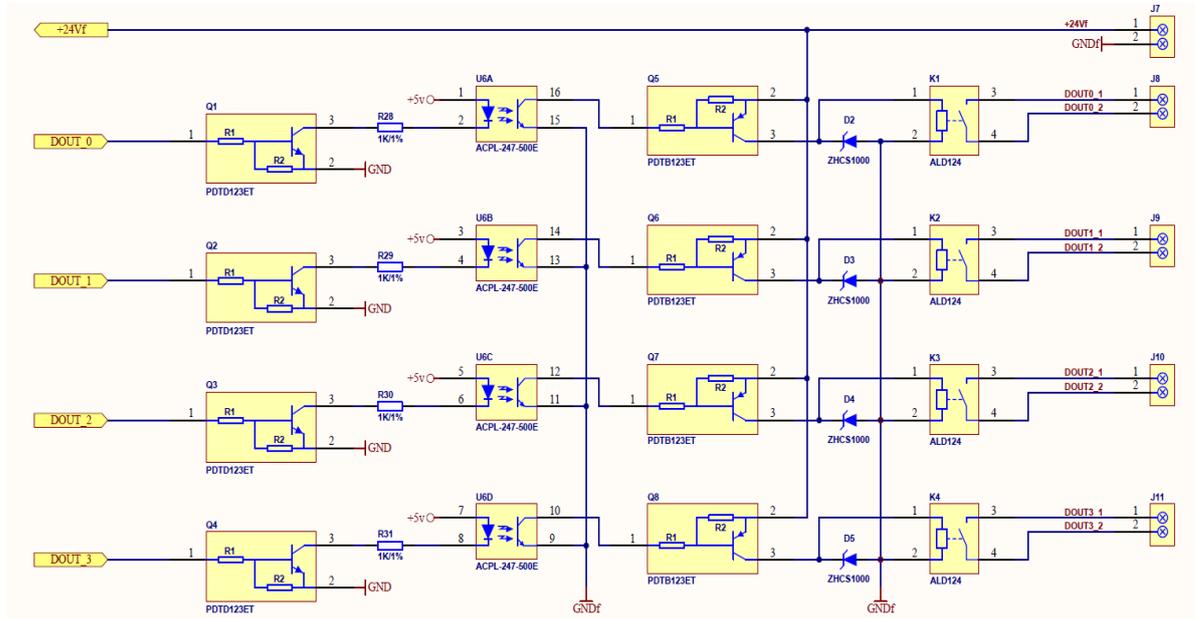


Figura 2.21 Salidas digitales módulo de Entradas/Salidas digitales.

Esquema muy sencillo donde se utilizan transistores equipados con resistencias (RET), desarrollados para aplicaciones digitales, PTD123ET [34] y PDTB123ET [35], el primero para servir de buffer a la salida del microcontrolador y poder manejar corriente suficiente para excitar los LED de los opto-acopladores ACPL-247[36], el segundo para manejar los relés ALD124 y no hacerlo directamente con el transistor del opto-acoplador.

Los relés utilizados son de muy bajo consumo, apenas 200 mW, y se alimentan de la fuente de 24 VDC suministrada al módulo de forma local y sus contactos son capaces de soportar una corriente máxima de 3A, hasta 277 VAC y 30 VDC y una muy elevada cantidad de conmutaciones (en el orden de  $2 \times 10^5$ ), brindando la posibilidad de cubrir una gran diversidad de procesos.

### 2.2.2.1.3. Fuente de Alimentación.

La fuente de alimentación de la I/O digital es la encargada de generar los niveles de tensión para el funcionamiento del módulo. A partir del suministro de 24 VDC (+24V) enviado por el BUS CAN, se obtienen los 5 VDC (+5v) para el funcionamiento del microprocesador y toda la lógica de control de la unidad. Además, con la alimentación

## Capítulo 2. Diseño de un controlador lógico programable para la dosificación de mineral y petróleo.

de 24 VDC (+24Vf) suministrada de forma local al módulo se regulan los 5 VDC (+5vf) utilizados en la comunicación del BUS RS485, ver **Figura 2.22**.

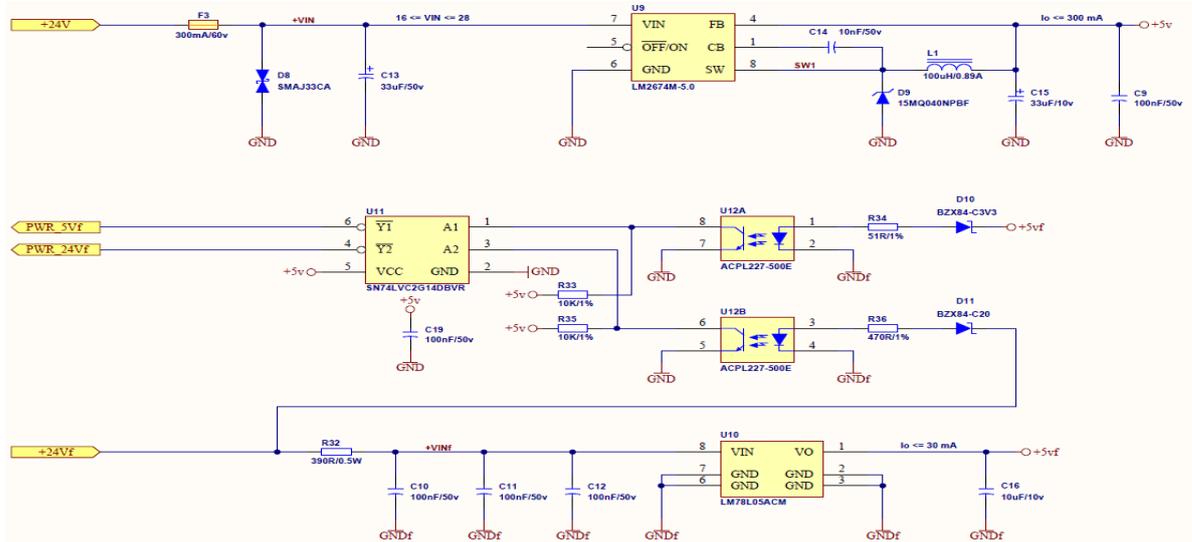


Figura 2.22 Fuente de Alimentación módulo de Entradas/Salidas digitales.

Para la regulación de tensión de 5 VDC del microcontrolador y la lógica de control del módulo con una carga aproximada de 300 mA, se escogió el regulador LM2674M-5.0[37], originalmente del fabricante National Semiconductor, actualmente Texas Instruments.

La serie de reguladores LM2674 son circuitos integrados monolíticos reguladores de conmutación, capaces de manejar una corriente de carga de 500 mA con excelente regulación de línea y carga y una eficiencia de hasta 96%. Estos dispositivos están disponibles en voltajes de salida fijos de 3.3V, 5.0V, 12V y una versión de salida ajustable, incluye interruptor de salida con limitación de corriente, así como apagado térmico para una protección completa en caso de falla. Poseen un amplio rango de voltaje de entrada entre 8 VDC y 40 VDC [37].

Al requerir un número mínimo de componentes externos, solo 5, estos reguladores son fáciles de usar. Opera a una frecuencia de conmutación de 260 kHz, lo que permite componentes de filtro de menor tamaño que lo que se necesitaría con reguladores de conmutación de frecuencia más baja. Una familia de inductores estándar para usar con el LM2674 está disponible de varios fabricantes diferentes.[37]

## *Capítulo 2. Diseño de un controlador lógico programable para la dosificación de mineral y petróleo.*

Estas características simplifican enormemente el diseño de fuentes de alimentación conmutadas utilizando estos circuitos integrados avanzados.[37]

Esta fuente está protegida contra elevaciones de tensión, provocada por transitorios u otros motivos, con PTC de 300 mA y el TVS SMAJ33CA [38], el cual limita la entrada al regulador LM2674 a un valor de 33 V.

La otra fuente de 5 VDC es la encargada de alimentar el bus RS485, del lado del bus, con una carga aproximada de 30 mA. Este regulador se alimenta del sistema de 24 VDC local del módulo para de esta manera aislarla galvánicamente de la lógica del microprocesador y el bus CAN. Se escogió el regulador LM78L05ACM[39], también originalmente del fabricante National Semiconductor, actualmente Texas Instruments. Este es un regulador con tolerancia de voltaje de salida de  $\pm 5\%$ , corriente de salida de 100 mA, protección interna de sobrecarga térmica, límite interno de corriente de cortocircuito, no necesita componentes externos, etc.

El estado tanto de la fuente local de 24 VDC, así como la regulada de 5 VDC, identificadas en el esquema de la **Figura 2.22** como +24Vf y +5vf respectivamente, son detectados por el microcontrolador de la unidad y enviados como variables de entrada a la CPU del EROSPLC-D, dando mayor información y fiabilidad a todo el conjunto del PLC.

En el caso de la fuente +24Vf, el estado es detectado mediante el voltaje Zener del diodo BZX84-C20 (D11) [40], que según la hoja de datos del fabricante tiene valores típicos mínimo de 18.8 VDC y máximo de 21.2 VDC, cuando la alimentación está por debajo de ese valor corta la corriente que circula por la compuerta del opto-acoplador ACPL227-500E (U12B), provocando que en el colector del fototransistor de salida, pin 6 de este componente aparezca 5 VDC, "1" lógico. Ese "1" en la entrada A2, pin 3 del circuito SN74LVC2G14 (U11) inversor Schmitt-Trigger, provoca un "0" en la señal PWR\_24Vf que llega al microcontrolador, reportando a la CPU una falla en la alimentación local del módulo. Haciendo el análisis contrario, si el voltaje está por encima del voltaje Zener, circula corriente por el opto-acoplador U12B, esto provoca la conducción del fototransistor y un "0" lógico en su colector. Ese "0" en la entrada A2 del inversor SN74LVC2G14 provoca un "1" en la señal de salida PWR\_24Vf, indicando el correcto funcionamiento de esa fuente.

## Capítulo 2. Diseño de un controlador lógico programable para la dosificación de mineral y petróleo.

De forma similar sucede con la fuente +5vf, el diodo BZX84-C3V3 (D10)[40] cuyo voltaje Zener, según hoja de datos del fabricante tiene valores típicos entre un mínimo de 3.1 VDC y un máximo de 3.5 VDC, es utilizado para determinar el estado de la fuente mediante la señal PWR\_5Vf que llega al microcontrolador e informado a la CPU del EROSPLC-D.

El inversor de Schmitt-Trigger al igual que en las entradas digitales, ayuda a conformar la señal digital, filtrando la incertidumbre en los umbrales del voltaje Zener de los diodos D10 y D11.

### 2.2.2.1.4. Indicadores visuales LEDs e interruptores rotatorios.

La unidad de entrada/salida digital cuenta con 18 LED, ver **Figura 2.23 y 2.24**, de ellos 2 para indicar el estado de las fuentes de 5V, la lógica (+5v) y la desacoplada (+5vf), los 16 restantes son de propósito general (14 sencillos, 2 multicolor (D2 y D3)). En el caso de la aplicación de dosificación de mineral y petróleo solo se utilizan 14 LED, 8 para el estado de las entradas digitales, 4 para el estado de las salidas digitales y los 2 multicolores, uno para indicar el estado general de la unidad de entrada/salida y el otro el estado del bus CAN.

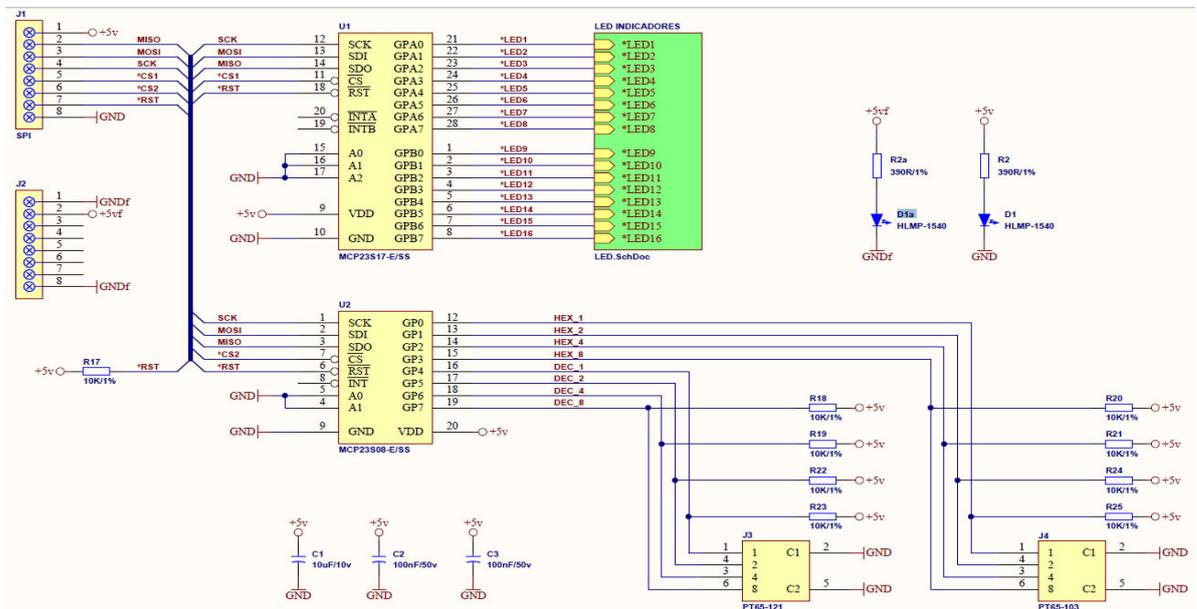


Figura 2.23 Expansores I/O serie e indicadores LED del módulo de E/S Digitales.

## Capítulo 2. Diseño de un controlador lógico programable para la dosificación de mineral y petróleo.

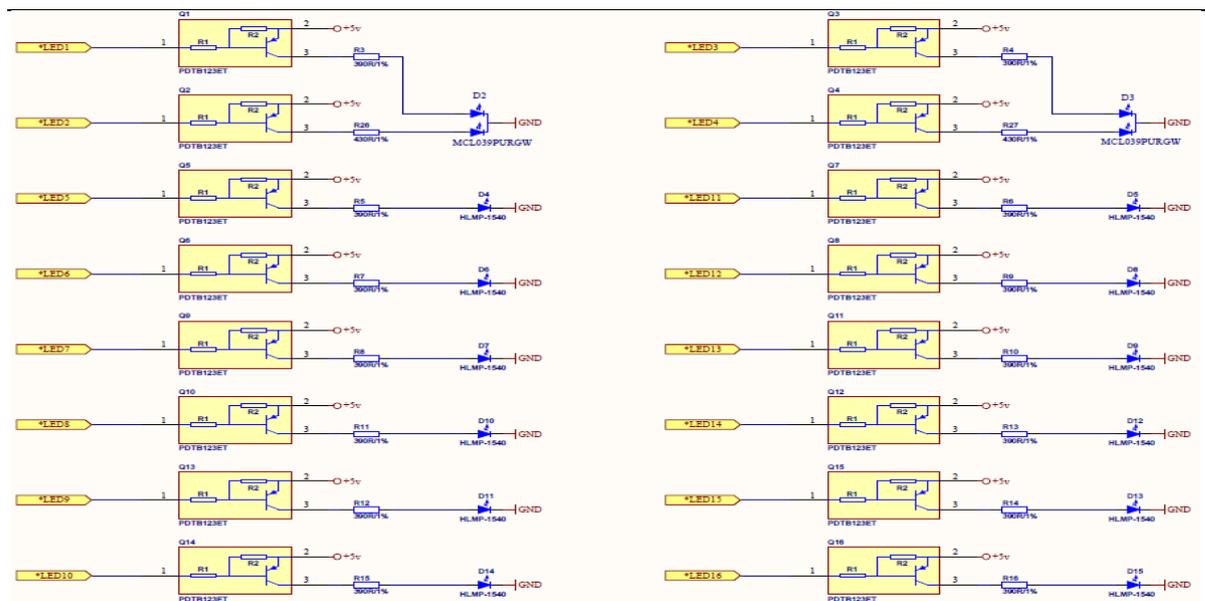


Figura 2.24 Indicadores LED unidad E/S Digitales.

En la **Figura 2.23**, se pueden observar los dispositivos PT65-121 (J3) [41] y PT65-103 (J5) [41], ambos interruptores rotatorios codificadores, utilizados para seleccionar la velocidad e identificar el módulo en el bus CAN, respectivamente. El primero es un codificador decimal de 4 posiciones, selecciona entre 4 posibilidades de velocidad del BUS CAN (125 kbps, 250 kbps, 500 kbps y 1Mbps). El segundo es un codificador hexadecimal binario de 4 bits, por lo que permite generar 16 valores diferentes, e identificar a 16 módulos E/S digitales diferentes.

En caso que el módulo sea utilizado de forma autónoma, estos interruptores pudieran tener similar función para el bus RS485 utilizando el protocolo MODBUS.

En la **Figura 2.23** se observa además los dispositivos MCP23S17-E/SS [42] y el MCP23S08-E/SS [43] ambos expansores de entrada/salida, con interface serie (SPI) de alta velocidad, de 16 y 8 bit respectivamente, de Microchip Technology Inc.

El módulo de entrada/salidas digitales está compuesto por 4 placas de pcb, ver **anexo 15 b**, una base donde se encuentra toda la lógica, entrada/salida, buses, fuentes, etc., que sirve de soporte a otra placa superior donde están los indicadores LED y los interruptores rotatorios y dos placas pequeñas que unen a las dos anteriores.

Los expansores de entrada/salida fueron utilizados para tener mayor disponibilidad de señales del microcontrolador, pues con el manejo de la comunicación SPI y una línea

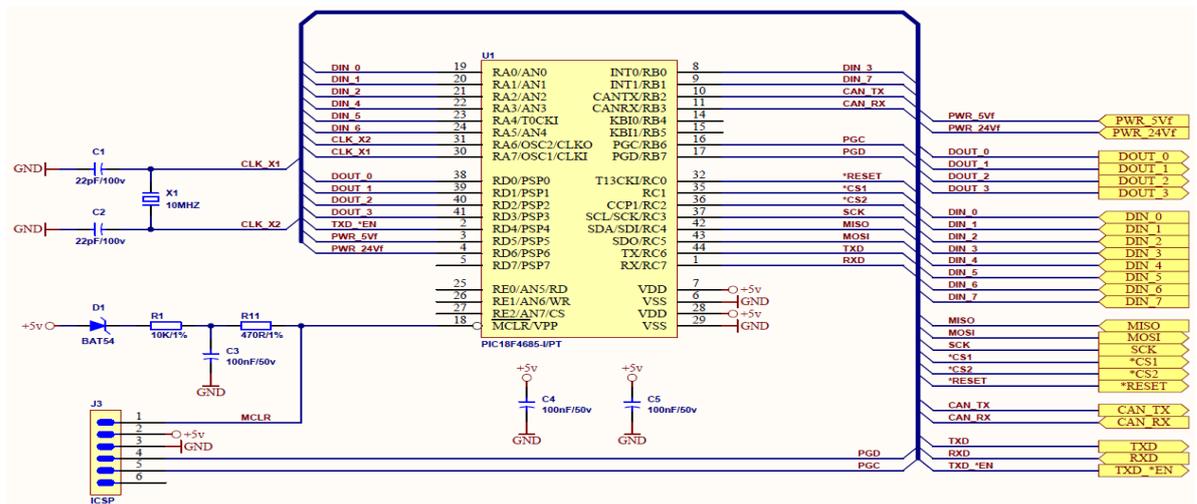
*Capítulo 2. Diseño de un controlador lógico programable para la dosificación de mineral y petróleo.*

de reset se convierten 6 señales de control en 24 bits de entrada/salida. Permite además simplificar el diseño y disminuir el tamaño del módulo, al evitar una gran cantidad de trazas de líneas llevando las señalizaciones de los LED y las lecturas de los interruptores desde la placa base hacia la placa superior.

Los pines del expansor MCP23S17-E/SS son utilizados como salidas, manejados todos con los transistores equipados con resistencias, PDTB123ET.

**2.2.2.1.5. Unidad procesadora central.**

En la **Figura 2.25** presentamos el esquema electrónico de la unidad procesadora central del módulo de entradas/salidas digitales del EROSPLC-D.



*Figura 2.25 Unidad procesadora central módulo de E/S digitales.*

La unidad procesadora central opera a una frecuencia de 10 MHz, con un cristal seleccionado para aplicaciones automovilísticas e industriales, de muy alta fiabilidad, estabilidad y un amplio rango de temperatura de operación.

Todas las señales de entrada/salida del módulo son procesadas directamente por pines físicos. De las 8 entradas digitales, 6 de ellas se conectan a través de los pines RA0-RA5 del puerto A de propósito general, los 2 restantes, DIN 3 y DIN 7, son leídas a través de los pines INT0 y INT1, interrupciones externas que permite utilizar estas señales en aplicaciones de alta velocidad.

Además, como se había explicado, se detecta el estado de las fuentes locales del módulo, PWR\_5Vf y PWR\_24Vf, por los pines RD5 y RD6 respectivamente.

## *Capítulo 2. Diseño de un controlador lógico programable para la dosificación de mineral y petróleo.*

Las 4 salidas digitales físicas DOUT\_0 - DOUT\_3 se manejan por los pines de propósito general del puerto D, desde RD0 hasta RD3.

Para manejar el bus de comunicaciones RS485 se utiliza el módulo de comunicación de transmisión y recepción asincrónico universal mejorado (EUSART por sus siglas en inglés).

El módulo EUSART implementa características adicionales, incluida la detección y calibración automática de la velocidad en baudios y auto despertar con el bit de inicio. EUSART se puede configurar como un sistema asíncrono full-dúplex que logra comunicarse con periféricos y dispositivos como terminales CRT y computadoras personales.

En la **Figura 2.25** se observan las señales TXD y RXD utilizadas por el microcontrolador para la transmisión y recepción de datos respectivamente mediante la utilización del módulo EUSART, además nos apoyamos para la función de controlar el sentido de los datos en el bus RS485 con la señal TXD\_\*EN, pues es una comunicación particularmente semidúplex, utilizando como salida el pin RD4 del puerto de propósito general D.

Para el manejo del BUS CAN se utiliza el módulo ECAN del microcontrolador, mediante las señales denominadas CAN\_TX y CAN\_RX para la transmisión y recepción respectivamente.

El microcontrolador posee un módulo denominado Puerto Serie Sincrónico Maestro (MSSP por sus siglas en inglés); es una interfaz serie, útil para comunicarse con otros dispositivos periféricos o microcontroladores. Estos periféricos pueden ser EEPROM serie, registros de desplazamiento, controladores de pantalla, convertidores A / D, etc.

El módulo MSSP puede funcionar en uno de dos modos:

- Interfaz de periféricos en serie (SPI por sus siglas en inglés)
- Circuito Inter integrado (I<sup>2</sup>C por sus siglas en inglés)
  - Modo maestro completo
  - Modo esclavo (con llamada de dirección general)

Los pines RC0, RC1 y RC2, son utilizados como salidas para generar las señales \*RESET, CS1\* y CS2\* respectivamente, las cuales combinadas con las 3 señales del módulo MSSP en modo SPI; SCK (Synchronous serial clock), MISO (Master Input



## Capítulo 2. Diseño de un controlador lógico programable para la dosificación de mineral y petróleo.

El módulo es capaz de leer señales normalizadas de corriente de 0-20 mA, 4-20 mA y de tensión en el rango de 0-10 Volt.

Cada canal está equipado con diodos dobles de barrera planar Schottky encapsulados en un pequeño paquete SMD de plástico SOT23, los BAT54S [44], de conmutación ultrarrápidos, para limitar la tensión en las entradas del conversor analógico digital, garantizando protección en incursiones de la señal tanto positivas como negativas.

Además, se provee un filtro pasa bajos de una frecuencia de corte de aproximadamente 5 Hz, ver R2 y C10 en la **Figura 2.26**.

Finalmente, como último elemento de la etapa de acondicionamiento de la señal, se usa el amplificador operacional MC33074 [45], utilizado como buffer de ganancia unitaria o seguidor de tensión, para aumentar la impedancia y evitar cargar la señal de medición antes de entrar al conversor analógico digital impidiendo la afectación de su integridad.

Para la medición de las entradas analógicas se utilizó el conversor analógico-digital MCP3204 [46], del fabricante Microchip Technology Inc.

El MCP3204 es un conversor analógico/digital (A/D) de aproximaciones sucesivas de 4 canales, de 12 bits de resolución con circuitos de muestreo y retención integrados (Sample and Hold), ver **Figura 2.27**, programable para proporcionar dos pares de entradas pseudo-diferenciales o cuatro entradas simples. Se especifica la no linealidad diferencial (DNL) y la no linealidad integral (INL) en  $\pm 1$  LSB para las versiones (MCP3204-B) y  $\pm 2$  LSB para las versiones (MCP3204-C).

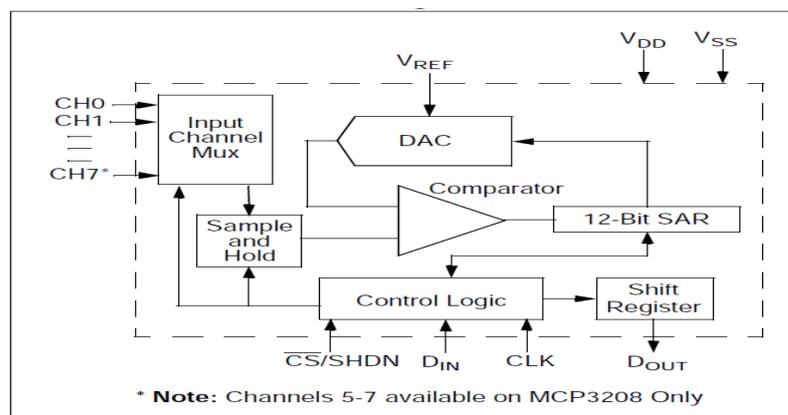


Figura 2.27 Diagrama en bloques ADC MCP3204/3208[46].

## Capítulo 2. Diseño de un controlador lógico programable para la dosificación de mineral y petróleo.

La comunicación con los dispositivos se logra utilizando una sencilla interfaz serie compatible con el protocolo SPI. Capaces de lograr tasas de conversión de hasta 100 kps, los dispositivos MCP3204 operan sobre un amplio rango de voltaje (2.7V - 5.5V). Diseños de baja corriente, los que permiten el funcionamiento con corrientes típicas en modo de espera y activos de solo 500 nA y 320  $\mu$ A respectivamente.

El MCP3204 se ofrece en encapsulados PDIP de 14 pines, 150 mil SOIC y TSSOP. Diseñados para aplicaciones como interfaz de sensores, control de procesos, adquisición de datos y sistemas operados por baterías.

El tener los circuitos de muestreo y retención integrados y la comunicación serie SPI, lo hizo muy atractivo para su elección pues reduce la cantidad de componentes electrónicos en el canal de comunicación, simplifica el diseño y disminuye los costos.

### 2.2.2.2.2. Salidas Analógicas.

El bloque de salida analógicas es capaz de proporcionar 2 salidas analógicas en el rango de 4-20 mA, 0-5 V y 0-10 V con una resolución de 12 bits del convertor digital analógico (DAC por sus siglas en inglés).

En la **Figura 2.28** se observa uno de los canales analógicos de salida del módulo, las cuales se soportan sobre el DAC MCP4822E [47], del fabricante Microchip Technology Inc.

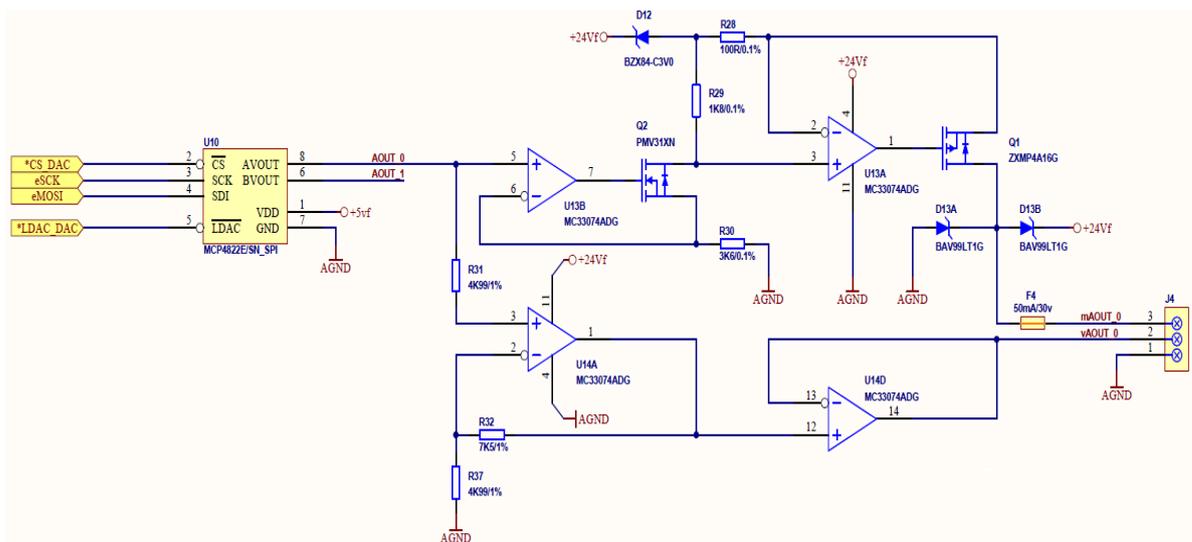


Figura 2.28 Canal de salida módulo E/S analógicas.

*Capítulo 2. Diseño de un controlador lógico programable para la dosificación de mineral y petróleo.*

Los dispositivos MCP482X son convertidores digitales/analógico (DAC) de 12 bits de 2,7 V a 5,5 V de alimentación, 2 canales de salida, baja potencia, con referencia de voltaje interna, salida opcional con búfer 2x e interfaz de periféricos en serie (SPI™). La familia de DAC MCP482X proporciona alta precisión y bajo nivel de ruido para aplicaciones industriales donde se requiere calibración o compensación de señales (como temperatura, presión y humedad).

Los dispositivos MCP482X utilizan una arquitectura de cadena resistiva, con sus ventajas inherentes de bajo error DNL, coeficiente de temperatura métrica de baja relación y tiempo de establecimiento rápido. La familia MCP482X incluye registros de doble búfer, lo que permite actualizaciones simultáneas. Estos dispositivos también incorporan un circuito de reinicio durante el encendido (POR) para garantizar un encendido confiable, ver esquema de bloques en la **Figura 2.29**. Están disponibles en el rango de temperatura extendido y en paquetes PDIP, SOIC y MSOP.

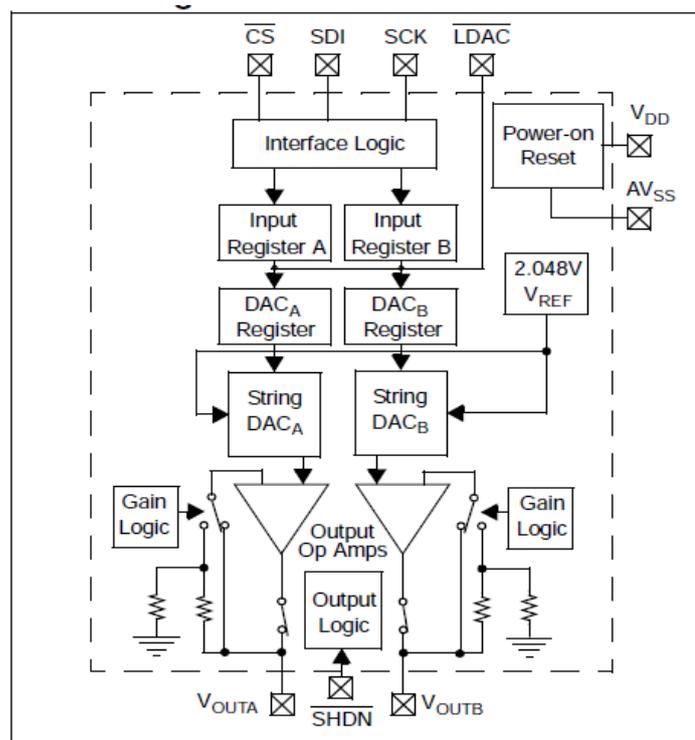


Figura 2.29 Diagrama en bloques DAC MCP4821/MCP4822[47].

## *Capítulo 2. Diseño de un controlador lógico programable para la dosificación de mineral y petróleo.*

Desarrollado para aplicaciones como punto de ajuste o compensación, calibración de sensores, referencia de precisión de voltaje seleccionable, instrumentación portátil (alimentada por batería), calibración de dispositivos de comunicación óptica, etc.

La codificación de estos dispositivos es binaria directa, con el voltaje de salida ideal dado por la **Ecuación 2.1**:

$$V_{out} = \frac{2.048V * G * D_n}{2^n} \quad (2.1)$$

Donde:

- G es la ganancia seleccionada (1x o 2x).
- $D_n$  representa el valor de entrada digital.
- $2^n$  representa el número de bits de resolución ( $n = 12, 4096$ ).

El DAC es programado para una salida máxima de 4.0 Volt, utilizando la ecuación anterior vemos que esta tensión se obtiene con un valor digital de 4000 unidades y una ganancia de 2x, dicho valor correspondería a 20 mA para la salida de corriente y 10 Volt para la salida de tensión.

Del párrafo anterior se puede inferir que la ganancia de la salida de tensión es 2.5, por lo que en caso de ser necesaria una salida normalizada de 5 Volt, hay que programar el DAC para entregar 2.0 Volt, lo que simplemente se obtiene cambiando la ganancia del mismo por 1x.

Observando en la **Figura 2.28**, la salida de corriente correspondiente al canal ejemplificado lo conforman los amplificadores operacionales MC33074 identificados por U13A y U13B y sus componentes asociados. Dichas salidas están protegidas con diodos BAV99LT1 [48], del fabricante ON Semiconductor, contra transitorios inducidos externos tanto positivos y negativos que pudieran afectar los transistores MOSFET ZXMP4A16K [49], utilizados estos últimos para el manejo de la corriente de salida. Además, cuenta con una limitación de corriente mediante un PTC reseteable de 50 mA.

## Capítulo 2. Diseño de un controlador lógico programable para la dosificación de mineral y petróleo.

Por otro lado, la salida de tensión está formada sencillamente por el amplificador U14A en una configuración de amplificador no inversor de ganancia 2.5, como ya habíamos comentado, y el U14B como amplificador de ganancia unitaria o seguidor de tensión.

### 2.2.2.2.3. Fuente de Alimentación.

En la **Figura 2.30** se muestra el esquema electrónico de la fuente del módulo de entradas/salidas analógicas.

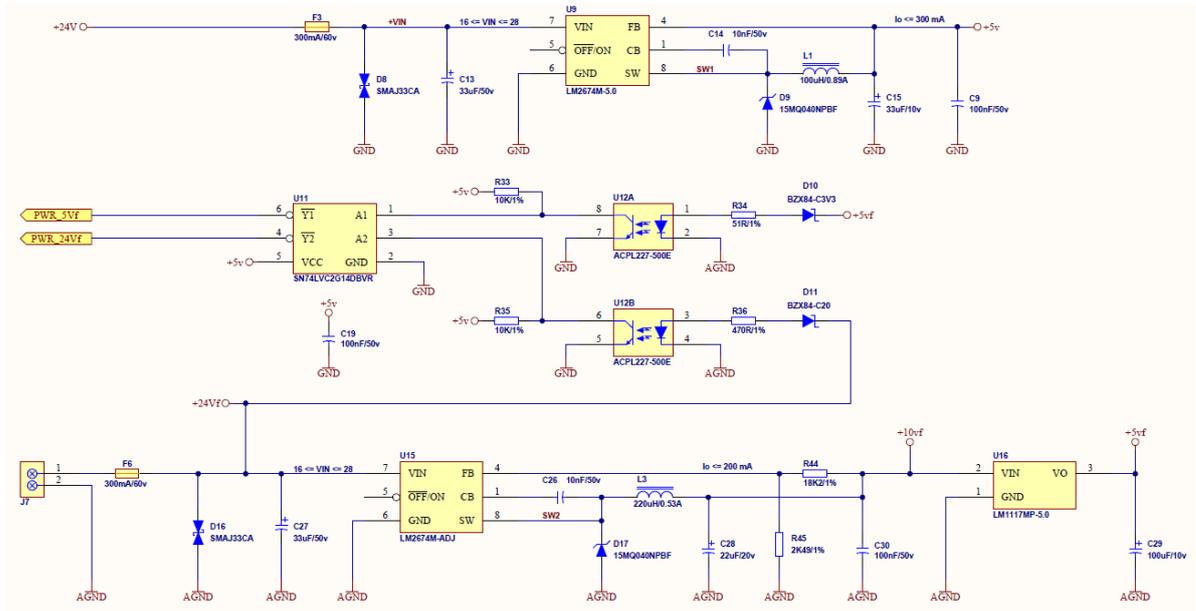


Figura 2.30 Esquema electrónico fuente del módulo E/S analógicas.

Como se puede observar existe mucha similitud con el esquema del módulo de Entradas/Salidas digitales, IOD8x4v1, anteriormente analizado, tanto la fuente +5v que suministra la alimentación a la CPU y toda la lógica del módulo, así como el estado de las fuentes +5Vf y la fuente local +24Vf, mediante las señales PWR\_5VF y PWR-24VF respectivamente, por lo que no se abordará con más detalles.

Ahora bien, al hacer el análisis de los LM2674 se mencionó una variante ajustable de esta familia, el LM2674-ADJ, el mismo se escogió para a partir de los +24Vf que se suministra al módulo de forma local, lograr la regulación de la fuente +10vf de alimentación de los amplificadores operacionales de las entradas analógicas.

Según referencia del fabricante, la **Ecuación 2.2** es la utilizada para el ajuste de la tensión de salida de dicho regulador:

*Capítulo 2. Diseño de un controlador lógico programable para la dosificación de mineral y petróleo.*

---

$$V_{\text{out}} = V_{\text{ref}} * \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \quad (2.2)$$

Donde:

- $V_{\text{ref}} = 1.21 \text{ V}$ .
- $R_2 = R44 = 18200 \ \Omega$ .
- $R_1 = R45 = 2490 \ \Omega$ .

Al evaluar la expresión anterior se comprueba que  $V_{\text{out}} = 10.05 \text{ Volt}$ .

Finalmente, a partir de este valor de +10vf se obtiene la fuente de +5vf, utilizada para alimentar todos los dispositivos electrónicos para el tratamiento a las señales analógicas de entrada, salidas analógicas y la comunicación RS485, por lo que a diferencia de la fuente +5vf del módulo IO8x4v1, es necesario utilizar un regulador de mayor corriente para satisfacer toda la demanda anterior.

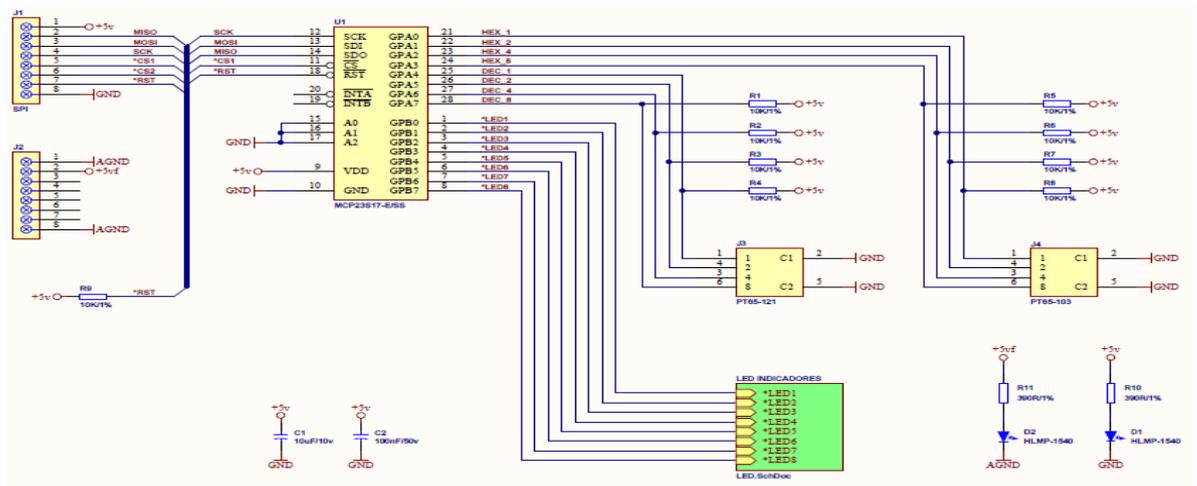
Para la regulación de esta fuente de +5vf, se escogió el LM1117MP-5.0 [50], también originalmente del fabricante National Semiconductor, actualmente Texas Instruments. Los LM1117 son una serie de reguladores de voltaje de baja caída, solamente 1,2 V a 800 mA de corriente de carga. Tiene la misma distribución de pines que el estándar de la industria de National Semiconductor LM317. Existe una versión ajustable, que puede establecer el voltaje de salida desde 1,25 V hasta 13,8 V con solo dos resistencias externas. Además, también está disponible en cinco voltajes, 1.8V, 2.5V, 2.85V, 3.3V y 5V. Ofrecen limitación de corriente y apagado térmico. El circuito incluye una referencia de banda prohibida recortada por Zener para asegurar una precisión de voltaje de salida dentro de  $\pm 1\%$ .

La serie LM1117 está disponible en encapsulados LLP, TO-263, SOT-223, TO-220 y TO-252 D-PAK. Se requiere un mínimo de solo un capacitor de tantalio, ver C29 en **Figura 2.30**, en la salida para mejorar la respuesta transitoria y la estabilidad.

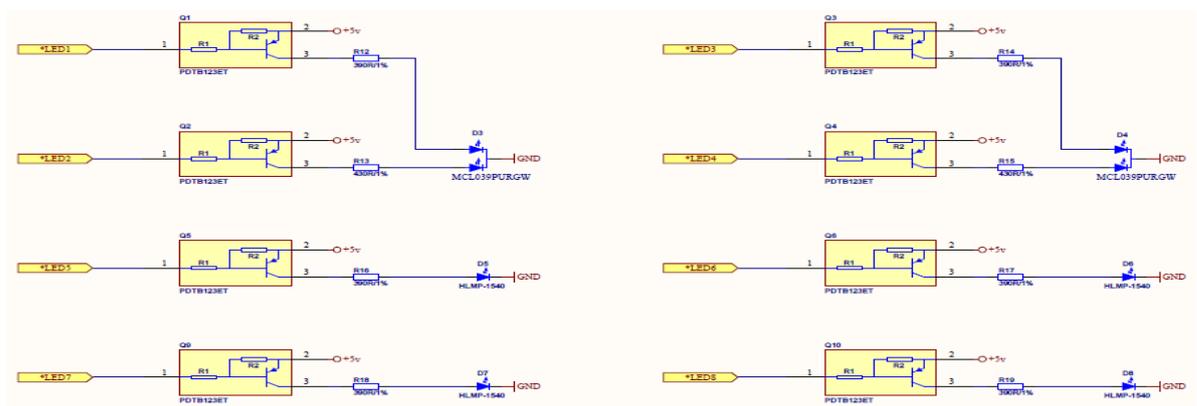
*Capítulo 2. Diseño de un controlador lógico programable para la dosificación de mineral y petróleo.*

**2.2.2.2.4. Indicadores visuales LEDS e interruptores rotatorios.**

La unidad de entradas/salidas analógicas cuenta con 8 LED, ver **Figuras 2.31** y **2.32**, de ellos 2 para indicar el estado de las fuentes de 5V, la lógica (+5v) y la desacoplada (+5vf), los 6 restantes son de propósito general (4 sencillos y 2 multicolor (D3 y D4)). En la aplicación de dosificación de petróleo se utilizan 4 para indicar cambios detectados en el nivel de cada una de las entradas analógicas y los 2 multicolores, uno para indicar el estado general de la unidad de entradas/salidas y el otro el estado del bus CAN. Es importante aclarar, que los 4 asociados a los canales de entradas analógicas, solo están disponibles al núcleo del módulo.



*Figura 2.31 Expansores I/O serie e indicadores LED del módulo E/S analógicas.*



*Figura 2.32 Indicadores LED del módulo E/S analógicas.*

Al igual que en el módulo de E/S digitales, se observan en la **Figura 2.31** los dispositivos PT65-121 (J3) y PT65-103 (J4), ambos interruptores rotatorios

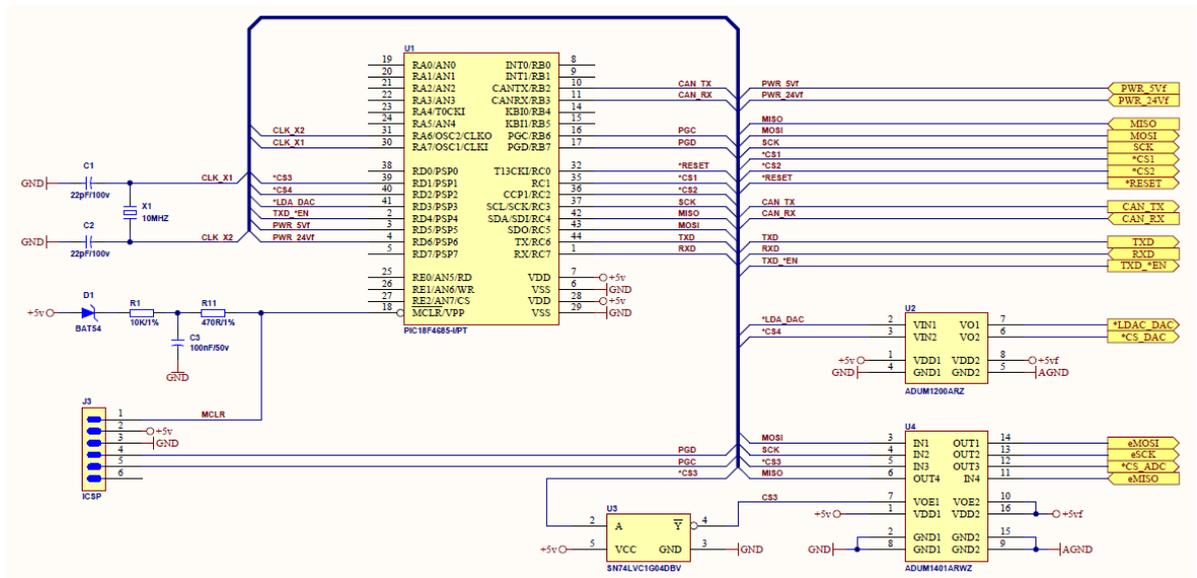
*Capítulo 2. Diseño de un controlador lógico programable para la dosificación de mineral y petróleo.*

codificadores, con las mismas funciones ya explicadas anteriormente, por lo que no se requiere entrar en detalles.

Igualmente, en la **Figura 2.31** se observa el dispositivo MCP23S17-E/SS [42], también ampliamente presentados sobre sus beneficios y funciones, excepto que en este caso, se utilizan 8 bits como entrada para leer los interruptores rotatorios y 8 como salida para el manejo de los indicadores LED.

**2.2.2.2.5. Unidad procesadora central.**

La **Figura 2.33** muestra el esquema electrónico de la unidad procesadora central del módulo de entradas/salidas analógicas.



*Figura 2.33 Unidad procesadora central módulo de E/S analógicas.*

Como se observa en el esquema anterior, por cuestiones obvias y en aras de reutilizar los códigos de programación, todas las señales semejantes del módulo IO4x2v1 coinciden exactamente en ubicación de pines con respecto a los del módulo IOD8x4v1 ya analizado, al igual que el caso de los módulos internos del microcontrolador EUSART, CAN, SPI y puerto de programación del procesador, también son utilizados en las mismas funciones, por lo que no se entrará en detalles.

Las únicas señales que difieren, pues son nuevas para el módulo analógico, son las de selección de dispositivos \*CS3 y \*CS4 de los conversores analógico/digital y

## *Capítulo 2. Diseño de un controlador lógico programable para la dosificación de mineral y petróleo.*

digital/analógico respectivamente y la señal \*LDA\_DAC también utilizada por el microcontrolador para la carga en el registro del DAC el valor digital desde el registro de entrada, ver **Figura 2.29**. Estas tres señales se ubicaron en pines de propósitos generales del puerto D, desde RD1 a RD2.

La otra nota significativa lo constituyen sin dudas los circuitos integrados ADUM1200ARZ [51] y ADUM1401ARWZ [52] del fabricante Analog Devices Inc.

Estos dispositivos son aisladores digitales de 2 canales (ambos de salidas) y 4 canales (3 salidas 1 de entrada) respectivamente, basados en la tecnología iCoupler® de Analog Devices, Inc. Dicha tecnología fue ampliamente detallada con anterioridad en este documento.

Estos circuitos son muy ventajosos en aplicaciones donde se requiere aislamiento multicanal de uso general, convertidores de datos, interfaz SPI, transceptores RS-232, RS-422, RS-485. Además, utilizado para el aislamiento de buses de campo industrial, sistemas automotrices, etc.

En este caso, su función es aislar galvánicamente todas las señales del microcontrolador utilizadas para el control del ADC y el DAC, incluye la interfaz SPI, proporcionando como ya se había explicado mayor robustez al EROSPLC-D, evitando que cualquier problema surgido de forma local en el módulo pueda trascender a través del BUS CAN o la alimentación proporcionada a través de este, comprometiendo el funcionamiento correcto y la estabilidad de todo el sistema.

Por último, en el análisis de la fuente de alimentación se tiene el circuito SN74LVC1G04DBV [53], su única función es invertir la señal \*CS3 (activa en "0"), pues se utiliza para habilitar la salida de la señal MISO de la interfaz SPI, ubicada en el pin 6 del circuito ADUM1401ARWZ, hacia el controlador y para lograrlo debe estar activa en "1".

### **2.2.2.3. MÓDULO ENTRADAS ANALÓGICAS DE BAJO NIVEL.**

El módulo de entradas analógicas de bajo nivel o módulo especial de peso, llamado así también por su función en el sistema de pesaje de mineral y dosificación de petróleo, es el encargado de medir las señales de bajo nivel (mV) proveniente de las

## *Capítulo 2. Diseño de un controlador lógico programable para la dosificación de mineral y petróleo.*

---

celdas extensiométricas, utilizadas como sensores para cuantificar la materia prima a procesar en los hornos de reducción de la ECG.

Como requisito se tenía la medición de dos entradas de bajo nivel, las cuales, por la complejidad de la electrónica para el acondicionamiento de este tipo de señales, se decidió el diseño de una unidad de entradas analógicas específica de bajo nivel con 2 canales de entrada, en lo adelante **IOW2v1**, ver **anexo 17**, las señales son:

1. Peso embudo de dosificación.
2. Peso embudo de calibración.

El embudo de calibración introduce una novedad a los tradicionales sistemas de dosificación, pues con el mismo se pretende realizar la calibración dinámica de forma automática y estanco.

Al igual que en módulos anteriores, la sección de comunicaciones RS485 y el bus CAN es similar a los ya analizados por lo que se obvia este análisis.

2.2.2.3.1. Entradas Analógicas de bajo nivel.

La Figura 2.34 muestra el esquema electrónico de la sección de medición de las entradas analógicas.

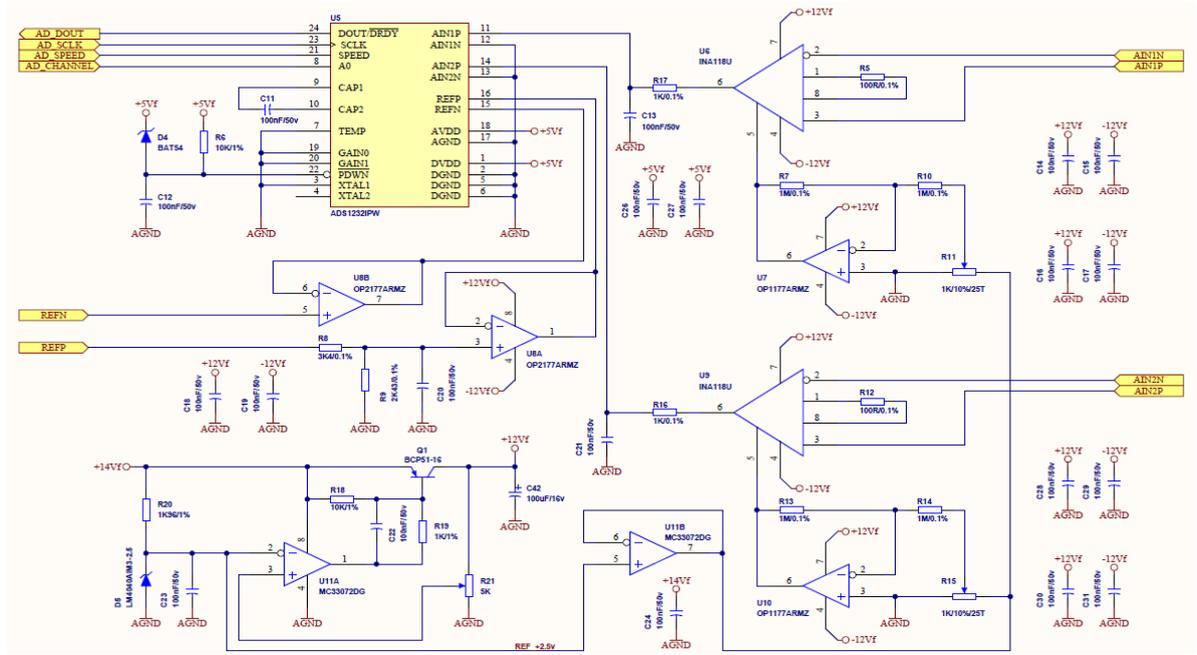


Figura 2.34 Entradas analógicas módulo especial de peso.

Como se observa, las mediciones de las entradas analógicas están soportadas sobre el convertor analógico/digital ADS1232 [54], del fabricante Analog Devices Inc.

El ADS1232 es un ADC de 24 bits altamente integrado que incluye un multiplexor de entrada, PGA de bajo ruido, modulador delta-sigma ( $\Delta\Sigma$ ) de tercer orden y filtro digital de cuarto orden, ver Figura 2.35.

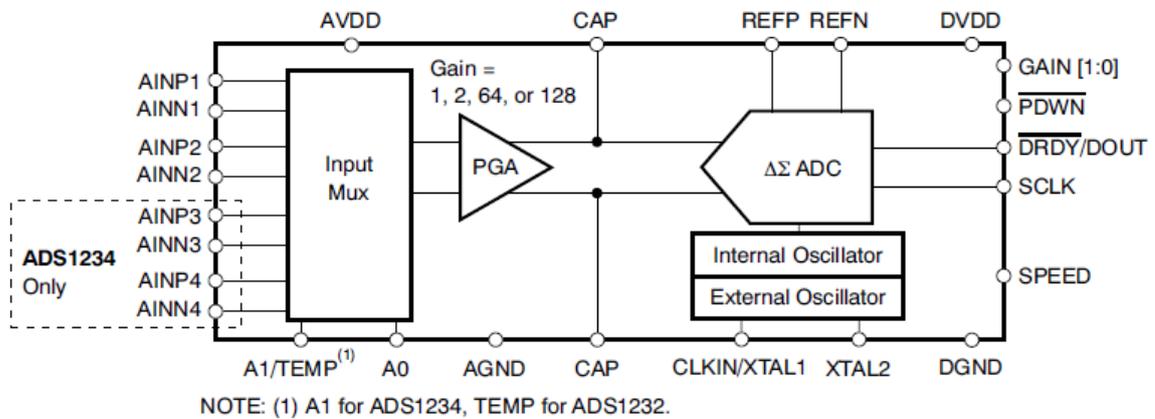


Figura 2.35 Arquitectura Interna ADS1232 [54].

*Capítulo 2. Diseño de un controlador lógico programable para la dosificación de mineral y petróleo.*

Ideal para medir señales muy bajas producidas por sensores de puente en aplicaciones como básculas, galgas extensométricas y sensores de presión.

El multiplexor de entrada acepta dos entradas diferenciales, también incluye un sensor de temperatura interno para monitorear la temperatura ambiente. El reloj puede ser suministrado por un oscilador externo, un cristal externo, o por un oscilador interno de precisión. Los datos se pueden emitir a 10SPS para un excelente rechazo de 50Hz y 60Hz, o a 80SPS cuando se necesitan velocidades más altas. Los ADS1232 son fáciles de configurar y todo el control digital se logra a través de entradas digitales en pines dedicados; no hay registros digitales para programar lo que simplifica el desarrollo de software. Los datos se envían fácilmente a través de una interfaz serie aislada que se conecta directamente al MSP430 (familia de microcontroladores fabricados por Texas Instruments) o a otros microcontroladores.

El PGA tiene una ganancia seleccionable de 1, 2, 64 o 128 que admite una entrada diferencial de escala completa de  $\pm 2.5V$ ,  $\pm 1.25V$ ,  $\pm 39mV$  o  $\pm 19.5mV$ . Se puede operar en bajo consumo en el modo de espera o apagarse por completo en el modo de apagado.

El ADS1232 está disponible en un paquete TSSOP-24 y está completamente especificado desde -40 a +105 grados.

Observando la **Figura 2.34**, se perciben las entradas digitales TEMP, GAIN0, GAIN1 y XTAL1 conectadas a AGND ("0" lógico), lo que significa que el convertor desestimaré el sensor de temperatura, trabajará con ganancia unitaria (**Tabla 2.6**) y utilizará para su operación el oscilador de precisión interno.

*Tabla 2.6. Configuración de ganancia ADS1232.*

<b>GAIN0</b>	<b>GAIN1</b>	<b>Ganancia</b>
0	0	1
0	1	2
1	0	64
1	1	128

Por otro lado, las señales AD\_SPEED y AD\_CHANNEL se utilizan para controlar la velocidad de conversión (**Tabla 2.7**) y el canal a medir respectivamente y son manejadas dinámicamente desde la aplicación.

*Capítulo 2. Diseño de un controlador lógico programable para la dosificación de mineral y petróleo.*

Tabla 2.7. Configuración de velocidad de conversión ADS1232.

SPEED	Velocidad
0	10 SPS
1	80 SPS

Las señales AD\_DOUT y AD\_SCLK son las señales utilizadas para la comunicación serie y extracción del valor de conversión.

En el esquema de las entradas analógicas aparece la fuente de alimentación de las celdas extensiométricas, +12Vf, mediante el amplificador operacional U11A (MC33072DG), utilizando el LM4040AIM3-2.5 [55] como referencia de tensión de precisión. Dicha fuente es regulada tomando como entrada los +14f proveniente de un regulador que analizaremos más adelante en la sección de la fuente de alimentación. Para aprovechar la posibilidad del conversor de realizar una medición proporcional (ratiometric) y utilizar el máximo de resolución del conversor mejorando la precisión de la medición, la referencia del ADS1232 se toma de la alimentación de las celdas para los cual los amplificadores U8A y U8B son utilizados en una configuración de buffer de ganancia unitaria. La señal REFP proveniente del extremo positivo de la fuente de alimentación pasa por el divisor de tensión formado por las resistencias R8 y R9, utilizando la expresión de la **Ecuación 2.3**, se puede calcular el valor de referencia de entrada al conversor:

$$V_{3+} = REFP * \left( \frac{R_9}{R_9 + R_8} \right) \quad (2.3)$$

Donde:

$V_{3+}$ : Tensión en el pin 3 de U8A, entrada positiva.

REFP: Tensión en el extremo positivo de la fuente de alimentación, 12V.<sup>1</sup>

R<sub>8</sub>: 3400 Ω.

R<sub>9</sub>: 2430 Ω.

---

<sup>1</sup> Tensión teórica, sin atenuaciones en las líneas.

*Capítulo 2. Diseño de un controlador lógico programable para la dosificación de mineral y petróleo.*

Evaluando se obtiene  $V_{3+} = 5.00 \text{ V}$ ; por tanto, a la salida del amplificador seguidor o de ganancia unitaria U8A existirá este mismo valor y aparece en la entrada identificada como REFP del ADS1232.

El valor de REFN, es el correspondiente al extremo negativo de la fuente, proveniente de la alimentación de las celdas extensiométricas, cuyo valor es  $0 \text{ V}$ , dicho valor igualmente pasa a través del amplificador operacional U8B, utilizado también como seguidor o ganancia unitaria, por lo que en la entrada REFN del ADS1232 aparecerá  $0 \text{ V}$ . La referencia de voltaje utilizada por el modulador se genera a partir de la diferencia de tensión entre REFP y REFN:  $V_{REF} = REFP - REFN = 5 \text{ V}$ .

El ADS1232 genera 24 bits de datos en formato de complemento binario a dos. La entrada de escala completa positiva produce un código de salida de 7FFFFFFh y la entrada de escala completa negativa produce un código de salida de 800000h. La **Tabla 2.7** resume los códigos de salida ideales para diferentes señales de entrada.

*Tabla 2.8. Código de salida vs señal de entrada.*

Señal de Entrada $V_{in}$ (AINP-AINN)	Código de Salida Ideal
$\geq +0.5V_{REF}/Gain$	7FFFFFFh
$(+0.5V_{REF}/Gain)/(2^{23} - 1)$	000001h
0	0
$(-0.5V_{REF}/Gain)/(2^{23} - 1)$	FFFFFFh
$\leq -0.5V_{REF}/Gain$	800000h

Como ya se había caracterizado, el convertor analógico/digital trabajará con ganancia unitaria ( $GAIN=1$ ) y señales unipolares pues ambas entradas negativas AIN1N y AIN2N se conectaron a AGND. Evaluando la primera fila de la tabla anterior, con los valores de GAIN y  $V_{REF}$ , obtenemos que el valor para el máximo código digital 7FFFFFFh es  $+2.5 \text{ V}$ , máximo valor de entrada de nuestro convertor.

El acondicionamiento respecto a la amplitud de la señal será acometido por los amplificadores de instrumentación U6 y U9, ambos INA118U [56], del fabricante Burr-Brown Corporation.

El INA118 es un amplificador de instrumentación de uso general de baja potencia que ofrece una excelente precisión. Su diseño versátil de 3 amplificadores operacionales

*Capítulo 2. Diseño de un controlador lógico programable para la dosificación de mineral y petróleo.*

(Figura 2.36) y pequeño tamaño lo hacen ideal para una amplia gama de aplicaciones tales como amplificadores de puente, termopar y RTD, instrumentación médica, adquisición de datos, etc.

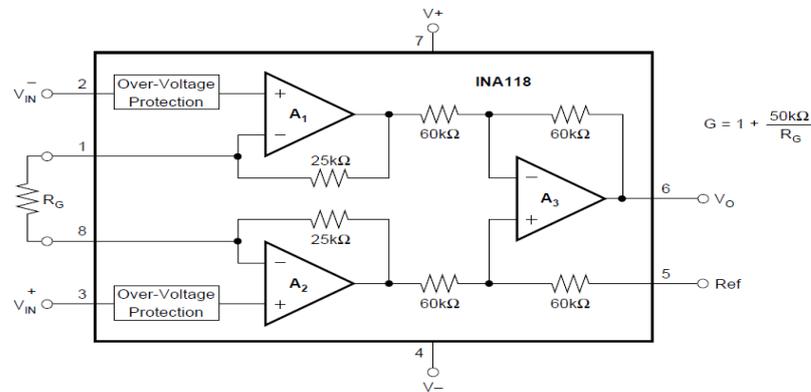


Figura 2.36 Arquitectura Interna INA118 [56].

El INA118 es cortado con láser para un voltaje de offset muy bajo (50 mV), deriva (0,5 mV / °C) y alto rechazo en modo común (110dB en  $G = 1000$ ). Opera con fuentes de suministros tan bajas como  $\pm 1,35$  V y la corriente de reposo es sólo 350  $\mu$ A, ideal para sistemas que funcionan con baterías. La protección de entrada interna puede soportar sin afectarse hasta  $\pm 40$  V. Una única resistencia externa es capaz de establecer cualquier ganancia de 1 a 10000, ver resistencias  $R_5$  y  $R_{12}$  del esquema de la **Figura 2.34**.

Esta característica de offset muy bajo resulta interesante pues la mayoría de las aplicaciones no requieren ajuste externo para su corrección. El voltaje aplicado al terminal Ref, ver **Figura 2.36**, es sumado en la salida. El búfer del amplificador operacional proporciona impedancia en el terminal Ref para preservar un buen rechazo a modo común. Precisamente esto se aprovecha para aplicar una tensión negativa de hasta -2.5 V, que se utilizó en la aplicación de petróleo para restar valores de tara ya conocidos del embudo utilizado como depósito del mineral durante el proceso de pesaje.

Para este propósito de restar tara por los terminales REF, se utilizó el amplificador U11B en una configuración de seguidor de tensión para tomar la referencia D5, de 2.5 V, y suministrarla a los amplificadores U7 y U10, utilizados como amplificadores

*Capítulo 2. Diseño de un controlador lógico programable para la dosificación de mineral y petróleo.*

inversores con ganancia -1, para a través de las resistencias variables R11 y R15 ajustar entre 0 y -2.5 V.

La ganancia de los amplificadores de instrumentación está dada por la **Ecuación 2.4**:

$$G = 1 + \frac{50k\Omega}{R_G} \quad (2.4)$$

Donde:

G: Ganancia del amplificador de instrumentación.

R<sub>G</sub>: Resistencia de ganancia, R<sub>G</sub>=R5=R12=100 Ω.

Evaluando R<sub>G</sub> obtenemos G = 501, con ese valor de resistencias de ganancia y la posibilidad de restar 2.5 V, a la salida de los amplificadores pueden aparecer hasta 5 V, por lo que dividiendo por 501 obtenemos un valor de 9.98 mV, aproximadamente 10 mV, el cual constituye el máximo valor de las entradas de bajo nivel del módulo de peso.

Los amplificadores U7, U8 y U10 pertenecen a una familia de amplificadores OPx177[57] los cuales constan de amplificadores simples, duales y cuádruples de muy alta precisión, presentan una desviación y voltaje de compensación extremadamente bajos, baja corriente de polarización de entrada, bajo ruido y consumo de energía. Las salidas son estables con cargas capacitivas de más de 1000 pF sin compensación externa. La corriente de suministro es inferior a 500 μA por amplificador a 30 V. Los resistores internos de 500 Ω en serie protegen las entradas, lo que permite niveles de señal de entrada de varios voltios más allá de cualquier suministro sin inversión de fase.

Fueron escogidos para el diseño tomando en cuenta que entre sus aplicaciones adicionales incluyen instrumentación, controles portátiles, alimentados por línea (termopar, RTD, puente de tensión y otros acondicionadores de señales de sensores) y filtros de precisión, justo a la medida para los objetivos propuestos.

## Capítulo 2. Diseño de un controlador lógico programable para la dosificación de mineral y petróleo.

### 2.2.2.3.2. Fuente de Alimentación.

La siguiente **Figura 2.37** muestra el esquema electrónico de la fuente de alimentación del módulo especial de peso.

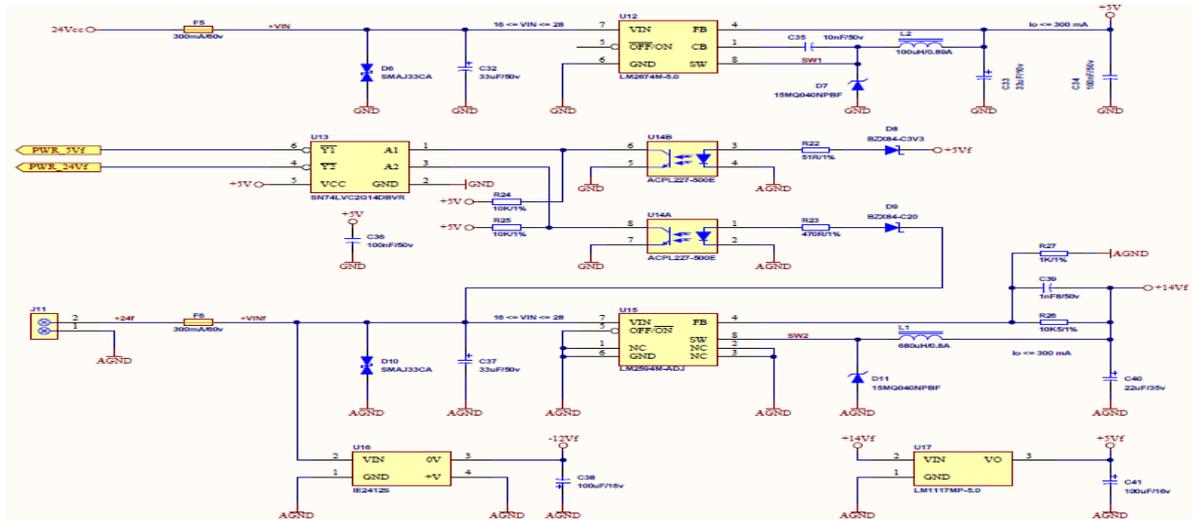


Figura 2.37 Esquema electrónico de la fuente del módulo especial de peso.

Como elemento distintivo de la fuente de este módulo lo constituye el circuito integrado U15, el LM2594M-ADJ[58], del antiguo fabricante National Semiconductor.

La serie de reguladores LM2594 / LM2594HV son circuitos integrados monolíticos que proporcionan todas las funciones activas para un regulador de conmutación reductor, capaz de manejar una carga de 0.5A con excelente regulación de línea y carga. Estos dispositivos están disponibles en voltajes de salida fijos de 3.3V, 5V, 12V y una versión de salida ajustable. Al requerir un número mínimo de componentes externos, estos reguladores son fáciles de usar y cuentan con frecuencia interna de compensación, un oscilador de frecuencia fija y mejoradas especificaciones de regulación de línea y carga. Operan a una frecuencia de conmutación de 150 kHz, lo que permite componentes de filtro de menor tamaño de lo que se necesitaría con una frecuencia más baja de estos reguladores. Debido a su alta eficiencia, las huellas de cobre en la placa de circuito impreso son normalmente las únicas que necesita como disipador de calor.

Como se explicó con anterioridad, en este módulo se utilizó la variante ajustable de la serie LM2594 / LM2594HV, el LM2594M-ADJ, generando un nivel ajustado de +14Vf,

*Capítulo 2. Diseño de un controlador lógico programable para la dosificación de mineral y petróleo.*

a partir del cual se regulan los +12Vf hacia las celdas extensiométricas y los amplificadores de instrumentación ya analizados anteriormente además de los +5Vf de la lógica de control del ADC y el dispositivo de control RS485 del lado del bus. Los +14Vf se obtienen seleccionando los valores de dos resistencias según la **Ecuación 2.5** de acuerdo con la bibliografía del fabricante:

$$V_{out} = V_{ref} * \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \quad (2.5)$$

Donde:

$$V_{ref} = 1.23 \text{ V.}$$

$$R_2 = R26 = 10.5 \text{ k}\Omega \text{ 1\%}.$$

$$R_1 = R27 = 1 \text{ k}\Omega \text{ 1\% (valor y tolerancia sugeridos por el fabricante).}$$

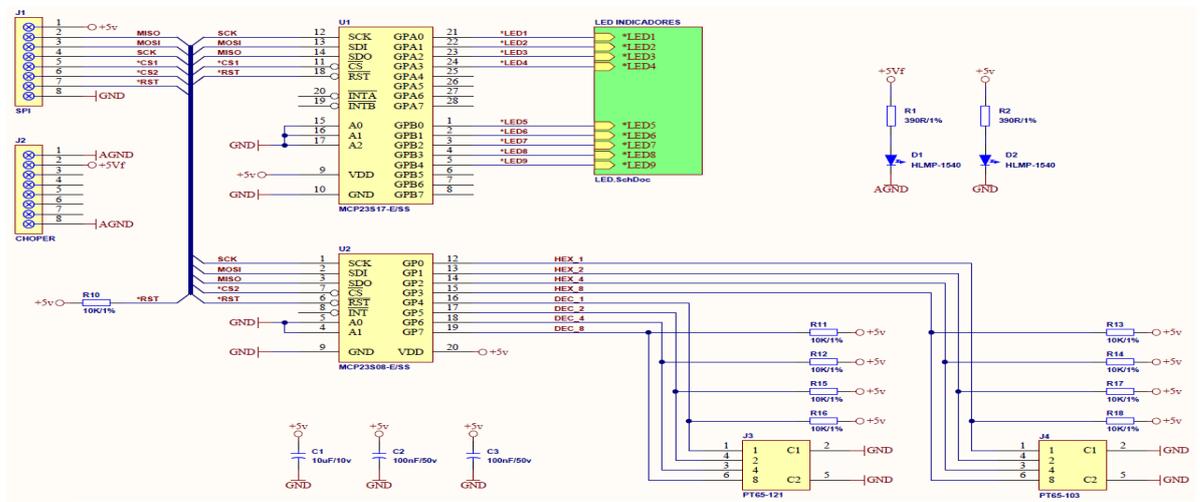
Al evaluar la **ecuación 2.5** se obtiene  $V_{out} = 14.145 \text{ V} \approx 14 \text{ V}$ .

En la **Figura 2.37** se aprecia otro de los dispositivos, el IE2412S[59], convertidor DC-DC encargado de suministrar la tensión estabilizada de -12Vf, para la alimentación de los amplificadores de instrumentación y operacionales ya analizados en este módulo, es capaz de alimentarse de 24 VDC  $\pm 10\%$  y suministrar 12 V  $\pm 5\%$  con una carga de hasta 84 mA y una eficiencia del 78%, protegido contra cortocircuitos, aislamiento galvánico de 1000 VDC y frecuencia de operación típica de 80kHz.

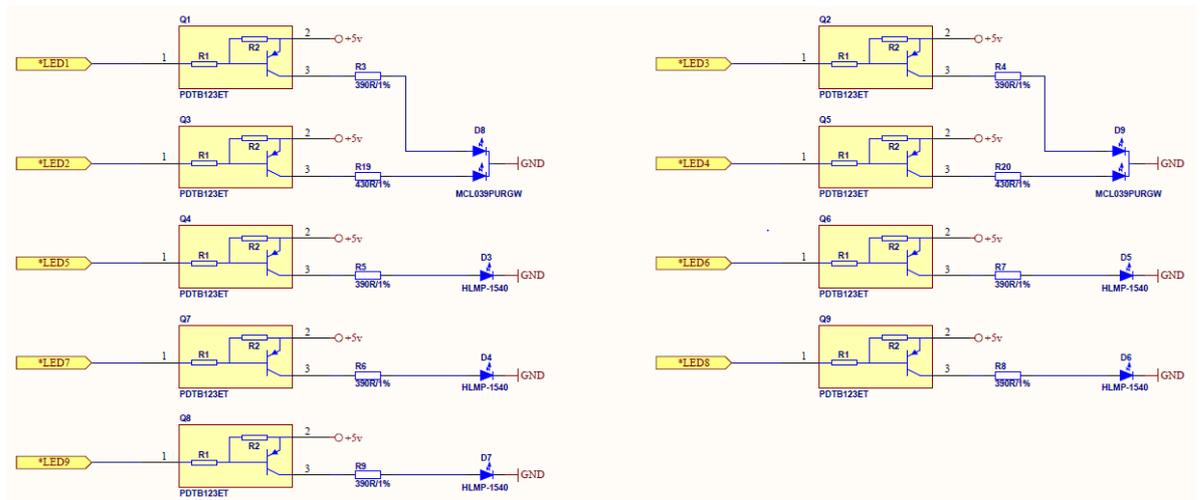
## Capítulo 2. Diseño de un controlador lógico programable para la dosificación de mineral y petróleo.

### 2.2.2.3.3. Indicadores visuales LEDS e interruptores rotatorios.

La unidad especial de peso cuenta con 9 LED, ver **Figuras 2.38** y **2.39**, de ellos 2 para indicar el estado de las fuentes de 5V, la lógica (+5v) y la desacoplada (+5vf), los 7 restantes son de propósito general (5 sencillos y 2 multicolor (D8 y D9)). Los multicolores son utilizados uno para indicar el estado general de la unidad de entradas/salidas y el otro el estado del bus CAN. Los 5 leds restantes están totalmente disponibles para la aplicación con lo cual se pueden indicar alarmas, niveles de las señales de peso, estados, etc.



*Figura 2.38 Expansores I/O serie e indicadores LED del módulo especial de peso.*



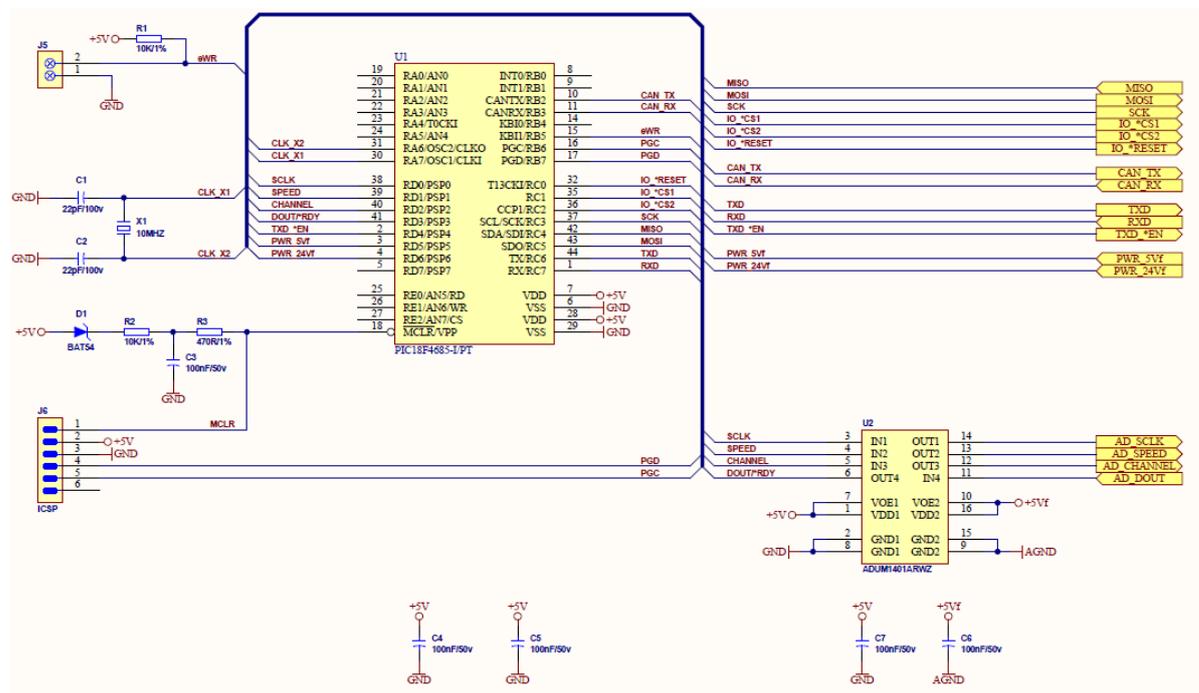
*Figura 2.39 Indicadores LED del módulo especial de peso.*

## *Capítulo 2. Diseño de un controlador lógico programable para la dosificación de mineral y petróleo.*

Al igual que en los análisis anteriores, en la **Figura 2.38** se observan los dispositivos PT65-121 (J3), PT65-103 [41] (J4), MCP23S17-E/SS y MCP23S08-E/SS todos con las mismas funciones ya explicadas, por lo que no amerita entrar en detalles.

### 2.2.2.3.4. Unidad procesadora central.

La **Figura 2.40** muestra el esquema de la unidad procesadora central del módulo especial de peso.



*Figura 2.40 Unidad procesadora central módulo especial de peso.*

Como se observa, lo único distintivo de este esquema respecto a los anteriormente ya analizados, lo constituyen las señales de control SCLK, SPEED, CHANNEL, DOUT/\*RDY y eWR, conectadas al puerto D, desde RD0 hasta RD3. Las funciones de las 4 primeras perfectamente detalladas cuando se expuso el conversor analógico/digital de este módulo, con la diferencia que las separa el aislador digital ADUM1401ARWZ [52], este último también explicado.

Por último, la señal de entrada eWR, conectada al puerto B bit RB5, está destinada a funciones futuras de protección contra escritura, para el caso en que este módulo

*Capítulo 2. Diseño de un controlador lógico programable para la dosificación de mineral y petróleo.*

---

opere como una unidad independiente, por lo que no posee funcionalidad alguna en la aplicación actual de dosificación.

**2.2.2.4. MÓDULO DE VISUALIZACIÓN.**

Partiendo de la imperiosa necesidad de facilitar los procesos de calibraciones (estáticas y dinámicas) por la importancia de estos, así como por la frecuencia con la que se deben realizar y lo engorroso que resulta hacerlo en las condiciones actuales debido a lo distante del panel de operación y los sistemas de pesajes en la planta, dependiendo de sistemas de comunicaciones como radios, teléfonos fijos y móviles, etc, surge la necesidad de un dispositivo que permitiera eliminar todos los inconvenientes anteriores y realizar directamente estas tareas en las tolvas de pesaje, de forma local.

Para ello fue diseñado el módulo de visualización denominado **IOLCDv1**, ver **anexo 18**, conocido como visualización pues fue la función inicial para lo que fue diseñado, pero consta con similares interfaces de operación que la Unidad Procesadora Central del EROSPLC-D, display LCD, buzzer y un teclado que le permitirán a operadores, especialistas de metrología, personal de instrumentación o autorizados a disponer de forma local de todo el control necesario para realizar cualquier ajuste sobre el sistema de dosificación, previa autorización remota del operador del panel de control central, funciones últimas estas muy novedosas para estos sistemas de dosificación.

Además consta de las mismas prestaciones de los buses RS485 y CAN, por lo que no se abundará en estos.

2.2.2.4.1. Interfaces de operación.

La siguiente **Figura 2.41** muestra las interfaces de operación del módulo de visualización:



Figura 2.41 Interfaces del módulo de visualización para la operación local.

Similares interfaces a las de la CPU del EROSPLC-D, pero adecuadas a las características de menor tamaño requeridas por este módulo, excepto el zumbador que es idéntico en ambos equipos.

La siguiente **Figura 2.42** muestra el esquema electrónico donde podemos apreciar la utilización de las interfaces de operación mostradas en la figura anterior.

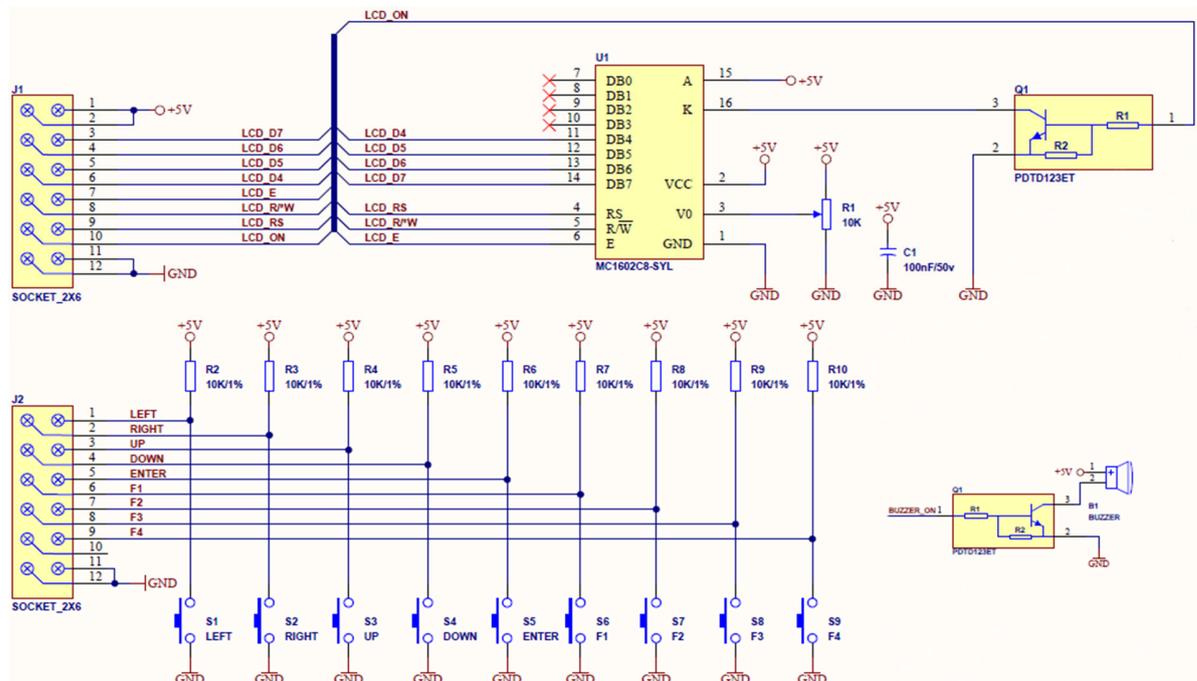


Figura 2.42 Interfaces de operación módulo de visualización.

## *Capítulo 2. Diseño de un controlador lógico programable para la dosificación de mineral y petróleo.*

El MC1602C8-SYL[60] es un LCD de tipo transreflectivo del fabricante EVERBOUQUET INTERNATIONAL CO., LTD., de Taiwan. Posee 32 caracteres de 2.96 x 4.86 mm distribuidos en dos líneas de 16 cada una y una resolución de 5x7 puntos. Dotado de una lámpara de iluminación de fondo de tecnología LED, color verde-amarillo, la cual es controlada por la aplicación y permite observarlo en la planta aún en condiciones de baja iluminación. El control de la iluminación desde la aplicación mediante la señal LCD\_ON, extiende la vida útil del LCD y disminuye el consumo innecesario de energía de la fuente a través del BUS CAN, pues solo se ilumina cuando es detectada la operación mediante cualquiera de las teclas, momento en el cual es habilitado y desactivado automáticamente al cabo de un tiempo prudencial si no existe actividad alguna.

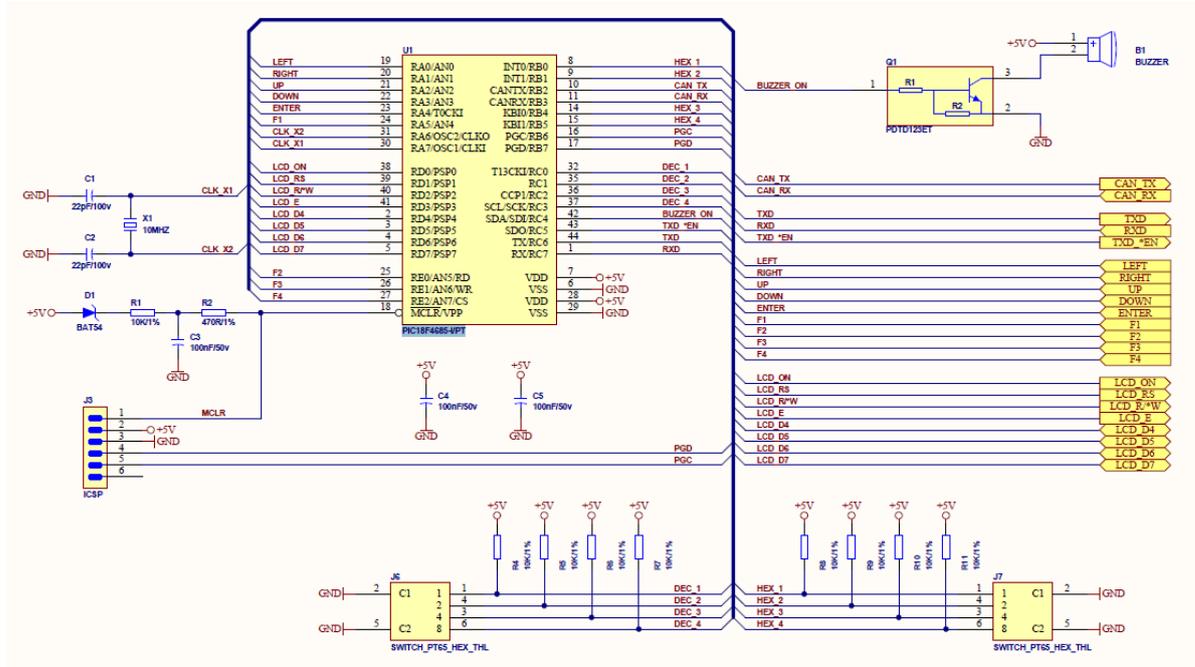
Tanto el buzzer, ya analizado con anterioridad, como el control de la iluminación del LCD son manejados mediante transistores equipados con resistores para aplicaciones digitales PDTD123ET[34], también detallados en la explicación de módulos anteriores. Los interruptores utilizados como teclas para la introducción de datos y el control local pertenecen a la serie TL1105[61], del fabricante E-Switch, Inc. Los mismos son fabricados con tecnología de contacto de domo confiable, fuerte realimentación táctil audible, expectativa de vida de más de 100 000 ciclos, contactos de plata de muy baja resistencia (máximo 100mΩ), amplio rango de temperatura de operación (-20 a 70 °C) y de aplicaciones sugeridas por el fabricante entre las que encontramos telecomunicaciones, electrónica de consumo, audiovisuales, dispositivos médicos, pruebas / instrumentación, periféricos de la computadora, etc.

### **2.2.2.4.2. Unidad procesadora central.**

La unidad procesadora central del módulo visualizador **IOLCDv1**, difiere del resto de los módulos por la menor cantidad de señales de entrada/salida, por lo que fue suficiente para el diseño con el amplio repertorio de bits disponibles del procesador PIC18F4685-I/PT[29].

*Capítulo 2. Diseño de un controlador lógico programable para la dosificación de mineral y petróleo.*

La **Figura 2.43** muestra el esquema electrónico de dicha unidad, donde podemos apreciar la utilización de prácticamente todos sus pines.



*Figura 2.43 Unidad procesadora central IOLCDv1.*

Como se aprecia en la figura, las 8 líneas del puerto D, RD0 hasta RD7, son utilizados para el manejo de las señales de datos y control del LCD. Las teclas son leídas, 6 mediante los bits del puerto A, RA0 hasta RA5, los 3 restantes mediante los bits del puerto E disponibles en este procesador, RE0 hasta RE2.

Para suplir los expansores de bus utilizados en los módulos ya analizados y a modo de simplificar y economizar el diseño, para la lectura de los interruptores rotatorios se utilizaron directamente los bits de puertos C, desde RC0 hasta RC3 y los bits del puerto B, RB0, RB1, RB4 y RB5, esto último pues los bits RB2 y RB3 son los dedicados específicamente por el procesador para el bus CAN.

Otra nota distintiva en cuanto a señal lo constituye el control de la iluminación del LCD, lo cual se realiza mediante el bit 4 del puerto C, RC4.

El resto de las señales, como es de suponer para la reutilización de la mayor cantidad de código posible, se mantienen idénticas a la de los módulos anteriores.

---

### **2.3. VALORACIÓN O CORROBORACIÓN DE LOS RESULTADOS ALCANZADOS.**

Luego de la acertada decisión de desarrollar un producto nacional, el principal reto lo constituyó sin dudas la fabricación del mismo, pues la inexplicable decisión de desmantelar una planta de circuitos impresos existente en el país con muy buenas prestaciones, los largos y burocráticos mecanismos de importación, la no existencia de ferreterías en el país para desarrollos de equipos, etc., atentaron contra el éxito del proyecto después de largos meses de investigaciones y diseños electrónicos.

Para solucionarlos, se aprobó realizar una misión a la República Popular China e identificar las fábricas que podían realizar con mejores condiciones técnicas y comerciales la fabricación de las tarjetas electrónicas. Esa misión fue realizada con éxito y de dichas fábricas se identificaron 6 que cumplían nuestras exigencias; 5 participaron en la licitación efectuada por la empresa comercializadora de nuestro grupo empresarial CEXNI y se firmó Contrato con la Empresa HITEG a través de CPTDC como Trading, que ofrecía plazos de pago muy favorables.

Las condiciones y el apoyo brindado por las Empresas Chinas, tanto CPTDC como Trading y el fabricante de las tarjetas electrónicas HITEG, a pesar de tantas otras dificultades e incomprensiones administrativas por parte de la dirección del grupo empresarial se aprobó una misión de trabajo que permitió cumplir la tarea y realizar las pruebas de aceptación en fábrica (FAT), ver **anexo 19**, resultando un éxito las pruebas realizadas al 10 % de la fabricación, dando por aceptado todo el lote, como lo corroboran los **anexos** del **20** al **24**.

El ensamblaje y puesta en marcha de todos los equipos se acometió en el área de fabricación de la división de automatización de SerCoNi, ver **anexo 25**.

Software comisionamiento, firmware.

Por último, el grupo de ingeniería programó una aplicación utilizando la herramienta ISAGRAF, cuyo proyecto responde al nombre ECGDTB, que permitió simular y poner a punto todo el sistema de control de dosificación de mineral y petróleo, ver **anexo 26**.

A finales del año 2016 se montaron los prototipos de los nuevos controladores en los 8 hornos de la losa 3 de la PHR de la ECG ver **anexo 27**, desempeñándose hasta la actualidad con excelentes resultados, ver **anexo 28**.

---

**2.3.1. ANÁLISIS VALORATIVO DE LOS ASPECTOS ECONÓMICOS Y MEDIOAMBIENTALES.**

El desarrollo de tecnologías nacionales, ha sido un gran reto para los técnicos en nuestro país, a pesar de las políticas establecidas por parte del estado, la mentalidad importadora tanto de directivos como ingenieros ha ido calando la generalidad de nuestras industrias.

A pesar que la satisfacción y realización profesional ha sido un móvil de nuestra división de automatización desde su fundación, es indudable los beneficios económicos y medioambientales que aporta la realización de proyectos de este tipo con tecnología nacional.

Desde el punto de vista económico, los controladores electrónicos para la inversión de la tercera losa de la planta de hornos de reducción de la PHR de la ECG, se fabricaron bajo condiciones anormales, pues la afectación ante el cambio inesperado de la fábrica y el tiempo del cual se disponía imposibilitó la sustitución de componentes adecuados a las nuevas condiciones del mercado Chino, incrementando el costo a un valor de unos 5400 USD para los 8 primeros hornos, como observamos en el ítem 1 del **anexo 29**.

Solucionado lo anterior se estima para el resto de los 16 hornos un costo por horno de unos 586 USD, ver ítem 2 del **anexo 29**, lo que nos daría un promedio de 2190 USD por horno para toda la inversión.

En el **anexo 29** observamos en los ítem 3 y 4 dos tecnologías similares utilizables para la ejecución de este proyecto, como se puede apreciar la compra de tecnología foránea en este trabajo hubiera arrojado mayores gastos económicos que la desarrollada nacionalmente, si se hubiera escogido el esquema que habíamos expuesto en el **anexo 4a** con tecnología SIEMENS mayoritariamente, solo por concepto del sistema de control hubiera incurrido el país en la erogación de aproximadamente 1004.24 USD por encima en cada horno, unos 24,101.76 USD total. Utilizando tecnología MITSUBISHI como la del **anexo 4b** aproximadamente importaría unos 1617.42 USD por encima en cada horno, unos 38,818.08 USD total.

## *Capítulo 2. Diseño de un controlador lógico programable para la dosificación de mineral y petróleo.*

---

Todo lo anterior, repetimos, solo por concepto de controladores, hay otros gastos aparejados como la asistencia extranjera, modificaciones estructurales, cableado, etc, que incrementarían los costos.

Desde el punto de vista ambiental, el sistema de dosificación es amigable con el entorno, pues detecta varios tipos de averías, alteraciones dinámicas del proceso y otras operaciones que atentan contra el medio ambiente en la cual el nuevo sistema interviene para disminuir apreciablemente las afectaciones al mismo.

Entre las averías podemos encontrar problemas con las compuertas de carga y de descarga, salideros, poca hermeticidad, todos ellos afectan la operación del horno y aumentan las emisiones de polvo al medio ambiente. El sistema de dosificación es capaz de detectarlas y emitir alarmas al operador de forma inmediata.

Otro de los problemas que afecta grandemente son los cambios dinámicos en la granulometría del mineral, sobre todo por la circulación de mineral proveniente de los electrofiltros, esto provoca que el mineral sea incontenible en la tolva, emitiendo gran cantidad al medio y hacia el interior del horno, generando grandes alteraciones en la operación, prácticamente circula libre y es capaz de salir por cuanto orificio encuentre a su paso si no se dosifica con precaución.

Las calibraciones dinámicas vienen aparejadas con una emisión inevitable de polvo al medio ambiente, pues el mineral es de unas características de granulometría muy baja, es prácticamente líquido, por lo que es imposible evitar que la turbulencia generada al descargarlo para el depósito utilizado para comprobar el peso, genere gran cantidad de polvo al medio ambiente. Todo esto queda solucionado con el nuevo sistema de dosificación y su segundo canal de bajo nivel para realizar la calibración automática en el nuevo embudo estanco destinado para este propósito.

La posibilidad de controlar la adición de petróleo aditivo en esta planta, evita derrames innecesarios de petróleo en las correas de secadero pues las mismas son sistemas abiertos, provocando alta incidencia y contaminación en esa planta.

## **CONCLUSIONES**

Entre nuestros profesionales muchas veces existe el criterio de que los equipos extranjeros son mucho más duraderos, más flexibles, de mucha mejor tecnología, quizás en lo último exista alguna razón, lo cierto es que mientras más demoremos en despegar y buscar soberanía tecnológica, más se irá abriendo la brecha entre la tecnología foránea y la nacional, a pesar del gran capital humano que anualmente gradúan nuestras universidades.

Este caso de la utilización de los sistemas de dosificación de mineral en forma de lotes con tecnología nacional es tradicional en la industria del níquel y por muchos años no se ha podido sustituir por otra con mejores resultados, a pesar de las múltiples pruebas realizadas con diversos métodos. El caso del nuevo controlador programable para la dosificación no es la excepción y los resultados obtenidos durante el período de prueba así lo han demostrado.

## **CONCLUSIONES**

---

---

Desde la solicitud por parte de la ECG de la sustitución de los controladores electrónicos de dosificación, la división de automatización de SerCoNi dedicó sus mejores esfuerzos en obtener un producto que cumpliera a cabalidad con los propósitos para lo cual se destinaría y que lo hiciera con nuevos métodos, adecuados a las condiciones de una planta tan amplia.

Para ello se tuvo en cuenta toda la experiencia respecto a las tecnologías ya utilizadas, sus aciertos y desaciertos, tomar las mejores experiencias y combinarlas con las excelentes tecnologías existentes y que a la vez permitiera con una elevada seguridad enfrentar una inversión inevitable con cortos plazos de apertura y ejecución.

Lo anterior permitió seleccionar la tecnología con controladores lógicos programables y periferia distribuida. Para la periferia se debía escoger un bus rápido, sencillo y con un nivel de fiabilidad y tratamiento de errores inmejorables. El bus CAN se llevó las atenciones, porque además de las características anteriores, resulta muy común encontrar microcontroladores muy baratos que poseen hardware implícito que permite operar este bus, por lo que no se necesitaría destinar equipos de comunicaciones especiales para manejarlo.

Además, el corto tiempo como ya habíamos mencionado, nos encaminaría por los senderos de la reutilización de mucho de los desarrollos anteriores, por lo que la elección de los procesadores de ZILOG, serie Z80195, nos ayudaba a mantener la compatibilidad.

Con todas estas características definidas, se diseñó y fabricó un controlador lógico programable para la dosificación de mineral y petróleo, con periferia distribuida, en base a tecnología ZILOG, con microprocesador Z80195, cuya periferia distribuida se comunican con la unidad procesadora central mediante bus y protocolo CAN.

La periferia incluye módulos de entradas/salidas analógicas de alto nivel, entradas/salidas digitales, entradas analógicas de bajo nivel para medir peso y un visualizador que permite realizar operaciones de forma local en el campo.

En muy poco tiempo hubo que fabricar los prototipos y ponerlos en operación en la planta, sin posibilidad de remplazo, por las carencias generadas a raíz de la escalada

en las hostilidades de las administraciones del gobierno norteamericano, lo cual ha impedido la realización de nuevas inversiones.

No obstante, a las dificultades analizadas en todo el trabajo, se logró cumplir con el objetivo de desarrollar un nuevo sistema de control para la dosificación de mineral y petróleo aditivo, donde podemos mencionar como resultados importantes los siguientes:

1. Se acometió una inversión en tiempo y forma, a pesar de que hubo que desarrollar un equipo, que era el corazón de todo este proceso, fabricándolo incluso en el extranjero.
2. La decisión de un proyecto nacional y con similar tecnología a las existentes de equipos precedentes, contribuyó al rápido desarrollo y cumplimiento de los plazos pactados.
3. Los operadores no son los que tributan ni calculan estadísticas, pues el propio controlador se encarga de tan importante tarea, ampliando la cantidad de variables, dichas nuevas variables aportan información importante para la operación más eficiente y estable.
4. Se han logrado implementar algoritmos más precisos con introducción de mejoras correctivas a los procesos.
5. Existe trazabilidad de toda la operación de dosificación, pues permite la comunicación con los SCADA existentes en la planta.
6. Detección y corrección de condiciones dinámicas, como la introducción de mineral proveniente de electrofiltros lo que cambia automáticamente el algoritmo de dosificación para las nuevas condiciones.
7. Mayor estabilidad de la operación de la planta en sentido general debido a la baja incidencia por averías de los controladores.
8. Las calibraciones tanto estáticas como dinámicas se pueden realizar a pie de embudo de pesaje, sin depender de las comunicaciones con el panel central, logrando hacerlo de forma muy rápida, lo cual redundará en menos tiempo perdido por este concepto.
9. Posibilidad de hacer calibraciones dinámicas automáticas, humanizando este proceso pues se realiza sin intervención del hombre, lo que permite aumentar

la frecuencia de estas y detectar problemas asociados al pesaje con mayor rapidez.

10. Las correcciones y nuevas implementaciones en el software se realizan muy fácil, pues se dispone de toda una plataforma para desarrollarlas y simularlas antes de llevarlas al proceso.
11. Permite la dosificación de petróleo, tarea importantísima a acometer en la planta en próximas inversiones, lo cual redundará en mayor eficiencia metalúrgica de toda la industria.

Como dificultades principales este trabajo demostró lo imperioso que resulta para el desarrollo de equipos disponer de ferreterías electrónicas, que permitan realizar pruebas inmediatas y tener acceso a componentes de remplazo ante averías; además, disponer nuevamente de una fábrica o laboratorio de circuitos impresos abierta a todas las empresas que se dediquen a estas investigaciones, permitiendo el acceso a los importantes prototipos y acortar los tiempos de desarrollo.

## **RECOMENDACIONES**

---

---

Realizar las nuevas inversiones en el resto de los 16 hornos con las modificaciones devenidas de la puesta en marcha de los prototipos de los controladores y sustituir dichos prototipos de los primeros 8 hornos, en cuanto las condiciones económicas del país lo permitan.

Continuar este trabajo, como parte de un doctorado, donde queden perfectamente documentados la aplicación junto a los algoritmos de dosificación, corrección, adaptación y detección de averías, así como hacer un estudio cuantitativo de todos los beneficios que sobre la eficiencia de la planta aportan los nuevos controladores.

Proponer la implementación de esta tecnología en industrias como la construcción, el turismo y otras que por las características ya explicadas ameritan su utilización.

---

**BIBLIOGRAFÍA**

---

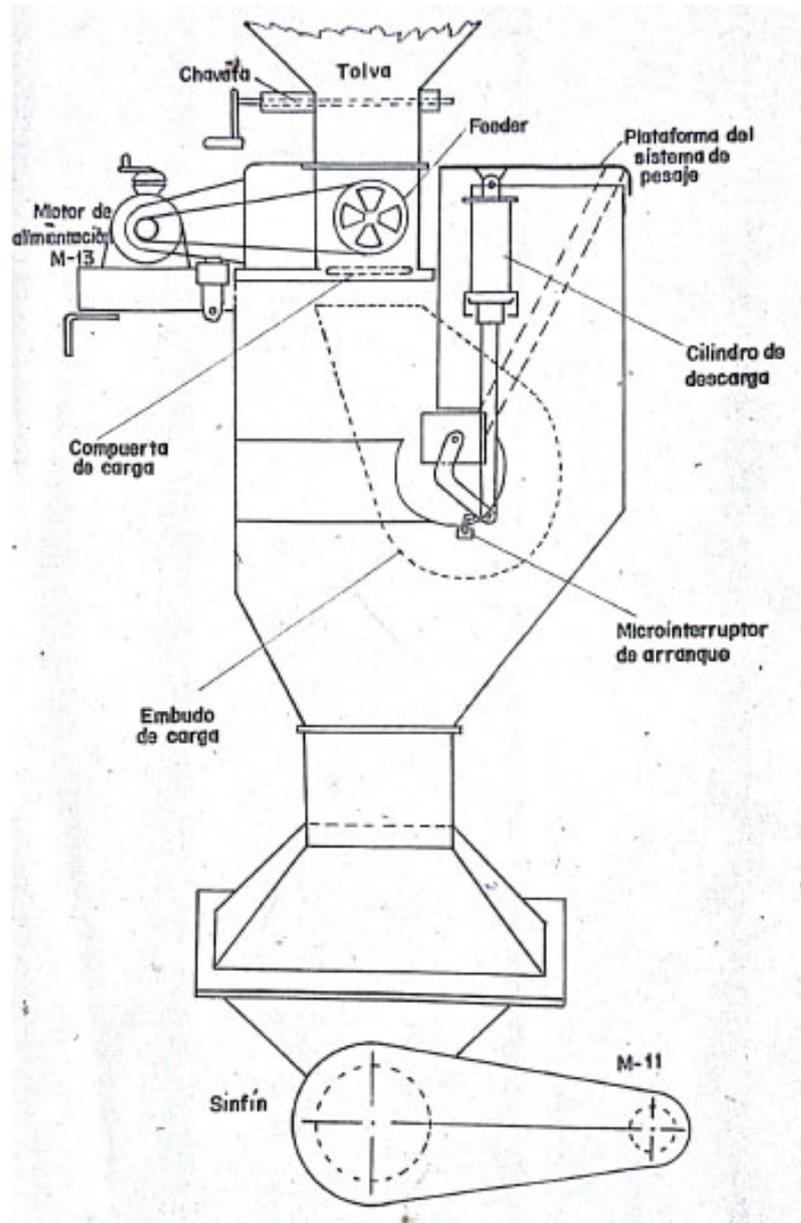
- [1] H. A. Llansana, E. L. Navarro, and I. M. R. Pérez, "Reseña histórica de la sustitución del gas de carbón antracita como reductor por petróleo añadido directamente al mineral," *Tecnología química*, vol. 29, pp. 22-30, 2009.
- [2] L. Vélez Bedoya, "Diseño de la distribución en planta de un sistema automático de dosificación de microingredientes en el proceso de conchado. Compañía Nacional de Chocolates," 2019.
- [3] A. M. Ledesma Hurtado and J. H. Ortega Daza, "Automatización del proceso de dosificación, molienda y gestión de materias primas de alimentos balanceados," Universidad Autónoma de Occidente, 2017.
- [4] *Weighfeeders SITRANS WW100*, 2020.
- [5] *Weighing Electronics Stand-alone electronics Belt scales. Milltronics BW500 and BW500/L*, 2021.
- [6] L. A. Bryan and E. A. Bryan, *Programmable controllers: theory and implementation*. Industrial Text Company, 1997.
- [7] E. R. Alphonsus and M. O. Abdullah, "A review on the applications of programmable logic controllers (PLCs)," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 60, pp. 1185-1205, 2016.
- [8] *Weighing Electronics SIWAREX weighing electronics for SIMATIC Plattform and hopper scales*, 2020.
- [9] S. Electric. *Partner Module Ethernet System Weighing Transmitter - 1 channel PMESWT0100*.
- [10] A. Del Toro Arce and D. López Campistro, "Diseño del Sistema Eléctrico de Pesaje y Mando de Romana Bache.," 1987.
- [11] E. Granado, W. MARÍN, and O. PÉREZ, "Desarrollo de un laboratorio de sistemas y comunicaciones industriales para la mejora del proceso enseñanza/aprendizaje," *Revista de la Facultad de Ingeniería*, vol. 25, no. 1, 2016.
- [12] F. J. Blanco Curieses, "Estudio del bus de comunicaciones CAN," 2018.
- [13] E. Gómez, L. García, and L. Hernández, "Buses de campo. Estrategias de aplicación," in *Ciencias de la Ingeniería y Tecnología Handbook T-IV: Congreso Interdisciplinario de Cuerpos Académicos*, 2014: ECORFAN, pp. 291-298.
- [14] R. Zurawski, *Industrial communication technology handbook*. CRC Press, 2014.
- [15] M. Felser and T. Sauter, "The fieldbus war: history or short break between battles?," in *4th IEEE international workshop on factory communication systems*, 2002: IEEE, pp. 73-80.
- [16] M. Felser, "The fieldbus standards: History and structures," *Technology Leadership Day*, 2002.
- [17] G. S. Kumar, "Designing and development of a can bus analyzer for industrial applications using ARM and PIC.," (in English), (*IJCSIT*) *International Journal of Computer Science and Information Technologies.*, vol. 3(2), 2012.
- [18] J. Diaz, E. Rodriguez, L. Hurtado, H. Cacique, N. Vazquez, and A. Ramirez, "CAN bus embedded system for lighting network applications," in *2008 51st Midwest Symposium on Circuits and Systems*, 2008: IEEE, pp. 531-534.

- 
- [19] S. C. HPL, "Introduction to the controller area network (CAN)," *Application Report SLOA101*, pp. 1-17, 2002.
- [20] P. Roos–ESTEC and L. Stagnaro–ESTEC, "CAN Bus as a Spacecraft Onboard Bus."
- [21] G. Eros, "CONTROL DE PESAJE EN LA PLANTA DE HORNOS DE REDUCCIÓN DE LA ECG CON EL SISTEMA DE PESAJE DISTRIBUIDO EROS\_SPD. Manual de Usuario," 2017.
- [22] Z. Inc., "Z80185/Z80195 SMART PERIPHERAL CONTROLLERS," (in English), p. 95, 27 nov. 2009 2009. [Online]. Available: [www.zilog.com](http://www.zilog.com).
- [23] M. I. P. Inc, "DS1210 Nonvolatile Controller Chip," (in English), 2012. [Online]. Available: <http://www.maxim-ic.com>.
- [24] I. Maxim Integrated Products, "DS1302 Trickle-Charge Timekeeping Chip," 2015. [Online]. Available: <http://www.maxim-ic.com>.
- [25] I. Maxim Integrated Products, "DS1813 5V EconoReset with Pushbutton," 2006. [Online]. Available: <http://www.maxim-ic.com>.
- [26] I. Analog Devices, *Half-Duplex, iCoupler Isolated RS-485 Transceiver ADM2483*, 2005. [Online]. Available: [www.analog.com](http://www.analog.com).
- [27] S. Clark, "iCoupler® Isolation in RS-485 Applications," ed: Analog Devices.[Online]. Available: <http://www.analog.com/media/en>, 2004.
- [28] T. I. Inc., "MAX3232E 3-V TO 5.5-V MULTICHANNEL RS-232 LINE DRIVER/RECEIVER WITH  $\pm 15$ -kV IEC ESD PROTECTION," 2008. [Online]. Available: [www.ti.com](http://www.ti.com). SLLS664A–AUGUST 2005.
- [29] M. T. Inc, "PIC18F2682/2685/4682/4685," (in English), 2009.
- [30] M. T. Inc, "MCP2551, High-Speed CAN Transceiver," (in English), 2003.
- [31] L. Shenzhen TOPWAY Technology Co., "LMB162ABC LCD Module. User Manual.," 2007.
- [32] X. Power, "ECL Series," 2020.
- [33] A. Technologies, "ACPL-224 / ACPL-244 AC Input Multi-Channel Half-Pitch Phototransistor Optocoupler," 2008.
- [34] P. Semiconductors, "PDTD123E series," 2005.
- [35] P. Semiconductors, "PDTB123E series," 2005.
- [36] A. Technologies, "ACPL-227 / ACPL-247 DC Input Multi-Channel Half-Pitch Phototransistor Optocoupler," 2008.
- [37] N. S. Corporation, "LM2674 SIMPLE SWITCHER® Power Converter High Efficiency 500 mA Step-Down Voltage Regulator," 2005.
- [38] I. Littelfuse, "TVS Diodes Surface Mount – 400W > SMAJ series " 2020.
- [39] N. S. Corporation, "LM78LXX Series 3-Terminal Positive Regulators," 2006.
- [40] N. B.V., "BZX84 series Voltage regulator diodes," 2014.
- [41] APEM, "PT65 SERIES ROTARY DIP SWITCHES."
- [42] M. T. Inc., "MCP23017/MCP23S17 16-Bit I/O Expander with Serial Interface," no. DS21952A, p. 48, 2005.
- [43] M. T. Inc, "MCP23008/MCP23S08 8-Bit I/O Expander with Serial Interface," no. DS21919E, p. 44, 2007.
- [44] N. Semiconductors, "BAT54 series, Schottky barrier (double) diodes," 2002.
- [45] O. Semiconductor, "MC34071,2,4,A, MC33071,2,4,A, NCV33074A Single Supply 3.0 V to 44 V Operational Amplifiers," 2006.

- [46] M. T. Inc, "MCP3204/3208 2.7V 4-Channel/8-Channel 12-Bit A/D Converters with SPI™ Serial Interface," 2007.
- [47] M. T. Inc., "MCP4821/MCP4822 12-Bit DACs with Internal VREF and SPI™ Interface," 2005
- [48] O. Semiconductor, "BAV99LT1 Dual Series Switching Diode," 2006.
- [49] Z. Semiconductors, "ZXMP4A16K 40V P-channel enhancement mode MOSFET," 2006.
- [50] N. S. Corporation, "LM1117/LM1117I 800mA Low-Dropout Linear Regulator," 2006.
- [51] A. D. Inc., "Dual-Channel Digital Isolators ADuM1200/ADuM1201," 2009.
- [52] I. Analog Devices, "Quad-Channel Digital Isolators ADuM1400/ADuM1401/ADuM1402," 2008.
- [53] T. I. Incorporated, "SN74LVC1G04 SINGLE INVERTER GATE," 2007.
- [54] T. I. Inc., "ADS1232/ADS1234 24-Bit Analog-to-Digital Converter For Bridge Sensors," 2008.
- [55] N. S. Corporation, "LM4040 Precision Micropower Shunt Voltage Reference," 2005.
- [56] B.-B. Corporation, "INA118 Precision, Low Power INSTRUMENTATION AMPLIFIER," 1998.
- [57] I. Analog Devices, "OP1177/OP2177/OP4177 Precision Low Noise, Low Input Bias Current Operational Amplifiers," (in English), 2009.
- [58] N. S. Corporation, "LM2594/LM2594HV SIMPLE SWITCHER® Power Converter 150 kHz 0.5A Step-Down Voltage Regulator," 1999.
- [59] X. Power, "DC-DC 1 Watt IE Series," 2005.
- [60] L. EVERBOUQUET INTERNATIONAL CO., "MC1602C8-SYL."
- [61] I. E-Switch, "SERIES TL1105 SWITCHES."

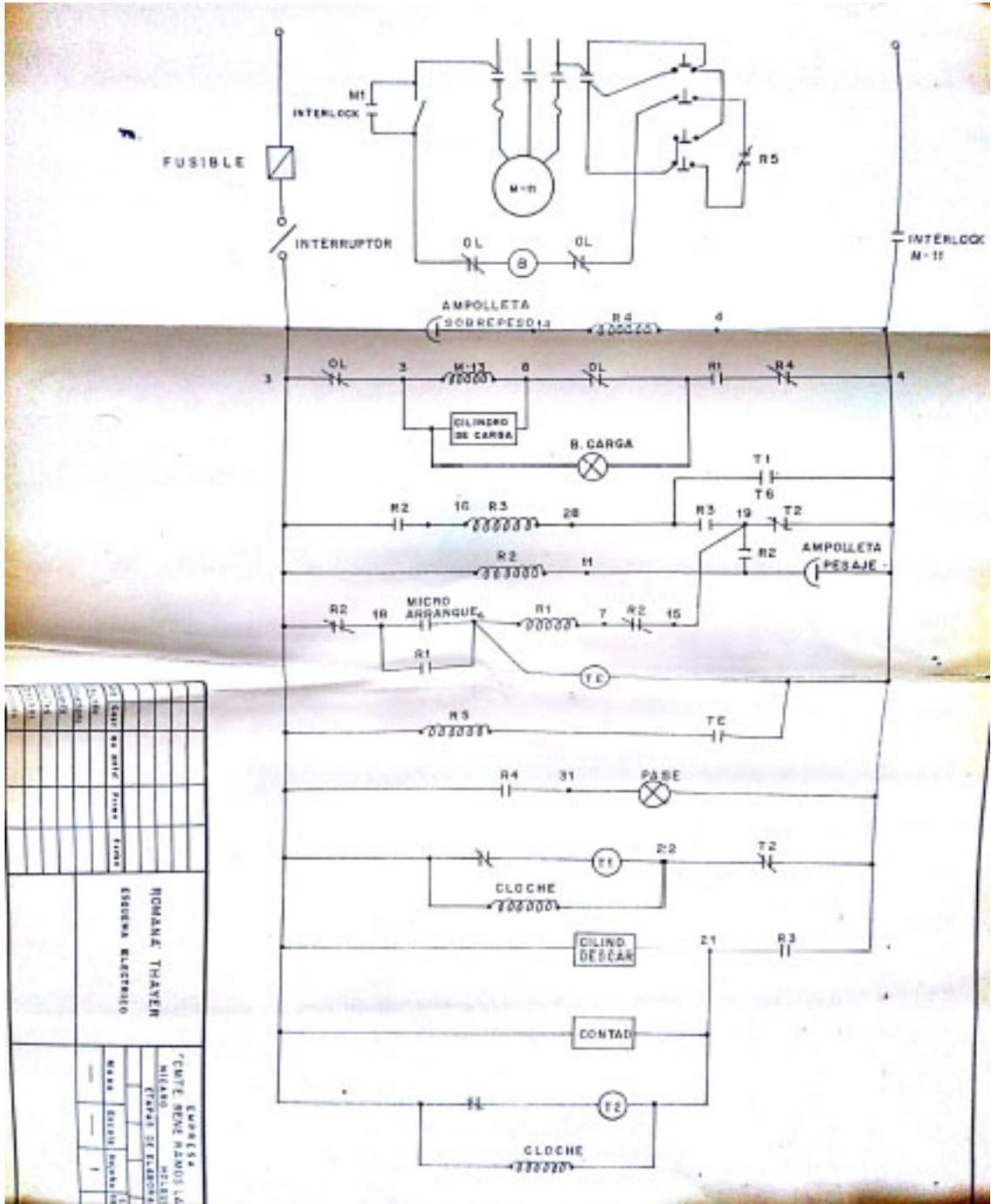
**ANEXOS**

**ANEXO 1 ESQUEMA MECÁNICO DOSIFICADORES THAYER.**



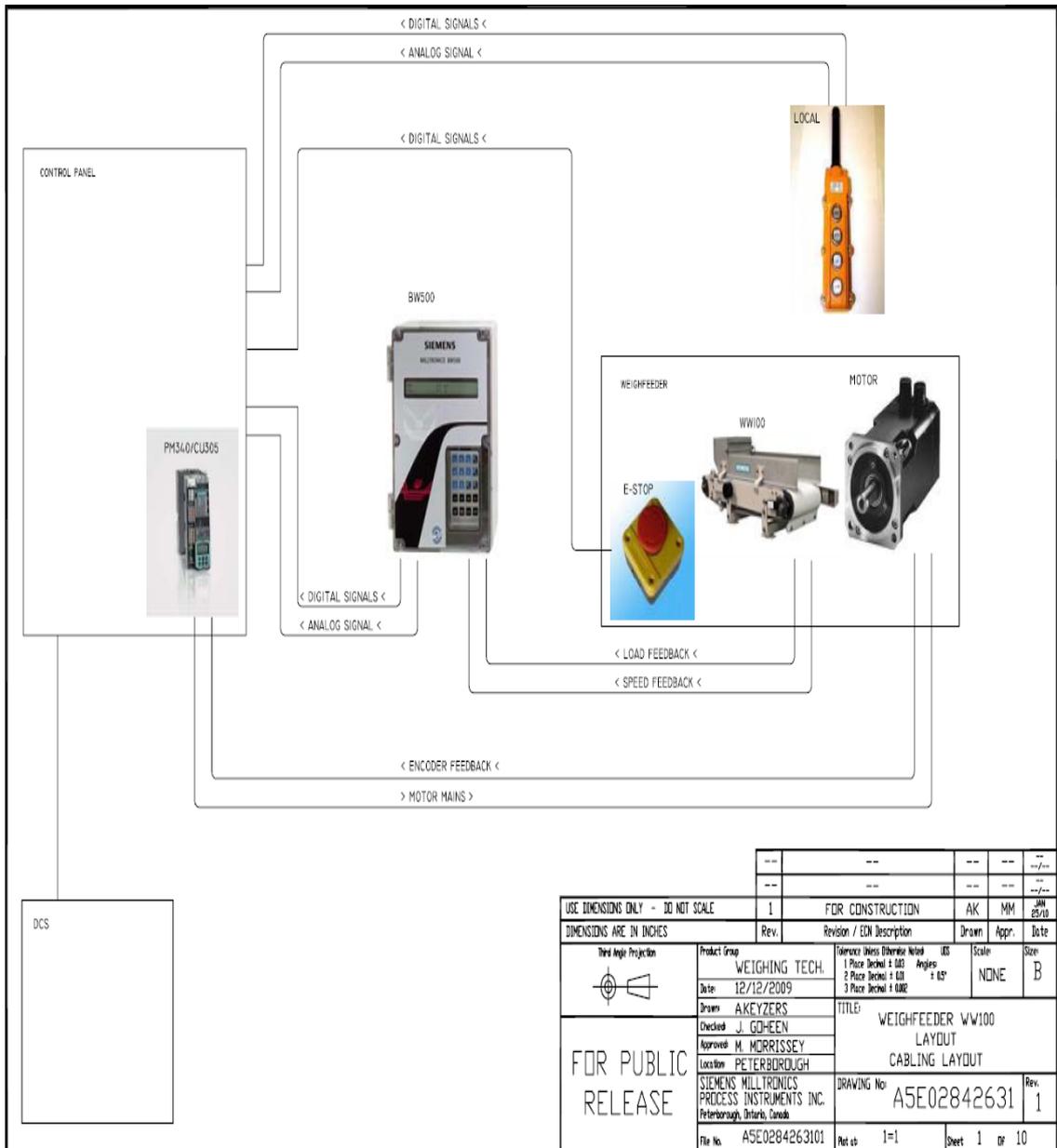
Representación simplificada del esquema mecánico de las romanas dosificadoras del fabricante Thayer. [10]

**ANEXO 2 ESQUEMA ELÉCTRICO DOSIFICADOR THAYER.**



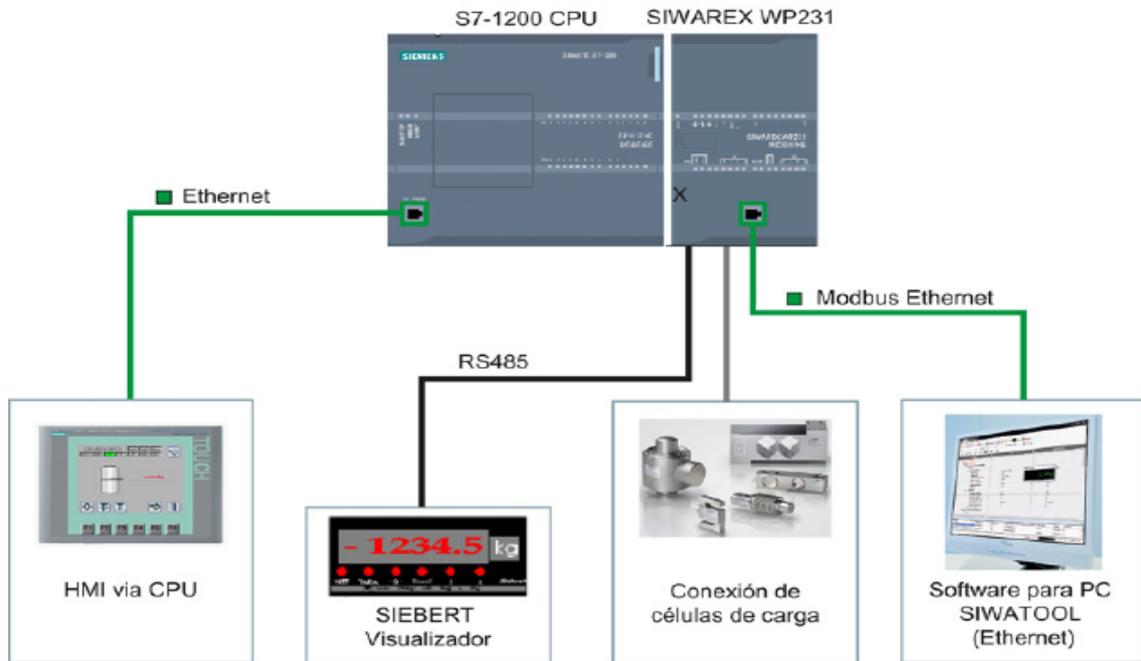
Esquema Eléctrico de las romanas dosificadoras del fabricante Thayer.[10]

### ANEXO 3 DOSIFICADOR DE PESAJE ESPECÍFICO SIEMENS



Esquema en bloques del cableado del dosificador SITRANSWW100, SIEMENS.

**ANEXO 4 CONTROLADORES DE PESAJE MEDIANTE PLC.**

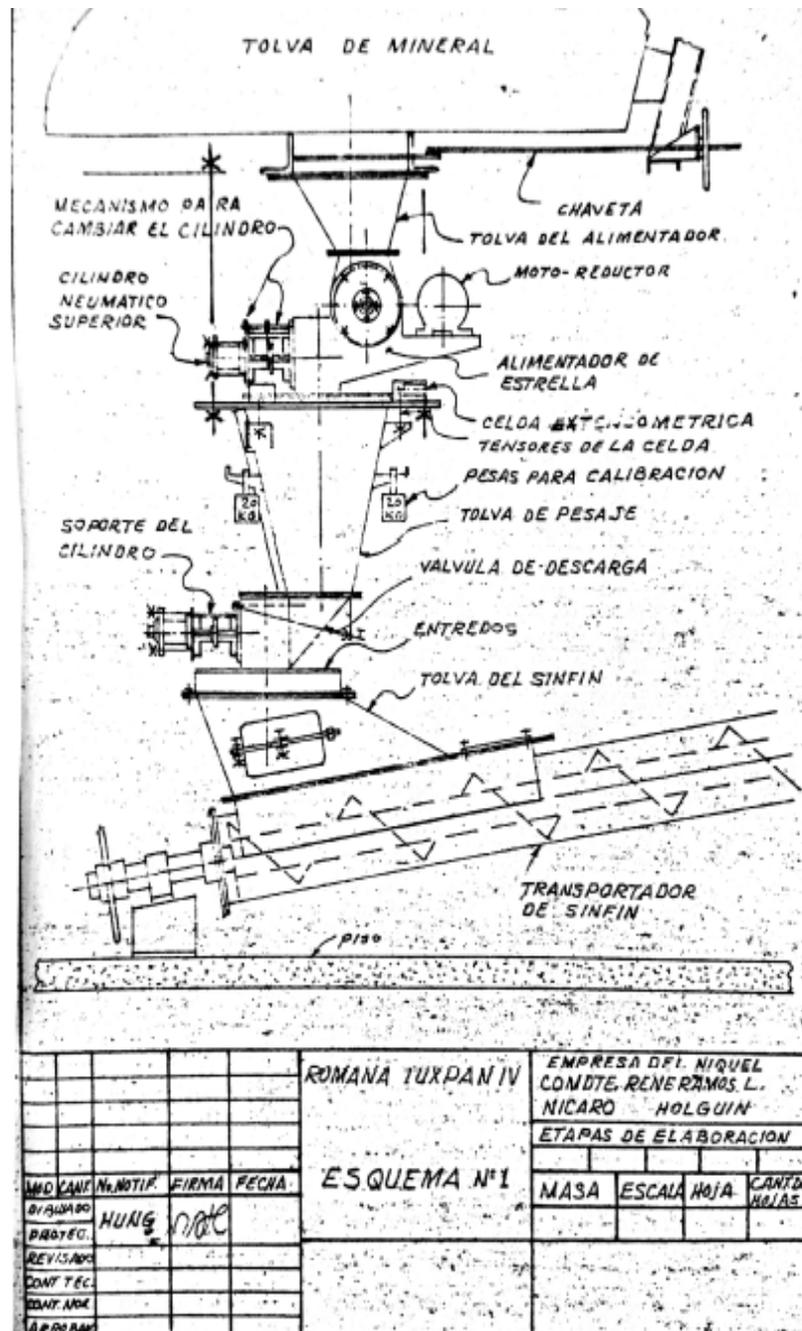


a) Esquema genérico sugerido por SIEMENS para sistemas de pesajes con módulo SIWAREX WP231.



b) Esquema genérico con PLC Mitsubishi utilizado por la empresa ZETI del grupo AZCUBA para el pesaje de azúcar crudo.

**ANEXO 5 TOLVA DE PESAJE DISEÑADA EN LA ECRRL.**



Diseño Mecánico Tolva de Pesaje TUXPAN IV.

**ANEXO 6 CONTROLADORES DESARROLLADOS POR EL GRUPO EROS.**



a) Controlador específico para pesaje EROSSPC



b) Controlador lógico programable compacto EROSmPLC

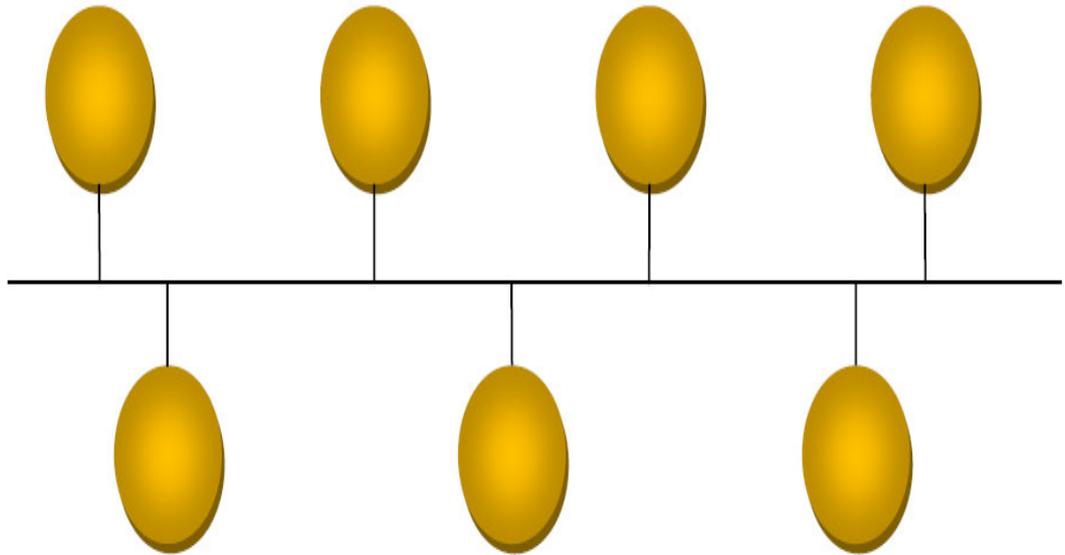
---

**ANEXO 7 ESTRUCTURA DE LA IEC 61158, BUS DE CAMPO PARA SISTEMAS DE CONTROL INDUSTRIAL.**

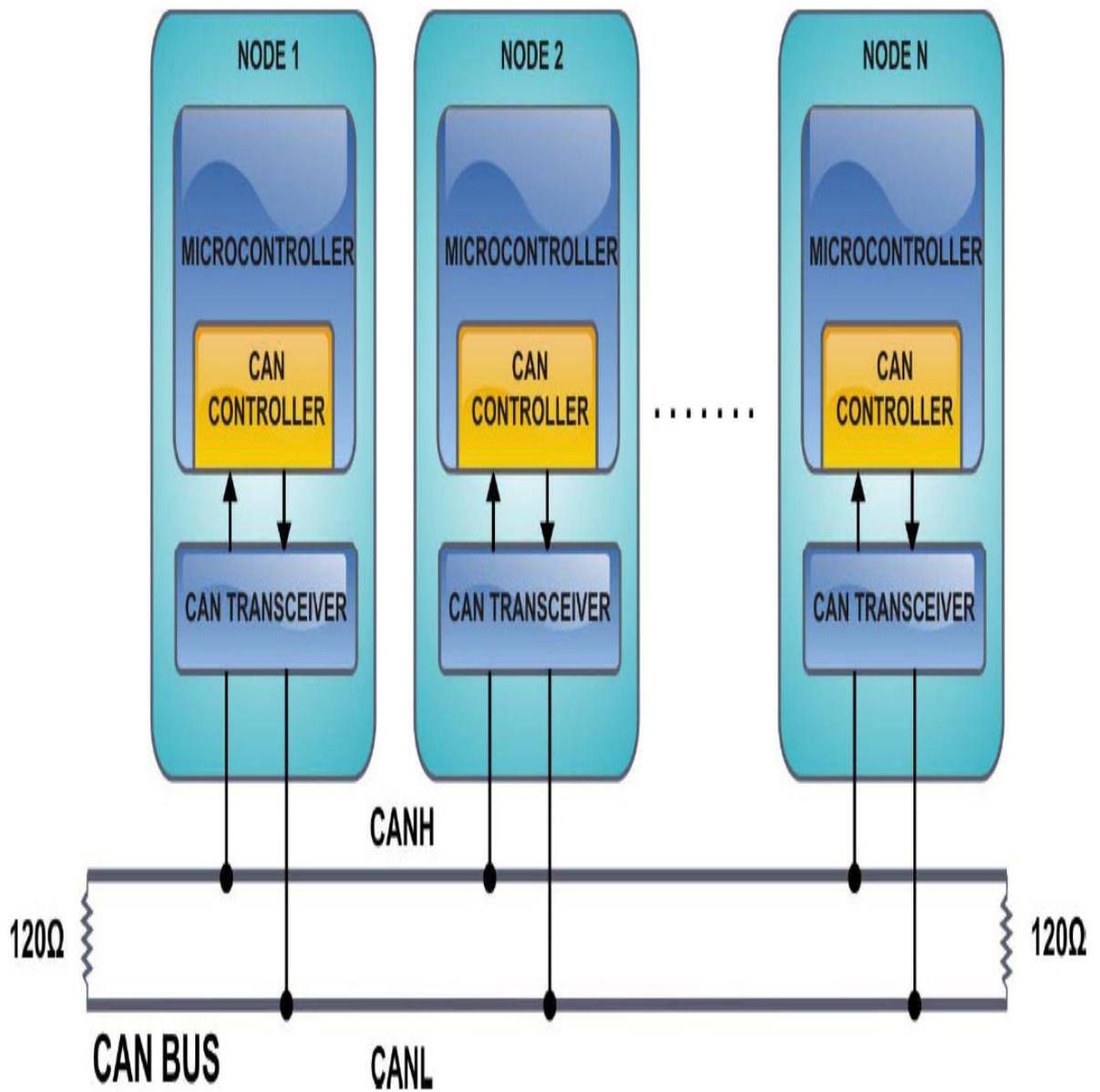
<b>Standards part</b>	<b>Contents</b>	<b>Contents and meaning</b>
IEC 61158-1	Introduction	Only Technical Report
IEC 61158-2	PhL: Physical Layer	8 Types of data transmission
IEC 61158-3	DLL: Data Link Layer Services	8 Types
IEC 61158-4	DLL: Data Link Layer Protocols	8 Types
IEC 61158-5	AL: Application Layer Services	10 Types
IEC 61158-6	AL: Application Layer Protocols	10 Types
IEC 61158-7	Network Management	Must be completely revised
IEC 61158-8	Conformance Testing	Work has been cancelled

---

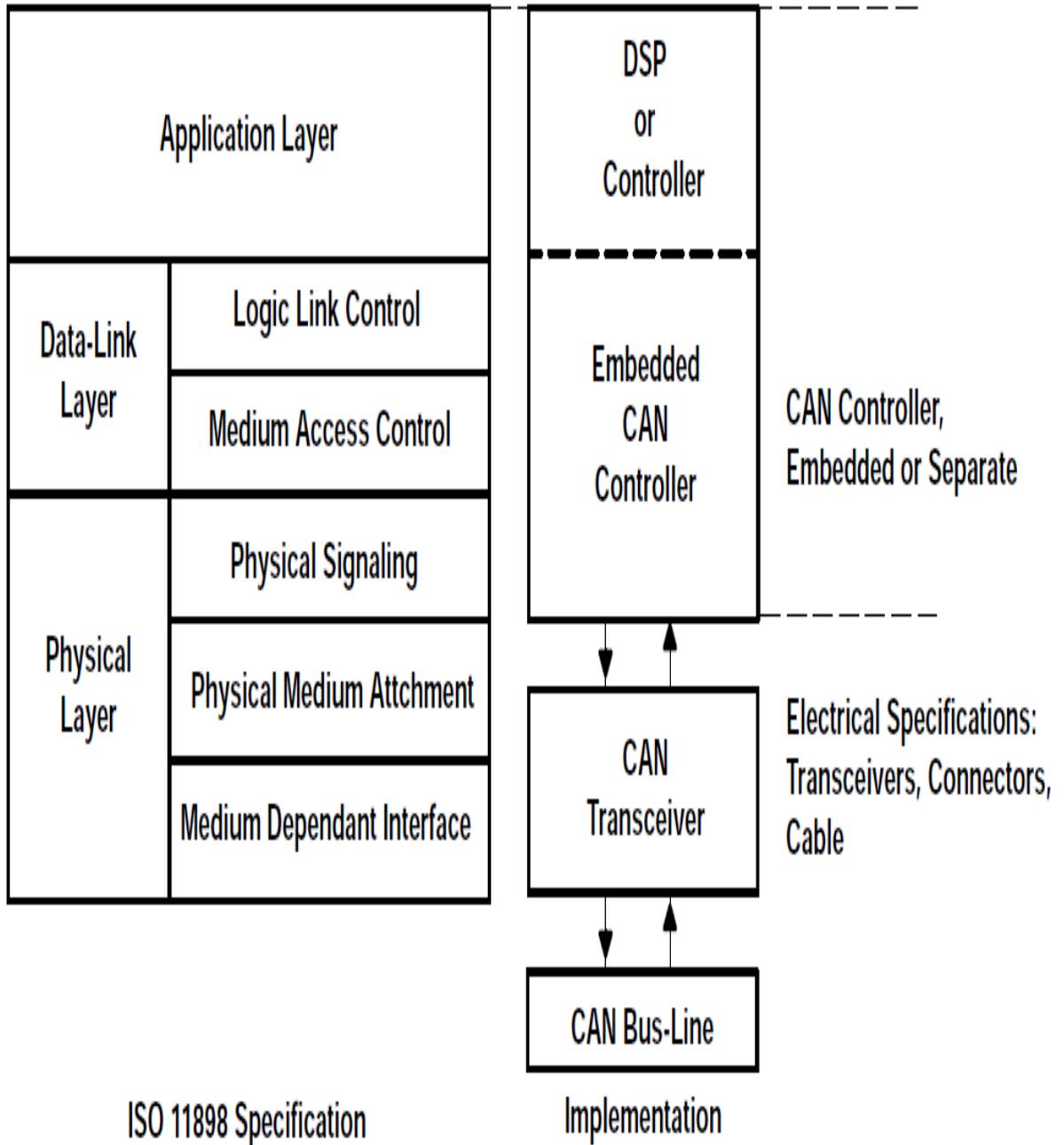
**ANEXO 8 TOPOLOGÍA DE RED EN FORMA DE BUS[12].**



**ANEXO 9 ESQUEMA DE CONFIGURACIÓN DEL BUS CAN, ESTÁNDAR ISO 11898[18].**



**ANEXO 10 ARQUITECTURA ESTÁNDAR EN CAPAS ISO 11898 DEL BUS CAN[19].**



---

**ANEXO 11 MODELO OSI[12].**



**ANEXO 12 UNIDAD PROCESADORA CENTRAL DEL EROSPLC-D.**

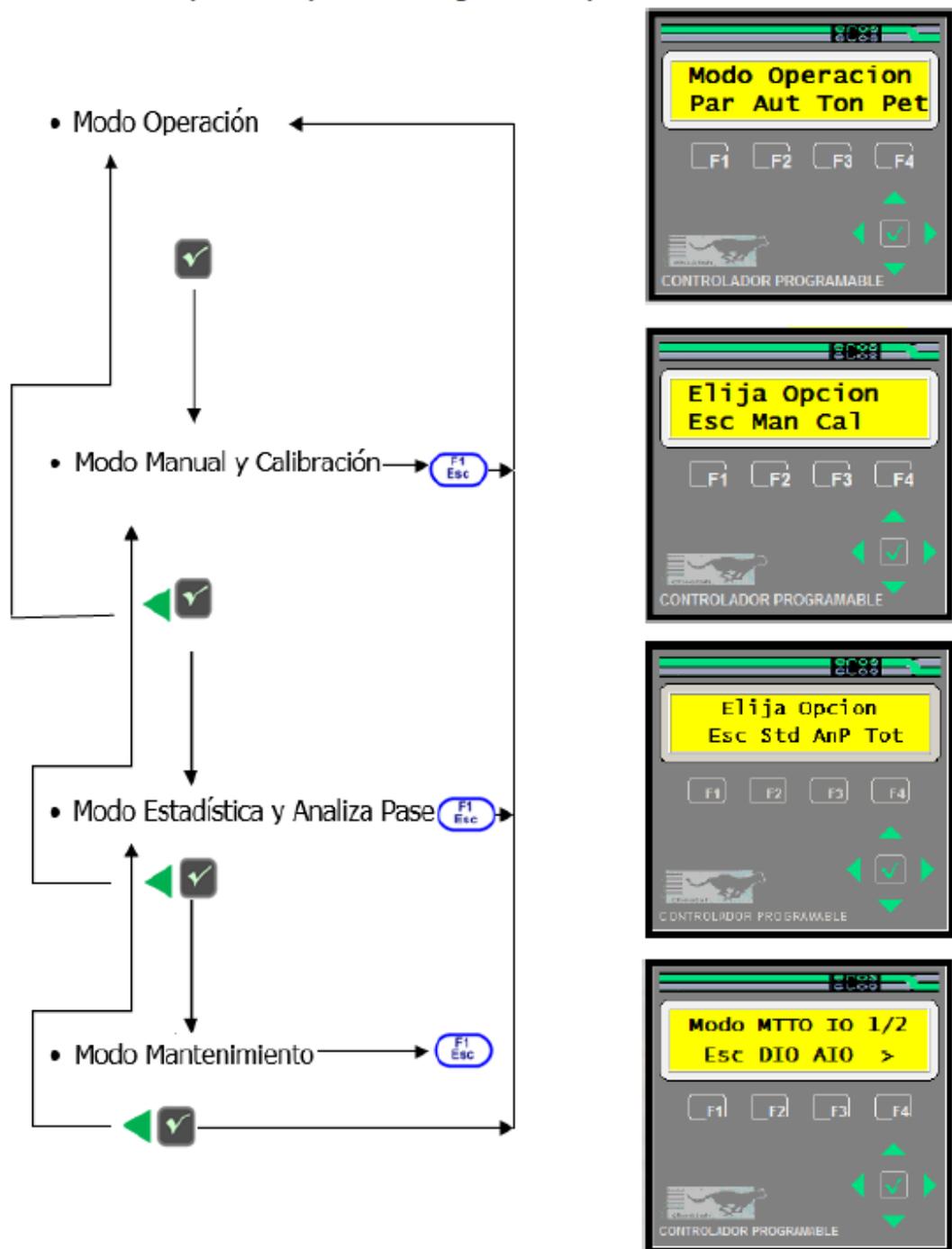


a) Vista Frontal

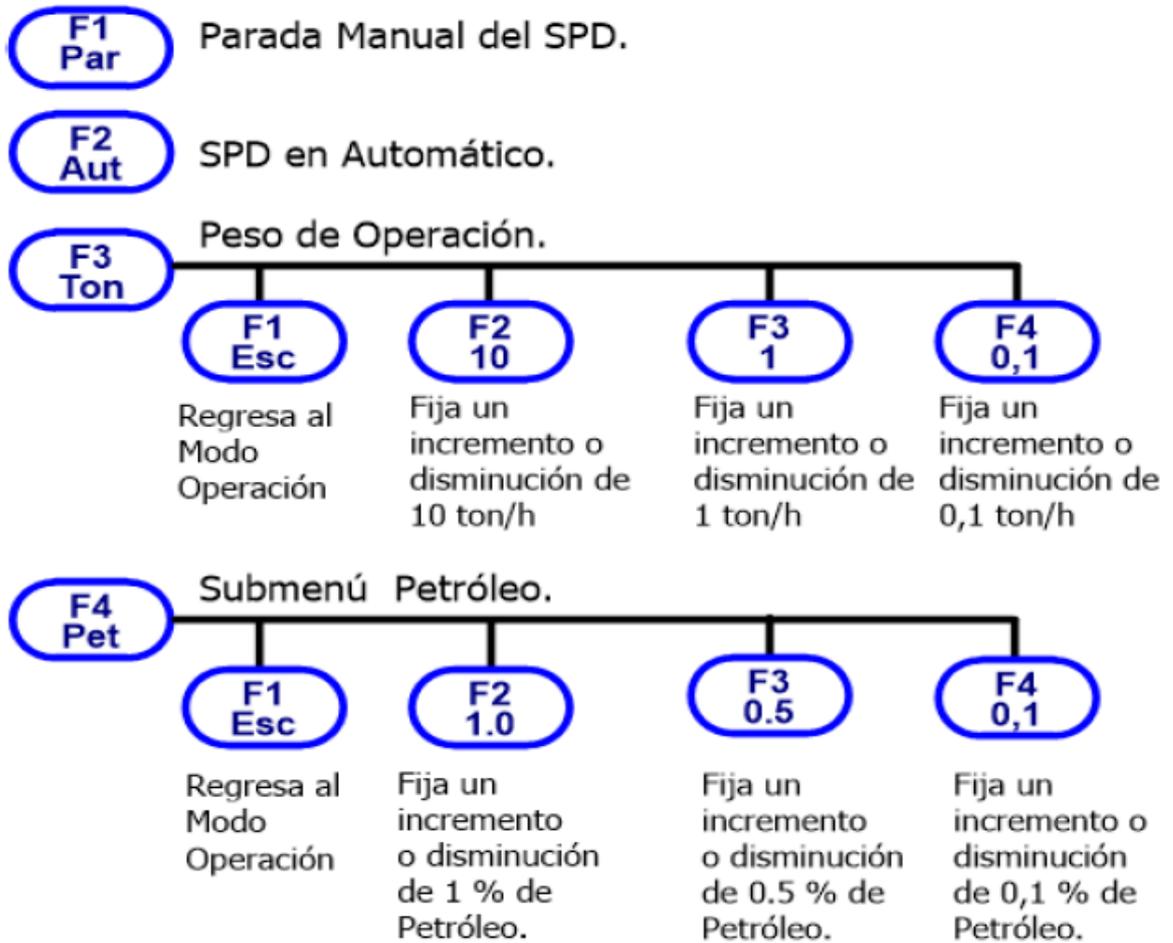


b) Vista Posterior

**ANEXO 13. DIAGRAMA DE FLUJO GENERAL EROSPLC-D[21].**



**ANEXO 14. INTERFACES DE OPERACIÓN EROSPLC-D[21].**



a) Diagrama de Flujo Modo Operación.



b) Visualización del modo operación.

**ANEXO 15. MÓDULO ENTRADAS/SALIDAS DIGITALES IOD8x4v1.**



a) Vista exterior.



b) Vista interior.

**ANEXO 16. MÓDULO ENTRADAS/SALIDAS ANALÓGICAS IOA4x2V1.**



a) Vista exterior.

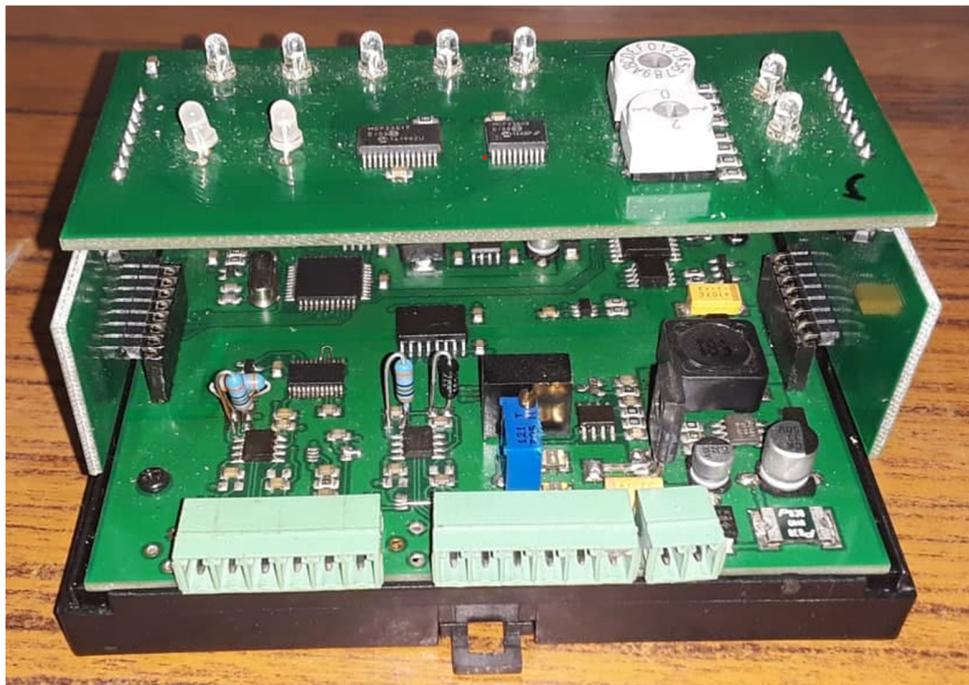


b) Vista Interior.

**ANEXO 17. MÓDULO ENTRADAS ANALÓGICAS DE BAJO NIVEL IOW2v1.**

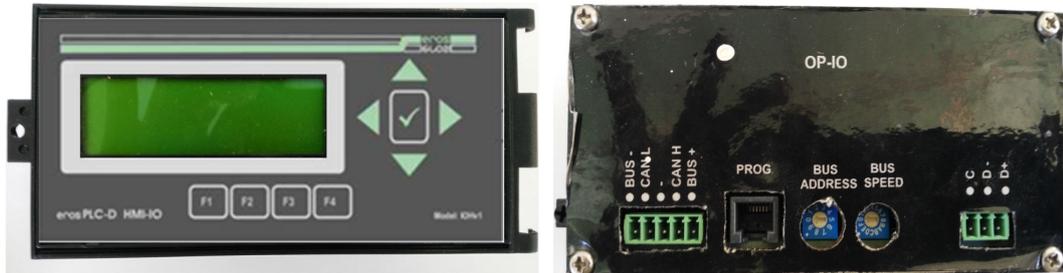


a) Vista exterior.

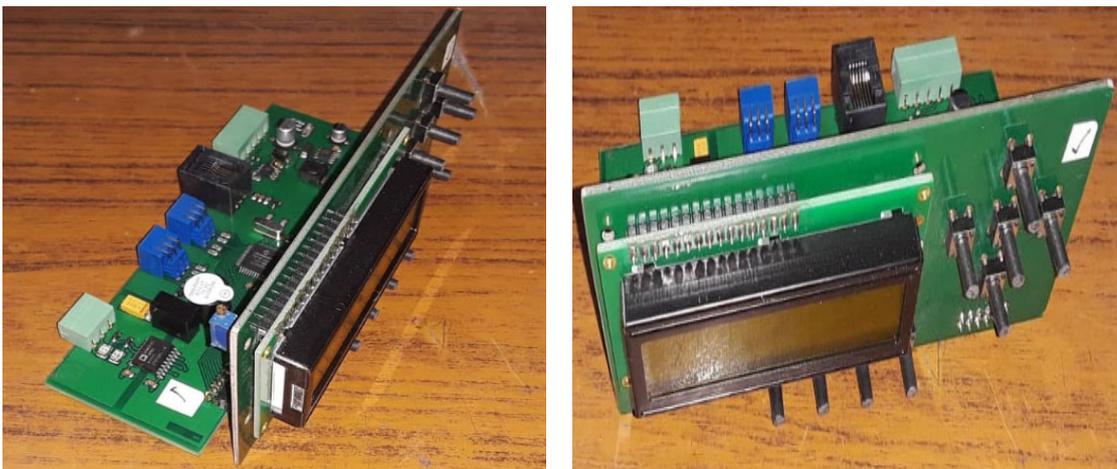


b) Vista Interior.

**ANEXO 18. MÓDULO DE VISUALIZACIÓN IOLCDV1.**



a) Vista Exterior.

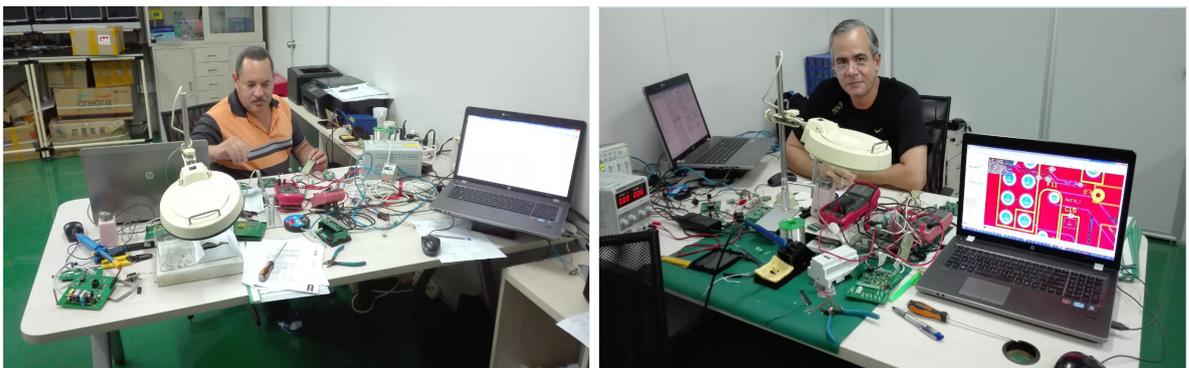


b) Vista Interior.

**ANEXO 19. MISIÓN DE TRABAJO EN LA REPÚBLICA POPULAR CHINA.**



a) Instalaciones empresa HITEG, encargada de las fabricaciones.



b) Técnicos de SerCoNi durante las pruebas FAT.

**ANEXO 20. CERTIFICADO DE ACEPTACIÓN EN FÁBRICA CPU195V1.**



**Certificate of Acceptance**

Complete  Partial

<b>Project</b>	<i>PCB-A Service for CPU195V1 Equipment composed by the following three boards: Board 1 = CPU195TV1 Board 2 = CPU195BV1 Board 3 = CPU195EV1</i>	
<b>Customer/Provider</b>	HITEG	
<b>Inspection Period</b>	<b>Starting</b>	<b>Ending:</b>
	03/06/2015	20/06/2015

**Comments/Suggestions:** *Due to lack of silkscreen information presented by SERCONI at the time samples were assemble as well as an error designing a footprint, is necessary to take into account the list of instructions annexed to execute assembly of remainder boards.*

For official certainty, the following document is written at:

Day of the Month [ 20 ] – Month [ June ] – Year [ 2015 ]

**Customer side:** SERCONI

**Manufacturer side:** HITEG

**Full name:** Tirso Bello Ramos

**Full name:** Sven Riemann

**Responsibility:** Hardware R&D - DA

**Responsibility:** CEO/CTO

**Signature:**

2015

**Signature:**

**ANEXO 21. CERTIFICADO DE ACEPTACIÓN EN FÁBRICA IOD8x4V1.**



**Certificate of Acceptance**

Complete  Partial

<b>Project</b>	<i>PCB-A Service for IOD8x4V1 Equipment composed by the following two boards: Board 1 = IOD8x4TV1 Board 2 = IOD8x4BV1</i>	
<b>Customer/Provider</b>	HITEG	
<b>Inspection Period</b>	<b>Starting</b>	<b>Ending:</b>
	03/06/2015	16/06/2015

**Comments/Suggestions:** *Due to lack of silkscreen information presented by SERCONI at the time samples were assembled is necessary to take into account the list of instructions annexed to execute assembly of remainder boards.*

For official certainty, the following document is written at:  
Day of the Month [ 16 ] – Month [ June ] – Year [ 2015 ]

**Customer side: SERCONI**

**Manufacturer side: HITEG**

**Full name:** Tirso Bello Ramos

**Full name:** Sven Riemann

**Responsibility:** Hardware R&D - DA

**Responsibility:** CEO/CTO

**Signature:**

*[Handwritten signature: Tirso Bello Ramos, 2015]*

**Signature:**

*[Handwritten signature: Sven Riemann, 2015]*

**ANEXO 22. CERTIFICADO DE ACEPTACIÓN EN FÁBRICA IOA4x2V1.**



6U03

**Certificate of Acceptance**

Complete  Partial

<b>Project</b>	<i>PCB-A Service for IOA4x2V1 Equipment composed by the following two boards: Board 1 = IOA4x2TV1 Board 2 = IOA4x2BV1</i>	
<b>Customer/Provider</b>	HITEG	
<b>Inspection Period</b>	<b>Starting</b>	<b>Ending:</b>
	03/06/2015	17/06/2015

**Comments/Suggestions:** *Due to lack of silkscreen information presented by SERCONI at the time samples were assembled is necessary to take into account the list of instructions annexed to execute assembly of remainder boards.*

For official certainty, the following document is written at:

Day of the Month [ 18 ] – Month [ June ] – Year [ 2015 ]

**Customer side: SERCONI**

**Manufacturer side: HITEG**

**Full name:** Tirso Bello Ramos

**Full name:** Sven Riemann

**Responsibility:** Hardware R&D - DA

**Responsibility:** CEO/CTO

**Signature:**

2015

**Signature:**

## ANEXO 23. CERTIFICADO DE ACEPTACIÓN EN FÁBRICA IOW2V1.



## Certificate of Acceptance

Complete  Partial 

<b>Project</b>	<i>PCB-A Service for IOW2V1 Equipment composed by the following two boards: Board 1 = IOW2TV1 Board 2 = IOW2BV1</i>	
<b>Customer/Provider</b>	<i>HITEG</i>	
<b>Inspection Period</b>	<b>Starting</b>	<b>Ending:</b>
	<i>03/06/2015</i>	<i>15/06/2015</i>

**Comments/Suggestions:** *Due to lack of silkscreen information presented by SERCONI at the time samples were assembled is necessary to take into account the list of instructions annexed to execute assembly of remainder boards.*

For official certainty, the following document is written at:

Day of the Month [ 23 ] – Month [ June ] – Year [ 2015 ]

**Customer side:** SERCONI

**Manufacturer side:** HITEG

**Full name:** Tirso Bello Ramos

**Full name:** Sven Riemann

**Responsibility:** Hardware R&D - DA

**Responsibility:** CEO/CTO

**Signature:**

*2015*

**Signature:**

*2015*

**ANEXO 24. CERTIFICADO DE ACEPTACIÓN EN FÁBRICA IOLCDV1.**



**Certificate of Acceptance**

Complete  Partial

<b>Project</b>	<i>PCB-A Service for IOLCDV1 Equipment composed by the following two boards: Board 1 = IOLCDFV1 Board 2 = IOLCDBV1</i>	
<b>Customer/Provider</b>	HITEG	
<b>Inspection Period</b>	<b>Starting</b>	<b>Ending:</b>
	03/06/2015	16/06/2015

**Comments/Suggestions:** *Due to lack of silkscreen information presented by SERCONI at the time samples were assembled is necessary to take into account the list of instructions annexed to execute assembly of remainder boards.*

**For official certainty, the following document is written at:**  
**Day of the Month [ 16 ] – Month [ June ] – Year [ 2015 ]**

**Customer side: SERCONI**

**Manufacturer side: HITEG**

**Full name: Tirso Bello Ramos**

**Full name: Sven Riemann**

**Responsibility: Hardware R&D - DA**

**Responsibility: CEO/CTO**

**Signature:**

**Signature:**

---

**ANEXO 25. ENSAMBLAJE, PRUEBAS Y PUESTA EN MARCHA DE LOS COMPONENTES INTEGRANTES DEL PLC CON PERIFERIA DISTRIBUIDA.**



## ANEXO 26. APLICACIÓN PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA DOSIFICACIÓN DE MINERAL Y PETRÓLEO SOBRE LA PLATAFORMA ISAGRAF.

ISaGRAF - ECGDTB11 - Programas

Fichero Ensamblar Proyecto Herramientas Depurar Opciones Ayuda

Comienzo:

- set\_ini setting inicial de parámetros
- red programa com para eros
- set\_ad Tratamiento AD
- input Asignación de Entradas
- iocheck Checks IO presence
- menuCPU menu de selección de parámetros
  - ver\_est visualiza las estadísticas
  - sub\_clav conforma la validacion de la clave
  - set\_parm para entrar los parámetros de operación
    - set10\_01 toma el valor del sumador
    - set100\_1
    - set1\_001
  - seguro confirma borrado
- menulOP Menú del Visualizador
  - subclIOP conforma la validacion de la clave
- KeyCPU Sección de Imágenes de las teclas para el gobierno desde el Supervisor
- KEYIOLCD Atención al Teclado del Visualizador
- filtros Filtros a las entradas analógicas
- medicion Mediciones por segmentos Entradas de Celdas
- MedEsta Determino estabilidad o no de la Medición
- DispEros Codifica el display para enviarlo al supervisor

Fin:

- Pre\_Pes Prepara la Pesa para el Pesaje(Cierra Cilindro Superior e Inferior)
- llena Llenar el embudo
- cicpesaj Compensa el Ciclo de Pesaje de la pesa
- ModeAuto sección de dosificación automática
- cargar sección para cargar la pesa en modo manual
- descarga sección que se encarga de la descarga manual
- tolvacal Tratamiento a Tolva de calibración
- estatica sección para hacer mediciones estáticas en la pesa
- parar sección para parar la pesa
- vaciar rutina para descargar en texto estructurado
- dinamica sección que realiza la calibración dinámica
- pesatara Pesa tara con chequeo de tara alta
- ana\_pase Análisis de pase
- tonreal Cálculo del tonelaje real de la hora
- LazoPet Control del Petróleo Aditivo
- Vapor Sección que se encarga de Pasar Vapor para la Limpieza de la Lanza
- dis\_Para visualiza blinkeando causa de la parada
- des\_func deshabilita todas las funciones cuando es detectado un problema
- calc\_est cálculo de las estadísticas y compensación
- rtc atención al reloj de tiempo real
- DetecTur Detecta los Cambios de Turno
- Output Asignación de Salidas

Funciones:

- time2msg Convierte una variable de tiempo en un mensaje mm:ss
- def\_seg Carga los valores de Segmentos por default en arreglo
- res\_seg Resetea el Bloque IEC\_SEGM
- progress bar progress indicator
- visfila1 decide si visualiza o no la fila 1 del display
- lee\_seg Lee los extremos de los segmentos del arreglo
- mux10 Multiplexor de 10 entradas de segmentos
- setcont Configura el canal deseado en modo continuo
- strstd Estandariza a 16 el largo de la cadena
- digicode Codifica en "1" y "0" Entrada Digital

Bloques de F.: iec\_m2i Mensaje de 16 Caracteres a 4 Enteros

Comienzo: menuCPU (Structured Text)

**ANEXO 27. PROTOTIPOS EN OPERACIÓN EN LA PLANTA DE HORNOS DE LA ECG.**



Montaje de las 8 CPU del EROSPLC-D en el panel central de la losa III.

**ANEXO 28. CRITERIO VALORATIVO SOBRE SISTEMA DE DOSIFICACIÓN.**

Productora de Níquel y Cobalto "Comandante Ernesto Che Guevara"

**NECC**Carretera Moa a Baracoa, Km 5 ½, Moa, Holguín, Cuba  
Teléfono: Pizarra (53 024 608012)**DIRECCION INVERSIONES****06 de Diciembre de 2021**  
**"Año 60 de la Revolución"****Criterio valorativo sobre el sistema de pesaje por bache.**

El sistema de pesaje con PLCs distribuidos, diseñados por el Grupo EROS de la empresa de servicios de comunicaciones y electrónicas SECONI, se montó en la empresa Ernesto Che Guevara durante el año 2017 con el alcance de una losa que comprende 8 hornos.

El sistema montado ha cumplido satisfactoriamente los objetivos propuestos de lograr el pesaje y dosificación de mineral a los hornos con estabilidad, eficacia, exactitud y seguridad.

Este sistema sustituyó la versión anterior de los bloques de romanas instalados en los hornos con tecnología que, aunque cumplían y aún continúan cumpliendo con la función para la que se instalaron, poseen obsolescencia y no cumplen con todas las expectativas actuales.

El nuevo sistema posee como ventajas fundamentales el que elimina en un 100 % la intervención del hombre en la dosificación y de la alimentación a los hornos y por tanto su influencia en la contabilidad metalúrgica. Posee como ventaja adicional la facilidad para la configuración, y adaptación a todas las condiciones específicas de la planta, incluida el uso de varios tipos de celdas como sensores de carga.

Al contar con un PLC como cerebro del sistema, este permita la comunicación digital con el sistema supervisorio (SCADA CITECT) permitiendo integrar la dosificación y medición de los flujos de mineral al resto del sistema de medición y control de la planta y al monitorea a distancia desde toda la industria.

Los sistemas de pesaje automáticos instalados incorporan además dos lazos de control PID los que permiten regular dos variables de forma independientes y autónomas, aptas para realizar control de relación mineral petróleo en las futuras ampliaciones a realizar en la industria para el control de la adición de petróleo de forma independiente para cada horno en aras de controlar el extractable de cada horno de forma separada.

Desde su instalación el sistema ha trabajado con estabilidad para la operación continua de los hornos, presentando poco nivel de averías imputables al sistema, lográndose los beneficios previstos. En resumen, con este sistema de pesaje se logra mayor estabilidad en la operación de medición y dosificación de mineral a la entrada de los hornos, mayor exactitud en la contabilidad metalúrgica, disminución de los costos por mantenimiento y reparación.

Teniendo en cuenta los resultados alcanzados con este sistema de pesaje, se decidió su generalización a las dos losas (16) hornos restantes de la planta.

  
Wilson Calzadilla de la Cruz  
Especialista Principal en Inversiones  
Empresa de Níquel Comandante Ernesto Che Guevara

**NECC**  
Dirección de Inversiones  
GRUPO DE PREPARACIÓN DE LAS INVERSIONES  
PRODUCTORA DE NIQUEL Y COBALTO  
Empresa Che Guevara. Minem, Moa

**ANEXO 29. PRECIOS TECNOLOGÍAS SISTEMAS DE PESAJE.**

Item	Descripcion	U/M	Cant.	Precio USD	Total	Referencia
1	EROSPLC-D, Controladores electrónicos Losa III.	U	1	5400.0	5400.0	HITEG
2	EROSPLC-D, Unidad procesadora central, CPU, 1 Bus CAN, 2 RS485, 1 RS232.	U	1	270.0	586.0	BOARDCON, China
	EROSPLC-D, IOA4x2v1. Módulo analógico alto nivel 4 entradas, 2 salidas	U	1	74.0		BOARDCON, China
	EROSPLC-D, IOD8x4v1, Módulo digital 8 entradas, 4 salidas.	U	1	75.0		BOARDCON, China
	EROSPLC-D, IOLCDv1, Módulo visualización, 1 Display, 9 Teclas, 1 Buzzer.	U	1	59.0		BOARDCON, China
	EROSPLC-D, IOW2v1, Módulo analógico de bajo nivel, 2 entradas.	U	1	108.0		BOARDCON, China
3	Procesador central con 8 Entradas Digitales a 24 Vcd, 8 Salidas Digitales a relé, 2 entradas y 1 salida analógica, 1 puerto Ethernet y 1 puerto 485 (Modbus). Ref. FX5U-32MR/ES. Mitsubishi	U	1	662.8	3807.5	AZCUBA
	Terminal gráfica táctil de 5.7 pulgadas TFT de 256 colores. MITSUBISHI GT1455-QTBD	U	1	1631.8		AZCUBA
	Módulo universal de pesaje serie DI50E opciones de display sin led, alimentacion 85-265VAC/95-370VDC entrada Presion/Celda de carga resolucio 16 bit 60Hz, modulo de salida analogica salida en corriente 4-20mA, 1 modulo de salida a rele 10A . TEXMATE. DI-50E-DR-PS1-ISS2-AIC-S6-OR11-OA2	U	1	1512.9		AZCUBA
4	6ES7 217-1AG40-0XB0 Siemens S7-1200, CPU 1217C, CPU COMPACTA, DC/DC/DC. Imagen ilustrativa del fabricante SIMATIC S7-1200 - the Basic Controller	U	1	1099.9	3194.2	<a href="http://www.plc-city.com">www.plc-city.com</a>
	6ES7217-1AG40-0XB0 SIMATIC S7-1200, CPU 1217C, CPU COMPACTA, DC/DC/DC					
	Data Sheet Hoja de Datos					
	simatic s7-1200, cpu 1217c, cpu compacta, dc/dc/dc, 2 profinet port onboard i/o: 10 di 24v dc; 4 di rs422/485; 6 do 24v dc; 0,5a; 4 do rs422/485; 2 ai 0- 10v dc, 2 ao 0- 20ma alimentacion: dc 20,4 -28,8 v dc, memoria de programa/datos 150kb					
	7MH4960-2AA01 Siemens SIWAREX WP231 CALIBRATABLE WEIGHING ELECTRONIC, S7-1200, RS485 AND ETHERNET-INTERFACE					
6AV2 123-2GB03-0AX0 Siemens HMI, KTP700 BASIC, BASIC PANEL	U	1	677.1	<a href="http://www.plc-city.com">www.plc-city.com</a>		
SIWATOOL 7MH4900-1AK01 Siemens. Software de puesta en marcha y mantenimiento siwatoool v4 y v7 para los modulos de pesaje siwarex	U	1	257.0	<a href="http://www.plc-city.com">www.plc-city.com</a>		
Visualizador SX402-220/09/0G-001/0B-S0 Manufactured by SIEBERT	U	1	580.0	<a href="https://www.radwell.com/">https://www.radwell.com/</a>		