

# UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA



## FACULTAD DE INGENIERÍA ENSENDADA

---

PROGRAMA DE POSGRADO

MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS E INGENIERÍA

---

INSTRUMENTO PARA MEDIR Y ALMACENAR,  
INFORMACIÓN DE FLUJO Y VOLUMEN,  
DEL PURÉ DE TOMATE PRE-ENVASADO

TESIS

Que para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de

MAESTRO EN INGENIERÍA

Presenta:

**MIGUEL ÁNGEL MURILLO ESCOBAR**

Ensenada, Baja California, México, Agosto de 2010.

# UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE INGENIERÍA ENSENADA

## Instrumento para medir y almacenar, información de flujo y volumen, del puré de tomate pre-envasado.

### TESIS

Que para obtener el grado de maestría en ingeniería presenta:

**Miguel Ángel Murillo Escobar**

Aprobada por:



---

Dr. Enrique Efrén García Guerrero  
Miembro del comité



---

Dr. José de Jesús Zamarripa Topete  
Director de tesis



---

M.C. Carlos Gómez Agis  
Miembro del comité

Ensenada, Baja California, México. Agosto de 2010

**RESUMEN** de la tesis de **Miguel Ángel Murillo Escobar**, presentada como requisito parcial para la obtención del grado de MAESTRO EN INGENIERÍA del programa de Maestría y Doctorado en Ciencias e Ingeniería (MyDCI) de la Universidad Autónoma de Baja California.

Ensenada, Baja California, México. Agosto de 2010

INSTRUMENTO PARA MEDIR Y ALMACENAR,  
INFORMACIÓN DE FLUJO Y VOLUMEN,  
DEL PURÉ DE TOMATE PRE-ENVASADO

Resumen aprobado por:



---

Dr. José de Jesús Zamarripa Topete  
Director de tesis

En este trabajo de tesis, se muestra el desarrollo de un instrumento para cubrir una necesidad de la Empresa Comercializadora Val Vita. Como primera fase, se analiza el problema y se definen los objetivos. Posteriormente, una revisión bibliográfica para determinar qué tipo de tecnología se implementará, para proponer una solución. Una vez que se define la propuesta, se determinan los componentes y elementos, más adecuados para el instrumento. Después de analizar y entender, el funcionamiento de los componentes más importantes, se integran para una segunda fase, donde se realiza la programación del microcontrolador y se hacen las pruebas en campo para la pre-validación del instrumento. Como fase final, se instala el instrumento en la Empresa para hacer las pruebas finales, como también, la validación del mismo. Como resultado, se tiene un instrumento para medir y almacenar, información de flujo y volumen, del puré de tomate pre-ensado sin que se obstruya el paso al fluido, además de que, la información se puede extraer con una memoria USB para su análisis en una computadora.

**Palabras clave:** Medición de flujo y volumen, instrumento, almacenamiento de datos, extracción de información con memoria USB, análisis de información en computadora.

## *Dedicada*

---

*A mis padres,*

*Por brindarme su amor, apoyo moral e incondicional, ustedes que siempre están ahí para darme fe y esperanzas, por todos sus esfuerzos para que pueda realizarme como profesionalista.*

*A mi novia,*

*Por toda su comprensión y apoyo, durante los dos años del posgrado. Por todo su amor incondicional y por su buena fe en mí.*

*A mis compañeros de posgrado,*

*A cada uno de ellos, Yaz, Luis, León, Chinito, Faustino, Roy, Hawa y Olmos. Por formar parte de mis alegrías y mis amistades, por los momentos complicados pero que juntos salimos adelante.*

## *Agradecimientos*

---

*A Dios,*

*Por permitirme que mis proyectos se cumplan satisfactoriamente, con salud, bienestar y felicidad.*

*A CONACYT,*

*Por financiar mis estudios de posgrado y apoyo económico, que fue indispensable para la realización del mismo.*

*A la UABC,*

*Por permitirme ser un cimarrón orgulloso, que junto con sus profesores me han forjado para ser un profesionista con confianza en mis capacidades intelectuales.*

*A la Empresa Comercializadora Val Vita,*

*Al Ing. Fernando García Solórzano, por la confianza incondicional para la realización del proyecto, como también, por el patrocinio de los gastos de proyecto, que sin esto, el proyecto no hubiera existido. También, a Juan Torres por la gran ayuda en el taller de maquinado.*

*Al Dr. José de Jesús Zamarripa Topete,*

*Por creer en mí y guiarme por el camino correcto, por su apoyo durante toda la maestría, por sus consejos y ayuda, que fueron vitales para concluir con el proyecto de forma exitosa.*

*A mi comité,*

*Al Dr. Efrén García Guerrero y al M.C. Carlos Gómez Agís, por su apoyo, tiempo de escucharme y sus observaciones, para obtener un trabajo de calidad.*

*A mi familia y amigos,*

*Por el apoyo moral, por las alegrías, y consejos para que culminara con mis estudios de maestría.*

# Contenido

|   | Página   |
|---|----------|
| Resumen en español                                | i        |
| Dedicatoria                                       | ii       |
| Agradecimientos                                   | iii      |
| Contenido   | iv       |
| Lista de figuras                                  | viii     |
| Lista de tablas                                   | xiv      |
| <b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN</b>                   | <b>1</b> |
| 1.1. ANTECEDENTES                                 | 1        |
| 1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA                   | 3        |
| 1.3. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN                    | 4        |
| 1.4. HIPÓTESIS                                    | 4        |
| 1.5. OBJETIVOS DEL PROYECTO                       | 5        |
| 1.6. IMPORTANCIA DEL ESTUDIO                      | 6        |
| 1.7. DELIMITACIÓN DEL ESTUDIO                     | 7        |
| <br>  |          |
| <b>CAPÍTULO II. REVISIÓN DE LA LITERATURA</b>     | <b>8</b> |
| 2.1. INTRODUCCIÓN                                 | 8        |
| 2.2. EL CAUDAL                                    | 9        |
| 2.3. MEDIDORES DE CAUDAL DE FLUIDOS               | 11       |
| 2.3.1. Medidores de presión diferencial           | 12       |
| 2.3.2. Medidores de velocidad                     | 13       |
| 2.3.3. Medidores de volumen                       | 13       |
| 2.4. MEDIDORES DE CAUDAL DE INTERÉS PARA LA TESIS | 15       |
| 2.5. MEDIDORES DE CAUDAL EN EL MERCADO            | 15       |

# Contenido

|   | Página    |
|---|-----------|
| 2.6. PRINCÍPIOS FÍSICOS: MEDICIÓN DE CAUDAL VOLUMÉTRICO                                 | 17        |
| 2.6.1. Medidor de caudal electromagnético   | 18        |
| 2.6.2. Ecuaciones para obtener la velocidad del fluido del medidor electromagnético     | 25        |
| 2.7. SUMARIO  | 30        |
| <br>  |           |
| <b>CAPÍTULO III. METODOLOGÍA</b>  | <b>31</b> |
| 3.1. INTRODUCCIÓN Y PROPUESTA DEL INSTRUMENTO   | 31        |
| 3.2. COMPONENTES Y ELEMENTOS  | 34        |
| 3.3. EQUIPOS  | 37        |
| 3.4. PROCEDIMIENTOS   | 39        |
| 3.4.1. Medidor de caudal electromagnético   | 39        |
| 3.4.2. Conexión del módulo M52259   | 49        |
| 3.5. ANÁLISIS DE LOS PROCEDIMIENTOS   | 58        |
| 3.5.1. Análisis del medidor de caudal electromagnético                                  | 59        |
| 3.5.1.1. Análisis de instalación en circuito de prueba                                  | 59        |
| 3.5.1.2. Análisis de voltaje de alimentación y su conexión                              | 60        |
| 3.5.1.3. Análisis de interfaz con el usuario y matriz de funciones                      | 62        |
| 3.5.1.4. Análisis de señales de salida: corriente 4-20 mA y pulsos                      | 63        |
| 3.5.2. Análisis de las conexiones del módulo M52259                                     | 66        |
| 3.5.2.1. Análisis de voltaje de alimentación  | 66        |
| 3.5.2.2. Análisis de conector I/O a puertos de microcontrolador                         | 67        |
| 3.5.2.3. Análisis de señales de entrada: corriente 4-20 mA, pulsos y botones de presión | 68        |
| 3.5.2.4. Análisis de señales de salida: transmitir información a memoria USB y a LCD    | 71        |
| 3.5.2.5. Análisis del voltaje standby   | 72        |

# Contenido

|   | Página     |
|---|------------|
| 3.6. CONFIGURACIÓN DE CIRCUITERÍA   | 73         |
| 3.6.1. Etapa 1: Adquisición de información del medidor de caudal: corriente 4-20 mA y pulsos                  | 73         |
| 3.6.2. Etapa 2: Visualización en LCD  | 76         |
| 3.6.3. Etapa 3: Botones de presionar  | 77         |
| 3.6.4. Integración de las tres etapas de configuración  | 78         |
| 3.7. PROGRAMACIÓN Y DIAGRAMAS DE FLUJO  | 79         |
| 3.7.1. Etapa 1: Lectura de información del medidor de caudal electromagnético: corriente 4-20 mA y pulsos     | 89         |
| 3.7.2. Etapa 2: Visualización en LCD  | 89         |
| 3.7.3. Etapa 3: Botones de presionar  | 91         |
| 3.7.4. Etapa 4: Almacenamiento de volumen principal, hora y fecha   | 91         |
| 3.7.5. Etapa 5: MENÚ del programa: modificar hora y fecha, recuperar respaldos, totalizadores y salir de menú | 92         |
| 3.7.6. Etapa 6: Enviar datos a memoria USB  | 94         |
| 3.7.7. Etapa 7: Copiar información de memoria FLASH a USB   | 94         |
| 3.7.8. Etapa 8. Recuperación de configuración y datos, ante una falla del suministro eléctrico                | 95         |
| 3.8. PRUEBAS DEL INSTRUMENTO EN CIRCUITO DE PRUEBA  | 96         |
| 3.9. VISUALIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN EN MEMORIA USB EN UNA COMPUTADORA  | 111        |
| 3.10. INSTALACIÓN   | 114        |
| 3.11. PRUEBAS FINALES Y VALIDACIÓN  | 119        |
| <br>  |            |
| <b>CAPÍTULO IV. RESULTADOS</b>  | <b>129</b> |
| 4.1. INTRODUCCIÓN   | 129        |
| 4.2. FUNCIONAMIENTO DEL INSTRUMENTO   | 130        |

# Contenido

|   | Página     |
|---|------------|
| <b>CAPÍTULO V. CONCLUSIONES</b>                             | <b>135</b> |
| 5.1. CONCLUSIONES GENERALES                                 | 135        |
| 5.2. TRABAJOS FUTUROS                                       | 138        |
| <br>  |            |
| <b>REFERENCIAS</b>  | <b>139</b> |
| <br>  |            |
| <b>APÉNDICE A</b>   | <b>141</b> |
| Datos técnicos del puré de tomate en la Empresa Val Vita    | 141        |
| <b>APÉNDICE B</b>   | <b>144</b> |
| Medidores de caudal con tecnología ultrasónica              | 144        |
| <b>APÉNDICE C</b>   | <b>155</b> |
| Cotizaciones de medidores de caudal electromagnéticos       | 155        |
| <b>APÉNDICE D</b>   | <b>164</b> |
| Sitio de instalación del instrumento en la Empresa Val Vita | 164        |
| <b>APÉNDICE E</b>   | <b>166</b> |
| Componentes y elementos                                     | 166        |
| <b>APÉNDICE F</b>   | <b>185</b> |
| Equipos   | 185        |
| <b>APÉNDICE G</b>   | <b>195</b> |
| Carta de aceptación de instrumento por parte de Val Vita    | 190        |
| <b>ANEXOS</b>   |            |
| CD: programa en lenguaje c, software y documentos           |            |

# Lista de Figuras

| Figura |   | Página |
|--------|---|--------|
| 1      | Contenedores donde se elabora el puré de tomate               | 6      |
| 2      | Estructura y componentes del medidor electromagnético         | 19     |
| 3      | Funcionamiento del medidor de caudal electromagnético         | 26     |
| 4      | Diagrama de conexiones del medidor de caudal electromagnético | 28     |
| 5      | Propuesta del sistema de instrumentación                      | 32     |
| 6      | Medidor de flujo electromagnético Endress + Hauser            | 34     |
| 7      | Módulo M52259 de Freescale                                    | 35     |
| 8      | Microcontrolador MCF52259 de Freescale                        | 36     |
| 9      | Pantalla de cristal liquido                                   | 36     |
| 10     | Memoria USB   | 37     |
| 11     | Circuito de tubería   | 38     |
| 12     | Conexión entre computadora y módulo M52259                    | 39     |
| 13     | Instalación de medidor electromagnético en tubería            | 40     |
| 14     | Flujo del líquido en circuito de prueba                       | 41     |
| 15     | Alimentación del medidor 50H40                                | 42     |
| 16     | Módulo de convertidor del medidor 50H40                       | 43     |
| 17     | Interfaz humana del medidor 50H40                             | 43     |
| 18     | Ejemplo de operación de la interfaz humana para 50H40         | 45     |
| 19     | Corriente de salida del 50H40                                 | 46     |
| 20     | Conexión de señales de salida del 50H40                       | 47     |
| 21     | Conexión pulso de salida del 50H40                            | 49     |
| 22     | Alimentación del módulo M52259                                | 50     |
| 23     | Conector de 100 terminales del módulo M52259                  | 50     |

# Lista de Figuras

| Figura |   | Página |
|--------|---|--------|
| 24     | Configuración del conector J1                               | 50     |
| 25     | Configuración del conector J2                               | 51     |
| 26     | Conector de 40 terminales del módulo M52259                 | 51     |
| 27     | Configuración del conector de 40 terminales                 | 52     |
| 28     | Conexión entre corriente y microcontrolador                 | 53     |
| 29     | Conexión entre pulsos y microcontrolador                    | 54     |
| 30     | Conexión entre botones de presionar y microcontrolador      | 55     |
| 31     | Conector USB de mini USB a USB tipo A                       | 56     |
| 32     | Conexión entre memoria USB y microcontrolador               | 56     |
| 33     | Conexión entre módulo, LCD y fuente de voltaje              | 57     |
| 34     | Voltaje de standby VSTBY                                    | 58     |
| 35     | Medición de flujo y volumen en circuito de prueba           | 60     |
| 36     | Fuente de alimentación del medidor electromagnético         | 61     |
| 37     | Acceso del medidor para cable de alimentación hermético     | 61     |
| 38     | Botones de presionar del medidor de caudal electromagnético | 62     |
| 39     | Prueba Configuración de prueba de corriente de salida       | 64     |
| 40     | Prueba de medición de corriente de salida                   | 64     |
| 41     | Configuración de medición de pulsos de salida               | 65     |
| 42     | Prueba de medición de pulsos de salida                      | 65     |
| 43     | Alimentación del módulo M52259 por USB BDM                  | 66     |
| 44     | Alimentación del módulo M52259 por conector J7              | 67     |
| 45     | Prueba de medición corriente – voltaje                      | 70     |
| 46     | Visualización de caracteres en pantalla LCD                 | 72     |

# Lista de Figuras

| Figura |  | Página |
|--------|--|--------|
| 47     | Voltaje VSTBY activado                                       | 73     |
| 48     | Circuito para la medición de corriente 4-20 mA               | 74     |
| 49     | Circuito para la medición de pulsos                          | 75     |
| 50     | Conexión entre cable STP y caja metálica                     | 76     |
| 51     | Circuito para comunicación $I^2C$ de LCD                     | 77     |
| 52     | Circuito para botones de presionar                           | 78     |
| 53     | Circuito de configuración completo                           | 78     |
| 54     | Diagrama de flujo del programa (inicializaciones)            | 80     |
| 55     | Diagrama de flujo del programa (ciclo infinito)              | 81     |
| 56     | Diagrama de flujo del programa (parte dos de ciclo infinito) | 83     |
| 57     | Diagrama de flujo del programa (retorno a ciclo infinito)    | 84     |
| 58     | Diagrama de flujo del menú (parte uno)                       | 86     |
| 59     | Diagrama de flujo del menú (parte de retorno)                | 87     |
| 60     | Diagrama de flujo de sub-menú de totalizadores               | 88     |
| 61     | Conexión entre memoria USB y conector del instrumento        | 95     |
| 62     | Visualización de flujo en LCD                                | 97     |
| 63     | Visualización de volumen en LCD                              | 97     |
| 64     | Visualización de hora y fecha en LCD                         | 97     |
| 65     | Visualización de flujo, volumen, fecha y hora en LCD         | 98     |
| 66     | Recuperación de datos de memoria Flash                       | 99     |
| 67     | Recuperación de volumen de memoria Flash                     | 100    |
| 68     | Recuperación de día, mes y año de memoria Flash              | 101    |
| 69     | Recuperación de hora, minuto y segundo de Flash              | 102    |

# Lista de Figuras

| Figura |  | Página |
|--------|--|--------|
| 70     | Visualización de menú en LCD                             | 103    |
| 71     | Visualización de modificar hora en LCD                   | 103    |
| 72     | Visualización de modificar fecha en LCD                  | 104    |
| 73     | Visualización de totalizadores en LCD                    | 104    |
| 74     | Configuraciones para totalizadores                       | 105    |
| 75     | Visualización en LCD del envío de datos a USB            | 106    |
| 76     | Visualización en LCD de 'Retirar USB'                    | 106    |
| 77     | Visualización de opción 'Recu Respaldos' en menú         | 107    |
| 78     | Visualización de las cuatro opciones de 'Recu Respaldos' | 108    |
| 79     | Visualización de avance de envío de datos de respaldo    | 108    |
| 80     | Visualización de datos en PC con Bloc de Notas           | 111    |
| 81     | Visualización de datos en PC con Excel                   | 113    |
| 82     | Medidor de caudal en tubería del puré de tomate          | 114    |
| 83     | Componentes dentro de la caja metálica                   | 116    |
| 84     | Interfaz humana del instrumento                          | 117    |
| 85     | Caja de acrílico para protección de interfaz humana      | 117    |
| 86     | Instalación de caja metálica en la pared                 | 118    |
| 87     | Cableado entre medidor electromagnético e instrumento    | 119    |
| 88     | Carpetas en USB que genera el instrumento                | 123    |
| 89     | Datos extraídos del instrumento en modo texto            | 124    |
| 90     | Datos de la semana de pruebas, parte 1                   | 124    |
| 91     | Datos de la semana de pruebas, continuación              | 125    |
| 92     | Datos de pruebas en Excel                                | 126    |

# Lista de Figuras

| Figura |  | Página |
|--------|--|--------|
| 93     | Datos de pruebas en Excel (continuación)                         | 126    |
| 94     | Datos de pruebas en Excel (continuación)                         | 127    |
| 95     | Datos de pruebas en Excel (continuación)                         | 127    |
| 96     | Datos de pruebas en Excel (continuación)                         | 128    |
| 97     | Aproximación del flujo de puré de tomate                         | 142    |
| 98     | Método tiempo de vuelo del medidor de caudal ultrasónico         | 145    |
| 99     | Método Efecto Doppler del medidor de caudal ultrasónico          | 145    |
| 100    | Principio "Tiempo de tránsito" del medidor de caudal ultrasónico | 148    |
| 101    | Configuración del método V de medidor de caudal ultrasónico      | 152    |
| 102    | Configuración del método W de medidor de caudal ultrasónico      | 152    |
| 103    | Transmisión y recepción de frecuencias de "Efecto Doppler"       | 154    |
| 104    | Medidor de caudal electromagnético versión compacta              | 156    |
| 105    | Medidor de caudal electromagnético versión remota                | 156    |
| 106    | Reducción de tubería   | 160    |
| 107    | Error de medición del medidor de caudal comprado                 | 161    |
| 108    | Medidor de caudal electromagnético comprado sin pantalla LCD     | 162    |
| 109    | Medidor de caudal electromagnético con pantalla LCD              | 162    |
| 110    | Sitio de instalación del medidor de caudal electromagnético      | 164    |
| 111    | Sitio de instalación del gabinete                                | 165    |
| 112    | Medidor de flujo electromagnético Endress + Hauser               | 167    |
| 113    | Módulo M52259 de Freescale                                       | 170    |
| 114    | Microcontrolador MCF52259 de Freescale                           | 171    |
| 115    | Configuración de las terminales del microcontrolador             | 172    |

# Lista de Figuras

| Figura |  | Página |
|--------|--|--------|
| 116    | Puertos del microcontrolador                       | 173    |
| 117    | Pantalla de cristal liquido                        | 174    |
| 118    | Parte posterior de la pantalla LCD                 | 175    |
| 119    | Memoria USB  | 175    |
| 120    | Cable de instrumentación                           | 176    |
| 121    | Cable eléctrico de uso rudo                        | 176    |
| 122    | Caja metálica                                      | 177    |
| 123    | Receptáculo para conexión de cable                 | 178    |
| 124    | Receptáculo para montaje en caja                   | 178    |
| 125    | Conector para receptáculo tipo macho               | 179    |
| 126    | Conector hermético par cable AC                    | 180    |
| 127    | Conector hermético para cable de medidor de caudal | 180    |
| 128    | Fuente de + 5 VDC                                  | 181    |
| 129    | Fuente de + 24 VDC                                 | 182    |
| 130    | Botón de presionar N/A de acero inoxidable         | 183    |
| 131    | Reductores de tubería                              | 183    |
| 132    | Circuito de tubería para pruebas en campo          | 186    |
| 133    | Laptop HP Pavilion dv2000                          | 187    |
| 134    | Conexión entre laptop y módulo M52259              | 187    |
| 135    | Multímetro Fluke – 115                             | 188    |
| 136    | Fuente de voltaje DC Instek GPS-1850D              | 189    |
| 137    | Osciloscopio digital Instek GDS-1022               | 189    |
| 138    | Carta de aceptación del instrumento por Val Vita   | 190    |

# Lista de Tablas

| Tabla |   | Página |
|-------|---|--------|
| 1     | Ejemplos de medidores de caudal en el mercado                       | 16     |
| 2     | Ventajas y desventajas, de medidores electromagnéticos              | 21     |
| 3     | Métodos de instalación de un medidor de caudal electromagnético     | 22     |
| 4     | Resultados de prueba: corriente - voltaje                           | 69     |
| 5     | Conexiones de conectores cilíndricos                                | 75     |
| 6     | Pruebas de pre-validación del instrumento para el volumen           | 109    |
| 7     | Pruebas de pre-validación del instrumento para el flujo             | 110    |
| 8     | Pruebas finales del instrumento para volumen                        | 120    |
| 9     | Pruebas finales del instrumento para el flujo                       | 121    |
| 10    | Pruebas finales del instrumento a otras funciones                   | 122    |
| 11    | Características químicas del puré de tomate                         | 143    |
| 12    | Medidores de caudal electromagnéticos cotizados                     | 157    |
| 13    | Características de los medidores de caudal cotizados                | 158    |
| 14    | Características de los medidores de caudal cotizados (continuación) | 159    |

# **CAPÍTULO I**

## **INTRODUCCIÓN**

### **1.1. ANTECEDENTES**

La instrumentación electrónica es una rama de la electrónica que se encarga de transformar las variables físicas o químicas mediante un sensor, en algo entendible para el ser humano, y que además, la información pueda ser monitoreada, procesada para una determinada función o para tener un registro de datos, con el fin de tomar decisiones correctas, mejorar procesos industriales, entre otros.

Para este trabajo, la variable física que se maneja es el flujo volumétrico que es el volumen que atraviesa una superficie por unidad de tiempo, de tal forma que al conocer el flujo, también se puede saber el volumen. Las unidades que se manejan son litros por segundo para flujo y litros para volumen.

Actualmente en el mercado se puede encontrar numerosos medidores que monitorean el flujo volumétrico o caudal, que van desde tamaños y rangos de operación, como de principios físicos de funcionamiento.

Los tres grupos de medidores que existen son: de presión diferencial, de velocidad y volumen. Estos varían en niveles de complejidad, tamaño, costo, versatilidad, caída de presión, exactitud y principio de operación. Estos medidores sólo monitorean el flujo, pero no pueden llevar un registro de datos. Si se requiere un registro de información, el costo del equipo se duplica; como ejemplo, para el caso de un medidor de caudal electromagnético con registro de datos es de \$ 7,500 USD, motivo por el cual pequeñas Empresas no pueden tener este tipo de tecnologías.

El proyecto de este trabajo, se origina en la Empresa Val Vita, ubicada en el Km. 117 Carretera Ensenada La Paz, Ex-ejido Chapultepec, Ensenada, Baja California, México y nace de la necesidad de conocer la producción de puré de tomate de forma exacta, tomando en cuenta de que el sistema no debe obstruir el paso del fluido en la tubería de transporte.

La Empresa Val Vita inicia en los años cincuentas como parte de la compañía llamada Pesquera del Pacífico, en el año de 1991 Val Vita se independiza y posteriormente, esta Empresa dividió las marcas a distintos accionistas, finalmente Val Vita es la única marca que se quedó en Ensenada.

En Abril del 2005, Val Vita inicia la actualización más importante en cuanto a tecnología de envase se refiere, lo cual la coloca como la primera Empresa en su categoría en utilizar esta innovación.

Para estimar el volumen de puré de tomate producido, Val Vita mide el volumen mediante envases producidos y también, por medio de mirillas grabadas, el volumen preparado en los tanques de elaboración. La forma de medir el volumen con mirillas es inexacta y a la Empresa le interesa mejorar la medición para que esta sea lo más cercano al valor real de producto elaborado, considerando características como: el instrumento no obstruya el paso del fluido, no contabilice volumen indeseado, monitoreo permanente, almacenamiento de datos, que la información se pueda analizar en una computadora, entre otros.

## **1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En la Empresa Val Vita existe la necesidad de optimizar el control interno del puré de tomate y sus inventarios, mediante la aplicación de un instrumento que mida de forma exacta el volumen de puré de tomate pre-ensado, se toma en cuenta de que, el contacto entre el instrumento y el puré de tomate no es aceptado por motivos de calidad de la Empresa.

El proceso de elaboración del puré de tomate consiste en tres pasos:

- El primero es obtener la pulpa de tomate concentrada a partir de tomates frescos.

- El segundo es cuando la pulpa de tomate concentrada es formulada en contenedores para convertirla en puré de tomate condimentado para envasarse y ser transportada por tubería.
- El tercer paso es envasar y empacar el producto.

A la Empresa le interesa medir el caudal, justamente después de los contenedores, en la sección de tubería transversal, en este lugar la temperatura alcanza los 90 grados Celsius.

### **1.3. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN**

Para resolver la necesidad de la Empresa Val Vita, se llega a describir la siguiente pregunta de investigación:

¿Se puede desarrollar un instrumento no intrusivo para medir y almacenar, información de flujo y volumen, del puré de tomate?

### **1.4. HIPÓTESIS**

Basándose en que se cuenta con la tecnología y el recurso humano, para resolver la necesidad de Val Vita, se propone la siguiente hipótesis:

Sí se puede desarrollar un instrumento no intrusivo para medir y almacenar, información de flujo y volumen, del puré de tomate.

## **1.5. OBJETIVOS DEL PROYECTO**

Para comprobar la hipótesis, se tienen los siguientes objetivos:

El objetivo general del trabajo es:

- Diseñar e implementar, un instrumento para medir y almacenar, la información de flujo y volumen, del puré de tomate pre-envasado, sin que se tenga contacto con el producto. La información pueda ser recuperada con una memoria USB y se visualice en una computadora mediante el software Excel.

Para cumplir con el objetivo antes expuesto, es necesario cubrir los siguientes objetivos específicos:

1. Determinar el principio físico para la medición de flujo y volumen.
2. Diseñar e integrar, el instrumento para medir y almacenar información, de flujo y volumen.
3. Configurar y programar, el instrumento.
4. Instalar, probar y validar, el instrumento.

## 1.6. IMPORTANCIA DEL ESTUDIO

La importancia de esta investigación radica en la necesidad de mejorar el control interno de la producción de puré de tomate en la Empresa Val Vita, como también, establecer de manera exacta la merma del puré de tomate y el rendimiento del tomate fresco, con esto se pueden tomar decisiones para la compra del mismo, lográndose con la medición de caudal mediante la implementación de un instrumento que entregue valores exactos de volumen.

La forma en que actualmente se mide el volumen de puré de tomate es visualizar a través de una mirilla, ubicada en la pared del contenedor donde se elabora el puré de tomate (figura 1); esta medición no es exacta, ya que un milímetro de error en la medición, significa una cantidad de litros considerables de puré de tomate debido a la magnitud del contenedor y a este error, se le suma la cantidad de puré de tomate que se pierde durante el proceso de envío del producto hacia el envasado.



Figura 1. Contenedores donde se elabora el puré de tomate.

## **1.7. DELIMITACIÓN DEL ESTUDIO**

En cuanto la delimitación geográfica, el proyecto se implementará únicamente en las instalaciones de la Empresa Val Vita, cuya ubicación se menciona en la introducción del capítulo I.

El instrumento a desarrollar tiene las siguientes limitantes: la medición de volumen y flujo, del puré de tomate, se visualizará en una pantalla LCD, se guardará la información que será recuperada con memoria USB cada semana. La información incluirá, cuánto volumen por hora fue envasado, incluye la hora y fecha. También, se visualizará la hora y fecha en la pantalla LCD, volumen en litros y el flujo en litros por segundo.

El instrumento contará con un menú, donde se podrá modificar la hora, modificar la fecha, recuperar información de respaldo y entrar a un sub-menú de totalizadores.

La temperatura del proceso donde se instalará el sensor es de 85 °C. En cuanto al usuario del instrumento, será utilizado sólo por personal de producción de la Empresa Val Vita, que contará con un manual del instrumento para su fácil entendimiento.

## **CAPÍTULO II**

### **REVISIÓN DE LA LITERATURA**

#### **2.1. INTRODUCCIÓN**

En este capítulo se definen términos relacionados con el flujo y también, una revisión bibliográfica de los medidores que existen actualmente en el mercado. Se incluye información sobre el puré de tomate en el apéndice A.

Posteriormente, se enfoca en el estudio de dos tipos de medidores de flujo o también, llamados medidores de caudal; Debido al modo de operación de estos medidores, no obstruyen el paso del fluido, que para cumplir con el objetivo de este trabajo es indispensable; una vez que son analizados, tomando en cuenta aspectos como: principios de operación o funcionamiento, que tipo de fluido miden, el rango de medición, la exactitud del medidor, características de instalación, precios, ventajas, desventajas, tipo de aplicación, entre otros, se determina cuál es el tipo de medidor que se implementa y si este, se puede construir, para que actúe como el sensor del instrumento.

## 2.2. EL CAUDAL

Primeramente hay que distinguir dos tipos de flujo o caudal, el másico y el volumétrico. El tipo de caudal de interés para la tesis, es el volumétrico, ya que el fluido a medir es puré de tomate.

El caudal volumétrico se define como el volumen que atraviesa una superficie por unidad de tiempo: es qué tanta cantidad de fluido pasa por un determinado punto dentro de un periodo de tiempo. [1]

Para determinar el caudal se utiliza la siguiente ecuación:

$$Q = A * V \quad (1)$$

Donde:

*Q Caudal (m<sup>3</sup>/s).*

*A Área transversal por donde atraviesa el fluido (m<sup>2</sup>).*

*V Velocidad del fluido (m/s).*

Esto significa que el caudal depende de la sección del área transversal por donde atraviesa el fluido y de la velocidad del mismo. Para realizar esta medición se utilizan flujómetros o también llamados caudalímetros, que son los

medidores de flujo. Las unidades para el caudal en el sistema métrico son  $m^3/s$ .

La medición de caudal es una de las mediciones físicas que revisten uno de los más altos grados de dificultad y donde se aplican una gran cantidad de principios físicos, además, actualmente con una gran complejidad técnica (debido a que no existen dos tipos de fluido idénticos).

Los fluidos están presentes en la mayoría de los procesos industriales, ya sea porque intervienen en forma directa en el proceso de producción o porque pertenecen a los circuitos secundarios necesarios.

En el mercado existe una gran variedad de medidores, tanto desde el punto de vista de tamaños y rangos de operación, como de principios de funcionamiento. Esto es debido a que se intenta conseguir la máxima precisión para la mayor cantidad de aplicaciones.

El principio de funcionamiento es el fenómeno físico en el que se basa el medidor, y es una característica de diseño. Para los medidores de caudal volumétricos, los principales sistemas son presión diferencial, área variable, velocidad, tensión inducida, desplazamiento positivo y vórtice. Para los másicos se deben destacar el sistema térmico y el sistema basado en la fuerza de Coriolis. [2]

### **2.3. MEDIDORES DE CAUDAL DE FLUIDOS**

Un campo de importante aplicación de la mecánica de fluidos es la determinación de la razón de flujo de fluidos o el caudal del fluido. Existen numerosos medidores de caudal cuyo propósito es medir el flujo. Estos medidores varían notablemente en sus niveles de complejidad, tamaño, costo, precisión, versatilidad, capacidad, caída de presión y principio operativo.

Algunos medidores de caudal miden la razón de flujo o caudal directamente, cuando se descarga y recarga continuamente una cámara de medición de volumen conocido, el cual, se mantiene constante el número de descargas por unidad de tiempo. Pero, la mayoría de los flujómetros miden el caudal indirectamente: miden la velocidad promedio, o la cantidad que se relaciona con la velocidad promedio, como la presión y la fuerza de arrastre; de esta forma determinan el caudal mediante la multiplicación de la velocidad con el área transversal por donde pasa el flujo.

En el mercado se pueden encontrar medidores de caudal para cada tipo de aplicación, tanto los que presentan obstrucción al fluido (intrusivos), como no intrusivos; estos utilizan cierta técnica o principio físico para medir una variable.

Los tres grupos de medidores de caudal para líquidos son: Medidores de presión diferencial, de velocidad y de volumen; también se pueden encontrar

medidores de caudal másicos, sin embargo, estos no son de interés para este estudio.

### **2.3.1. Medidores de presión diferencial**

Entre los medidores de caudal que miden presión diferencial se tienen: Tubo de venturi, placa orificio, Tubo de pitot, entre otros. En la industria es el grupo de medidores más utilizado, siendo el más popular la placa orificio. Su técnica parte de que cualquier restricción de fluido produce una caída de presión después de esta, lo cual crea una diferencia de presión antes y después de la restricción. Esta diferencia de presión tiene relación con la velocidad del fluido y se puede determinar aplicando el Teorema de Bernoulli; si se sabe la velocidad del fluido y el área por donde está pasando, se puede conocer el caudal en ese instante.

Entre sus ventajas se encuentran: sencillez de construcción, funcionamiento fácil de entender, no son caros, pueden utilizarse para la mayoría de los fluidos y existen extensas publicaciones para sus diferentes usos.

Algunas desventajas son: pueden producir pérdidas de cargas significativas, la señal de salida no es lineal con el caudal y la precisión es menor que en medidores modernos.

### **2.3.2. Medidores de velocidad**

Los medidores que utilizan la técnica para medir velocidad son: medidores de turbina, medidores electromagnéticos, medidor vortex, rotámetros y medidores ultrasónicos. Estos medidores utilizan principios físicos para obtener una señal de salida proporcional a la velocidad del fluido, al conocer esta variable, se puede saber el caudal instantáneo al multiplicar la velocidad por el área del tubo lleno de líquido.

Las ventajas varían entre ellos, en especial para los medidores ultrasónicos y electromagnéticos, ya que estos son de tipo no intrusivo, esto es que el medidor no tiene contacto alguno con el fluido; también son de alta exactitud, no tienen pérdidas de presión, etc. Algunas desventajas para estos medidores es que son de costo muy elevado, los de tipo electromagnético son más económicos que los de tipo ultrasónico aunque, esta última tecnología es más nueva que la electromagnética.

### **2.3.3. Medidores de volumen**

Algunos medidores de volumen que se presentan en el mercado son los siguientes: medidores de desplazamiento positivo (para fluidos viscosos), medidor de pistón oscilante, de paletas deslizantes y de engranajes.

Los medidores de desplazamiento positivo obtienen la señal mediante la cantidad de fluido que circula por un conducto, al dividir el flujo en volúmenes separados y sumando los volúmenes que pasan a través del medidor. Para cada medidor existen tres componentes comunes:

- *Cámara*, que se encuentra llena de fluido.
- *Desplazador*, que bajo la acción del fluido circulando, transfiere el fluido desde el final de una cámara a la siguiente.
- *Mecanismo*, conectado al desplazador, que cuenta el número de veces que el desplazador se mueve de una parte a otra en cámara de trabajo.

Los medidores de tipo pistón, habitualmente se utilizan para pequeños caudales; una de sus aplicaciones es en unidades de bombeo de distribución de petróleo.

Los de paleta deslizantes se usan para medir líquidos de elevado coste, generalmente se instalan en camiones cisternas para la distribución de combustible para la calefacción.

Por último, los medidores de engranajes encuentran aplicaciones para un amplio margen de líquidos y condiciones de funcionamiento, aunque su desventaja es que no son precisos. [3]

## **2.4. MEDIDORES DE CAUDAL DE INTERÉS PARA LA TESIS**

El objetivo de la tesis es diseñar e implementar, un instrumento para medir el caudal de puré de tomate pre-ensado, sin que se tenga contacto con el producto. Por ello, los medidores de interés son los de tipo no intrusivo, los cuales únicamente son: medidores de caudal ultrasónico y medidor de caudal electromagnético.

El estudio e investigación de estos medidores es necesario para lograr el objetivo de tesis, ya que mediante ello, se determinará que medidor de caudal se implementará y si se puede construir, para medir el fluido de interés.

## **2.5. MEDIDORES DE CAUDAL EN EL MERCADO**

En el mercado se pueden encontrar medidores de caudal para cada aplicación que se desee. Para el caso particular del trabajo, se enfoca en los medidores de caudal ultrasónico y electromagnético.

Se presentan cuatro medidores de caudal en la tabla 1, que actualmente están en venta en el mercado. Dos de ellos son medidores de caudal del tipo electromagnético, mientras que los dos restantes son del tipo ultrasónico.

Tabla 1. Ejemplos de medidores de caudal en el mercado.

| Medidores de caudal electromagnéticos:   |  | Medidores de caudal ultrasónicos:   |  |
|--|--|---|--|
|   |   |   |   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Para tubo de 1-40 pulgadas.</li> <li>• Salida de 4-20 mA.</li> <li>• 0.5% de exactitud.</li> <li>• Alimentación de 110 VAC.</li> <li>• 180°C máximo.</li> <li>• Pantalla LCD.</li> <li>• De Alemania.</li> <li>• \$ 2,187 USD.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Para tubo de 1-40 pulgadas.</li> <li>• Salida de 4-20 mA.</li> <li>• ± 0.5% de exactitud.</li> <li>• Alimentación de 110 VAC.</li> <li>• 70°C máximo.</li> <li>• Pantalla LCD.</li> <li>• De Chile.</li> <li>• \$ 4,000 USD.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Para tubo de 8-60 pulgadas.</li> <li>• Salida de 4-20 mA.</li> <li>• Medición por efecto doppler.</li> <li>• ± 1% de exactitud.</li> <li>• Alimentación de 110 VAC.</li> <li>• Pantalla LCD.</li> <li>• Transductor tipo "clamp-on".</li> <li>• \$ 5,500 USD.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Para tubo de 8-120 pulgadas.</li> <li>• Utiliza tiempo de tránsito para medición.</li> <li>• ± 1% de exactitud.</li> <li>• Alimentación de 110 VAC.</li> <li>• Pantalla LCD.</li> <li>• Transductor tipo "clamp-on".</li> <li>• Portátil.</li> <li>• De Alemania.</li> <li>• \$ 9,200 USD.</li> </ul> |
| <p>Miden el caudal instantáneo y volumen. El tubo debe estar lleno de fluido para una correcta lectura.</p> <p>No tiene partes móviles, por lo que no necesita de mantenimiento.</p> <p>Es necesario adaptarlo a la tubería donde se desea medir.</p>                              |  | <p>Miden el flujo sin la necesidad de cortar el tubo donde se desea medir.</p> <p>El medidor que usa efecto doppler sólo mide líquidos con partículas en suspensión.</p> <p>Los de tiempo de tránsito, mide líquidos limpios, libres de partículas. [3]</p>   |  |

Algunas Empresas que tienen en venta medidores de caudal en el mercado son:

- Endress+Hauser.
- Microultra.
- Aguamarket.
- Flexim.
- Shenitech.
- Dynasonics.
- Theultrasonicflowmeters.

Las Empresas mencionadas anteriormente, son algunas que tienen en venta medidores de caudal que utilizan tecnología tanto ultrasónica como electromagnética. Ofrecen medidores a precios muy variables, el cual depende de las características que tiene el medidor de caudal. Algunos de ellos, miden el volumen total entre otras variables como: presión, temperatura, etcétera.

## **2.6. PRINCIPIOS FÍSICOS: MEDICIÓN DEL CAUDAL VOLUMÉTRICO**

Ya se ha mencionado sobre los medidores de caudal que son aspirantes para ser implementados en este trabajo de tesis, ahora, se realiza una revisión bibliográfica sobre el principio físico que utilizan los medidores de tipo electromagnético y ultrasónico, así como también, sus características, ventajas, desventajas, métodos de instalación del medidor, los posibles problemas que pueden presentar durante las mediciones y algunos aspectos que pueden ayudar a decidir qué tipo de medidor implementar.

Después de haber estudiado y analizado, que tipo de medidor de caudal implementar, se decide por uno del tipo electromagnético. Por tanto, la información sobre el medidor de caudal ultrasónico se puede encontrar en el apéndice B.

### **2.6.1. Medidor de caudal electromagnético.**

El principio de los medidores de flujo electromagnético o también llamados caudalímetros electromagnéticos, se basan en la ley de inducción electromagnética de Faraday (1832): "El voltaje inducido en un conductor que se mueve en un campo magnético, es proporcional a la velocidad del conductor, dimensión del conductor, y fuerza del campo magnético", con este principio, se hace pasar un fluido conductor a través del campo magnético producido por un conjunto de bobinas sujetas al exterior de la tubería, de esta forma, el flujo y al campo magnético, genera un voltaje que es captado por dos electrodos. Este voltaje es proporcional a la longitud entre los dos electrodos, a la densidad del campo magnético y a la velocidad con que atraviesa el conductor (fluido), este campo magnético. Para obtener de todo esto un determinado caudal en un instante, se multiplica la velocidad del fluido por el área de la tubería (llena de fluido). [4]

Estos tipos de medidores, sólo pueden detectar el flujo de fluidos con una conductividad eléctrica mayor a  $5 \mu\text{S}/\text{cm}$ . En los dos electrodos que se encuentran ubicados a 90 grados respecto al flujo del líquido y al campo magnético, tal como se indica en la Figura 2, se obtiene un voltaje en el orden de los milivoltios, que es proporcional a la velocidad del fluido.

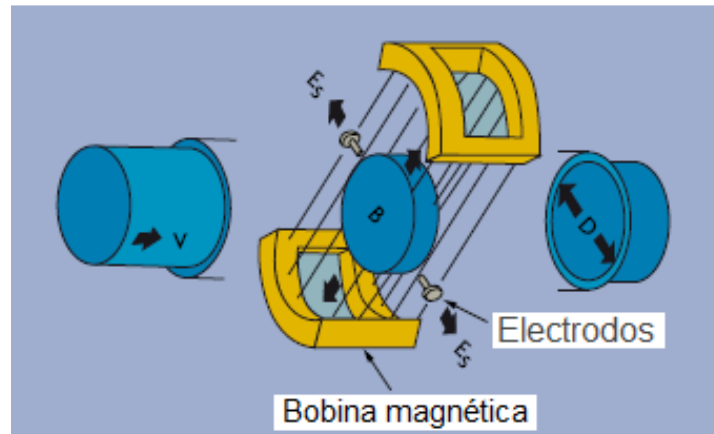


Figura 2. Estructura y componentes del medidor electromagnético.

La tubería y el revestimiento, deben ser de material no metálicos (no magnético) para no corto-circuitar el voltaje inducido por el fluido. En algunos casos se usa: teflón, poliuretano, neopreno y cerámicas. Los electrodos son por lo general de material de acero inoxidable, o también de circonio, platino-iridio, titanio tantalio. Para que el medidor obtenga una medida valida, el tubo debe estar lleno de fluido. Por su carácter no invasivo (sin contacto con el fluido), es adecuado para las industrias farmacéuticas y alimentarias.

En medidores convencionales, los electrodos están en contacto con el fluido permanentemente. Hay otro tipo de medidor, con los electrodos desmontables (para ser repuestos). En diseños de electrodos más recientes, estos no tienen contacto con el fluido.

Las características que tienen los medidores de caudal electromagnético son:

Los medidores de flujo electromagnéticos pueden detectar fluidos limpios, sucios, corrosivos, erosivos y viscosos, siempre y cuando sean fluidos con una cantidad mínima requerida de conductividad eléctrica.

La exactitud de estos medidores está entre el 0.2 y 1 %. La conductividad del fluido debe ser constante durante todo el proceso de medición, si se van a combinar dos fluidos, y la conductividad de cada uno de ellos es significativa, deben ser mezclados completamente antes de que se mida su flujo.

El tamaño del medidor electromagnético a ser utilizado, puede ser determinado por medio de tablas publicadas por el fabricante, algunos, ofrecen medidores para diámetros de tubería desde 0.1 hasta 96 pulgadas. Para la mayoría de las aplicaciones de estos medidores, la velocidad del fluido debe estar entre 3 y 15 pies/segundo. Si la velocidad es mayor que el límite, la vida del medidor se reducirá.

En la tabla 2, se describen las ventajas y desventajas, de los medidores de caudal electromagnéticos.

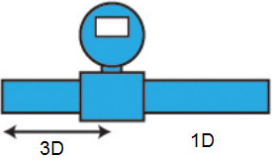
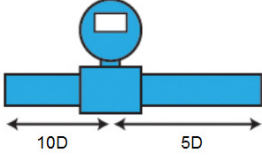
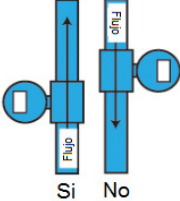
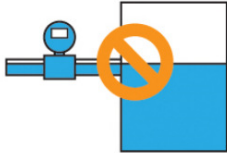
Tabla 2. Ventajas y desventajas, de medidores electromagnéticos.

| <b>Ventajas:</b>  | <b>Desventajas:</b>   |
|---|---|
| Mide todo tipo de fluido.   | El fluido debe tener conductividad eléctrica.                 |
| No obstruyen el paso del flujo.   | Se debe cortar tubería o instalar un sistema para su soporte. |
| No tienen pérdidas de presión.  | Las bobinas dan lugar a calentamiento local del tubo.         |
| Se fabrican en muchas medidas.  | El tubo debe estar siempre lleno de fluido.                   |
| No son afectados por variaciones en la densidad, viscosidad, presión y temperatura. |   |
| La señal de salida es lineal.   |   |
| Mide en cualquiera de las dos direcciones del tubo.                                 |   |

Una característica importante para el correcto funcionamiento de los medidores de caudal electromagnéticos, es su instalación, ya que si no está instalado de acuerdo a las especificaciones del fabricante, la medida resultara errónea. [5]

En la tabla 3, se muestra como se debe de instalar un medidor para una correcta operación. También, se tiene un ejemplo de cómo no se debe de instalar, ya que de esta forma, la información seria equivocada.

Tabla 3. Métodos de instalación de un medidor de caudal electromagnético.

|  |  |
|--|--|
| <p>Buena instalación</p>        | <p>Una buena instalación del medidor es dando una distancia de 3 veces el diámetro de la tubería por la entrada del flujo y 1 vez el diámetro a la salida.</p> |
| <p>Exelente instalación</p>     | <p>Una mejor instalación es que la distancia en la entrada del flujo sea de diez veces del diámetro del tubo y cinco veces en la salida.</p>                   |
|                                 | <p>También se puede instalar el medidor de forma vertical, pero considerando que el flujo va de abajo hacia arriba.</p>  |
| <p>Instalación incorrecta</p>  | <p>Una instalación incorrecta es colocar el medidor en una descarga de un tanque.</p>  |

Algunos de los problemas que presentan los medidores de caudal electromagnéticos, son los siguientes:

Estos tipos de medidores no pueden distinguir el aire que está entre el electrodo y el fluido, el cual, es arrastrado junto con el fluido; de esta forma, las burbujas de aire que atraviesan el medidor, causaran ruido en la señal de salida de los electrodos. Otro problema común es cuando los electrodos son obstruidos o aislados del flujo por partículas del mismo, esto causa perdida de señal en los electrodos o error de medición; de cualquier forma, estos problemas son solucionados para cada tipo de medidor. [6]

Otros factores que pueden ayudar para la selección de un medidor de caudal, el cual se implementará para el trabajo, son contestando lo siguiente:

1. ¿El conducto donde se medirá el caudal es abierto o cerrado?
  - a. R: caudal cerrado.
2. ¿La medición será para caudal volumétrico o másico?
  - a. R: caudal volumétrico.

También, es necesario tomar en cuenta las condiciones externas del conducto las cuales se obtienen considerando las siguientes preguntas:

1. ¿El sitio de instalación del instrumento es accesible para inspección, mantenimiento, calibración, etc.?
  - a. R: No para el sensor, si para el instrumento.
2. ¿Cuáles son los efectos de la temperatura externa sobre el fluido y equipo de instrumentación?
  - a. R: depende del medidor que se adquiera.
3. ¿Cuáles son los efectos de la vibración del conducto sobre el instrumento?
  - a. R: depende del medidor que se adquiera.
4. ¿El sitio donde se instalará el instrumento es de alta humedad (corrosión) o baja humedad?
  - a. De alta humedad.

5. ¿Existen efectos de campos eléctricos y magnéticos, sobre circuitos eléctricos y electrónicos?

a. R: Motores de 220 VAC que pueden provocar ruido eléctrico.

Otro factor, de los más importantes del proceso de medición, son las condiciones internas del conducto:

1. ¿Cuál es el diámetro de la tubería?

a. 50 mm.

2. ¿Existe turbulencia?

a. No.

3. ¿Es un flujo constante o periódico?

a. Flujo periódico.

Las propiedades de los fluidos son un factor más que se debe considerar:

1. ¿Cuál es la conductividad eléctrica del fluido?

a. Es  $100 \mu\text{S}/\text{cm}^2$  para el puré de tomate.

2. ¿Cuáles son las propiedades magnéticas del fluido?

a. Conduce la electricidad.

Una vez contestadas todas las preguntas antes mencionadas, genera información importante, ya que ayuda a determinar el principio físico a utilizar para llevar a cabo la medición del fluido. [7]

## 2.6.2. ECUACIONES PARA OBTENER LA VELOCIDAD DEL FLUIDO DEL MEDIDOR ELECTROMAGNÉTICO

Para la medición de flujo utilizando un medidor electromagnético, se basa en la ley de Faraday, que establece lo siguiente: la tensión inducida a través de un conductor al moverse perpendicularmente a través de un campo magnético, es proporcional a la velocidad del conductor. La ecuación de la ley de Faraday es la siguiente:

$$E_s = K * B * l * v \quad (2)$$

Donde:

*E<sub>s</sub>* Tensión generada en el conductor (Voltios).

*K* Constante de instrumentación.

*B* Densidad del campo magnético (Teslas).

*l* Longitud del conductor (m).

*v* Velocidad del conductor (m/s).

En el medidor de caudal electromagnético: el conductor es el líquido; "*E<sub>s</sub>*" es la señal generada, que es captada por dos electrodos separados diametralmente y ubicados en la pared del tubo como se observa en la figura 3.

La única zona del líquido en movimiento que contribuye a la Fuerza Electromotriz (FEM) es la que une en línea recta a los dos electrodos, " $B$ " es la densidad del campo magnético generado por medio de la bobina del campo, " $D$ " es el diámetro de la tubería ( $m$ ) y " $v$ " es la velocidad del fluido ( $m/s$ ).

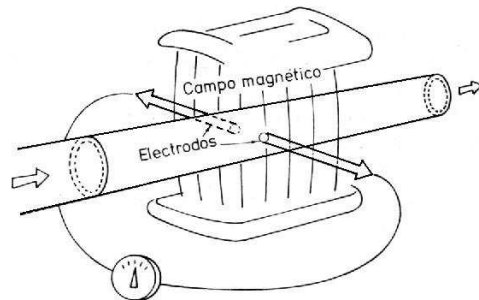


Figura 3. Funcionamiento del medidor de caudal electromagnético.

El caudal (en  $m^3/s$ ) es la velocidad del fluido por el área del tubo (lleno de fluido), por lo tanto:

Si el área de un círculo es:

$$area = \pi r^2 \quad (3)$$

Donde:

$r$  Radio del círculo ( $m$ ).

Se hace:

$$r = \frac{D}{2} \quad (4)$$

Donde:

$D$  Diámetro del círculo ( $m$ ).

Se tiene que el caudal es:

$$Q = v \left( \frac{\pi D^2}{4} \right) \quad (5)$$

Ahora, si se despeja "v" de la ecuación (2) y se sustituye en la ecuación (5):

$$v = \frac{E_s}{K * B * l} \quad (6)$$

Al sustituir la ecuación (6) en (5):

$$Q = \left( \frac{E_s}{K * B * l} \right) \left( \frac{\pi D^2}{4} \right) \quad (7)$$

Se reducen términos y se considera  $l = D$ :

$$Q = \left( \frac{E_s}{K * B} \right) \left( \frac{\pi D}{4} \right) \quad (8)$$

Por último se tiene:

$$Q = K_1 * D * \frac{E_s}{B} \quad (9)$$

Donde:

$$K_1 = \frac{\pi}{4K} \quad (10)$$

Las fórmulas anteriores indican que la señal " $E_s$ " depende de la velocidad del fluido y de la densidad del campo magnético " $B$ ", la cual a su vez está influida por la tensión de la línea y por la temperatura del fluido.

Para obtener una señal que dependa únicamente de la velocidad, debe eliminarse la influencia de estos tres factores; por otro lado es muy difícil mantenerlos en valores constantes (la temperatura y la conductividad del fluido vienen dadas por las condiciones de cada caso en particular).

Es por esto que la señal de tensión del medidor se compara en el receptor con una tensión de referencia " $E_r$ ". Como las dos señales derivan a la vez del campo magnético " $B$ ", la tensión de la línea, las variaciones de temperatura y conductividad del líquido no influyen en la precisión de la medida.

La señal de referencia " $E_r$ " se toma de un arrollamiento colocado en los bobinados del campo que generan el flujo magnético. En la figura 4, puede verse un esquema de conexiones del elemento de medida.

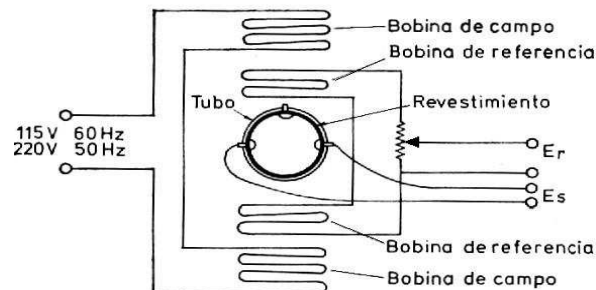


Figura 4. Diagrama de conexiones del medidor de caudal electromagnético.

El valor de " $E_r$ " se escoge de tal forma que la relación " $E_s/E_r$ " se hace constante en todos los medidores de caudal. La conductividad del fluido es la única característica propia del líquido que puede limitar el empleo del medidor magnético de caudal.

El sistema electrónico utilizado en el elemento y en el receptor, permite medir caudales de líquidos que tengan una conductividad superior a 5  $\mu\text{S/cm}$ .

Sin embargo, en casos especiales se puede trabajar con valores menores, sí se añade al circuito de medida un preamplificador adicional (acondicionador de señal), alcanzándose una conductividad mínima de 0.3  $\mu\text{S/cm}$ .

Los medidores de tipo magnéticos son una muy buena opción cuando se requiere una excelente exactitud y además, que no ocasione pérdidas de presión en la tubería (no intrusivo). [8]

## **2.7. SUMARIO**

En el capítulo II, se describieron definiciones de flujo, además, una revisión de los medidores de caudal que existen en la actualidad, enfocando el estudio en dos tipos de medidores de caudal de interés: electromagnético y el ultrasónico.

En cada uno de los medidores, se revisó el principio de funcionamiento, características, ventajas, desventajas, entre otros detalles. También, sobre las ecuaciones que hacen que el sistema funcione. Finalmente, después del estudio de los medidores, se determina que el medidor de caudal electromagnético es el que se utilizará como el sensor para este trabajo, básicamente por los siguientes motivos: la exactitud es de 0.5 % en medidores de mercado y no son costosos comparados con los ultrasónicos.

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1. INTRODUCCIÓN Y PROPUESTA DEL INSTRUMENTO**

Después del estudio y análisis, de los medidores de caudal tanto electromagnético como ultrasónico que se presentó en el capítulo II, se determinó que se comprará uno del tipo electromagnético para su implementación. Se realizó una búsqueda de medidores y sus características, así como también, una serie de cotizaciones a distintas Empresas a nivel internacional que se pueden encontrar en el apéndice C.

El medidor de caudal electromagnético que se adquiere, es el modelo 50H40 de la compañía Endress + Hauser. Este medidor, funciona como el sensor del instrumento, además de que ayudará para la validación del mismo.

La figura 5, muestra una propuesta de cómo quedará el sistema en el sitio de instalación en la Empresa, así como también, los componentes del instrumento.

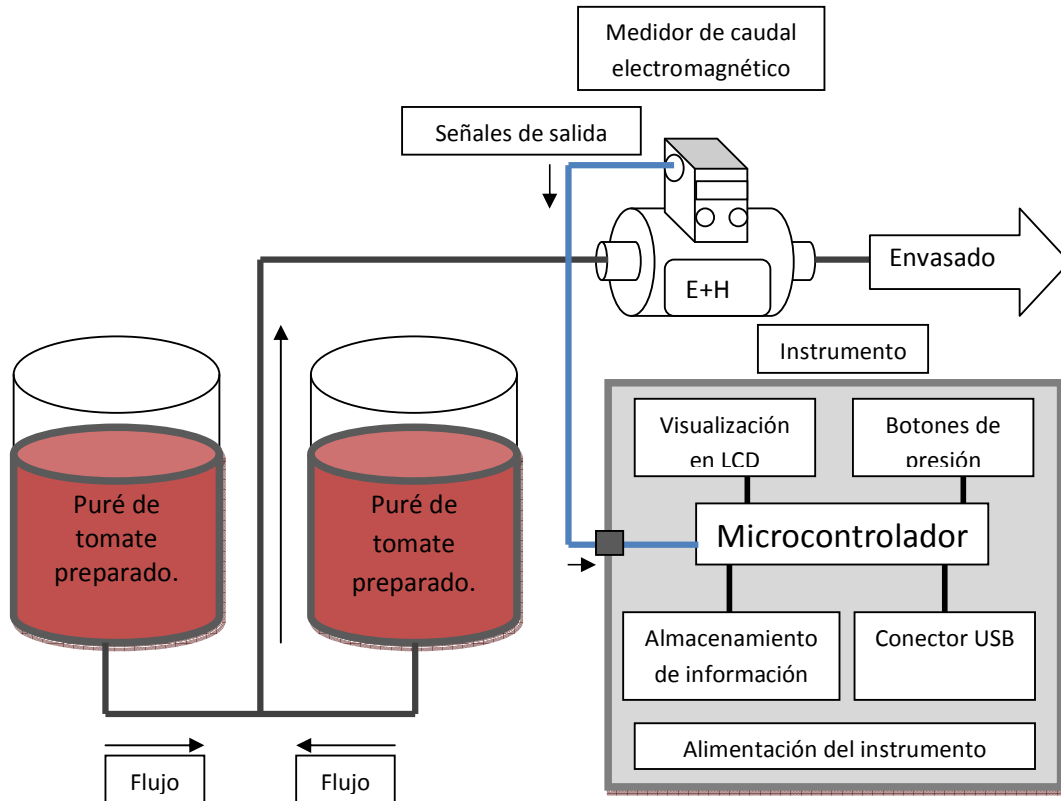


Figura 5. Propuesta del sistema de instrumentación.

En el apéndice D, se muestra el sitio donde se instalará el medidor de caudal y el instrumento, en las instalaciones de la Empresa Val Vita.

En primera fase del capítulo III, se tienen los componentes y elementos. Estos, cumplen con lo que se requiere para la construcción y funcionamiento del instrumento. Se describen detalladamente cada uno de ellos, en el apéndice E.

Para la realización de pruebas en campo, se utiliza un circuito de tubería, donde se instala el medidor de caudal electromagnético, con el fin de conocer y

entender su funcionamiento, además de la realización de pruebas. Este y otros equipos que se utilizan, se mencionan detalladamente en el apéndice F.

Posteriormente, se describen los procedimientos para el funcionamiento y entendimiento del medidor electromagnético como también, las conexiones del módulo M52259 de freescale. Una vez que estos procedimientos son realizados, se analizan para proceder a la configuración de circuitería, que es la etapa de comunicación entre el medidor de caudal y el módulo.

Como fase intermedia del capítulo III, se tiene la programación para el microcontrolador integrado en el módulo M52259. Se desarrolla en lenguaje C y se utiliza el software CodeWarrior 7.1 de freescale. El código está disponible en el CD anexo al trabajo de tesis.

Con la programación realizada, da paso a las pruebas en el circuito de tubería, donde se corrobora el correcto trabajo de cada función. En la fase final del presente capítulo, se instala el medidor de caudal electromagnético 50H40 en la tubería que transporta el puré de tomate y el instrumento en la pared. Al terminar, se procede a las pruebas finales.

### 3.2. COMPONENTES Y ELEMENTOS

Los componentes y elementos, que se utilizan para el desarrollo del instrumento, se encuentran descritos en el apéndice E. Todos ellos, fueron adquiridos pensando en la aplicación del tipo industrial.

Los componentes más importantes son:

- Medidor de caudal electromagnético 50H40 de E+H.

El medidor de caudal electromagnético que se tiene, es el que se muestra en la figura 6. Está compuesto por el sensor, convertidor y pantalla LCD. La información que entrega es de flujo y volumen, en distintas unidades. Cuenta con salida de 4-20 mA y pulsos. El equipo es para aplicaciones higiénicas.



Figura 6. Medidor de flujo electromagnético Endress + Hauser.

- Módulo M52259 de Freescale.

El módulo que se usa es el M52259 de Freescale (figura 7), que contiene los componentes que se requieren. Uno de ellos es que el microcontrolador soporte la comunicación de USB en modo Host, ya que se necesita de almacenamiento

de información en una memoria USB, además del resto de los componentes primordiales, como reloj de tiempo real, convertidor A/D, controlador de pantalla LCD con comunicación  $I^2C$ , puertos de I/O de uso general, entre otros.

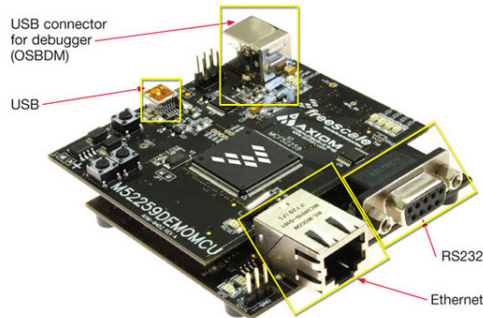


Figura 7. Módulo M52259 de Freescale.

- Microcontrolador MCF52259 (integrado en el Módulo M52259).

El microcontrolador de Freescale MCF52259 de 32 bits (figura 8), es un miembro de la familia de ColdFire tipo RISC (reduced instruction set computing), basado en la versión 2 ColdFire Core, operando a una frecuencia de 80 MHz, ofrece alto desempeño y un bajo consumo de energía. Contiene memoria interna de hasta 64 KB de SRAM (static random access memory) y 512 KB de Flash. Este microcontrolador está integrado en el módulo M52259 (figura 7), es de 144 terminales con tipo de montaje superficial y empaquetado LQFP (Low-profile Quad Flat Package) con dimensiones de 20 x 20 mm.

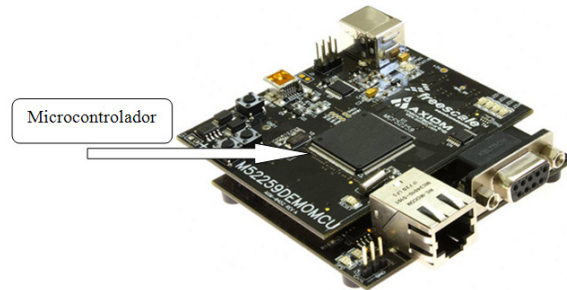


Figura 8. Microcontrolador MCF52259 de Freescale.

- Visualizador LCD.

La pantalla de visualización es de LCD con 20 caracteres por 4 líneas, en donde se desplegará información del flujo, volumen, hora, fecha y una línea de uso general.

En la figura 9, se presenta la imagen de la pantalla de LCD. Para este modelo, se tienen cuatro formatos de visualización distintos, de los cuales se elige el modelo con iluminación de fondo de pantalla color azul y el carácter color blanco.



Figura 9. Pantalla de cristal líquido.

- Memoria USB.

El dispositivo que se utiliza para recuperar la información del instrumento, es una memoria USB de 65 KB (figura 10) de la marca Freescale, donde se graba un historial de volumen por día del puré de tomate. El historial se recupera de la memoria del microcontrolador cada semana, mediante la inserción de la memoria USB al instrumento.



Figura 10. Memoria USB.

### 3.3. EQUIPOS

Las características de los equipos que se usaron para las pruebas, se mencionan en el apéndice F. Los más importantes se mencionan a continuación:

- Circuito de tubería para pruebas en campo.

Debido a que no se pueden hacer pruebas en el sitio de instalación del medidor de caudal electromagnético por motivos de inaccesibilidad para operarlo, es necesario un circuito de tubería para simular el flujo de puré de tomate.

El circuito es construido con material que tiene la Empresa Val Vita y las pruebas se realizan con agua. En la figura 11, se muestra el circuito con todos los elementos conectados.



Figura 11. Circuito de tubería.

- Computadora y programador.

El programador del microcontrolador forma parte del módulo M52259, se ocupa un cable USB para la comunicación computadora - programador, y por medio del software CodeWarrior™ Development Studio para ColdFire® Architectures V7.1 versión Professional y una computadora HP Pavilion dv2000, se realiza la programación del microcontrolador.

En la figura 12, se muestra como es la conexión entre la computadora y el módulo M52259, por medio del cable USB.

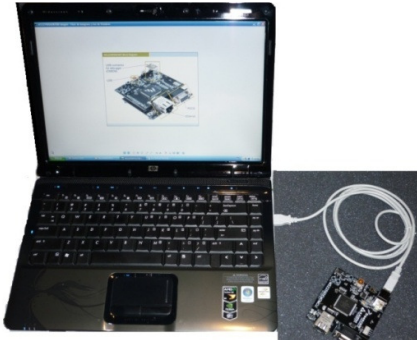


Figura 12. Conexión entre computadora y módulo M52259.

### **3.4. PROCEDIMIENTOS**

Como primera instancia en los procedimientos, se detalla información sobre el medidor de caudal electromagnético 50H40, donde se describe su instalación en el circuito de pruebas, cómo realizar las conexiones de alimentación, las señales de salida que posee y sus conexiones. De igual forma, para el módulo M52259, se muestra cuales son las formas de alimentarlo, los conectores de entrada-salida del microcontrolador, las señales de entrada y las de salida.

#### **3.4.1. Medidor de caudal electromagnético 50H40**

El entendimiento sobre el funcionamiento del medidor de caudal electromagnético es indispensable para poder obtener una señal de salida que se utilice para interpretar al flujo y el volumen.

Para la realización de pruebas para el medidor de caudal electromagnético 50H40, se instaló en un circuito de tubería con diámetro de 50 mm (es la medida de la tubería que transporta el puré de tomate) con el fin conocer las funciones del medidor, como también, obtener una señal de salida que corresponda con el flujo y volumen. La señal se envía mediante cableado para su configuración al microcontrolador.

En la figura 13, se muestra la instalación del medidor de caudal electromagnético. El diámetro del medidor es de 40 mm, por lo que se usan dos reducciones de 50 a 40 mm.



Figura 13. Instalación de medidor electromagnético en tubería.

El flujo para el caso del circuito de pruebas, es como se muestra en la figura 14, todo inicia con el líquido en el contenedor con capacidad de 150 litros, el contenedor está conectado con un motor de 220 VAC, este bombea el líquido por la tubería hacia el medidor de caudal y finalmente es vaciado en el mismo contenedor por la tubería que está conectado a la salida del medidor (la dirección del flujo está indicado con las flechas).

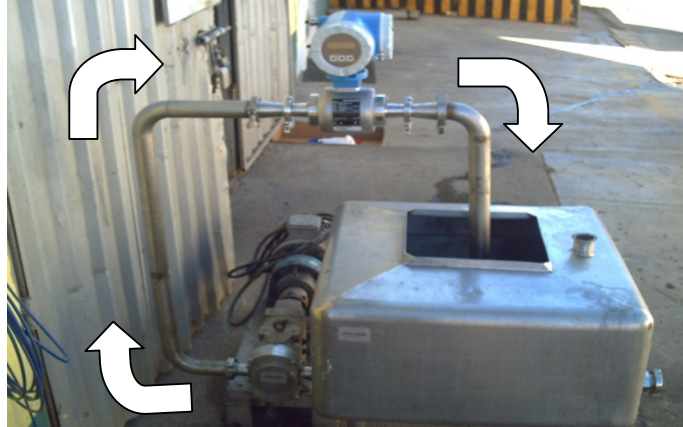


Figura 14. Flujo del líquido en circuito de prueba.

La alimentación del medidor es de 16...62 VDC ó 20...55 VAC, 45...65 Hz.

La potencia que consume (convertidor y sensor) es:

- Para AC: menos de 15 VA.
- Para DC: menos de 15 W.

La corriente que necesita al iniciar la operación del medidor es:

- Para AC: 3 Amperes.
- Para DC: 13.5 Amperes.

La fuente de voltaje COSEL de 24 Vdc 10 (20 picos) Amperes, alimenta el medidor de caudal electromagnético 50H40 mediante la siguiente conexión:

1. De la fuente de voltaje COSEL se obtiene las líneas:
  - a. + 24 VDC.
  - b. Tierra.
  - c. Tierra física.
  
2. Las líneas de salida de la fuente de voltaje se conectan a las terminales número 1 (L+), 2 (L-) y c (tierra física), dentro del compartimento en el convertidor (figura 15).

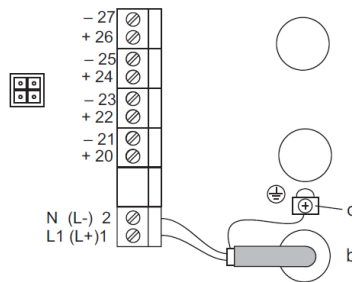


Figura 15. Alimentación del medidor 50H40.

Las terminales donde se conecta la alimentación de medidor (figura 15) están dentro del módulo del convertidor (figura 16) al desmontar la tapa que se indica con una flecha:

- a: Tapa del módulo del convertidor.
- b: Cable de alimentación de voltaje 24 VDC.
- c: Tierra física.

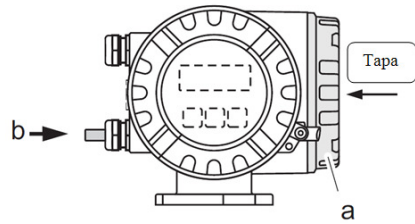


Figura 16. Módulo de convertidor del medidor 50H40.

La distancia entre la fuente de voltaje de 24 VDC y el medidor de caudal electromagnético, es de 16 metros por motivos de instalación. En necesario cable eléctrico de uso rudo de tres conductores, calibre 16 AWG para la alimentación del medidor 50H40.

EL medidor de caudal tiene una pantalla de cristal líquido y tres botones de presionar (figura 17). Las características son:

- Pantalla: LCD de 2 líneas X 16 caracteres con iluminación de fondo.
- Botones de presionar: tres botones (-, +, E).

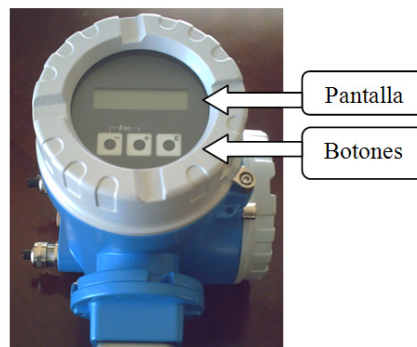


Figura 17. Interfaz humana del medidor 50H40.

La pantalla permite leer importantes parámetros directamente del punto de medición y además, la configuración del dispositivo. El área de la pantalla consiste de dos líneas, donde los valores de medición son desplegados o las variables de estado (dirección del flujo, unidades de flujo – volumen, lenguaje, etc.). Por fabrica, en la línea uno se muestra el flujo y en la línea dos, el totalizador 1 (volumen). Se puede configurar para desplegar flujo, totalizadores o estado de funciones.

Los botones más y menos (+, -) introduce valores numéricos y selecciona parámetros, además de seleccionar diferentes grupos en la matriz de funciones. El botón "E" entra a la matriz de funciones y guarda los datos de configuración.

La matriz de funciones está diseñada en dos niveles: los grupos forman un nivel y las funciones de los grupos otra.

Algunos de los grupos son: valores de medición, unidades del sistema, operación, interfaz del usuario, totalizador 1, corriente de salida, frecuencia/pulso de salida, entre otras.

En cada grupo se tienen distintas funciones, por ejemplo para el grupo UNIDADES DEL SISTEMA tiene tres funciones: unidades de flujo, unidades de volumen y unidades de longitud.

Un ejemplo de operación se muestra en la figura 18, donde se desea cambiar el lenguaje a desplegar en la pantalla:

- 1. Entrar a la matriz de funciones al presionar "E".
- 2. Selecciona el grupo OPERACIÓN con "+ -".
- 3. Selecciona la función LENGUAJE, cambia de Ingles a Español al presionar "+ -" y guarda con el botón "E".
- 4. Salir de la matriz sí se presiona "+ -" al mismo tiempo por 3 segundos.

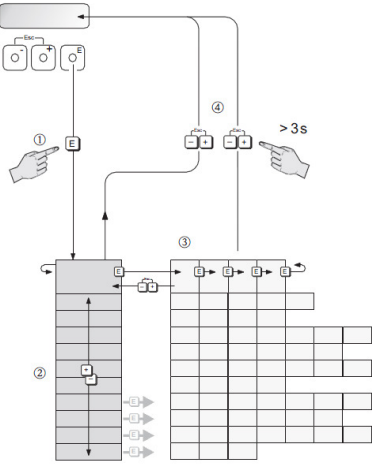


Figura 18. Ejemplo de operación de la interfaz humana para 50H40.

El medidor de caudal electromagnético 50H40 tiene dos tipos de salidas que están asociadas con el flujo.

Cuenta con corriente de salida, esta corresponde al flujo instantáneo, se puede configurar para que sea salida activa o pasiva. Si esta en modo activa se puede

obtener una corriente de 0/4 - 20 mA (4 – 20 mA HART NAMUR salida pasiva, de fábrica), con una resistencia de carga  $R_L < 700 \Omega$ . Si es modo pasiva, la corriente es de 4 - 20 mA, con un voltaje de operación entre 18 - 30 VDC y una resistencia  $R_i < 150 \Omega$ .

Se programa en el medidor de caudal electromagnético el rango de corriente, por ejemplo:

Si se desea que el flujo de 0 a 4 litros/segundo corresponda al rango de corriente de salida entre 4 – 20 mA, se programa mediante la matriz de funciones del medidor, que para 20 mA corresponda 4 litros/segundo, de modo gráfico se muestra la figura 19.

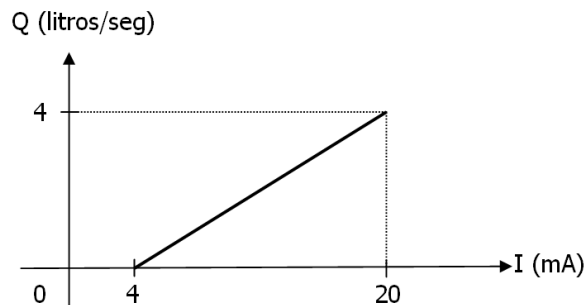


Figura 19. Corriente de salida del 50H40.

Una aplicación para la corriente de salida, es monitorear un mínimo, un máximo o un rango de flujo mediante un controlador lógico programable.

Otra opción es tener una frecuencia o un pulso que corresponda con el flujo.

Funciona en forma pasiva: 30 VDC, 250 mA. Puede ser configurado como:

- Pulso de salida: la polaridad y el ancho del pulso se puede configurar, ancho de pulso ajustable entre 0.5 – 900 milisegundos.
- Frecuencia de salida: la escala de frecuencias está entre 2 – 1000 Hz.

Es posible determinar volumen mediante una de estas salidas del medidor 50H40, por ejemplo para pulso de salida, se puede programar que cada 2 litros, el medidor envíe un pulso con duración programable.

Para el caso de la frecuencia: funciona del mismo modo que la corriente de salida, es posible programar un rango de frecuencia para un rango de flujo.

Las señales de salida se obtienen de los conectores (figura 20):

- 26 (+) / 27 (-) para la corriente de salida.
- 24 (+) / 25 (-) para la frecuencia/pulso de salida.

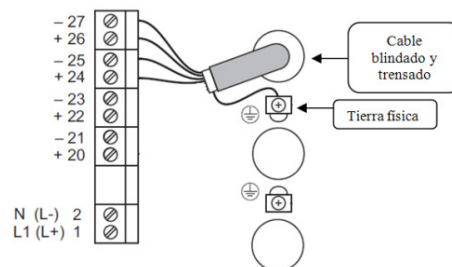


Figura 20. Conexión de señales de salida del 50H40.

Por fabrica, está programado para que sea salida de pulso pasivo – positivo. Un ejemplo de conexión para esta salida se muestra en la figura 21, donde es necesario una fuente externa “U” y una resistencia de 4.7 K $\Omega$  en pull – up:

1. Transistor colector abierto.
2. Resistencia pull – up.
3. Activación del transistor en “positivo”.
4. Nivel de señal de salida en 0 VDC a 0 litros/seg.

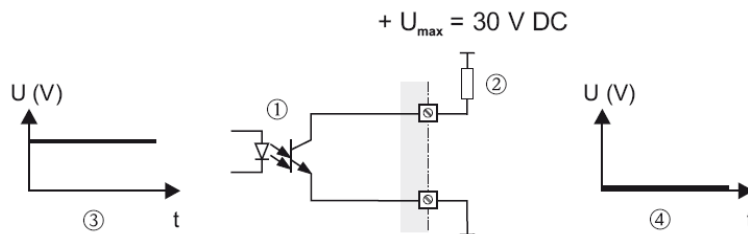


Figura 21. Conexión pulso de salida del 50H40.

### 3.4.2. Conexiones del módulo M52259

El voltaje de alimentación del módulo M52259 puede ser por distintas fuentes:

- USB BDM: el integrado USB BDM está diseñado para proveer alimentación durante el desarrollo de aplicaciones y depuraciones. El voltaje lo suministra el cable USB conectado entre la computadora y el módulo M52259.

- Mini USB: también es posible alimentar el módulo cuando está configurada para que funcione en modo dispositivo.
- Conector J7: para aplicaciones donde no cumpla con ninguna de las anteriores, se suministra voltaje directamente al conector J7 (figura 22).

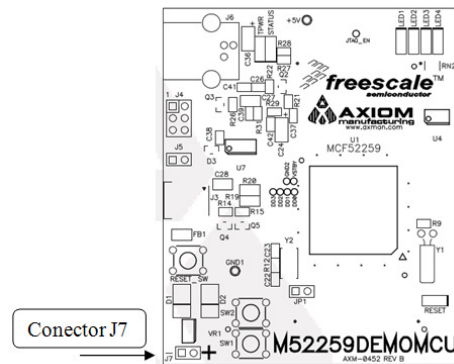


Figura 22. Alimentación del módulo M52259.

Para este trabajo se usa la alimentación mediante USB BDM: para grabar el microcontrolador. Al instalar el módulo en la Empresa Val Vita, se aplicará voltaje mediante el conector J7.

Para el caso de alimentación por conector J7, la fuente de voltaje COSEL de 5 volts alimenta el módulo directamente, sólo es necesario el uso de un diodo rectificador 1N4001 para prevenir retornos de corriente y un daño al mismo.

Por otro lado, en cuanto a los conectores que tiene el módulo para acceder a la comunicación de sus puertos, son:

1. Conectores de 0.5 mm tipo hembra: son dos conectores (J1 y J2) de 100 terminales cada uno, ubicados en la parte posterior del módulo (figura 23). Las terminales de los conectores están enlazados con las terminales del microcontrolador.



Figura 23. Conector de 100 terminales del módulo.

La configuración de los terminales, se muestra en la figura 24 (J1) y figura 25 (J2).

| J1                               |        |
|----------------------------------|--------|
| QSPI_CS3/SYNCA/USB_DP_PDOWN/PQS6 | 1 2    |
| QSPI_CS2/SYNCA/USB_DM_PDOWN/PQS5 | 3 4    |
| QSPI_DIN/I2C_SDA1/URXD1/PQS1     | 5 6    |
| QSPI_DOUT/I2C_SCL1/UTXD1/PQS0    | 7 8    |
| QSPI_CLK/I2C_SCL0/URTS1/PQS2     | 9 10   |
| QSPI_CS0/I2C_SDA0/UCTS1/PQS3     | 11 12  |
|                                  | 13 14  |
| I2C_SCL0/UTXD2/PAS0              | 15 16  |
| I2C_SDA0/URXD2/PAS1              | 17 18  |
|                                  | 19 20  |
|                                  | 21 22  |
| FB_AD07/PTE7                     | 23 24  |
| FB_AD06/PTE6                     | 25 26  |
| FB_AD05/PTE5                     | 27 28  |
| FB_ALE/FB_CS1'/PAS2              | 29 30  |
|                                  | 31 32  |
|                                  | 33 34  |
|                                  | 35 36  |
|                                  | 37 38  |
|                                  | 39 40  |
|                                  | 41 42  |
|                                  | 43 44  |
|                                  | 45 46  |
| FB_CS0'/PTG5                     | 47 48  |
| FB_D0/SYNCA/PTG7                 | 49 50  |
| FB_D1/SYNCA/PTG6                 | 51 52  |
| FB_D2/USB_VBUSE/PTH0             | 53 54  |
| FB_AD02/PTE2                     | 55 56  |
| FB_AD03/PTE3                     | 57 58  |
| FB_AD04/PTE4                     | 59 60  |
| FB_AD01/PTE1                     | 61 62  |
|                                  | 63 64  |
|                                  | 65 66  |
|                                  | 67 68  |
| UCTS1'/SYNCA/URSC2/PUB3          | 69 70  |
| URTS1'/SYNCA/UTXD2/PUB2          | 71 72  |
| URXD1/I2C_SDA1/PUB1              | 73 74  |
| UTXD1/I2C_SCL1/PUB0              | 75 76  |
|                                  | 77 78  |
| AN1/PAN1                         | 79 80  |
| AN0/PAN0                         | 81 82  |
| AN2/PAN2                         | 83 84  |
| AN3/PAN3                         | 85 86  |
| +5V                              | 87 88  |
| +5V                              | 89 90  |
| +5V                              | 91 92  |
| GND                              | 93 94  |
|                                  | 95 96  |
|                                  | 97 98  |
| GND                              | 99 100 |

Figura 24. Configuración del conector J1.

|                                 |       | J2 |     |                        |
|---------------------------------|-------|----|-----|------------------------|
| URTS0*/USB_VBUSDI/PUA2          | 1     | 2  |     | DTIN1/DTOUT1/PWM2/PTC1 |
| URXD0/PUA1                      | 3     | 4  |     | DTIN0/DTOUT0/PWM0/PTC0 |
| UTXD0/PUA0                      | 5     | 6  |     | DTIN3/DTOUT3/PWM6/PTC3 |
| UCTS0*/USB_BUSE/PUA3            | 7     | 8  |     |                        |
| GND                             | 9     | 10 |     | FB_AD10/PTF2           |
| GND                             | 11    | 12 |     | FB_AD11/PTF3           |
|                                 | 13    | 14 |     | FB_AD12/PTF4           |
|                                 | 15    | 16 |     | FB_AD13/PTF5           |
|                                 | 17    | 18 |     | FB_AD14/PTF6           |
|                                 | 19    | 20 |     |                        |
|                                 | 21    | 22 |     | RST1'                  |
|                                 | 23    | 24 |     | RST0'                  |
|                                 | 25    | 26 |     |                        |
|                                 | 27    | 28 |     | FB_D4/I2C_SCL1/PTH2    |
|                                 | 29    | 30 |     | FB_D5/I2C_SDA/PTH3     |
|                                 | 31    | 32 |     | FB_D6/CANRX/PTH4       |
|                                 | 33    | 34 |     | FB_D7/CANRX/PTH5       |
|                                 | 35    | 36 |     | FB_OE/PTH6             |
|                                 | 37    | 38 |     | FB_AD15/PTF7           |
|                                 | 39    | 40 |     | FB_AD18/PTG0           |
|                                 | 41    | 42 |     | FB_AD17/PTG1           |
|                                 | 43    | 44 |     | FB_AD18/PTG2           |
|                                 | 45    | 46 |     | FB_AD19/PTG3           |
|                                 | 47    | 48 |     |                        |
|                                 | 49    | 50 |     | IRQ3*/FEC_MDIO/PNQ3    |
|                                 | 51    | 52 |     | IRQ5*/FEC_MDC/PNQ5     |
|                                 | 53    | 54 |     |                        |
|                                 | 55    | 56 |     |                        |
|                                 | 57    | 58 |     | FEC_RXD3/PTI8          |
|                                 | 59    | 60 |     | FEC_RXD2/PTI5          |
|                                 | 61    | 62 |     | FEC_RXD1/PTI4          |
|                                 | 63    | 64 |     | FEC_RXD0/PTI3          |
| GPT0*/COC0PWM1/PTA0             | 65    | 66 |     | FEC_RXD0/PTI7          |
| GPT1*/COC1PWM3/PTA1             | 67    | 68 |     | FEC_RXCLK/PTI2         |
| GPT2*/COC2PWM1/PTA2             | 69    | 70 |     | FEC_RXER/PTJ0          |
|                                 | 71    | 72 |     | FEC_TXER/PTJ7          |
|                                 | 73    | 74 |     | FEC_TXCLK/PTJ1         |
| UCTS2*/I2C_SCL1/USB_BUSCHG/PUC3 | 75    | 76 |     | FEC_TXEN/PTJ6          |
| URTS2*/I2C_SDA1/USB_VBUSDI/PUC2 | 77    | 78 |     | FEC_TXD0/PTJ2          |
| UTXD2/CANTX/PUC0                | 79    | 80 |     | FEC_TXD1/PTJ3          |
| URXD2/CANRX/PUC1                | 81    | 82 |     | FEC_TXD2/PTJ4          |
|                                 | 83    | 84 |     | FEC_TXD3/PTJ5          |
|                                 | 85    | 86 |     | FEC_COL/PTI0           |
|                                 | 87    | 88 |     | FEC_CRS/PTI1           |
| IRQ7*/PNQ7                      | 87    | 88 |     |                        |
| IRQ1*/USB_ALTCLK/PNQ1           | 89    | 90 |     |                        |
|                                 | +3.3V | 91 | 92  | +3.3V                  |
|                                 | +3.3V | 93 | 94  | +3.3V                  |
|                                 | +3.3V | 95 | 96  | +3.3V                  |
|                                 | +3.3V | 97 | 98  | +3.3V                  |
|                                 | GND   | 99 | 100 | GND                    |

Figura 25. Configuración del conector J2.

- Conector de 40 terminales tipo hembra. Este conector está ubicado en la parte posterior del módulo (figura 26) y cuenta con 40 de las terminales más comunes del microcontrolador. La configuración del conector está indicado mediante la figura 27.

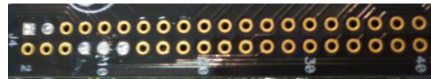


Figura 26. Conector de 40 terminales del módulo.

|             |    |    |                 |
|-------------|----|----|-----------------|
| +3.3V       | 1  | 2  | RSTIN*          |
| GND         | 3  | 4  | RESET*          |
| ICOC0       | 5  | 6  | ICOC1           |
| ICOC2       | 7  | 8  | ICOC3           |
| UTXD2/CANTX | 9  | 10 | URTS2*/I2C_SDA1 |
| URXD2/CANRX | 11 | 12 | UCTS2*/I2C_SCL1 |
| TIN1        | 13 | 14 | TIN0            |
| TIN3        | 15 | 16 | TIN2            |
| IRQ1*       | 17 | 18 | IRQ7*           |
| QSDO        | 19 | 20 | PCS3            |
|             | 21 | 22 | PCS2            |
| QSDI        | 23 | 24 | PCS0            |
| SCK         | 25 | 26 | SCL             |
| SDA         | 27 | 28 |                 |
| AN0         | 29 | 30 | AN1             |
| AN2         | 31 | 32 | AN3             |
| AN6         | 33 | 34 | AN7             |
| AN5         | 35 | 36 | AN4             |
| GND         | 37 | 38 | GND             |
| +3.3V       | 39 | 40 | +3.3V           |

Figura 26. Configuración del conector de 40 terminales.

Las señales de entrada, son las que recibe el microcontrolador ubicado en el módulo. Las señales son:

- Corriente 4 – 20 mA.
- Pulsos.
- Botones de presionar.

La corriente 4-20 mA es transmitida por el medidor de caudal electromagnético 50H40 por medio de cable transado y blindado. La corriente es proporcional al flujo, de esta forma se obtiene la medición del flujo. La corriente es convertida a voltaje, el voltaje es recibido por el microcontrolador y convertido a digital usando el convertidor analógico – digital de 12 bits.

Se usa una resistencia de 160  $\Omega$ , para obtener un voltaje que varía entre 0.8 – 3.2 VDC. Las conexiones se realizan en el conector de 40 terminales (figura 28), el terminal 29 (AN0) y 37 (GND).

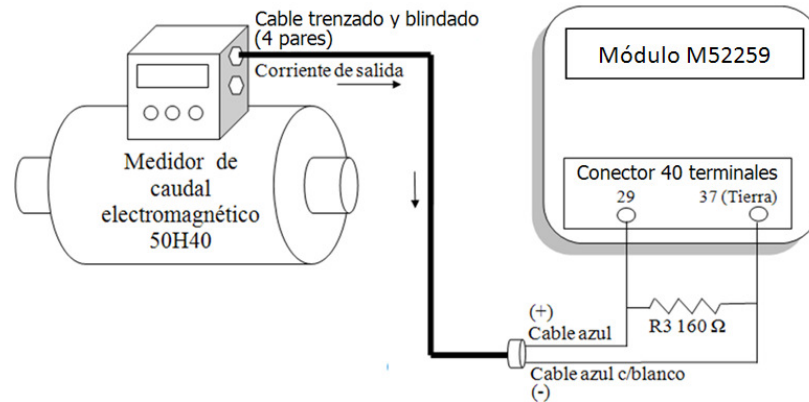


Figura 28. Conexión entre corriente y microcontrolador.

La segunda señal de entrada, son los pulsos transmitidos por el medidor de caudal electromagnético 50H40 por medio de cable trenzado y blindado. Los pulsos son proporcionales al volumen. El microcontrolador recibe los pulsos y los suma para obtener un determinado volumen.

Las conexiones se realizan con el conector de 40 terminales (figura 29), la terminal 8 (ICOC3) y 3 (GND), también se usa la terminal 1 (+3.3 VDC) para utilizar una resistencia de 4.7 KΩ en configuración pull-up.

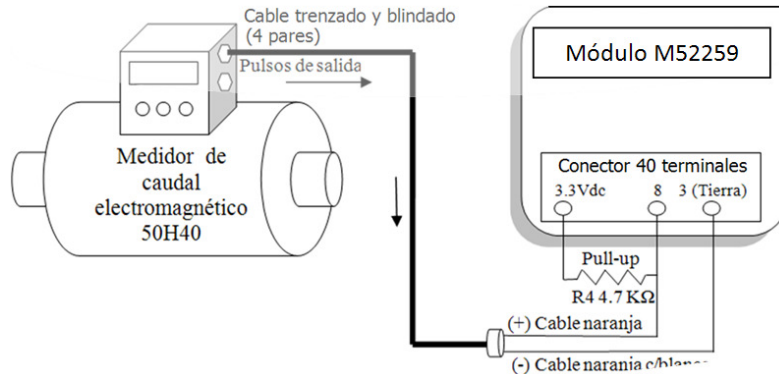


Figura 29. Conexión entre pulsos y microcontrolador.

Como hardware, se utilizan dos botones de presionar (Normalmente abiertos) para realizar las siguientes operaciones en el microcontrolador:

1. Entrar al menú.
  - 1.2 Programar fecha y hora.
  - 1.3 Totalizadores.
    - 1.3.2 Totalizador 1: contar, pausar y reiniciar volumen del totalizador 1.
    - 1.3.3 Totalizador 2: contar, pausar y reiniciar volumen del totalizador 2.
    - 1.3.4 Totalizador 3: contar, pausar y reiniciar volumen del totalizador 3.
  - 1.4 Enviar datos a USB.
  - 1.5 Recuperar respaldos y enviar a USB.
2. Pausar, contar y reiniciar, volumen principal.

Las conexiones de los botones con el microcontrolador son mediante cable 24 AWG. El microcontrolador recibe pulsos al detectar un flanco de bajada (cambia de 3.3 VDC a 0 VDC) cuando un botón es presionado.

Se utiliza el conector de 40 terminales para su conexión (figura 30), la terminal 17 (IRQ1), 18 (IRQ7) y 37 (GND).

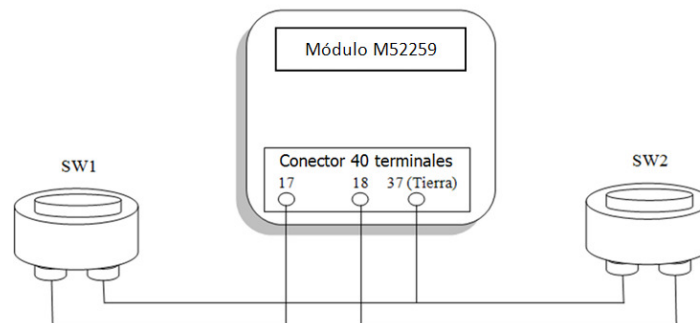


Figura 30. Conexión entre botones de presionar y microcontrolador.

Las señales de salida, son las señales que envía el microcontrolador, estas son:

1. Transmitir información a una memoria USB.
2. Transmitir información a pantalla LCD por comunicación I<sup>2</sup>C.

Para la transmisión de información a memoria USB, el módulo M52259 tiene integrado el conector físico para la memoria USB. El conector es mini USB tipo A hembra, por lo que se requiere de un conector de mini USB tipo A macho, a USB tipo A hembra (figura 31) para conectar la memoria USB.



Figura 31. Conector USB de mini USB a USB tipo A.

El conector físico mini USB tipo A hembra está conectado al microcontrolador mediante el módulo y es necesario la programación del microcontrolador para el uso de comunicación USB.

Para recuperar la información del microcontrolador, se deben transmitir los datos desde el microcontrolador a una memoria USB. Es necesario conectar la memoria USB al módulo para establecer conexión entre la memoria y el microcontrolador (figura 32).

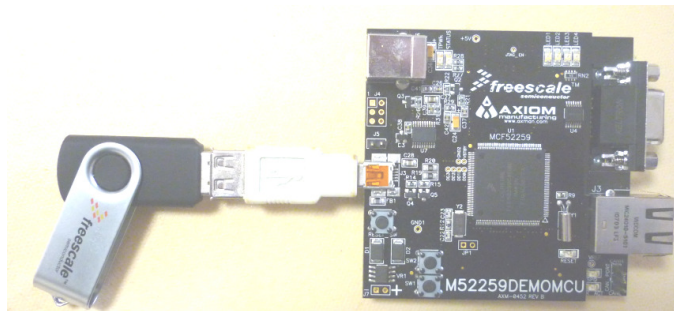


Figura 32. Conexión entre memoria USB y microcontrolador.

Para la transmisión de caracteres a la pantalla LCD, la comunicación es por I<sup>2</sup>C. La conexión se hace por medio del conector de 40 terminales, la terminal 10 (I2C\_SDA1) y 12 (I2C\_SCL1). La alimentación de la pantalla es de +5 VDC, se tomara de la fuente de voltaje COSEL de +5 VDC.

La figura 33, muestra como es la conexión entre el módulo M52259, la pantalla LCD y la fuente de voltaje. Se utiliza una resistencia de 4.7 K $\Omega$  en configuración pull-up para cada una de las líneas (SDA y SCL) de comunicación I<sup>2</sup>C.

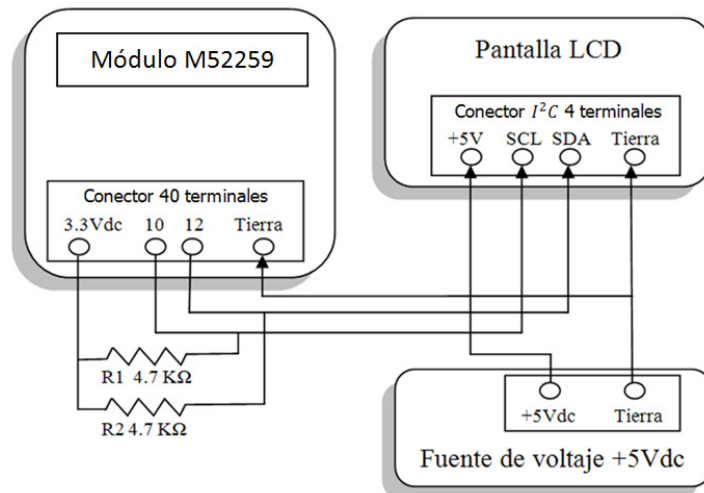


Figura 33. Conexión entre módulo M52259, LCD y fuente de voltaje.

El voltaje de standby es aplicado a la terminal VSTBY en el módulo M52259 (figura 34). Se utilizan dos baterías "AA" alcalinas (Duracell) para suministrar el voltaje. La función del voltaje aplicado a VSTBY es para mantener en funcionamiento el reloj de tiempo real cuando no hay voltaje de alimentación en el módulo (en caso de que no haya electricidad) hasta por un máximo de 25 horas, que es el tiempo que duran las baterías. Después de este tiempo, es necesario cambiar las baterías por otras nuevas.

No se puede usar baterías de litio ni recargables, ya que estas hacen un mal funcionamiento del instrumento. Se realizaron pruebas con tres marcas de pilas alcalinas, siendo Duracell la más duradera.

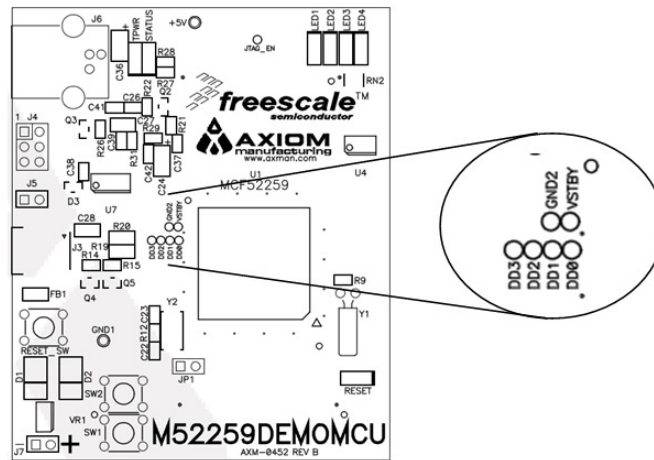


Figura 34. Voltaje de standby VSTBY.

### 3.5. ANALISIS DE LOS PROCEDIMIENTOS

Una vez que se tienen definidas las conexiones de alimentación, las señales de salida, de entrada y sus conexiones, se tiene un análisis de los procedimientos. Ahora, se realizan las conexiones indicadas y las pruebas del medidor de caudal electromagnético para su entendimiento.

También, se analizan las conexiones del módulo M52259, donde realizan pruebas para las señales de entrada, que son las que salen del medidor de caudal electromagnético 50H40.

### **3.5.1. Análisis del medidor de caudal electromagnético**

En este procedimiento, se realizan pruebas sobre el funcionamiento del medidor de caudal para conocer cómo trabaja. Con respecto a las señales de salida, se realizan pruebas para corroborar que estas correspondan a las descritas por el medidor 50H40.

#### **3.5.1.1. Análisis de instalación en circuito de prueba**

Con el fin de la familiarización con el funcionamiento del medidor de caudal electromagnético 50H40 y realización de pruebas, se monto un circuito de prueba, donde el fluido es agua.

El circuito consta de un circuito con retorno, donde se instala el medidor de caudal electromagnético. El flujo del agua alcanza un máximo de 2.24 litros/segundo (Figura 35), con un motor de 220 VAC. El volumen que se muestra en la figura 35, indica +3443 litros, esto es debido a que el medidor de caudal electromagnético midió el volumen durante un tiempo determinado.

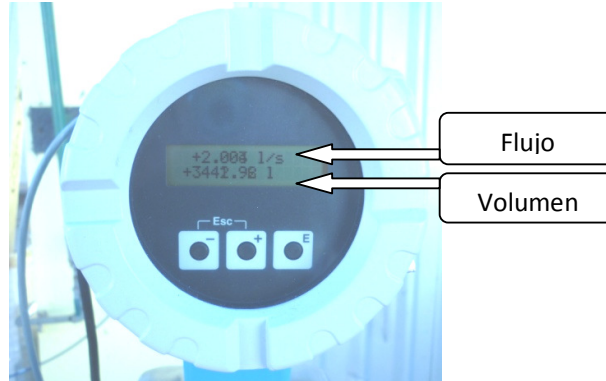


Figura 35. Medición de flujo y volumen en circuito de prueba.

Las unidades de medición son configurables (litros,  $m^3$ ,  $dm^3$ , etc.) y la cantidad de decimales. Tiene un máximo de 5 dígitos para flujo, incluyendo unidades, decimales y signo (+ significa flujo de izquierda a derecha y, – flujo en sentido contrario), en donde es configurable cuantos decimales se requieren (máximo 4). Aplica para volumen de igual forma, a diferencia que son 6 dígitos.

### 3.5.1.2. Análisis de voltaje de alimentación y su conexión

El voltaje de alimentación del medidor electromagnético 50H40 es de 24 VDC. Se utiliza la fuente de voltaje COSEL de 24 VDC y 16 metros de cable de uso rudo calibre 14 AWG (figura 36).

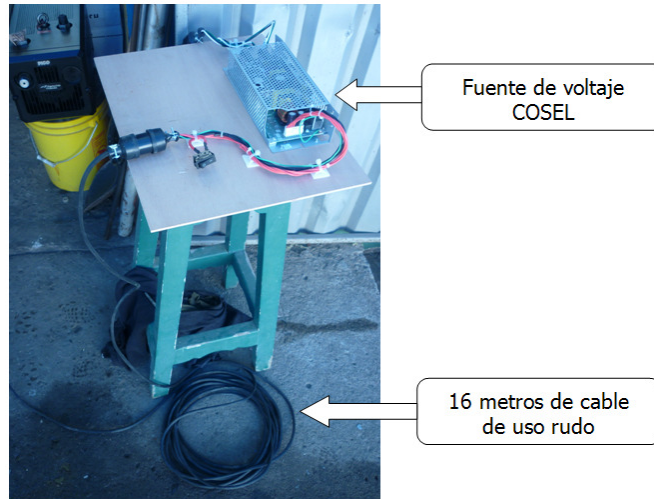


Figura 36. Fuente de alimentación del medidor electromagnético.

El medidor tiene una entrada hermética para el introducir el cable de uso rudo (figura 37), y una vez que el cable está instalado, se pueden hacer las conexiones de alimentación.

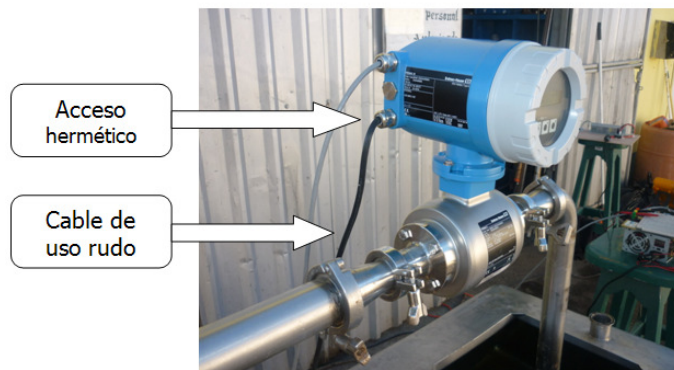


Figura 37. Acceso del medidor para cable de alimentación hermético.

### 3.5.1.3. Análisis de interfaz con el usuario y matriz de funciones

Usando la matriz de funciones (menú) del medidor electromagnético, es posible realizar distintas tareas, como:

- Configuraciones: lenguaje, unidades de medición, contraste LCD, reiniciar totalizadores, asignar rango de corriente de salida y el volumen para un pulso de salida, etc.
- Lectura de datos: corriente actual de salida, frecuencia actual de salida, totalizador, flujo, versión del medidor y versión del software.
- Simulación: simulación de flujo para corriente de salida y pulsos de salida.

Cada una de las opciones que ofrece el menú del medidor, son manejadas utilizando tres botones de presionar (figura 38).



Figura 38. Botones de presionar del medidor de caudal electromagnético.

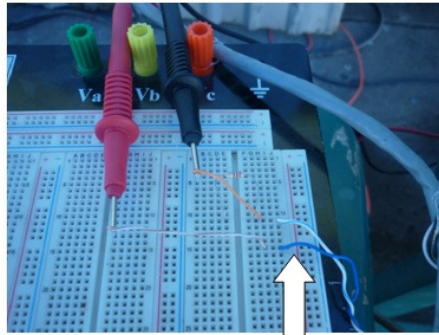
#### **3.5.1.4. Análisis de señales de salida: corriente 4-20 mA y pulsos**

Del medidor de caudal electromagnético se obtienen dos señales:

1. Corriente 4-20 mA para medir el flujo.
2. Pulsos para medir volumen.

Las señales se obtienen utilizando cable STP (Shielded Twisted Pair) trenzado y blindado de 4 pares calibre 24 AWG. Se usa un par para cada señal: el cable color azul (+) y azul con blanco (-) para la corriente 4-20 mA; para la señal de pulsos, se usa el color naranja (+) y naranja con blanco (-).

Para la determinación de flujo, se usa la salida de corriente 4-20 mA. Esta corriente es configurable para un rango de flujo mediante la matriz de funciones del medidor electromagnético. La configuración para la figura 39, es la siguiente: para 0 litros/segundo, en la salida se tiene 4 mA; para 3 litros/segundos en la salida se tiene 20 mA. La salida de corriente es lineal con respecto al flujo. En la figura 40, se muestra la medición de corriente de salida del medidor a 3 litros/segundos, la cual corresponde a 20 mA.



Cable STP. Salida de corriente 4 – 20 mA.

Figura 39. Prueba Configuración de prueba de corriente de salida.



Figura 40. Prueba de medición de corriente de salida.

Con respecto a los pulsos de salida, estos también son configurables en la matriz de funciones del medidor electromagnético. La configuración es: cada litro que cuente el totalizador del medidor electromagnético, envía un pulso de duración de 500 milisegundos (también configurable). Estos pulsos son acumulados para determinar un volumen.

Se necesita una resistencia en configuración pull-up de 4.7 k $\Omega$  en la salida positiva de los pulsos (cable naranja) y una fuente de voltaje de 5 VDC, ya que la salida de pulsos funciona en forma pasiva (figura 41). En la figura 42, se muestra la medición de pulsos de duración de 500 milisegundos, cada pulso corresponde a un litro.

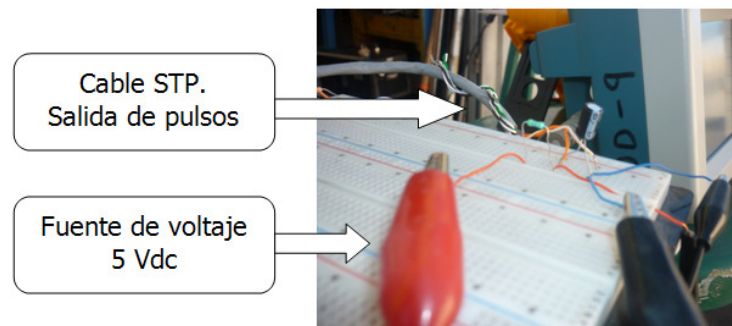


Figura 41. Configuración de medición de pulsos de salida.

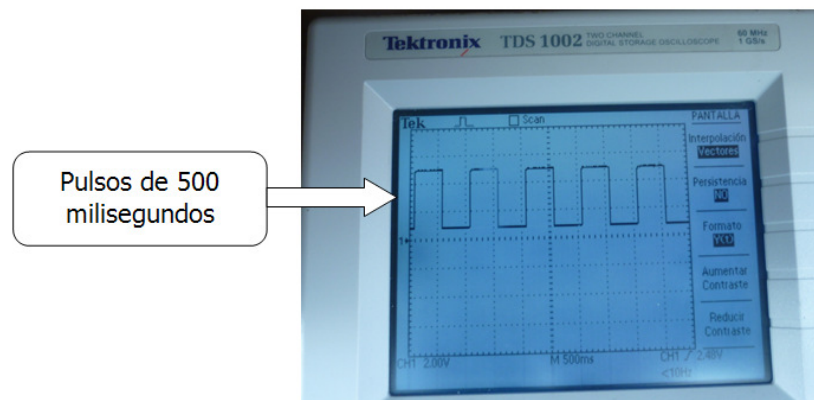


Figura 42. Prueba de medición de pulsos de salida.

La salida de pulsos es periódica, ya que el flujo de agua en el medidor electromagnético es de 2 litros por segundo, por tanto cada medio segundo se tiene un pulso.

### 3.5.2. Análisis de las conexiones del módulo M52259

Los análisis en este apartado, describen el funcionamiento de las funciones que desempeña el módulo M52259, como lo son: su alimentación, cuales terminales se usan, las señales de salida (para LCD y memoria USB) y las de entrada (pulsos, corriente y botones de presionar).

#### 3.5.2.1. Análisis de voltaje de alimentación

Durante el desarrollo del programa en lenguaje C, que se escribe en el software CodeWarrior™ Development Studio para ColdFire® Architectures V7.1, y para la realización de pruebas, el módulo se alimenta por medio de USB BDM (figura 43), el LED naranja indica que el módulo está alimentado con 5 VDC por medio de USB BDM (cable USB de tipo "A" a tipo "B").

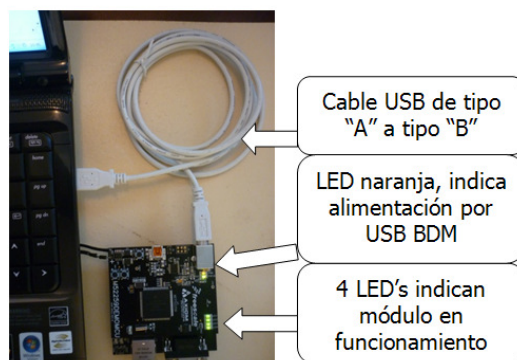


Figura 43. Alimentación del módulo por USB BDM.

Una vez que el programa está listo para realizar pruebas en campo, para la alimentación del módulo, se utiliza el conector J7, ubicado en la parte superior. Se aplican 5 VDC directamente y un diodo rectificador 1N4001 para prevenir retornos de corriente de un posible daño al mismo (figura 44).

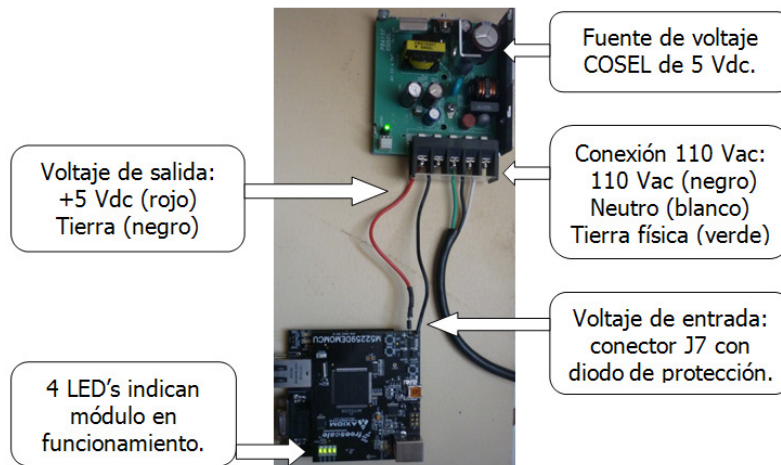


Figura 44. Alimentación del módulo por conector J7.

Una última manera de alimentar el módulo con 5 VDC, es por el conector mini USB, sólo sí se utiliza en modo USB dispositivo.

### 3.5.2.2. Análisis de conector I/O a puertos de microcontrolador

Para las conexiones entre microcontrolador y componentes, se utiliza el conector de 40 terminales. Los conectores son de tipo rondana de 2 mm de diámetro. Estos conectores están comunicados con las terminales más comúnmente utilizadas; las terminales que se utilizan son:

- 1: +3.3 VDC.
- 3: Tierra.
- 8: Contador de pulsos.
- 10: Línea SDA de comunicación  $I^2C$ .
- 12: Línea SCL de comunicación  $I^2C$ .
- 17: Entrada para botón de presionar 1.
- 18: Entrada para botón de presionar 2.
- 29: Entrada del convertidor A/D para el flujo.
- 37: Tierra.
- 39: +3.3 VDC.

### **3.5.2.3. Análisis de señales de entrada: corriente 4-20 mA, pulsos y botones de presión**

Las señales que recibe el microcontrolador son: voltaje (de la corriente 4-20 mA), pulsos proporcionales al volumen y pulsos de los botones de presionar.

El medidor de caudal electromagnético envía una señal de corriente que es proporcional al flujo, esta corriente es convertida a voltaje y posteriormente a voltaje digital mediante el convertidor A/D del microcontrolador para que pueda ser interpretada.

Se utiliza el simulador de corriente de salida del medidor de caudal electromagnético para realizar la siguiente prueba que se programa mediante la matriz de funciones: una corriente que inicie en 4 mA, que incremente 1 mA a la vez hasta llegar a un máximo de 20 mA; esta corriente atraviesa una resistencia de 160  $\Omega$ , de la cual se lee el voltaje. En la tabla 4, se muestra el resultado.

Tabla 4. Resultados de prueba: corriente - voltaje.

| Corriente (mA) | Voltaje (Volts) |
|----------------|-----------------|
| 4              | 0.653           |
| 5              | 0.817           |
| 6              | 0.980           |
| 7              | 1.143           |
| 8              | 1.307           |
| 9              | 1.470           |
| 10             | 1.633           |
| 11             | 1.795           |
| 12             | 1.960           |
| 13             | 2.123           |
| 14             | 2.286           |
| 15             | 2.449           |
| 16             | 2.612           |
| 17             | 2.775           |
| 18             | 2.938           |
| 19             | 3.101           |
| 20             | 3.251           |

Un ejemplo se muestra en la figura 45, donde se realiza la prueba con un valor de corriente simulado de 20 mA, y se obtiene un voltaje de 3.263 VDC.



Figura 45. Prueba de medición corriente – voltaje.

El voltaje es digitalizado para ser interpretado por el microcontrolador, el voltaje digital es proporcional al flujo y de esta forma se obtiene la medición del flujo en litros por segundo, que puede ser visualizado en la pantalla de LCD.

Para determinar el volumen, se cuentan los pulsos detectados por el microcontrolador, cada pulso es proporcional a una cantidad de volumen programable en la matriz de funciones del medidor de caudal electromagnético (para este caso, un litro). Por ejemplo, el medidor envió 10 pulsos, lo que significa que ha leído 10 litros; los litros son actualizados en el programa del microcontrolador cada vez que recibe un pulso, y lo despliega en la pantalla LCD en litros.

Dos botones de presionar son utilizados para realizar distintas tareas, como introducir fecha, hora, entrar al menú, entre otros. Los botones de presionar son normalmente abiertos, están conectados entre la terminal del microcontrolador y tierra, tienen una resistencia en configuración pull-up

interna (en el microcontrolador). Si es presionado el botón, el microcontrolador recibe un flanco de bajada, que es lo que detecta el programa del microcontrolador.

#### **3.5.2.4. Análisis de señales de salida: transmitir información a memoria USB y a LCD**

Las señales de salida del microcontrolador son: transmitir información de la memoria Flash a una memoria USB, y transmitir caracteres a la pantalla LCD mediante comunicación  $I^2C$ .

El módulo M52259 cuenta con el conector USB para la memoria, únicamente es necesaria la programación del microcontrolador para establecer comunicación con la memoria USB y almacenar la información.

La información contiene datos de volumen, fecha y hora; cada hora durante una semana (dentro de la jornada de producción) se almacenan la información en la memoria Flash del microcontrolador, al finalizar la semana, la información se recupera al conectar una memoria USB al módulo M52259 para que posteriormente, los datos puedan ser analizados en una computadora.

Para llevar a cabo la visualización de caracteres en la pantalla LCD, se usa comunicación  $I^2C$  entre el microcontrolador y la pantalla. En la figura 46, se muestra una configuración de inicio en la pantalla LCD, donde el microcontrolador envía los caracteres. Se utilizan dos resistencias en configuración pull-up a +3.3 VDC, conectadas a cada línea  $I^2C$  (SDA y SCL).

La alimentación de la pantalla es de +5 VDC, utiliza la configuración de la figura 46.



Figura 46. Visualización de caracteres en pantalla LCD.

### 3.5.2.5. Análisis del voltaje de standby

En el módulo M52259, se encienden los 4 LED's verdes por un periodo de 2 segundos, que indica que está trabajando el reloj de tiempo real sin que el módulo M52259 tenga energía eléctrica (figura 47).

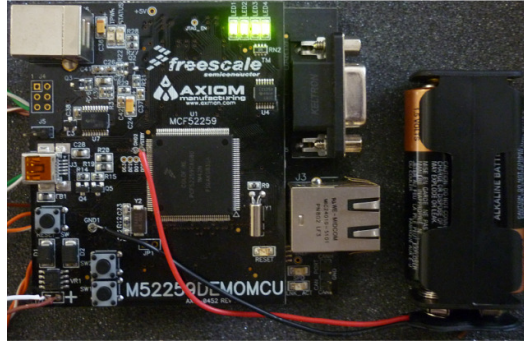


Figura 47. Voltaje VSTBY activado.

### 3.6. CONFIGURACIÓN DE CIRCUITERÍA

Las señales de salida del medidor 50H40 son las señales de entrada para el módulo M52259, las cuales necesitan una adecuación para su correcto funcionamiento. Para la comunicación del microcontrolador con la pantalla LCD, se utiliza I<sup>2</sup>C, por lo que también necesita de una configuración en las líneas de datos.

#### 3.6.1. Etapa 1: Adquisición de información del medidor de caudal: corriente 4-20 mA y pulsos

En la figura 48, se muestra el circuito para la medición de corriente de 4-20 mA que envía el medidor de caudal electromagnético 50H40. La señal es enviada a través de cable blindado y trenzado (STP) calibre 24 AWG de 4 pares. Para la transmisión de la corriente se requiere de dos cables (color azul [+] y azul

c/blanco [-]); la corriente es convertida a voltaje analógico y posteriormente a digital por la terminal 29 del conector de 40.

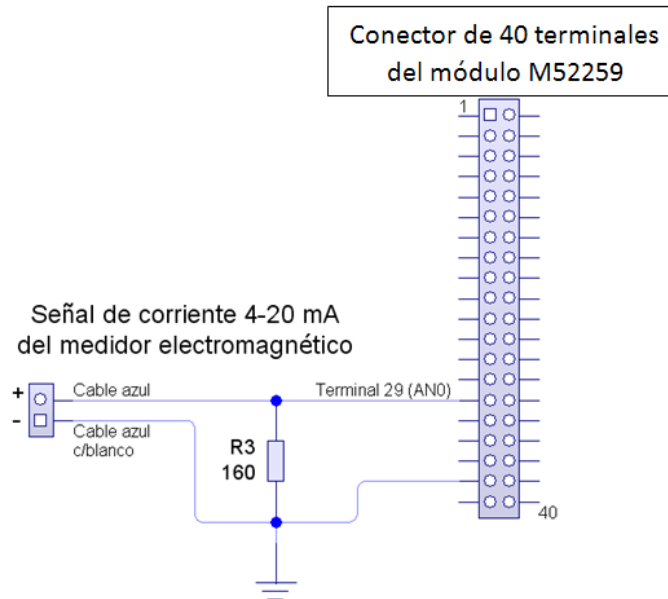


Figura 48. Circuito para la medición de corriente 4-20 mA.

La señal de pulsos, transmitidos por el medidor 50H40, son enviados por medio del cable color naranja (+) y naranja - blanco (-). La señal es pasiva, por lo que requiere de una fuente de voltaje, en este caso 3.3 VDC (figura 49).

La entrada para el microcontrolador, es la terminal 8 (ICOC3), que es un temporizador que está configurado para contar pulsos.

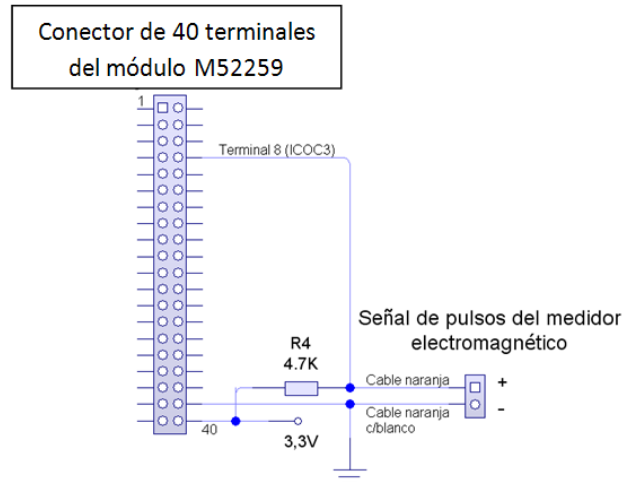


Figura 49. Circuito para la medición de pulsos.

Se utilizan conectores cilíndricos metálicos para la conexión del cable que lleva las señales al interior de la caja metálica. Las conexiones se muestran en la tabla 5:

Tabla 5. Conexiones de conectores cilíndricos.

| Terminal del conector | Color del cable:    | Señal:                 |
|-----------------------|---------------------|------------------------|
| A                     | Naranja con blanco. | Corriente 4-20 mA (-). |
| B                     | Naranja.            | Corriente 4-20 mA (+). |
| E                     | Azul con blanco.    | Pulsos 200 mseg (-).   |
| F                     | Azul.               | Pulsos 200 mseg (+).   |
| H                     | Cable sin forro.    | Tierra física.         |

En la figura 50, se muestra una imagen de la conexión entre el cable STP y la caja metálica, mediante el uso de los conectores circulares.



Figura 50. Conexión entre cable STP y caja metálica.

De igual forma, en el otro extremo del cable (donde se conecta con el medidor de caudal electromagnético), tiene conectores circulares metálicos; las conexiones son las mismas que en la tabla 5.

### 3.6.2. Etapa 2: Visualización en LCD

Se utilizan dos resistencias en configuración pull-up en cada una de las líneas de comunicación I<sup>2</sup>C, la fuente COSEL de 5 VDC alimenta a la pantalla LCD. En la figura 51 se tiene el circuito para realizar la comunicación I<sup>2</sup>C entre microcontrolador y LCD.

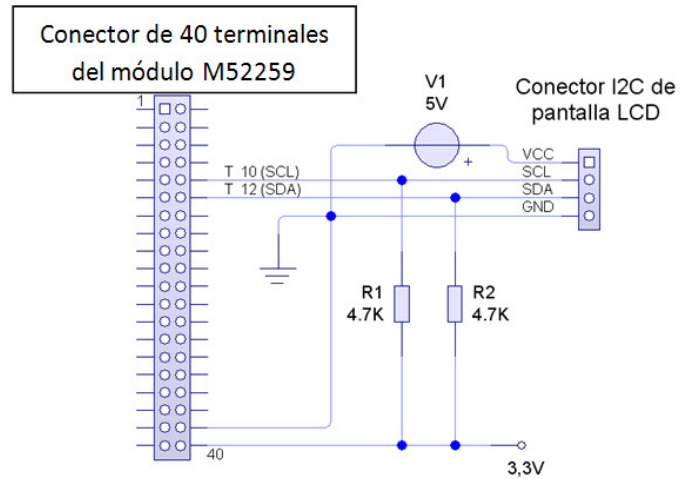


Figura 51. Circuito para comunicación  $I^2C$  de LCD.

### 3.6.3. Etapa 3: Botones de presionar

Se utilizan dos botones de presionar para llevar a cabo tareas como: introducir fecha, hora, entrar al menú y configurar volumen principal ya sea en modo pausado, modo contando o reiniciar. La terminal 17 y 18, son los que reciben un pulso bajo al presionar el botón; el nombre de las terminales son IRQ1 y IRQ7 (figura 52).

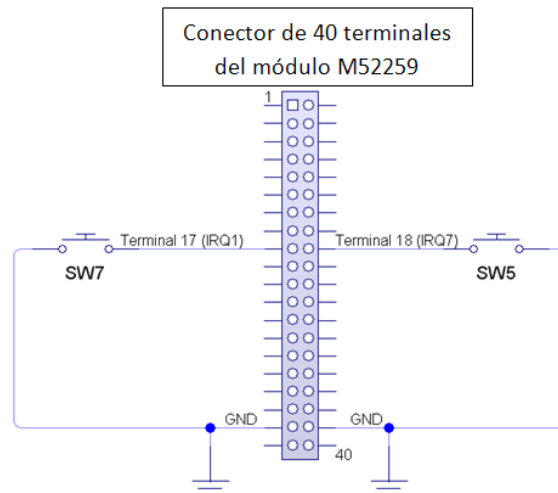


Figura 52. Circuito para botones de presionar.

### 3.6.4. Integración de las tres etapas de configuración

El circuito mostrado en la figura 53, detalla las conexiones de las tres etapas anteriores: corriente, pulsos y botones de presionar.

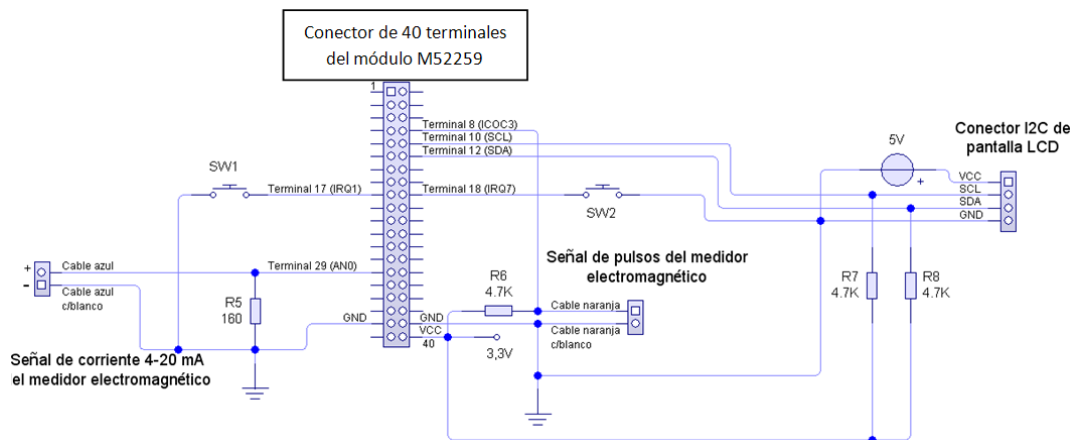


Figura 53. Circuito de configuración completo.

### **3.7. PROGRAMACIÓN Y DIAGRAMAS DE FLUJO**

El lenguaje que se usa para programar el microcontrolador es lenguaje C y se desarrolla en el software CodeWarrior™ Development Studio para ColdFire® Architectures V7.1 que también, se usa para cargar el programar en la memoria Flash del microcontrolador, cuya capacidad es de 512 KB.

Para la programación de la comunicación USB del microcontrolador, se utiliza el software MQX Real-Time Operating System versión 3.5 de Freescale (gratis), donde se genera un proyecto con librerías de comunicación USB en modo host. Al compilar el proyecto se genera código, el cual ayuda a que el manejo de datos entre microcontrolador y memoria USB, sea de forma práctica. En el proyecto generado, se escribe el código para cumplir con los objetivos del trabajo. El código del programa en lenguaje C, está en el CD anexo al documento.

En la figura 54, 55, 56 y 57, se muestra el diagrama de flujo del programa.

En la figura 54, se hacen las inicializaciones de variables, apuntadores, funciones y estructuras, así como también las inicializaciones de diferentes módulos que se utilizan del microcontrolador. La primera vez que se enciende el instrumento se debe introducir fecha y hora; de la segunda vez en adelante, el programa recupera datos como: fecha, hora, volumen principal, volumen de los

totalizadores y las distintas configuraciones (modo pausado o modo contando, para cada uno de los totalizadores y del volumen principal).

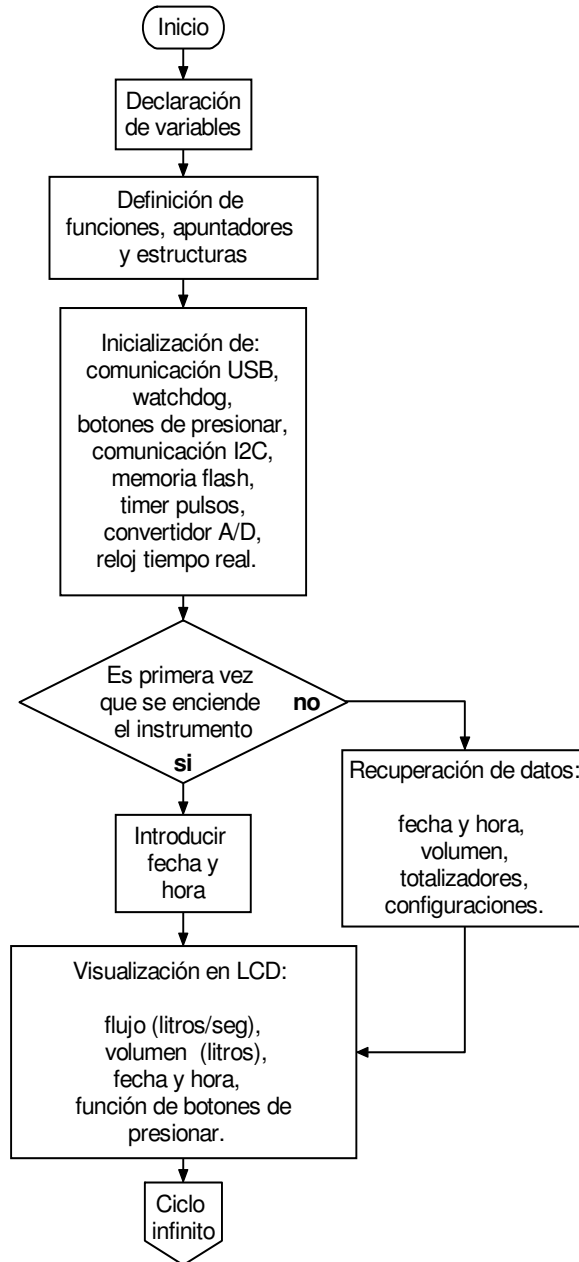


Figura 54. Diagrama de flujo del programa (inicializaciones).

En la figura 55, el programa entra a un ciclo infinito, donde detecta distintas fuentes para realizar una acción, como: botones de presionar, pulsos, enviar datos a memoria USB, conversiones digitales e incrementos de tiempo.

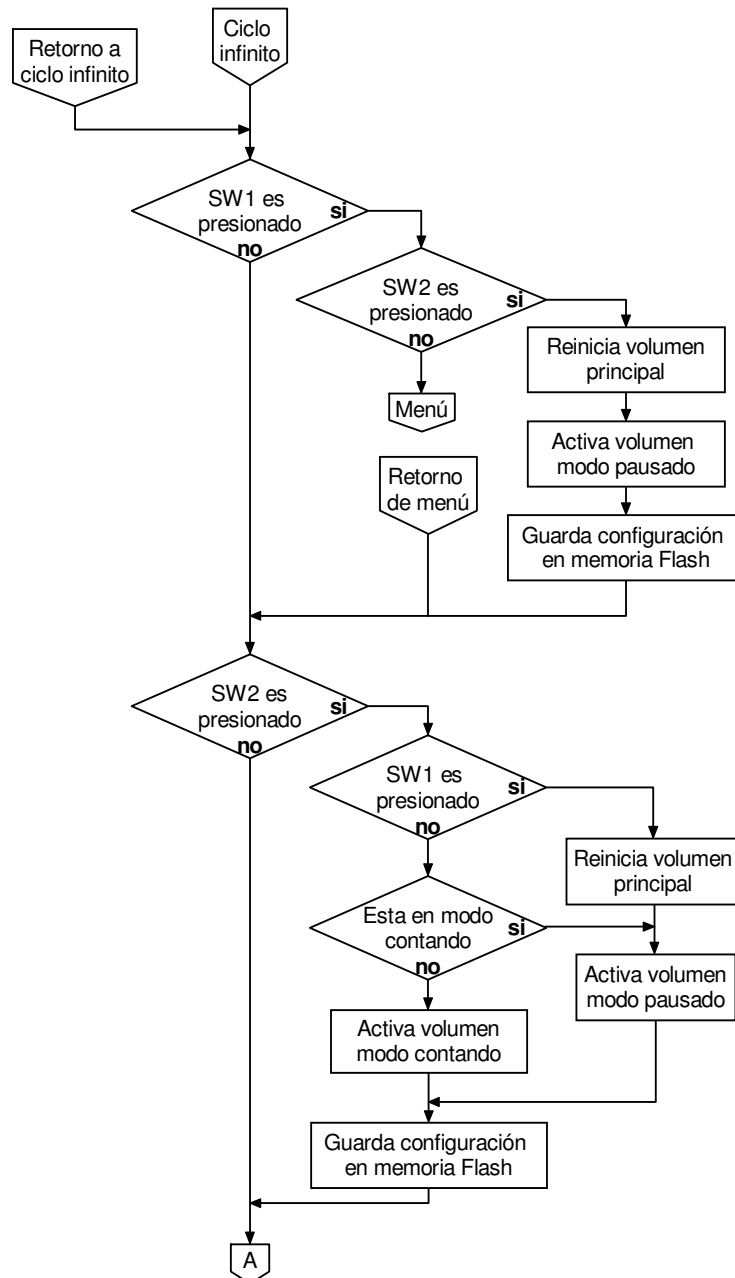


Figura 55. Diagrama de flujo del programa (ciclo infinito).

La continuación del ciclo infinito, se muestra en la figura 56 y 57, donde en esta última, se tiene la opción de enviar los datos almacenados en memoria FLASH a una memoria USB.

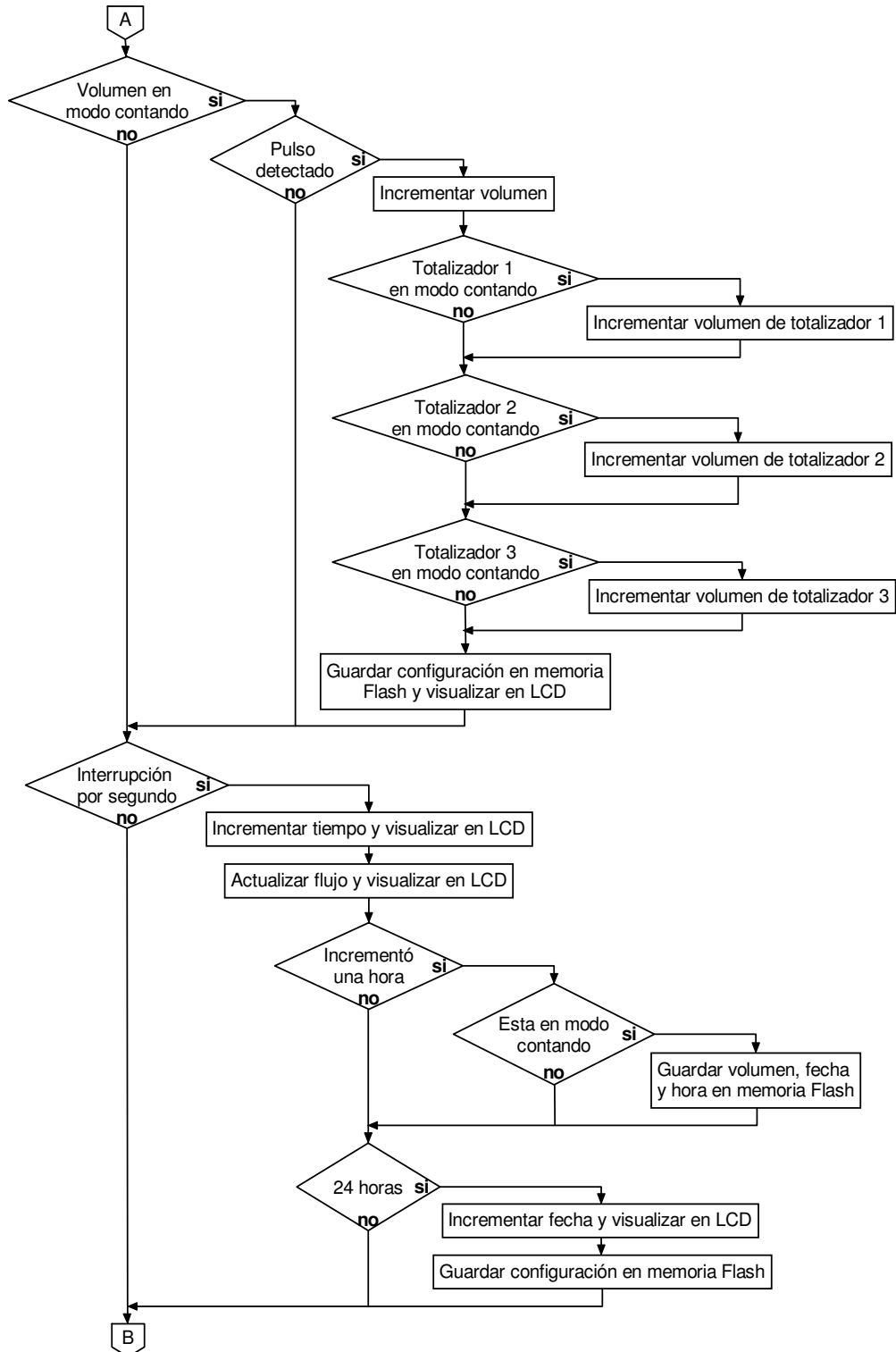


Figura 56. Diagrama de flujo del programa (parte dos de ciclo infinito).

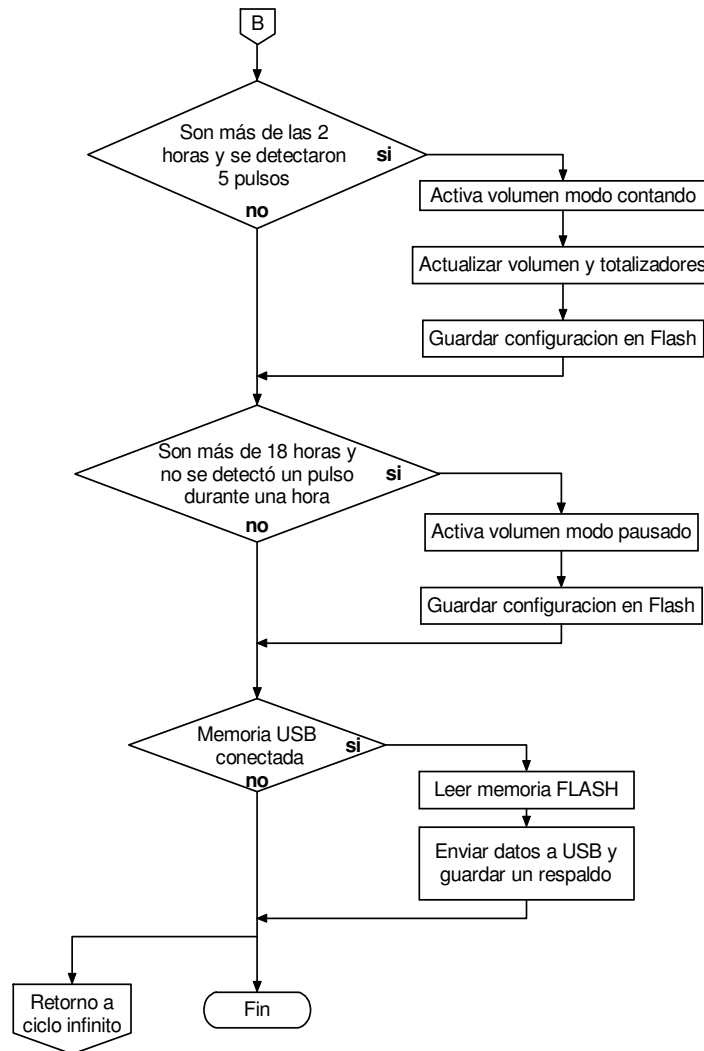


Figura 57. Diagrama de flujo del programa (retorno a ciclo infinito).

Dentro del ciclo infinito, se tiene una opción de entrar a un menú que consta de funciones como: **Modificar hora**, **Modificar Fecha**, **Recuperar Respaldos y Totalizadores**.

En ***modificar hora y fecha***, se puede realizar un cambio en estos datos. En ***Recuperación de Respaldos***, en caso de requerir de nuevo los datos de máximo un mes atrás, con esta opción se logra; en el caso de ***Totalizadores***, entra a un sub-menú que cuenta con: ***Totalizador 1, Totalizador 2 y Totalizador 3***. Cada uno es configurado individualmente para su operación: ***Contar, Pausar o Reiniciar***.

Los totalizadores son volúmenes que pueden contar hasta 99'999,999 litros. Por ejemplo, si a la Empresa Val Vita, le interesa conocer la producción de puré de tomate durante 3 meses, utiliza un totalizador.

El diagrama a flujo del menú, se muestra en la figura 58, 59, mientras que en la figura 60, se tiene el sub-menú de los totalizadores.

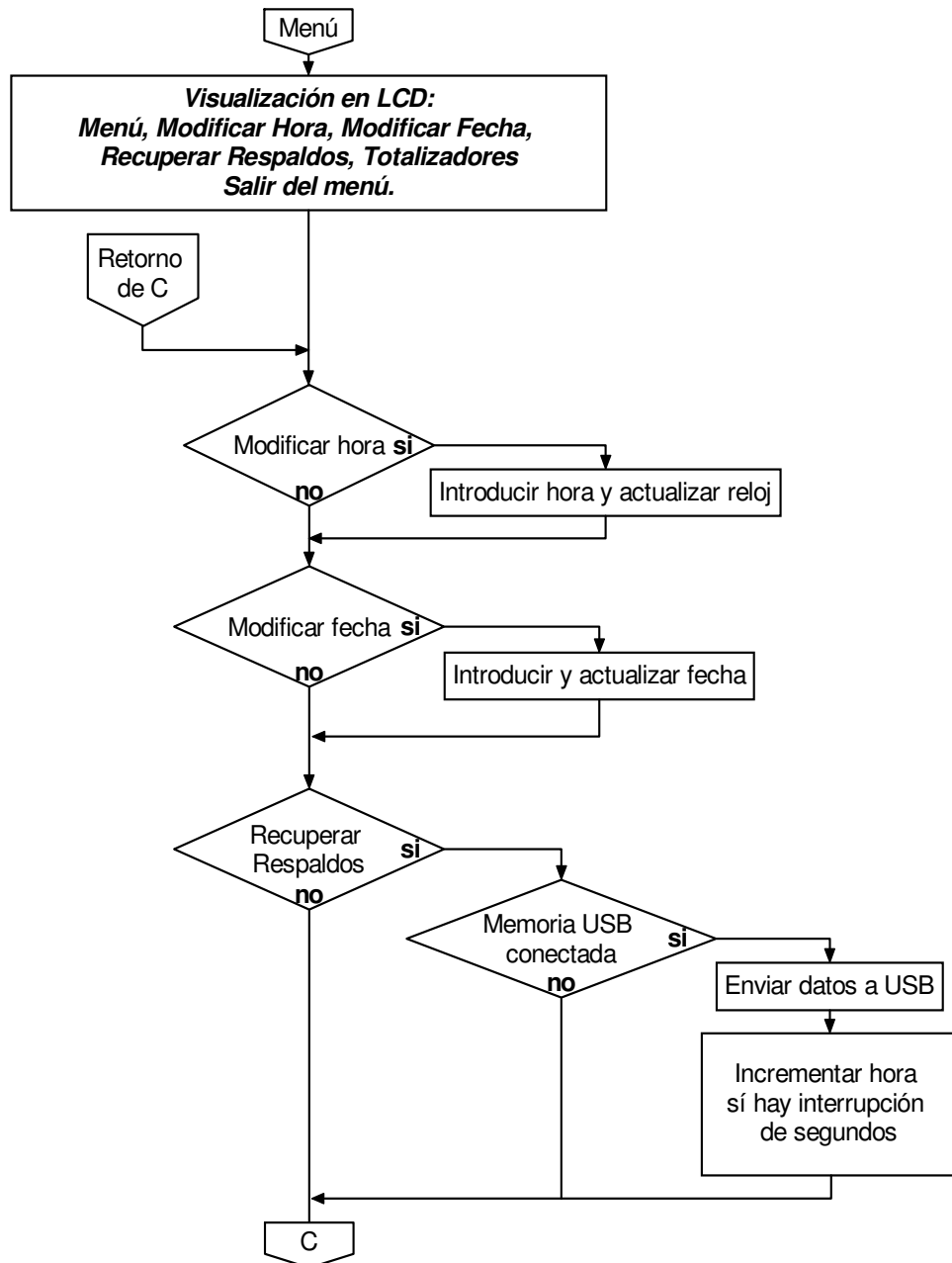


Figura 58. Diagrama de flujo del menú (parte uno).

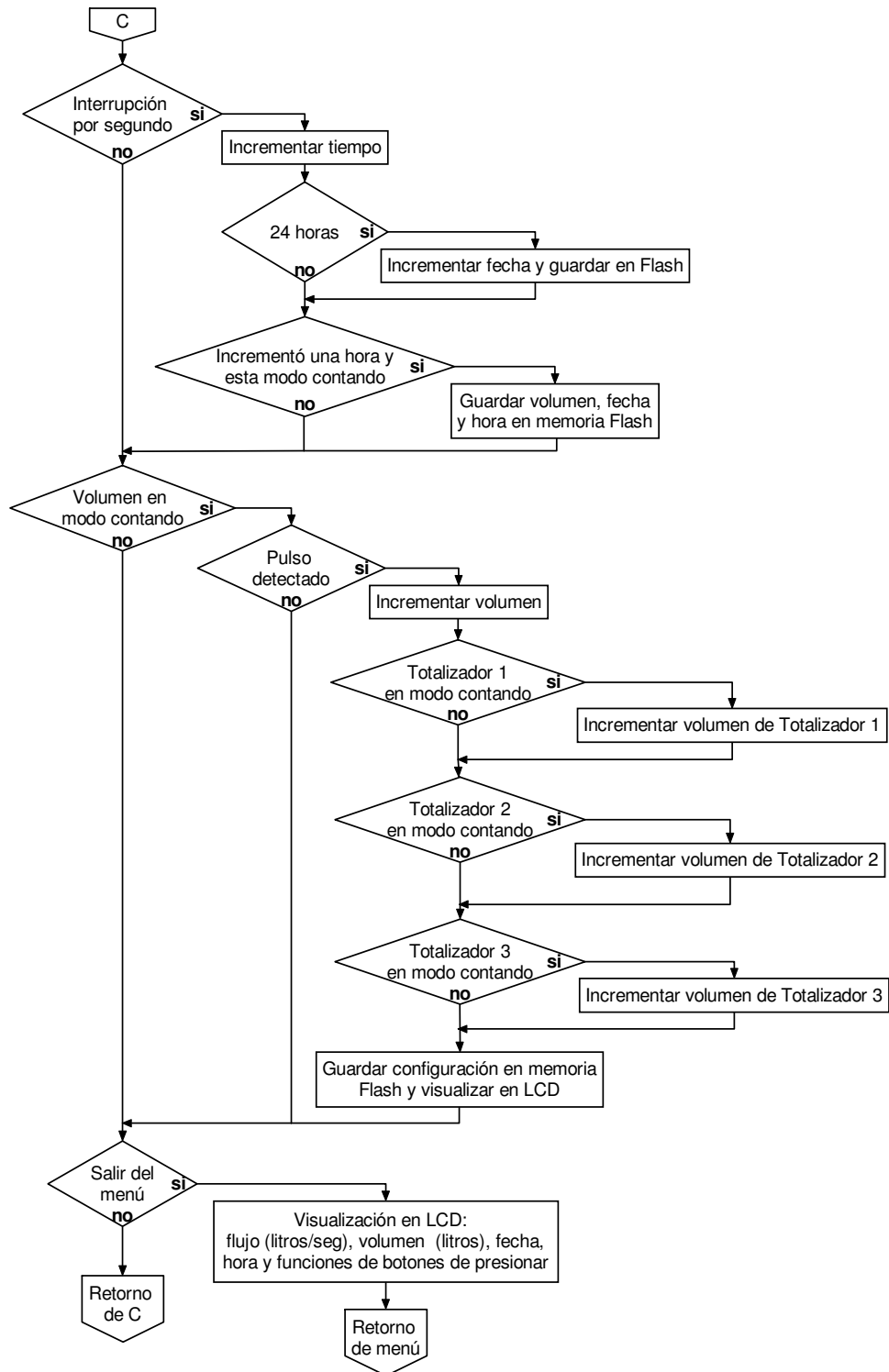


Figura 59. Diagrama de flujo del menú (parte de retorno).

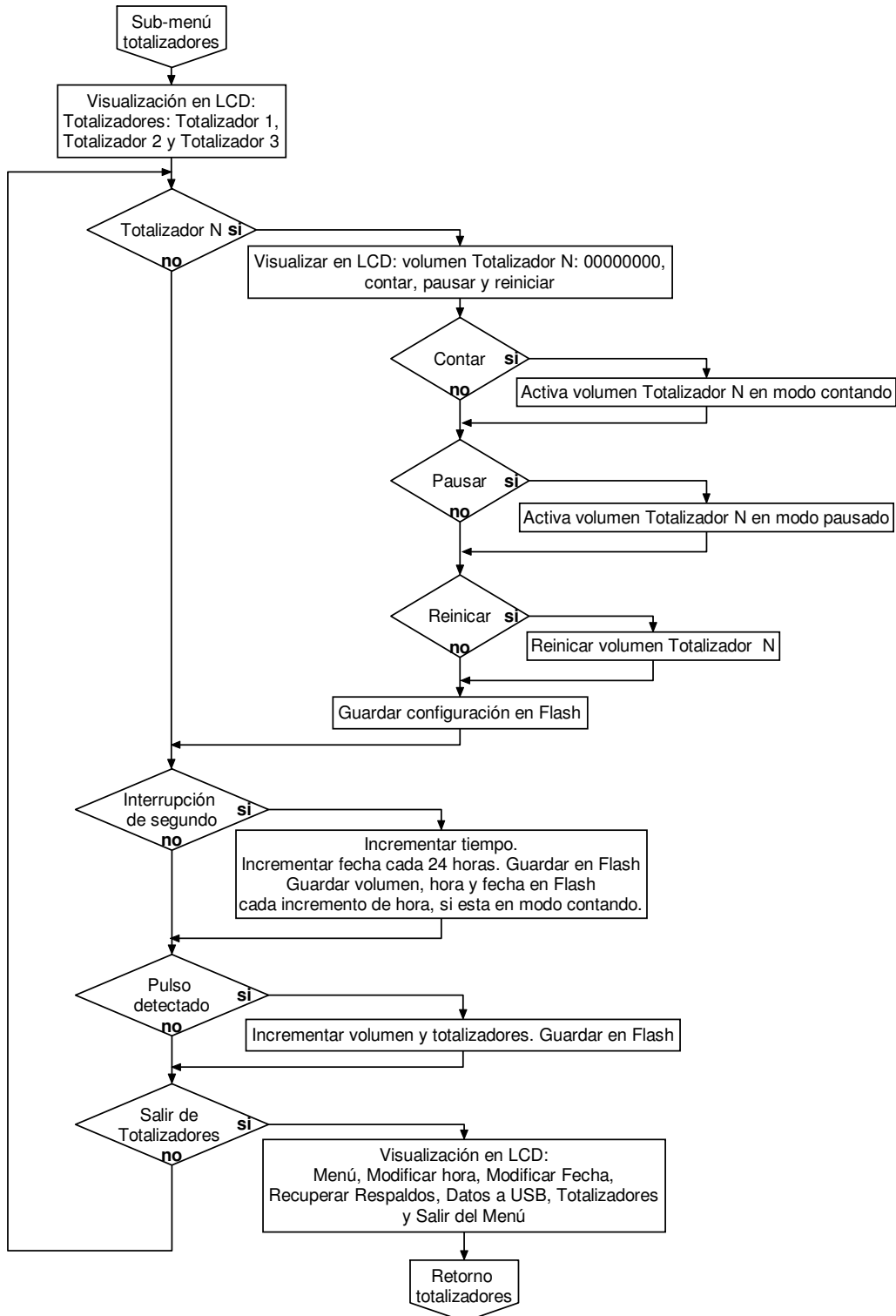


Figura 60. Diagrama de flujo de sub-menú de totalizadores.

### **3.7.1. Etapa 1: Lectura de información del medidor de caudal electromagnético: corriente 4-20 mA y pulsos**

Para que el microcontrolador pueda leer las señales enviadas por el medidor de caudal electromagnético 50H40, que son: corriente (para flujo) y pulsos (para volumen), es necesario utilizar el convertidor analógico-digital y un temporizador configurado para detectar pulsos.

La corriente es convertida a voltaje mediante una resistencia, el voltaje obtenido es convertido a digital para su tratamiento en el microcontrolador. El convertidor A/D de 12 bits es configurado para su operación normal.

Uno de los temporizadores del microcontrolador se puede utilizar como detector y contador de pulsos, el cual es configurado para que logre detectar un pulso que envía el medidor de caudal electromagnético.

### **3.7.2. Etapa 2: Visualización en LCD**

Los caracteres que envía el microcontrolador al LCD, son por medio de comunicación  $I^2C$ , por lo que se requiere de configuración en el programa para hacer uso de esta comunicación; con la ayuda de la hoja de datos del LCD, se

mandan los bytes correspondientes a cada carácter o configuración de la pantalla.

El microcontrolador envía los caracteres "Flujo: 00.0 Lts/seg" a la primera línea de la pantalla LCD, y actualiza los litros/segundo cada segundo.

Para el volumen, envía los caracteres "Volumen: 00000 Lts." a la segunda línea de la pantalla LCD, y actualiza los litros cada pulso que es detectado.

En la tercera línea del LCD, se visualiza "DD/MM/AA hh/mm/ss", donde:

- DD: días.
- MM: mes.
- AA: año.
- hh: hora.
- mm: minuto.
- ss: segundo.

La hora se actualiza cada segundo, mientras que la fecha se actualiza cada 24 horas. El horario de verano y horario de invierno, son cambiados automáticamente.

### **3.7.3. Etapa 3: Botones de presionar**

Se utilizan dos botones de presionar para la realización de distintas tareas. Estos botones son conectados al módulo de IRQ, que son de interrupciones. Por tanto es necesario la inicialización del módulo IRQ, para el uso del mismo.

### **3.7.4. Etapa 4: Almacenamiento de volumen principal, hora y fecha**

El volumen principal, hora y fecha, es guardado en la memoria Flash del microcontrolador durante el tiempo de producción de puré de tomate. El almacenamiento se hace cada hora, se guarda cuanto volumen se ha detectado, la hora y fecha de almacenamiento. Esto, con el fin de que cuando se inserte la memoria USB al instrumento, todos los datos almacenados en la memoria Flash, se copien a la memoria USB.

El módulo de Flash, es inicializado para poder guardar y borrar bytes, en una dirección de memoria.

### **3.7.5. Etapa 5: MENÚ del programa: modificar hora y fecha, recuperar respaldos, totalizadores y salir de menú**

Mediante el manejo de los botones de presionar, se accede al menú del programa, donde las siguientes funciones aparecen en pantalla.

En la opción de modificar hora, se puede cambiar la hora en cualquier momento que se desee. La hora está programada para el cambio de horario automático, tanto para verano como invierno. El segundo domingo del mes de Marzo a las 2 horas, el tiempo aumentará una hora, y el primer domingo de Noviembre a las 2 horas, se restará una hora.

En Modificar fecha, de igual forma, se puede cambiar la fecha en cualquier momento en que se desee. La fecha está programada para años bisiestos, por lo que cada uno de estos años, el mes de febrero tendrá 29 días.

Para la opción de recuperar respaldos, cada vez que se extrae información del instrumento, al conectar una memoria USB para la extracción de datos, se genera un respaldo de la misma información, sí por algún motivo, la información que se extrajo se pierde, esta pueda ser recuperada del instrumento nuevamente. Los datos son extraídos cada semana, y el instrumento almacena los respaldos de 4 semanas anteriores como máximo.

Al seleccionar 'Recu Respaldos' dentro de menú, entra a un sub-menú donde se muestran las opciones de las 4 semanas. Por ejemplo, si se requiere recuperar los datos de hace dos semanas, se debe seleccionar la opción '2 Semanas Atrás' que aparece en el sub-menú.

El instrumento cuenta con tres totalizadores, que también son volúmenes de puré de tomate. La diferencia entre el volumen principal que se almacena cada hora y los totalizadores, es que el volumen principal indica la producción por día, mientras que los totalizadores cuentan en un tiempo que desee el usuario.

Cada día el volumen principal es reiniciado automáticamente, mientras que los totalizadores no. La ventaja de los totalizadores, es que pueden contar volúmenes hasta 99'999,999 de litros, además de ser configurables por el usuario para decidir cuando inicie a contar, si lo desea pausar o reiniciar; como ejemplo, si se tiene una producción de 15,000 litros por día, un totalizador podría contar el volumen de hasta 27 años continuos. La fecha de inicio se visualiza. Para visualizar el volumen de los totalizadores, es necesario entrar el menú, después a totalizadores y elegir cuál de los tres visualizar.

La opción llamada 'Salir de menu', como lo indica su nombre, es para salir del menú; también sale de menú si no se presiona ningún botón durante un tiempo de 30 segundos.

### **3.7.6. Etapa 6. Enviar datos a memoria USB**

Para la recuperación de datos almacenados en la memoria FLASH del microcontrolador, sólo es necesario insertar una memoria USB al instrumento ya que funciona de forma automática.

El proceso es el siguiente: sí una memoria USB es conectada, toda la información de volumen, fecha y hora, son leídas de la memoria FLASH; posteriormente, los datos son enviados a un archivo en la memoria USB. Al finalizar el enviado de datos, un mensaje se visualiza en LCD que ya se puede retirar la memoria USB.

### **3.7.7. Etapa 7. Copiar información de memoria FLASH a memoria USB**

Para la recuperación de información, se inserta una memoria USB al conector USB tipo A del instrumento. La recuperación se hace cada que el usuario lo desee (eje. cada semana). Cuando el instrumento detecta la memoria USB, automáticamente lee todos los datos almacenados en memoria Flash y los envía a la memoria USB. Al finalizar el copiado de información, en la pantalla LCD se visualiza "Retirar USB".

En la figura 61, se muestra una imagen de la conexión entre memoria USB y conector USB tipo A del instrumento.

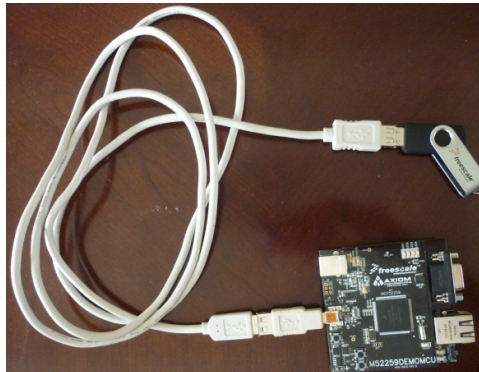


Figura 61. Conexión entre memoria USB y conector del instrumento.

### **3.7.8. Etapa 8. Recuperación de configuración anterior a una falla del suministro eléctrico**

En caso de que una falla eléctrica suceda mientras que el instrumento está en funcionamiento, el instrumento recuperara todas las configuraciones y datos que estaban antes de la falla eléctrica.

Las configuraciones hacen referencia a si estaba en modo pausado o modo contando tanto para el volumen principal como totalizadores; también recupera la fecha y hora.

El máximo tiempo que puede recuperar la hora, a partir que no hay corriente eléctrica, es de 24 horas. Ya que después de este tiempo, las dos baterías AA

que alimentan al reloj de tiempo real del microcontrolador, se agotan. Después de este tiempo, es necesario modificar hora y fecha, además de cambiar las dos baterías AA, esta información aparecerá en la pantalla LCD si se presenta el caso.

### **3.8. PRUEBAS DEL INSTRUMENTO EN CIRCUITO DE PRUEBA**

Con el medidor de caudal 50H40, el microcontrolador con el programa cargado y las conexiones pertinentes, se llevan a cabo pruebas para corroborar el correcto funcionamiento del instrumento antes de integrarlo en una caja metálica e instalar tanto el medidor de caudal como el instrumento en el sitio final.

Las pruebas consisten en la visualización y correcto funcionamiento, de cada etapa de programación. También, que el instrumento lea el mismo volumen que registra la pantalla del medidor de caudal electromagnético; después de verificar que el instrumento realice las funciones correctamente y que se prevalde con las mediciones que registra el medidor de caudal 50H40, se considera que ya se puede instalar en sitio final.

En la fila uno de la pantalla LCD, se visualiza el flujo en litros por segundo (figura 62), el cual se actualiza cada segundo.



Figura 62. Visualización de flujo en LCD.

En la fila dos de la pantalla LCD, se visualiza el volumen en litros (figura 63), el cual se actualiza cada pulso que detecta el instrumento.

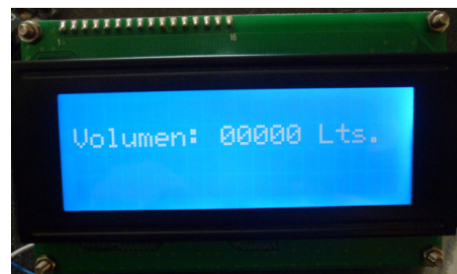


Figura 63. Visualización de volumen en LCD.

En la fila tres de la pantalla LCD, se visualiza la hora y fecha (figura 64), el cual se actualiza cada segundo para la hora y cada 24 horas se actualiza la fecha.



Figura 64. Visualización de hora y fecha en LCD.

La visualización de los tres componentes se observa en la figura 65, donde aparece: flujo, volumen, tiempo y fecha. En el lado derecho de volumen se visualiza la letra "C" que significa volumen contar; en caso de que se muestre una "P", quiere decir que el volumen esta en modo pausar. En modo contar, el instrumento incrementa volumen, mientras que en modo pausar, no incrementa volumen. Esto es por dos motivos: sólo almacene datos cuando esta en modo contar (no guarde datos repetidos) y para no leer volumen que no se desea (cuando lavan la tubería).



Figura 65. Visualización de flujo, volumen, fecha y hora en LCD.

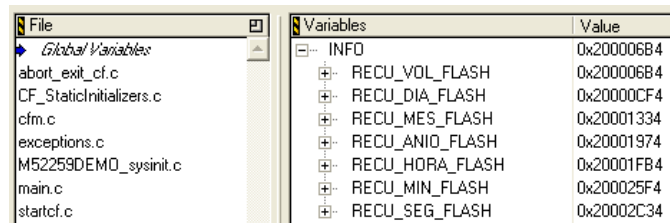
La cuarta fila del LCD en la figura 64, se utiliza para uso general cuando el instrumento funciona de forma normal, como: función de los botones de presionar SW1 y SW2; si es necesario modificar hora, fecha y cambiar batería; también.

La información que es almacenada en la memoria Flash del microcontrolador, es: volumen principal, fecha y hora. Los datos se almacenan cada hora durante toda la jornada de producción (de Lunes a Viernes, entre 3 y 18 horas aproximadamente por lo general); para ahorro de memoria y almacenamiento

de datos innecesarios, el instrumento no guarda en horas que no hay producción de puré de tomate.

A fin de muestra, se recupera la información en la memoria Flash para verificar los datos almacenados durante 13 horas (de 6 a 18 horas). Estos datos se guardan en una estructura llamada "INFO" (información) en la figura 66, que contiene las variables:

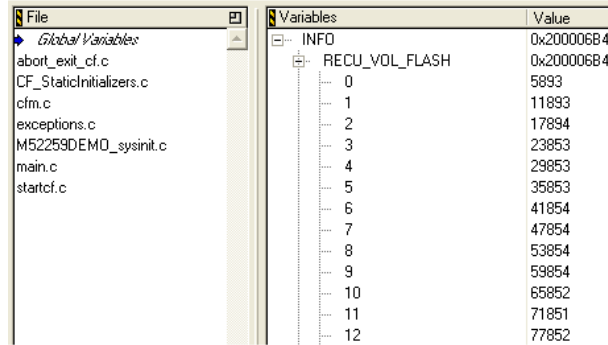
- RECU\_VOL\_FLASH: para recuperar el volumen.
- RECU\_DIA\_FLASH: para recuperar el día.
- RECU\_MES\_FLASH: para recuperar el mes.
- RECU\_ANIO\_FLASH: para recuperar el año.
- RECU\_HORA\_FLASH: para recuperar el hora.
- RECU\_MIN\_FLASH: para recuperar el minuto.
- RECU\_SEG\_FLASH: para recuperar el segundo.



| Variables         | Value      |
|-------------------|------------|
| INFO              | 0x200006B4 |
| + RECU_VOL_FLASH  | 0x200006B4 |
| + RECU_DIA_FLASH  | 0x20000CF4 |
| + RECU_MES_FLASH  | 0x20001334 |
| + RECU_ANIO_FLASH | 0x20001974 |
| + RECU_HORA_FLASH | 0x20001FB4 |
| + RECU_MIN_FLASH  | 0x200025F4 |
| + RECU_SEG_FLASH  | 0x20002C34 |

Figura 66. Recuperación de datos de memoria Flash.

La recuperación de volumen (en litros), está en la figura 67. Los volúmenes se obtienen del circuito de tubería para pruebas en campo.



The image shows a debugger's Variables window. On the left, a list of files is visible under 'Global Variables'. On the right, the 'Variables' window shows a tree structure. The root variable is 'INFO' with a value of '0x200006B4'. Under 'INFO', there is a variable 'RECU\_VOL\_FLASH' with a value of '0x200006B4'. This variable is an array of 12 elements, indexed from 0 to 12. The values for these elements are: 5893, 11893, 17894, 23853, 29853, 35853, 41854, 47854, 53854, 59854, 65852, 71851, and 77852.

| Variable       | Value      |
|----------------|------------|
| INFO           | 0x200006B4 |
| RECU_VOL_FLASH | 0x200006B4 |
| 0              | 5893       |
| 1              | 11893      |
| 2              | 17894      |
| 3              | 23853      |
| 4              | 29853      |
| 5              | 35853      |
| 6              | 41854      |
| 7              | 47854      |
| 8              | 53854      |
| 9              | 59854      |
| 10             | 65852      |
| 11             | 71851      |
| 12             | 77852      |

Figura 67. Recuperación de volumen de memoria Flash.

En la figura 68, se muestra la recuperación de día (se guardaron datos en el día [10]), mes (Marzo [3]) y año (2010 [10]).

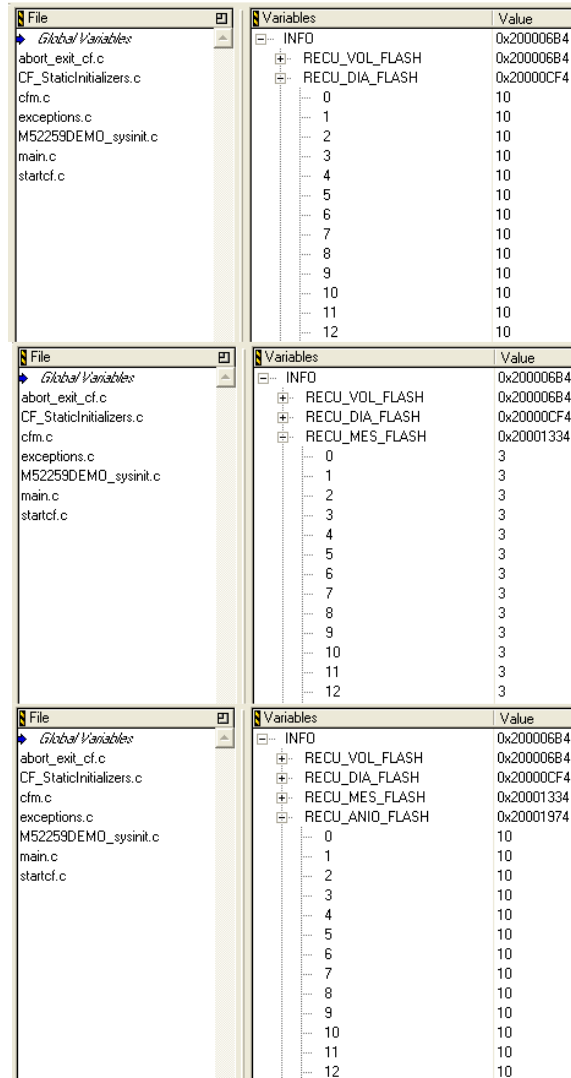


Figura 68. Recuperación de día, mes y año de memoria Flash.

Los tres datos restantes se muestran en la figura 69, donde se recupera la hora, el minuto y segundo. Para la muestra se tiene minuto y segundo, aunque estos siempre serán cero, ya que se guardan los datos cada incremento de hora.

| File                    | Variables       | Value      |
|-------------------------|-----------------|------------|
| Global Variables        | INFO            | 0x200006B4 |
| abort_exit_cf.c         | RECU_VOL_FLASH  | 0x200006B4 |
| CF_StaticInitializers.c | RECU_DIA_FLASH  | 0x20000CF4 |
| cfm.c                   | RECU_MES_FLASH  | 0x20001334 |
| exceptions.c            | RECU_ANIO_FLASH | 0x20001974 |
| M52259DEMO_sysinit.c    | RECU_HORA_FLASH | 0x20001FB4 |
| main.c                  | 0               | 6          |
| startcf.c               | 1               | 7          |
|                         | 2               | 8          |
|                         | 3               | 9          |
|                         | 4               | 10         |
|                         | 5               | 11         |
|                         | 6               | 12         |
|                         | 7               | 13         |
|                         | 8               | 14         |
|                         | 9               | 15         |
|                         | 10              | 16         |
|                         | 11              | 17         |
|                         | 12              | 18         |

| File                    | Variables       | Value      |
|-------------------------|-----------------|------------|
| Global Variables        | INFO            | 0x200006B4 |
| abort_exit_cf.c         | RECU_VOL_FLASH  | 0x200006B4 |
| CF_StaticInitializers.c | RECU_DIA_FLASH  | 0x20000CF4 |
| cfm.c                   | RECU_MES_FLASH  | 0x20001334 |
| exceptions.c            | RECU_ANIO_FLASH | 0x20001974 |
| M52259DEMO_sysinit.c    | RECU_HORA_FLASH | 0x20001FB4 |
| main.c                  | RECU_MIN_FLASH  | 0x200025F4 |
| startcf.c               | 0               | 0          |
|                         | 1               | 0          |
|                         | 2               | 0          |
|                         | 3               | 0          |
|                         | 4               | 0          |
|                         | 5               | 0          |
|                         | 6               | 0          |
|                         | 7               | 0          |
|                         | 8               | 0          |
|                         | 9               | 0          |
|                         | 10              | 0          |
|                         | 11              | 0          |
|                         | 12              | 0          |

| File                    | Variables       | Value      |
|-------------------------|-----------------|------------|
| Global Variables        | INFO            | 0x200006B4 |
| abort_exit_cf.c         | RECU_VOL_FLASH  | 0x200006B4 |
| CF_StaticInitializers.c | RECU_DIA_FLASH  | 0x20000CF4 |
| cfm.c                   | RECU_MES_FLASH  | 0x20001334 |
| exceptions.c            | RECU_ANIO_FLASH | 0x20001974 |
| M52259DEMO_sysinit.c    | RECU_HORA_FLASH | 0x20001FB4 |
| main.c                  | RECU_MIN_FLASH  | 0x200025F4 |
| startcf.c               | RECU_SEG_FLASH  | 0x20002C34 |
|                         | 0               | 0          |
|                         | 1               | 0          |
|                         | 2               | 0          |
|                         | 3               | 0          |
|                         | 4               | 0          |
|                         | 5               | 0          |
|                         | 6               | 0          |
|                         | 7               | 0          |
|                         | 8               | 0          |
|                         | 9               | 0          |
|                         | 10              | 0          |
|                         | 11              | 0          |
|                         | 12              | 0          |

Figura 69. Recuperación de hora, minuto y segundo de Flash.

Los datos recuperados, sólo son para mostrar que se almacenan en la Flash.

Estos datos no son los que visualizara el usuario en la memoria Flash.

Al presionar SW1 del instrumento, se visualiza el menú en LCD (figura 70). Al presionar SW2, cambia de opción; estas son: Modificas hora, modificar fecha, Recu respaldos, Datos a USB, Totalizadores, y Salir del menú.



Figura 70. Visualización de menú en LCD.

Si entra al menú, y no se presiona ningún botón, sale del menú a los 30 segundos. La opción "Totalizadores" tiene un sub-menú, en donde se puede configurar cada uno de ellos. Igualmente, si no se presiona ningún botón, sale a los 30 segundos a menú.

En la opción de modificar hora se puede cambiar la hora, el minuto y segundo (figura 71); se utilizan SW1 y SW2, para la modificación.



Figura 71. Visualización de modificar hora en LCD.

Para el caso de modificar fecha, funciona de la misma forma que modificar hora. En la figura 72, se muestra como se visualiza en LCD.



Figura 72. Visualización de modificar fecha en LCD.

En la figura 73, el sub-menú de Totalizadores se visualiza, el cual consta de 3 totalizadores. Dentro de cada totalizador se puede visualizar el valor del volumen de cada totalizador, la fecha de inicio, así como también, las opciones para la configuración como: contar, pausar, reiniciar y salir (figura 74).



Figura 73. Visualización de totalizadores en LCD.



Figura 74. Configuraciones para totalizadores.

Al insertar una memoria USB al instrumento, los datos son leídos de la memoria Flash y enviados a la memoria USB, en donde se genera una carpeta con el nombre 'Val Vita Datos de Volumen del Pure de Tomate' y dentro, almacena el archivo con los datos; sí la memoria USB ya contiene una carpeta con este nombre, dentro de esa carpeta almacena un archivo que contiene los datos.

El nombre del archivo que contiene los datos, tiene el siguiente nombre: 'FECHA año mes día HORA hh mm ss DE EXTRACCION ', donde la fecha y hora es obtenida del reloj del instrumento al instante en que los datos son extraídos.

Mientras se envían los datos a la memoria USB, en la pantalla LCD se visualiza el avance (figura 75) e indica si ya se puede retirar la memoria USB (figura 76).



Figura 75. Visualización en LCD del envío de datos a USB.



Figura 76. Visualización en LCD de 'Retirar USB'.

Una vez que el instrumento termina de enviar los datos, regresa automáticamente a operación normal, donde se visualiza el flujo, volumen, etc.

Los datos son almacenados en la memoria USB con formato texto (extensión \*.txt) con el fin de que puedan ser visualizados en una computadora. Guardar datos con extensión \*.txt, tiene la ventaja de poder guardar los caracteres en serie, manejando código ASCII, lo cual hace de la programación menos complicada.

La memoria USB debe tener formato FAT (File Allocation Table) o tabla de Asignación de Archivos, ya sea FAT16 o FAT32; el fin del FAT es que se puedan almacenar, borrar y modificar archivos en la memoria USB.

El tiempo de almacenamiento de datos es de aproximadamente 27 segundos para información de una semana (archivo de 5 KB). Una vez que los datos son almacenados en la memoria USB, esta puede ser retirada del instrumento, y posteriormente insertada en una computadora, donde se puede abrir el archivo con el software Bloc de notas (Notepad en inglés) de Microsoft Windows.

Si se selecciona la opción 'Recu Respaldos' dentro del menú (figura 77), entra a un sub-menú donde aparece en LCD las siguientes opciones: 1 Semana atrás, 2 Semana atrás, 3 Semana atrás, 4 Semana atrás y Salir.



Figura 77. Visualización de opción 'Recu Respaldos' en menú.

Al seleccionar la opción para recuperar datos de cualquiera de las 4 semanas disponibles (figura 78), y si la memoria USB está conectada al instrumento, en la memoria USB genera una carpeta con el nombre 'VAL VITA Respaldo Datos de Volumen' si no existe, si ya existe, dentro de ella, guarda un archivo con extensión \*.txt y cuyo nombre es 'FECHA año mes día HORA hh mm ss \_respaldo\_' (fecha y tiempo que se hace la recuperación); también, se muestra el estado de avance de los datos en porcentaje, así como también, si ya se puede retirar la memoria USB (figura 79).



Figura 78. Visualización de las cuatro opciones de 'Recu Respaldos'.



Figura 79. Visualización de avance de envío de datos de respaldo.

Una vez que el respaldo es extraído, se puede visualizar en una PC. Dentro del archivo generado, se muestran los datos de volumen, fecha, hora y las fechas de los datos recuperados, tanto de inicio como la fecha final. Por ejemplo, si hay datos del 10 de Junio del 2010 al 14 de Junio del 2010, estas dos fechas son visualizadas dentro del archivo de respaldo.

Después de comprobar el funcionamiento del instrumento en el circuito de prueba, se hace una pre-validación para poder instalarlo en el sitio final en las instalaciones de la Empresa Val Vita. Este procedimiento consta de tomar registros de las mediciones que entrega el medidor de caudal 50H40 y el instrumento (fecha de pruebas 25 de abril de 2010, a flujo de 2 litros/segundo). Los resultados se muestran en la tabla 6 para el volumen, mientras que en la tabla 7 se tienen los resultados de flujo.

Tabla 6. Pruebas de pre-validación del instrumento para el volumen.

| Volumen en litros:                  |              | Tiempo de la prueba en minutos: |
|-------------------------------------|--------------|---------------------------------|
| Medidor de caudal electromagnético: | Instrumento: |                                 |
| 1013                                | 1014         | 8                               |
| 2013.5                              | 2014         | 22                              |
| 3110                                | 3110         | 34                              |
| 3690                                | 3690         | 41                              |
| 16560.8                             | 16561        | 184                             |

Las pruebas para el flujo, constaron de visualizar el mismo flujo en la pantalla del medidor 50H40 y en el instrumento. Cada 10 minutos durante una hora, se tomaron los datos, que se muestran en tabla 7.

Tabla 7. Pruebas de pre-validación del instrumento para el flujo.

| Flujo en litros/segundo:            |              | Hora de registro: |
|-------------------------------------|--------------|-------------------|
| Medidor de caudal electromagnético: | Instrumento: |                   |
| 2.05                                | 2            | 2:10 pm           |
| 2.12                                | 2.2          | 2:20 pm           |
| 1.98                                | 2            | 2:30 pm           |
| 2.03                                | 2            | 2:40 pm           |
| 2.05                                | 2            | 2:50 pm           |
| 2.01                                | 2            | 3:00 pm           |
| 2.03                                | 2            | 3:10 pm           |

Hasta este punto, las funciones de mediciones están pre-validadas, las funciones del instrumento como: modos de operación, menú, recuperación de información ante falla del suministro eléctrico, entre otros.

Las pruebas de los datos que se almacenan en la memoria USB y la visualización en una computadora, se detalla a continuación.

### 3.9. VISUALIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN EN MEMORIA USB EN UNA COMPUTADORA

El formato en que se almacenan los datos en la memoria USB, es en texto. Mediante el software Bloc de Notas de Microsoft Windows, es posible abrir el archivo, el cual contiene información de: volumen (Litros), fecha, hora, y además, la fecha de inicio y final, de datos extraídos (Figura 80, muestra datos aleatorios); el archivo se encuentra dentro de una carpeta con el nombre "VAL VITA Datos de Volumen de Pure de tomate" que está en la memoria USB.

```

*****
*****_DATOS_DE_VOLUMEN_DEL_PURÉ_DE_TOMATE_EN_LA_EMPRESA_*****
*****_COMERCIALIZADORA_VAL_VITA_S.A._DE_C.V._*****
*****
Datos_de1: 3/Jun/2010 a1 3/Jun/2010
Número_de_datos: 13
volumen_en_litros.

volumen: 35 Fecha: 3/Jun/10 Hora: 2:0:0
volumen: 1010 Fecha: 3/Jun/10 Hora: 3:0:0
volumen: 2041 Fecha: 3/Jun/10 Hora: 4:0:0
volumen: 3135 Fecha: 3/Jun/10 Hora: 5:0:0
volumen: 4127 Fecha: 3/Jun/10 Hora: 6:0:0
volumen: 5152 Fecha: 3/Jun/10 Hora: 7:0:0
volumen: 6152 Fecha: 3/Jun/10 Hora: 8:0:0
volumen: 7184 Fecha: 3/Jun/10 Hora: 9:0:0
volumen: 8221 Fecha: 3/Jun/10 Hora: 10:0:0
volumen: 9050 Fecha: 3/Jun/10 Hora: 11:0:0
volumen: 10122 Fecha: 3/Jun/10 Hora: 12:0:0
volumen: 11086 Fecha: 3/Jun/10 Hora: 13:0:0
volumen: 12058 Fecha: 3/Jun/10 Hora: 14:0:0

```

Figura 80. Visualización de datos en PC con Bloc de Notas.

A la Empresa Val Vita le interesa visualizar la información en el software Microsoft Office Excel (versión 2007 para este caso), por lo que se requiere de una importación del archivo.

Los pasos para la importación son:

1. Abrir Microsoft Office Excel.
2. Clic en "*abrir*".
3. En la opción: "*Tipo de archivo*" seleccionar "*Archivos de texto*".
4. Seleccionar el archivo de interés con extensión txt, y dar clic en *abrir*.
5. Seleccionar la opción "*Delimitados*" y dar clic en "*siguiente*".
6. En la opción: "*Separadores*" seleccionar "*Tabulación*" y "*Espacio*". Quitar la opción de: "*Considerar separadores consecutivos como uno solo*" y dar clic en "*siguiente*".
7. Clic en "*finalizar*".

Ahora se pueden visualizar la información en Excel (figura 81) para su análisis.

| ***** DATOS_DE_VOLUMEN_DEL_PURÉ_DE_TOMATE_EN_LA_EMPRESA ***** |           |        |                          |
|---|-----------|--------|--------------------------|
| ***** COMERCIALIZADORA_VAL_VITA_S.A_DE_C.V. *****             |           |        |                          |
| Datos_del:  | 03-Jun-10 | al     | 03-Jun-10                |
| Número_de_datos:  | 13        |        |                          |
| Volumen_en_litros.  |           |        |                          |
| Volumen:  | 35        | Fecha: | 03-Jun-10 Hora: 02:00:00 |
| Volumen:  | 1010      | Fecha: | 03-Jun-10 Hora: 03:00:00 |
| Volumen:  | 2041      | Fecha: | 03-Jun-10 Hora: 04:00:00 |
| Volumen:  | 3135      | Fecha: | 03-Jun-10 Hora: 05:00:00 |
| Volumen:  | 4127      | Fecha: | 03-Jun-10 Hora: 06:00:00 |
| Volumen:  | 5152      | Fecha: | 03-Jun-10 Hora: 07:00:00 |
| Volumen:  | 6152      | Fecha: | 03-Jun-10 Hora: 08:00:00 |
| Volumen:  | 7184      | Fecha: | 03-Jun-10 Hora: 09:00:00 |
| Volumen:  | 8221      | Fecha: | 03-Jun-10 Hora: 10:00:00 |
| Volumen:  | 9050      | Fecha: | 03-Jun-10 Hora: 11:00:00 |
| Volumen:  | 10122     | Fecha: | 03-Jun-10 Hora: 12:00:00 |
| Volumen:  | 11086     | Fecha: | 03-Jun-10 Hora: 13:00:00 |
| Volumen:  | 12058     | Fecha: | 03-Jun-10 Hora: 14:00:00 |

Figura 81. Visualización de datos en PC con Excel.

Al visualizar la ventana de la figura 80, se debe guardar como libro de Excel, que se logra con los siguientes pasos:

1. Seleccionar en "Guardar como", la opción de "Libro de Excel".
2. Clic en "Guardar".

Con la realización de estas pruebas, se considera el instrumento totalmente pre-validado.

### 3.10. INSTALACIÓN

Para la instalación del medidor electromagnético en la tubería que lleva el puré de tomate a la zona de envasado, se requiere de cortar una sección de 20 pulgadas, soldar dos terminales para abrazaderas en cada extremo y la instalación del medidor (figura 82).



Figura 82. Medidor de caudal en tubería del puré de tomate.

La altura del sitio de instalación es de 3 metros; la distancia entre el medidor y la caja metálica es de 15 metros de cableado (de alimentación y de señales).

Los componentes que se instalan en la caja son:

1. Fuente de voltaje COSEL de +24 VDC.
2. Fuente de voltaje COSEL de +5 VDC.
3. Módulo M52259.
4. Pantalla de cristal líquido LCD de 20 columnas x 4 filas.
5. Dos botones de presionar.
6. Extensión de cable USB.

7. Conector circular metálico para cable trenzado y blindado.
8. Conector para cable de alimentación 110 VAC.
9. Conector para cable de alimentación +24 VDC.
10. Interruptor de encendido.
11. Fixturas de plástico HDPE (High-density polyethylene) como bases.
12. Caja exterior de acrílico para protección de interfaz humana.
13. Capacitores.
14. Baterías alcalinas "AA".

Se realizaron cortes sobre la caja metálica para la instalación de los componentes como barrenos de distintos diámetros y desbastes. Además, de la elaboración de bases de material HDPE (High-density polyethylene). Estos trabajos se elaboraron en el taller de maquinado de la Empresa Val Vita con la ayuda de máquinas, como fresadora y torno.

En la figura 83, se muestran todos los componentes.

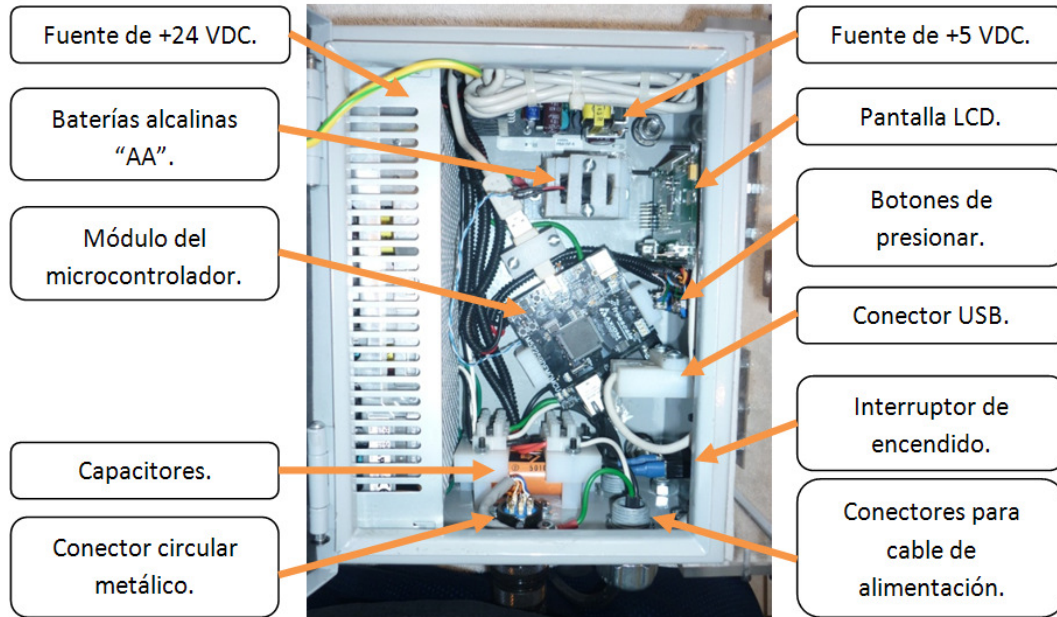


Figura 83. Componentes dentro de la caja metálica.

El área de la interfaz humana, la cual consta de la pantalla LCD, dos botones de presionar, conector USB e interruptor de encendido, se muestra en la figura 84.

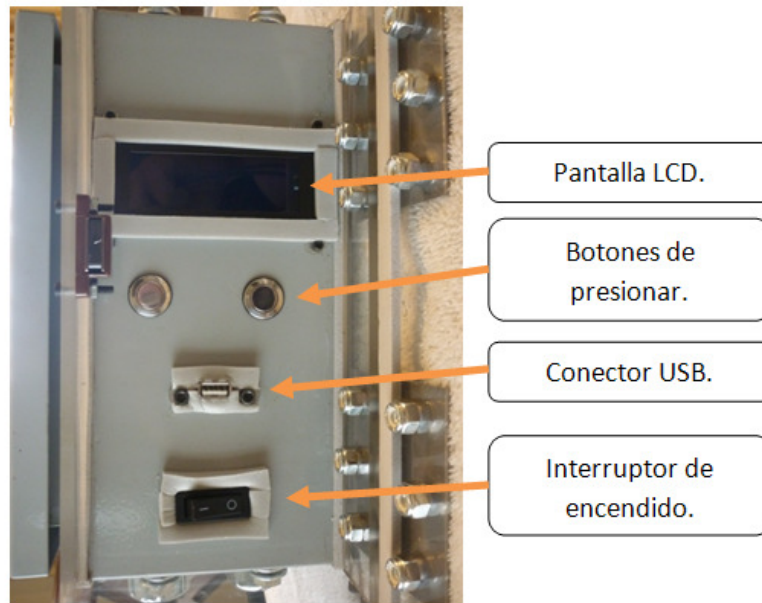


Figura 84. Interfaz humana del instrumento.

La caja de acrílico para proteger la interfaz humana se muestra en la figura 85.

Consta de cuatro paredes unidas a la caja metálica y su puerta.



Figura 85. Caja de acrílico para protección de interfaz humana.

Para la instalación de la caja, se suelda una placa metálica en una columna de soporte del edificio a 1.5 metros sobre el piso. Se utilizan cuatro tornillos para mantener la caja estable sobre la placa (figura 86).



Figura 86. Instalación de caja metálica en la pared.

Se usan dos tipos de cables para el cableado entre medidor de caudal e instrumento:

1. Cable trenzado y blindado. Envía las señales de corriente y pulso, del medidor electromagnético a la caja metálica.
2. Cable de alimentación. Sale de la caja metálica hacia el medidor de caudal electromagnético, alimentándolo con +24 VDC.

Ambos cables son introducidos a una tubería de media pulgada para ser transportados a través del techo del edificio (figura 87).



Figura 87. Cableado entre medidor electromagnético e instrumento.

### 3.11. PRUEBAS FINALES

Una vez instalado el medidor de caudal electromagnético en la tubería que transporta el puré de tomate, el instrumento en la pared y el cableado, se realizan 5 días de pruebas. Las pruebas consisten en visualizar el mismo volumen y flujo, tanto en el instrumento como en el medidor de caudal electromagnético. Cada prueba se realiza durante la medición de volumen de un día de producción (de 2 am a 6:30 pm). Inicia en 0 litros en ambos medidores. En la tabla 8 se muestran los resultados de estas mediciones.

Tabla 8. Pruebas finales del instrumento para volumen.

| <b>Día:</b>      | <b>Medición del medidor de caudal electromagnético (litros):</b> | <b>Medición del instrumento (litros):</b> |
|------------------|--|---|
| 7 de Junio 2010  | 14719  | 14729                                     |
| 8 de Junio 2010  | 16538  | 16545                                     |
| 9 de Junio 2010  | 16278  | 16293                                     |
| 10 de Junio 2010 | 12860  | 12870                                     |
| 11 de Junio 2010 | 15291  | 15297                                     |

La diferencia que muestran las mediciones de volumen, es debido a que cuando se inicia, la tubería contiene aire que causa una inestabilidad de las señales por aproximadamente 10 segundos.

En la tabla 9, se tienen los resultados para el flujo. En las pruebas del flujo, se visualiza cada hora, durante 5 horas. Consiste en visualizar el mismo flujo tanto en el medidor de caudal electromagnético como en el instrumento.

La exactitud en cuanto al flujo no es de vital importancia para la Empresa Val Vita, el instrumento visualiza el flujo con incrementos de 200 mililitros (0.2 litros). Por ejemplo, si el medidor de caudal indica 1.85 litros/segundo, el instrumento visualiza 1.8 litros por segundo; otro caso, si el medidor de caudal detecta 1.95 litros/segundo, el instrumento tendrá 2 litros/segundo. Las mediciones se realizaron el 3 de Junio del 2010 durante horas de producción.

Tabla 9. Pruebas finales del instrumento para el flujo.

| <b>Hora:</b> | <b>Medición del medidor de caudal electromagnético (litros/seg):</b> | <b>Medición del instrumento (litros/seg):</b> |
|--------------|--|---|
| 1            | 1.16   | 1.2   |
| 2            | 1.23   | 1.2   |
| 3            | 1.21   | 1.2   |
| 4            | 1.19   | 1.2   |
| 5            | 1.21   | 1.2   |

Otras pruebas que se llevan a cabo se detallan en la tabla 10, donde se simulan situaciones que pueden pasar en un momento, funciones sobre modos de operación y su activación, tanto de manera manual por medio de los botones de presionar como de forma automática. También, la configuración y funcionamiento de los tres totalizadores, modificación de hora, modificación de fecha, extracción de datos y recuperación de respaldos.

Tabla 10. Pruebas finales del instrumento a otras funciones.

| <b>Función:</b>  | <b>Observaciones:</b> |
|--|-----------------------|
| Recuperación de valores de volúmenes y sus configuraciones ante una falla eléctrica.           | ✓                     |
| Funcionamiento del reloj del instrumento mientras permanece una falla eléctrica.               | ✓                     |
| Activación de volumen en modo pausar, reiniciar en 0 y modo contar de forma automática.        | ✓                     |
| Activación de volumen en modo pausar, reiniciar en 0 y modo contar de forma manual.            | ✓                     |
| Funcionamiento de los tres totalizadores.  | ✓                     |
| Modificación de fecha y hora.  | ✓                     |
| Extracción de los datos almacenados con una memoria USB y su visualización en una computadora. | ✓                     |
| Extracción de datos de respaldo con una memoria USB y su visualización en una computadora.     | ✓                     |

En la figura 88, se muestran las carpetas que genera el instrumento al enviar los datos a una memoria USB. La carpeta que contiene el archivo en modo texto, que se extrae al finalizar la semana, tiene el nombre "VAL VITA Datos de Volumen del Pure de Tomate".

La otra carpeta que se visualiza en la misma figura, es donde se guardan los datos de respaldo cuando se inserta la memoria USB al instrumento, del menú se realiza una extracción de datos de respaldo.

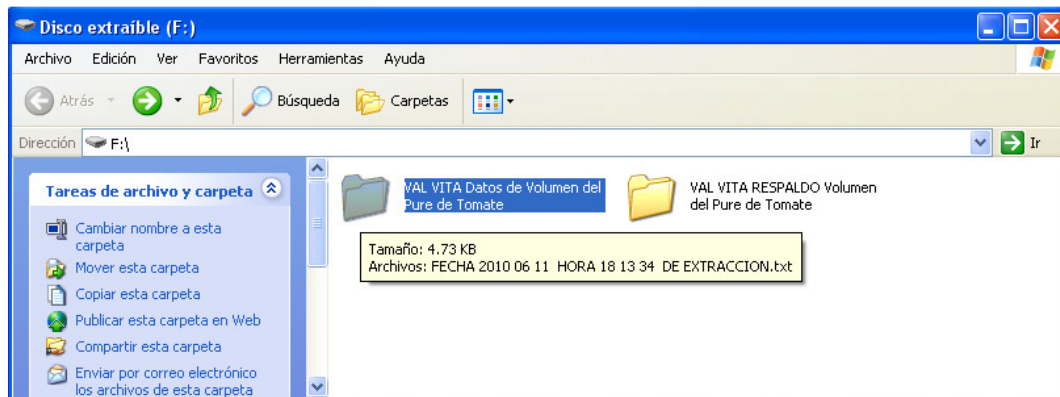


Figura 88. Carpetas en USB que genera el instrumento.

Al abrir la carpeta "VAL VITA Datos de Volumen del Pure de Tomate", se tiene un archivo en modo texto, el cual contiene toda la información de datos de volumen de la semana de pruebas (figura 89), cuyo nombre es la fecha y hora de cuando se realizó el proceso de extracción de datos del instrumento (FECHA 2010 06 11 HORA 18 13 34 DE EXTRACCION), se extrajo el viernes 11 de Junio de 2010 al finalizar la jornada de producción (18 horas con 13 minutos y 34 segundos).

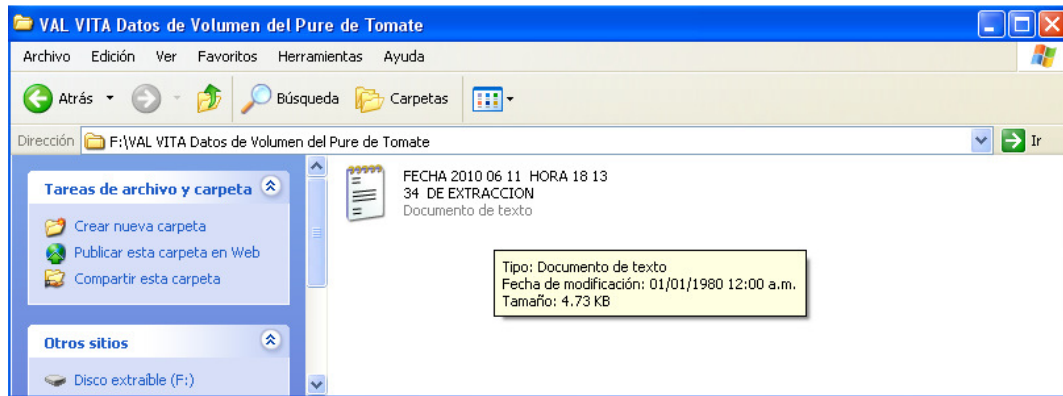


Figura 89. Datos extraídos del instrumento en modo texto.

Al abrir el archivo se muestran todos los datos que el instrumento almacenó durante la semana (figura 90 y figura 91).

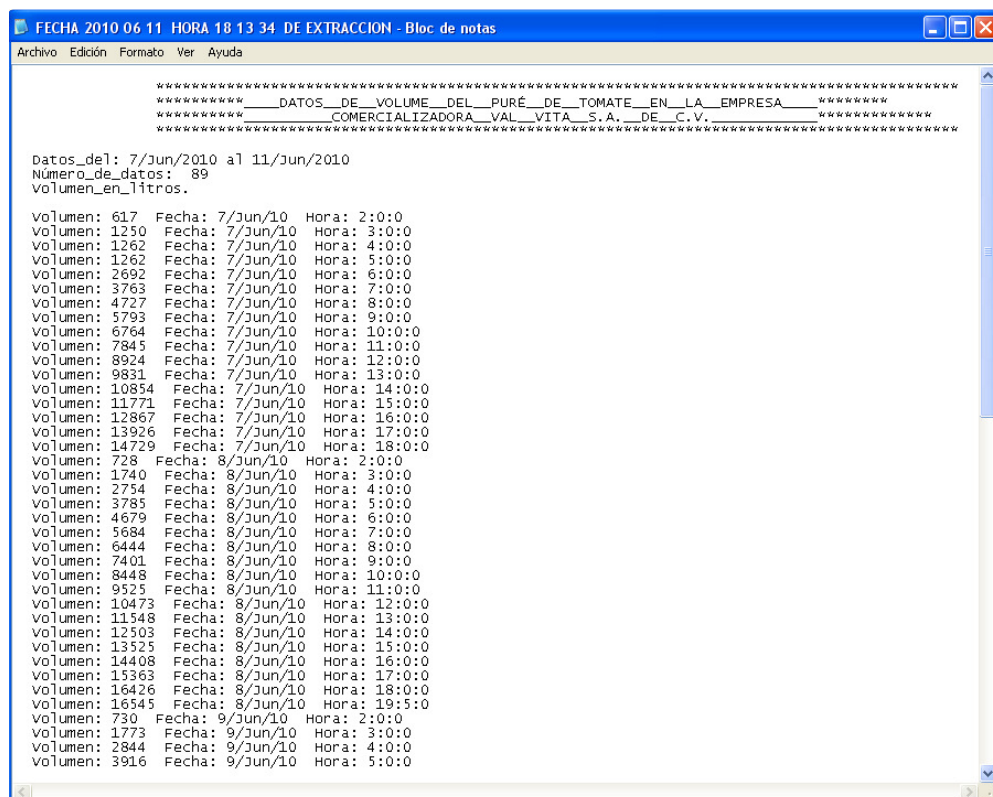


Figura 90. Datos de la semana de pruebas, parte 1.

| Volumen | Fecha     | Hora    |
|---------|-----------|---------|
| 5994    | 9/Jun/10  | 7:0:0   |
| 6927    | 9/Jun/10  | 8:0:0   |
| 7989    | 9/Jun/10  | 9:0:0   |
| 8831    | 9/Jun/10  | 10:0:0  |
| 9886    | 9/Jun/10  | 11:0:0  |
| 10909   | 9/Jun/10  | 12:0:0  |
| 11740   | 9/Jun/10  | 13:0:0  |
| 12807   | 9/Jun/10  | 14:0:0  |
| 13683   | 9/Jun/10  | 15:0:0  |
| 14047   | 9/Jun/10  | 16:0:0  |
| 15127   | 9/Jun/10  | 17:0:0  |
| 16293   | 9/Jun/10  | 18:0:0  |
| 16293   | 9/Jun/10  | 18:58:0 |
| 817     | 10/Jun/10 | 2:0:0   |
| 1866    | 10/Jun/10 | 3:0:0   |
| 2899    | 10/Jun/10 | 4:0:0   |
| 3974    | 10/Jun/10 | 5:0:0   |
| 5104    | 10/Jun/10 | 6:0:0   |
| 6089    | 10/Jun/10 | 7:0:0   |
| 7138    | 10/Jun/10 | 8:0:0   |
| 8092    | 10/Jun/10 | 9:0:0   |
| 9039    | 10/Jun/10 | 10:0:0  |
| 9859    | 10/Jun/10 | 11:0:0  |
| 9859    | 10/Jun/10 | 12:0:0  |
| 9859    | 10/Jun/10 | 13:0:0  |
| 9859    | 10/Jun/10 | 14:0:0  |
| 10077   | 10/Jun/10 | 15:0:0  |
| 10937   | 10/Jun/10 | 16:0:0  |
| 11620   | 10/Jun/10 | 17:0:0  |
| 12682   | 10/Jun/10 | 18:0:0  |
| 12870   | 10/Jun/10 | 19:0:0  |
| 12870   | 10/Jun/10 | 19:7:0  |
| 779     | 11/Jun/10 | 2:0:0   |
| 1829    | 11/Jun/10 | 3:0:0   |
| 2851    | 11/Jun/10 | 4:0:0   |
| 3925    | 11/Jun/10 | 5:0:0   |
| 4929    | 11/Jun/10 | 6:0:0   |
| 5995    | 11/Jun/10 | 7:0:0   |
| 7023    | 11/Jun/10 | 8:0:0   |
| 7994    | 11/Jun/10 | 9:0:0   |
| 9083    | 11/Jun/10 | 10:0:0  |
| 9998    | 11/Jun/10 | 11:0:0  |
| 11065   | 11/Jun/10 | 12:0:0  |
| 11901   | 11/Jun/10 | 13:0:0  |
| 12955   | 11/Jun/10 | 14:0:0  |
| 13915   | 11/Jun/10 | 15:0:0  |
| 14781   | 11/Jun/10 | 16:0:0  |
| 15139   | 11/Jun/10 | 17:0:0  |
| 15297   | 11/Jun/10 | 18:0:0  |

Figura 91. Datos de la semana de pruebas, continuación.

Para su visualización en el software Excel, se realiza una exportación de archivo. En la figura 92, 93, 94, 95 y 96, se tienen los datos en Excel para su análisis y manipulación.

FECHA 2010 06 11 HORA 18 13 34 DE EXTRACCION - Microsoft Excel

Inicio Insertar Diseño de página Fórmulas Datos Revisar Vista

Portapapeles Fuente Alineación Número Formato condicional Dar formato como tabla Estilos de celda Insertar Eliminar Formato Celdas Autosuma Rellenar Ordenar y filtrar Buscar y seleccionar Modificar

C81 Volumen:

|    | A | B | C  | D         | E      | F         | G     | H        | I | J | K | L | M |
|----|---|---|--|-----------|--------|-----------|-------|----------|---|---|---|---|---|
| 1  |   |   |  |           |        |           |       |          |   |   |   |   |   |
| 2  |   |   |  |           |        |           |       |          |   |   |   |   |   |
| 3  |   |   | ***** DATOS DE VOLUME DEL PURÉ DE TOMATE EN LA EMPRESA ***** |           |        |           |       |          |   |   |   |   |   |
| 4  |   |   | ***** COMERCIALIZADORA VAL VITA S.A. DE C.V. *****           |           |        |           |       |          |   |   |   |   |   |
| 5  |   |   |  |           |        |           |       |          |   |   |   |   |   |
| 6  |   |   |  |           |        |           |       |          |   |   |   |   |   |
| 7  |   |   | Datos del:   | 07-Jun-10 | al     | 11-Jun-10 |       |          |   |   |   |   |   |
| 8  |   |   | Número de datos:   | 89        |        |           |       |          |   |   |   |   |   |
| 9  |   |   | Volumen en litros:   |           |        |           |       |          |   |   |   |   |   |
| 10 |   |   |  |           |        |           |       |          |   |   |   |   |   |
| 11 |   |   | Volumen:   | 617       | Fecha: | 07-Jun-10 | Hora: | 02:00:00 |   |   |   |   |   |
| 12 |   |   | Volumen:   | 1250      | Fecha: | 07-Jun-10 | Hora: | 03:00:00 |   |   |   |   |   |
| 13 |   |   | Volumen:   | 1262      | Fecha: | 07-Jun-10 | Hora: | 04:00:00 |   |   |   |   |   |
| 14 |   |   | Volumen:   | 1262      | Fecha: | 07-Jun-10 | Hora: | 05:00:00 |   |   |   |   |   |
| 15 |   |   | Volumen:   | 2692      | Fecha: | 07-Jun-10 | Hora: | 06:00:00 |   |   |   |   |   |
| 16 |   |   | Volumen:   | 3763      | Fecha: | 07-Jun-10 | Hora: | 07:00:00 |   |   |   |   |   |
| 17 |   |   | Volumen:   | 4727      | Fecha: | 07-Jun-10 | Hora: | 08:00:00 |   |   |   |   |   |
| 18 |   |   | Volumen:   | 5793      | Fecha: | 07-Jun-10 | Hora: | 09:00:00 |   |   |   |   |   |
| 19 |   |   | Volumen:   | 6764      | Fecha: | 07-Jun-10 | Hora: | 10:00:00 |   |   |   |   |   |
| 20 |   |   | Volumen:   | 7845      | Fecha: | 07-Jun-10 | Hora: | 11:00:00 |   |   |   |   |   |
| 21 |   |   | Volumen:   | 8924      | Fecha: | 07-Jun-10 | Hora: | 12:00:00 |   |   |   |   |   |
| 22 |   |   | Volumen:   | 9831      | Fecha: | 07-Jun-10 | Hora: | 13:00:00 |   |   |   |   |   |
| 23 |   |   | Volumen:   | 10854     | Fecha: | 07-Jun-10 | Hora: | 14:00:00 |   |   |   |   |   |
| 24 |   |   | Volumen:   | 11771     | Fecha: | 07-Jun-10 | Hora: | 15:00:00 |   |   |   |   |   |

FECHA 2010 06 11 HORA 18 13 34

Inicio TESIS MIGUEL MURIL... Microsoft Excel - FEC...

Figura 92. Datos de pruebas en Excel.

FECHA 2010 06 11 HORA 18 13 34 DE EXTRACCION - Microsoft Excel

Inicio Insertar Diseño de página Fórmulas Datos Revisar Vista

Portapapeles Fuente Alineación Número Formato condicional Dar formato como tabla Estilos de celda Insertar Eliminar Formato Celdas Autosuma Rellenar Ordenar y filtrar Buscar y seleccionar Modificar

C23 Volumen:

|    | A | B | C        | D     | E      | F         | G     | H        | I | J | K | L | M |
|----|---|---|----------|-------|--------|-----------|-------|----------|---|---|---|---|---|
| 24 |   |   | Volumen: | 11771 | Fecha: | 07-Jun-10 | Hora: | 15:00:00 |   |   |   |   |   |
| 25 |   |   | Volumen: | 12867 | Fecha: | 07-Jun-10 | Hora: | 16:00:00 |   |   |   |   |   |
| 26 |   |   | Volumen: | 13926 | Fecha: | 07-Jun-10 | Hora: | 17:00:00 |   |   |   |   |   |
| 27 |   |   | Volumen: | 14729 | Fecha: | 07-Jun-10 | Hora: | 18:00:00 |   |   |   |   |   |
| 28 |   |   | Volumen: | 728   | Fecha: | 08-Jun-10 | Hora: | 02:00:00 |   |   |   |   |   |
| 29 |   |   | Volumen: | 1740  | Fecha: | 08-Jun-10 | Hora: | 03:00:00 |   |   |   |   |   |
| 30 |   |   | Volumen: | 2754  | Fecha: | 08-Jun-10 | Hora: | 04:00:00 |   |   |   |   |   |
| 31 |   |   | Volumen: | 3785  | Fecha: | 08-Jun-10 | Hora: | 05:00:00 |   |   |   |   |   |
| 32 |   |   | Volumen: | 4679  | Fecha: | 08-Jun-10 | Hora: | 06:00:00 |   |   |   |   |   |
| 33 |   |   | Volumen: | 5684  | Fecha: | 08-Jun-10 | Hora: | 07:00:00 |   |   |   |   |   |
| 34 |   |   | Volumen: | 6444  | Fecha: | 08-Jun-10 | Hora: | 08:00:00 |   |   |   |   |   |
| 35 |   |   | Volumen: | 7401  | Fecha: | 08-Jun-10 | Hora: | 09:00:00 |   |   |   |   |   |
| 36 |   |   | Volumen: | 8448  | Fecha: | 08-Jun-10 | Hora: | 10:00:00 |   |   |   |   |   |
| 37 |   |   | Volumen: | 9525  | Fecha: | 08-Jun-10 | Hora: | 11:00:00 |   |   |   |   |   |
| 38 |   |   | Volumen: | 10473 | Fecha: | 08-Jun-10 | Hora: | 12:00:00 |   |   |   |   |   |
| 39 |   |   | Volumen: | 11548 | Fecha: | 08-Jun-10 | Hora: | 13:00:00 |   |   |   |   |   |
| 40 |   |   | Volumen: | 12503 | Fecha: | 08-Jun-10 | Hora: | 14:00:00 |   |   |   |   |   |
| 41 |   |   | Volumen: | 13525 | Fecha: | 08-Jun-10 | Hora: | 15:00:00 |   |   |   |   |   |
| 42 |   |   | Volumen: | 14408 | Fecha: | 08-Jun-10 | Hora: | 16:00:00 |   |   |   |   |   |
| 43 |   |   | Volumen: | 15363 | Fecha: | 08-Jun-10 | Hora: | 17:00:00 |   |   |   |   |   |
| 44 |   |   | Volumen: | 16426 | Fecha: | 08-Jun-10 | Hora: | 18:00:00 |   |   |   |   |   |
| 45 |   |   | Volumen: | 16545 | Fecha: | 08-Jun-10 | Hora: | 19:05:00 |   |   |   |   |   |
| 46 |   |   | Volumen: | 730   | Fecha: | 09-Jun-10 | Hora: | 02:00:00 |   |   |   |   |   |

FECHA 2010 06 11 HORA 18 13 34

Inicio TESIS MIGUEL MURIL... Microsoft Excel - FEC...

Figura 93. Datos de pruebas en Excel (continuación).

|    | A | B | C        | D     | E | F      | G         | H | I     | J        | K | L | M |
|----|---|---|----------|-------|---|--------|-----------|---|-------|----------|---|---|---|
| 47 |   |   | Volumen: | 1773  |   | Fecha: | 09-Jun-10 |   | Hora: | 03:00:00 |   |   |   |
| 48 |   |   | Volumen: | 2844  |   | Fecha: | 09-Jun-10 |   | Hora: | 04:00:00 |   |   |   |
| 49 |   |   | Volumen: | 3916  |   | Fecha: | 09-Jun-10 |   | Hora: | 05:00:00 |   |   |   |
| 50 |   |   | Volumen: | 4920  |   | Fecha: | 09-Jun-10 |   | Hora: | 06:00:00 |   |   |   |
| 51 |   |   | Volumen: | 5994  |   | Fecha: | 09-Jun-10 |   | Hora: | 07:00:00 |   |   |   |
| 52 |   |   | Volumen: | 6927  |   | Fecha: | 09-Jun-10 |   | Hora: | 08:00:00 |   |   |   |
| 53 |   |   | Volumen: | 7989  |   | Fecha: | 09-Jun-10 |   | Hora: | 09:00:00 |   |   |   |
| 54 |   |   | Volumen: | 8831  |   | Fecha: | 09-Jun-10 |   | Hora: | 10:00:00 |   |   |   |
| 55 |   |   | Volumen: | 9886  |   | Fecha: | 09-Jun-10 |   | Hora: | 11:00:00 |   |   |   |
| 56 |   |   | Volumen: | 10909 |   | Fecha: | 09-Jun-10 |   | Hora: | 12:00:00 |   |   |   |
| 57 |   |   | Volumen: | 11740 |   | Fecha: | 09-Jun-10 |   | Hora: | 13:00:00 |   |   |   |
| 58 |   |   | Volumen: | 12807 |   | Fecha: | 09-Jun-10 |   | Hora: | 14:00:00 |   |   |   |
| 59 |   |   | Volumen: | 13683 |   | Fecha: | 09-Jun-10 |   | Hora: | 15:00:00 |   |   |   |
| 60 |   |   | Volumen: | 14047 |   | Fecha: | 09-Jun-10 |   | Hora: | 16:00:00 |   |   |   |
| 61 |   |   | Volumen: | 15127 |   | Fecha: | 09-Jun-10 |   | Hora: | 17:00:00 |   |   |   |
| 62 |   |   | Volumen: | 16293 |   | Fecha: | 09-Jun-10 |   | Hora: | 18:00:00 |   |   |   |
| 63 |   |   | Volumen: | 16293 |   | Fecha: | 09-Jun-10 |   | Hora: | 18:58:00 |   |   |   |
| 64 |   |   | Volumen: | 817   |   | Fecha: | 10-Jun-10 |   | Hora: | 02:00:00 |   |   |   |
| 65 |   |   | Volumen: | 1866  |   | Fecha: | 10-Jun-10 |   | Hora: | 03:00:00 |   |   |   |
| 66 |   |   | Volumen: | 2899  |   | Fecha: | 10-Jun-10 |   | Hora: | 04:00:00 |   |   |   |
| 67 |   |   | Volumen: | 3974  |   | Fecha: | 10-Jun-10 |   | Hora: | 05:00:00 |   |   |   |
| 68 |   |   | Volumen: | 5104  |   | Fecha: | 10-Jun-10 |   | Hora: | 06:00:00 |   |   |   |
| 69 |   |   | Volumen: | 6089  |   | Fecha: | 10-Jun-10 |   | Hora: | 07:00:00 |   |   |   |

Figura 94. Datos de pruebas en Excel (continuación).

|    | A | B | C        | D     | E | F      | G         | H | I     | J        | K | L | M |
|----|---|---|----------|-------|---|--------|-----------|---|-------|----------|---|---|---|
| 70 |   |   | Volumen: | 7138  |   | Fecha: | 10-Jun-10 |   | Hora: | 08:00:00 |   |   |   |
| 71 |   |   | Volumen: | 8092  |   | Fecha: | 10-Jun-10 |   | Hora: | 09:00:00 |   |   |   |
| 72 |   |   | Volumen: | 9039  |   | Fecha: | 10-Jun-10 |   | Hora: | 10:00:00 |   |   |   |
| 73 |   |   | Volumen: | 9859  |   | Fecha: | 10-Jun-10 |   | Hora: | 11:00:00 |   |   |   |
| 74 |   |   | Volumen: | 9859  |   | Fecha: | 10-Jun-10 |   | Hora: | 12:00:00 |   |   |   |
| 75 |   |   | Volumen: | 9859  |   | Fecha: | 10-Jun-10 |   | Hora: | 13:00:00 |   |   |   |
| 76 |   |   | Volumen: | 9859  |   | Fecha: | 10-Jun-10 |   | Hora: | 14:00:00 |   |   |   |
| 77 |   |   | Volumen: | 10077 |   | Fecha: | 10-Jun-10 |   | Hora: | 15:00:00 |   |   |   |
| 78 |   |   | Volumen: | 10937 |   | Fecha: | 10-Jun-10 |   | Hora: | 16:00:00 |   |   |   |
| 79 |   |   | Volumen: | 11620 |   | Fecha: | 10-Jun-10 |   | Hora: | 17:00:00 |   |   |   |
| 80 |   |   | Volumen: | 12682 |   | Fecha: | 10-Jun-10 |   | Hora: | 18:00:00 |   |   |   |
| 81 |   |   | Volumen: | 12870 |   | Fecha: | 10-Jun-10 |   | Hora: | 19:00:00 |   |   |   |
| 82 |   |   | Volumen: | 12870 |   | Fecha: | 10-Jun-10 |   | Hora: | 19:07:00 |   |   |   |
| 83 |   |   | Volumen: | 779   |   | Fecha: | 11-Jun-10 |   | Hora: | 02:00:00 |   |   |   |
| 84 |   |   | Volumen: | 1829  |   | Fecha: | 11-Jun-10 |   | Hora: | 03:00:00 |   |   |   |
| 85 |   |   | Volumen: | 2851  |   | Fecha: | 11-Jun-10 |   | Hora: | 04:00:00 |   |   |   |
| 86 |   |   | Volumen: | 3925  |   | Fecha: | 11-Jun-10 |   | Hora: | 05:00:00 |   |   |   |
| 87 |   |   | Volumen: | 4929  |   | Fecha: | 11-Jun-10 |   | Hora: | 06:00:00 |   |   |   |
| 88 |   |   | Volumen: | 5995  |   | Fecha: | 11-Jun-10 |   | Hora: | 07:00:00 |   |   |   |
| 89 |   |   | Volumen: | 7023  |   | Fecha: | 11-Jun-10 |   | Hora: | 08:00:00 |   |   |   |
| 90 |   |   | Volumen: | 7994  |   | Fecha: | 11-Jun-10 |   | Hora: | 09:00:00 |   |   |   |
| 91 |   |   | Volumen: | 9083  |   | Fecha: | 11-Jun-10 |   | Hora: | 10:00:00 |   |   |   |
| 92 |   |   | Volumen: | 9998  |   | Fecha: | 11-Jun-10 |   | Hora: | 11:00:00 |   |   |   |

Figura 95. Datos de pruebas en Excel (continuación).

|     | A | B | C        | D     | E | F      | G         | H | I     | J        | K | L | M |
|-----|---|---|----------|-------|---|--------|-----------|---|-------|----------|---|---|---|
| 93  |   |   | Volumen: | 11065 |   | Fecha: | 11-Jun-10 |   | Hora: | 12:00:00 |   |   |   |
| 94  |   |   | Volumen: | 11901 |   | Fecha: | 11-Jun-10 |   | Hora: | 13:00:00 |   |   |   |
| 95  |   |   | Volumen: | 12955 |   | Fecha: | 11-Jun-10 |   | Hora: | 14:00:00 |   |   |   |
| 96  |   |   | Volumen: | 13915 |   | Fecha: | 11-Jun-10 |   | Hora: | 15:00:00 |   |   |   |
| 97  |   |   | Volumen: | 14781 |   | Fecha: | 11-Jun-10 |   | Hora: | 16:00:00 |   |   |   |
| 98  |   |   | Volumen: | 15139 |   | Fecha: | 11-Jun-10 |   | Hora: | 17:00:00 |   |   |   |
| 99  |   |   | Volumen: | 15297 |   | Fecha: | 11-Jun-10 |   | Hora: | 18:00:00 |   |   |   |
| 100 |   |   |          |       |   |        |           |   |       |          |   |   |   |
| 101 |   |   |          |       |   |        |           |   |       |          |   |   |   |
| 102 |   |   |          |       |   |        |           |   |       |          |   |   |   |
| 103 |   |   |          |       |   |        |           |   |       |          |   |   |   |
| 104 |   |   |          |       |   |        |           |   |       |          |   |   |   |
| 105 |   |   |          |       |   |        |           |   |       |          |   |   |   |
| 106 |   |   |          |       |   |        |           |   |       |          |   |   |   |
| 107 |   |   |          |       |   |        |           |   |       |          |   |   |   |
| 108 |   |   |          |       |   |        |           |   |       |          |   |   |   |
| 109 |   |   |          |       |   |        |           |   |       |          |   |   |   |
| 110 |   |   |          |       |   |        |           |   |       |          |   |   |   |
| 111 |   |   |          |       |   |        |           |   |       |          |   |   |   |
| 112 |   |   |          |       |   |        |           |   |       |          |   |   |   |
| 113 |   |   |          |       |   |        |           |   |       |          |   |   |   |
| 114 |   |   |          |       |   |        |           |   |       |          |   |   |   |
| 115 |   |   |          |       |   |        |           |   |       |          |   |   |   |

Figura 96. Datos de pruebas en Excel (continuación).

Al utilizar el software Excel, Val Vita puede usar las ventajas que este programa tiene, como los son: sumas, promedios, etc., además de visualizar la información de forma clara y ordenada.

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS**

#### **4.1. INTRODUCCIÓN**

Las mediciones de las señales de flujo y volumen, así como las funciones del instrumento, trabajan de forma correcta. Las pruebas finales en el capítulo III (tabla 8, 9 y 10), figuras 127 y figuras 128, muestran de forma detallada los resultados que se obtuvieron con el instrumento.

En la pantalla de LCD, en operación normal, se visualiza el flujo y volumen en tiempo real, además de la hora y fecha.

En Val Vita, se mide de forma más exacta cuanto volumen de puré de tomate se produce por día, se considerará la mínima velocidad del puré de tomate para obtener lecturas con el mínimo error (0.5 %), lo cual se requiere que el fluido tenga una velocidad mayor o igual a 1.3 metros por segundo (flujo de 1.5 litros/segundo).

También, se considera la correcta instalación del medidor electromagnético en la tubería, de acuerdo a las especificaciones del medidor y las características fisicoquímicas del producto.

#### **4.2. FUNCIONAMIENTO DEL INSTRUMENTO**

En cuanto al instrumento, mediante las funciones de volumen en modo contar y modo pausado, se evita contar volumen de agua cuando se lava la tubería, como también, para no almacenar datos repetidos (sólo almacena datos mientras fluye el puré de tomate).

El instrumento tiene dos formas para activar estas condiciones (forma manual y forma automática):

- Forma manual: al presionar SW2 cambia alternadamente el modo de volumen (contar o pausar). Al presionar SW1 + SW2, reinicia el volumen en 0 litros.
- Forma automática: al iniciar la jornada de producción y detectar volumen se reinicia en 0 litros y se activa modo contar. Al finalizar la jornada de producción y no detectar volumen en un lapso de 59 minutos, se activa modo pausar.

El tiempo del instrumento se valida con un cronometro para que no haya variaciones significativas. Cambia automáticamente el horario de verano e invierno. La fecha acepta años bisiestos.

El funcionamiento del reloj y la recuperación tanto de datos de volumen como configuraciones, son parte del instrumento ante una falla en el suministro eléctrico. En caso de que se presente una falla eléctrica, al recobrar la energía el instrumento mantendrá los mismos datos de volumen y configuraciones, así como la hora.

El instrumento no es afectado al ocurrir una falta de suministro eléctrico. En caso de que se descarguen las baterías alcalinas, sólo se necesita realizar 3 cosas: actualizar la hora, la fecha y cambiar las baterías por nuevas.

Sí las baterías alcalinas "AA" se descargan:

- Será necesario actualizar los datos de hora y fecha.
- Cambiar las baterías por nuevas.

El instrumento almacena datos de volumen cada hora, durante el tiempo de producción de puré de tomate. Almacena además, la hora y fecha. Se utiliza la memoria FLASH del microcontrolador para este proceso.

Cada semana se extraen los datos con una memoria USB, la cual es insertada al instrumento y automáticamente, se configura y envía los datos e indica si ya se puede retirar de forma segura.

Al realizar el procedimiento de extraer información, los datos de la memoria FLASH son borrados para que se reutilice el espacio de memoria asignado, pero se genera un respaldo de los mismos datos en un espacio de memoria diferente, la cual puede ser extraída indefinidamente, hasta que se guarde otro respaldo en el mismo espacio de memoria (a las tres semanas).

Para la extracción de los datos, se inserta una memoria USB en el instrumento. Se envían todos los datos automáticamente a la USB, donde se genera una carpeta si esta no existe, la cual contiene el archivo en modo texto con los datos extraídos; sí ya existe la carpeta, dentro de ella guarda el archivo.

Para el análisis de datos en una computadora, se inserta la USB con los datos extraídos del instrumento a un puerto USB de la PC. La información está en un archivo de modo texto con el nombre de la fecha y hora que se realizó la extracción. En la computadora se puede realizar una exportación de archivo para que los datos sean visualizados en Excel.

El instrumento cuenta con un menú, el cual tiene las siguientes opciones:

- Modificar la hora.
- Modificar la fecha.
- Recuperar datos de respaldos.
- Totalizadores.
- Salir de menú

En la opción de modificar hora, también de modificar fecha:

- Se utiliza cada vez que se enciende el instrumento por primera ocasión.
- Cuando el instrumento indica que es necesario realizar estas acciones.

En recuperar datos de respaldo, sí por algún motivo se pierden los datos de volumen de hasta cuatro semanas atrás (recuperación de datos por semana), con esta opción se pueden volver a recuperar.

Por ejemplo, sí se pierde la información de hace dos semanas, se debe entrar a la opción de recuperar respaldo y seleccionar la opción dos semanas atrás (con USB conectada), se genera una carpeta (si no existe) que contiene un archivo de respaldo, y de igual forma que cuando se realiza la extracción de datos por semana, se puede visualizar en una computadora con el software Excel.

En totalizadores, cuenta con 3 totalizadores (cuentan volumen) los cuales pueden ser configurados independientemente para su funcionamiento.

Estos cuentan de forma continua determinada por el usuario. Llegan a contar 99'999,999 de litros, por lo que con una producción de 15,000 litros por día, puede contar volumen hasta de 27 años.

De igual manera que el volumen principal (por día) cuanta con la opción de modo contar, pausar y reiniciar, que son seleccionadas con los botones de presionar. Por ejemplo, si se desea conocer la producción (volumen) de puré de tomate durante 3 meses, se debe configurar un totalizador.

Otras características del instrumento son: se apaga el LCD a los 5 minutos, si no se presiona ningún botón o es extraída información, a fin de darle mayor tiempo de vida. El LCD se enciende al presionar cualquiera de los dos botones o al insertar una memoria USB. Al entrar al menú y sub-menús, sale automáticamente de estos a los 30 segundos, si no se presiona ningún botón.

La inversión en cuanto a componentes y elementos, para el proyecto por parte de la Empresa Val Vita fue de \$3,613 USD. Si la Empresa hubiera comprado un equipo en el mercado que registre información de volumen y se extraiga con USB para su análisis en una computadora, le costaría \$7,165 USD. [14]

La Empresa Val Vita recibe el instrumento en funcionamiento en sus instalaciones y reconoce que cumple con lo especificado en el objetivo general del proyecto (carta de aceptación de Val Vita en apéndice G).

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES**

#### **5.1. CONCLUSIONES GENERALES**

Se diseñó, desarrolló e implementó, un instrumento para medir y almacenar, información de flujo y volumen, del puré de tomate pre-envasado, sin que obstruya el flujo del puré de tomate (no intrusivo) con las siguientes características:

- Mide el flujo en litros por segundo.
- Mide el volumen en litros.
- Almacena datos de volumen.
- Se extraen datos con memoria USB.
- Los datos se pueden analizar en una computadora.
- Se usa un medidor de caudal electromagnético que actúa como el sensor del instrumento.
- La exactitud del instrumento es del 0.5 %, mantiene la exactitud del medido de caudal electromagnético.
- Medición de volumen es de forma no intrusiva, no obstruye el paso del flujo del puré de tomate.
- Visualiza información en una pantalla LCD.

- Cuenta con un menú con 4 distintas funciones: modificar hora, modificar fecha, recuperar respaldos y totalizadores.
- Tiene dos botones de presionar para la manipulación de distintas funciones.
- Recupera configuraciones y volúmenes, en caso de falla en el suministro eléctrico (no se pierde información si no hay luz eléctrica).

Por tanto, se concluye que el objetivo general del trabajo se cumple satisfactoriamente:

- Objetivo general: diseñar e implementar, un instrumento para medir y almacenar, la información de flujo y volumen, del puré de tomate pre-ensado, sin que se tenga contacto con el producto. La información pueda ser recuperada con una memoria USB y se visualice en una computadora mediante el software Excel.

Al obtener los resultados mencionados del objetivo general, se establece que la hipótesis planteada para el trabajo es validada completamente:

- La hipótesis: sí se puede desarrollar un instrumento no intrusivo para medir y almacenar, información de flujo y volumen, del puré de tomate.

Al haber respondido a la hipótesis del trabajo de manera afirmativa, se responde a la pregunta de investigación:

- Pregunta de investigación: ¿Se puede desarrollar un instrumento no intrusivo para medir y almacenar, información de flujo y volumen, del puré de tomate?

El problema que se planteo para el trabajo, queda resuelto de manera exitosa, al haber cumplido con el objetivo general y haber resuelto la pregunta de investigación, ahora la Empresa Val Vita cuenta con un instrumento:

- Para medir el volumen de puré de tomate en litros.
- Puede conocer de forma exacta cual fue la producción en litros por día, semana(s), mes(es) o año(s).
- Extrae información del instrumento sobre datos de volumen durante una semana de producción.
- La información la puede analizar en una computadora con el software Excel.
- Logran implementar la eficiencia y productividad del tomate fresco que usan para hacer el puré de tomate.

Con lo cual, se atiende la problemática de la Empresa Val Vita de forma exitosa:

- La problemática: conocer el volumen de puré de tomate pre-ensado de manera exacta, si que se obstruya el flujo y con almacenamiento de datos.

## **5.2. TRABAJOS FUTUROS**

La integración a Internet del instrumento, el módulo M52259 del microcontrolador cuenta con conexión Ethernet para la comunicación a Internet. Con esta integración se podrá visualizar el volumen y flujo, en tiempo real en cualquier sitio con acceso a Internet, controlar los modos de operación (contando o pausado) y además, los datos se podrán almacenar directamente en la computadora, o enviarse a un correo electrónico.

## REFERENCIAS

- [1] Robert L. Mott, *Mecánica de fluidos*, sexta edición, Prentice Hall, 2006. consultado: 17 de febrero de 2009.
- [2] Asociación Argentina de Control Automático. ([http://www.aadeca.org/ursosyjornadas/archivo/cursos/caudal\\_2008/caudal\\_001.pdf](http://www.aadeca.org/ursosyjornadas/archivo/cursos/caudal_2008/caudal_001.pdf)), consultado: 21 de febrero de 2009.
- [3] Investigación. ([http://www.investigacion.frc.utn.edu.ar/sensores/Caudal/Principios/Caudal\\_Sensores.pdf](http://www.investigacion.frc.utn.edu.ar/sensores/Caudal/Principios/Caudal_Sensores.pdf)), consultado: 16 de marzo de 2009.
- [4] Industria. ([http://www.industria.uda.cl/Academicos/Alexander Borger/DocTs%20Docencia/Seminario%20de%20Aut/trabajos/trabajos%202003/Sem%20Aut%20%20Caudal/web-final/Inicio\\_archivos/caudal-final.PDF](http://www.industria.uda.cl/Academicos/Alexander%20Borger/DocTs%20Docencia/Seminario%20de%20Aut/trabajos/trabajos%202003/Sem%20Aut%20%20Caudal/web-final/Inicio_archivos/caudal-final.PDF)), consultado: 7 de abril de 2009.
- [5] Investigación. (<http://www.investigacion.frc.utn.edu.ar/Sensores/Tutorial/TECNO3.pdf>), consultado: 17 de marzo de 2009.
- [6] Literatura Omega. ([http://www.omega.com/literature/transactions/Transactions\\_Vol\\_IV.pdf](http://www.omega.com/literature/transactions/Transactions_Vol_IV.pdf)), consultado: 25 de marzo de 2009.
- [7] Centro de Desarrollo Tecnológico de gas. (<http://www.cdtdegas.com/memorias/Jornada1/Jueves/Seleccion%20de%20medidores%en%20espanol.pdf>), consultado: 30 de mayo de 2009.
- [8] Portal de mecatronica. (<http://www.mecatronica-portal.com/2009/04/361-caUdalímetros-magneticos/>), consultado: 15 de mayo de 2009.

## REFERENCIAS (continuación)

- [9] Ochef. (<http://www.ochef.com/559.htm>), consultado: 16 de abril de 2009.
- [10] The ultrasonic flowmeters. (<http://theultrasonicflowmeters.com/index.htm>), consultado: 25 de marzo de 2009.
- [11] Profesores de electrónica. (<http://profesores.elo.utfsm.cl/~jgb/AVILES.pdf>), consultado: 14 de mayo de 2009.
- [12] Shenitech. (<http://www.shenitech.com/flow-meas-ultrasonic-transit-time-Flometer.htm>), consultado: 26 de mayo de 2009.
- [13] Ingeniería "Clase de medidores": ([http://www.ing.unlpam.edu.ar/~material/fluidos/pdf/clase\\_medidores\\_flujo.pdf](http://www.ing.unlpam.edu.ar/~material/fluidos/pdf/clase_medidores_flujo.pdf)), consultado: 26 de mayo de 2009.
- [14] Electro controles del Noroeste. (<http://www.ecn.com.mx/>), consultado: 15 de agosto de 2009.
- [15] Freescale. (<http://www.freescale.com/>), consultado: 24 de septiembre de 2009.
- [16] Matrix Orbital. (<http://www.matrixorbital.com/>), consultado: 28 de septiembre de 2009.
- [17] Alexander J. Smits, Mecánica de fluidos una introducción física, Universidad de Princeton: Alfaomega, 2003.  
consultado: 22 de Septiembre de 2009.
- [18] Allied electronics, (<http://www.alliedelec.com/>), consultado: 17 de septiembre de 2009.

# APÉNDICE A

## Datos técnicos del puré de tomate en la Empresa Val Vita

La Empresa Val Vita genera 16,000 litros de puré de tomate al día, en un horario de trabajo de 2:00 am a 7:00 pm de lunes a viernes. Val vita cuenta con tomate fresco 8 meses al año, cuya procedencia es de Baja California, siendo los principales productores Camalú y San Quintín; mientras que los meses restantes del año, el abastecimiento de tomate local es bajo, es por ello que la Empresa compra pasta de tomate concentrada, la cual es tratada y procesada hasta cumplir con los requerimientos de calidad del puré de tomate.

### **Características físicas del puré de tomate**

Las características físicas importantes a considerar para el diseño del medidor son: el producto es en fase líquida con pequeños grumos en suspensión, la temperatura del puré en sitio de medición es de 85 °C y tiene una conductividad eléctrica de 83.3  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (micro Siemens por cm), que es la capacidad de un cuerpo de permitir el paso de la corriente eléctrica a través de sí mismo, además de ser la inversa de la resistividad.

### **Aproximación del flujo de puré de tomate**

El flujo de puré de tomate es en promedio 0.74 litros/segundo (dato proporcionado por Val Vita). Esto significa que el flujo puede llenar una cubeta de 20 litros en 27 segundos aproximadamente (Figura 97).

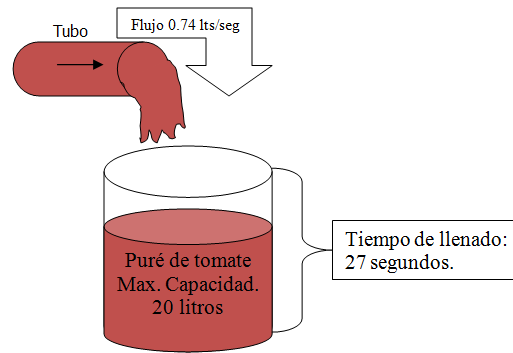


Figura 97. Aproximación del flujo de puré de tomate.

Val Vita cuenta con un frecuencímetro para controlar las revoluciones del motor que envía el puré a la zona de envasado, que a su vez, controla la velocidad del flujo del puré de tomate.

### El puré de tomate

El puré se define como la comida que se hace al cocinar y triturar hortalizas, legumbres o verduras hasta conseguir una crema espesa.

Por lo tanto, el puré de tomate es el cocido y triturado del mismo, hasta obtener tomate en forma líquida y un tanto espesa con las siguientes características:

- Color: rojo brillante con ligeros tonos naranja.
- Olor: tomate fresco condimentado, con notas a cebolla y ajo, libre de olores extraños.
- Sabor: tomate condimentado con notas a cebolla y ajo, libre de sabores extraños.
- Apariencia: producto turbio grumoso, con sólidos suspendidos, libre de materia extraña (incluyendo semillas y cascaras de tomate).

Descripción del producto: puré de tomate concentrado, refinado y condimentado con sal, cebolla, ajo y chile. Con sabor fresco y ligeras notas a cebolla y ajo.

### **Proceso de elaboración del puré de tomate**

Se eligen tomates maduros y sanos, deben tener color rojo para que el puré sea bueno, se lavan los tomates muy bien para pasar a cocerlos, posteriormente se pelan; se les quita todo el interior (pedúnculo) del tomate, se les tritura y finalmente se envasa.

### **Características físico-químicas del puré de tomate**

El puré de tomate es de fase líquida, un tanto espeso de color rojo, a demás del tomate como ingrediente principal, este contiene una porción de sal. El producto envasado debe cumplir con las siguientes características de la tabla 11.

Tabla 11. Características químicas del puré de tomate.

|                  |  |
|------------------|--|
| PH:              | 4.0 – 4.4                                      |
| % de acidez:     | 0.48 – 0.68                                    |
| Hongos Howard:   | < 34%  |
| Materia extraña: | Huevecillos < 30/100 gr.<br>larvas < 2/100 gr. |

### **Diferencias: pasta de tomate, puré de tomate y salsa de tomate**

La pasta de tomate, o el concentrado de tomate, consiste en el tomate que se cocina por varias horas, se han filtrado y se han reducido a un espeso concentrado de tomate; es generalmente bastante dulce. El puré del tomate consiste en tomates que se cocinan brevemente y se han filtrado, y se tiene como resultado un líquido un poco espeso de tomate. La salsa de tomate es el puré de tomate pero más fino, y puede incluir condimentos de modo que esté listo para ser utilizado en otros platos o como base para otras salsas. [9]

## APÉNDICE B

### Medidores de caudal con tecnología ultrasónica

Los medidores ultrasónicos son instrumentos muy prometedores para la medición de flujo, utilizándose principalmente en control de transferencia de fluidos, procesos para determinar volumen de líquido, etc.; estos tipos de medidores tienen muchas ventajas sobre los medidores convencionales como los de tipo presión diferencial, área variable, turbina, etc. y una de las desventajas más destacadas es que estos últimos medidores, son de tipo intrusivo (tienen contacto con el líquido); los de tipo ultrasónico son no-intrusivos (no tienen contacto con el líquido para llevar a cabo la medición).

Los medidores ultrasónicos se dividen en dos clasificaciones:

1. Principio basado en tiempo de tránsito o también llamado tiempo de vuelo (figura 98): el método consiste en la disposición de dos transductores situados en las paredes de la tubería por donde circula el fluido, los cuales actúan como emisor-receptor de ultrasonido. Como se ilustra en la figura, existe uno situado en la parte superior, el cual envía un pulso de sonido en sentido descendente hasta ser recibido por el transductor inferior. Este último transmite a su vez un pulso en sentido ascendente que es recibido por el transductor situado en la parte superior. De esta forma, dado que el pulso descendente se encuentra a favor del flujo, demorará menos tiempo en llegar al receptor inferior, se compara con el tiempo que demorará el pulso ascendente, en contra del sentido del flujo, en alcanzar el receptor superior. De esta forma, el medidor de flujo transmite pulsos ascendentes y descendentes en forma alternada midiendo la diferencia de tiempo en la recepción de ellos, es esta diferencia proporcional al flujo o velocidad del flujo.

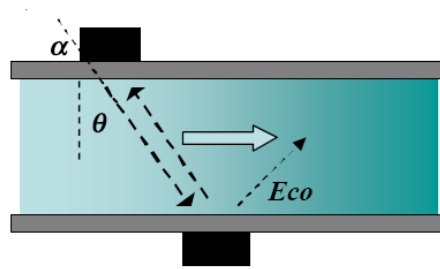


Figura 98. Método tiempo de vuelo del medidor de caudal ultrasónico.

2. Efecto Doppler (Figura 99): En este caso se dispone de un transductor en la pared de la tubería, el cual emite un pulso de ultrasonido en un ángulo apropiado y a una frecuencia determinada hacia el centro de la tubería, luego, las partículas suspendidas en el fluido producen reflexiones de la onda sonora que son detectadas por el transductor. La frecuencia de la señal emitida difiere de la que posee la señal recibida de acuerdo al Efecto Doppler.

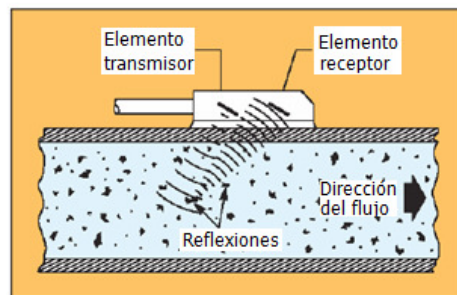


Figura 99. Método Efecto Doppler del medidor de caudal ultrasónico.

El medidor que utiliza el principio de tiempo de tránsito, usualmente tienen buena exactitud, por lo general  $\pm 1\%$  del flujo real; este es más preciso que el otro método que se utiliza, llamado Efecto Doppler, que tiene por lo general una exactitud de  $\pm 5\%$ , estos datos corresponden a la información proporcionada por el fabricante de dichos medidores de flujo.

A demás de tener buena exactitud, los medidores de flujo que utilizan el principio de tiempo de tránsito, están recomendados para fluidos limpios o fluidos con una cantidad mínima de partículas en suspensión menores a 20,000 ppm, o menor del 2 % de partículas menores que 100  $\mu\text{m}$ ; mientras el principio de Efecto Doppler está recomendado para fluidos con partículas en suspensión, con una concentración

mayores a 100 ppm y partículas con tamaño mayor a 100  $\mu\text{m}$ , pero menos del 10 % en concentración.

En cuanto a transductores de ultrasonido, estos se dividen en dos clases:

1. Transductores tipo 'Clamp-on' o montaje y desmontaje superficial. Este tipo de transductores son de tipo no intrusivos (no tienen contacto con el fluido), además de que son fáciles de instalar y de poco mantenimiento. Los transductores son montados sobre la parte exterior del tubo; no necesitan cortes ni barrenos en la tubería para instalarlos y no presentan pérdidas de presión del fluido.
2. Transductores de inserción. Para instalar este tipo de transductores es necesario hacer barrenos en el tubo donde se llevará la medición de fluido. La ventaja que se tiene de ellos es que cuando se utiliza transductores de este tipo, la medición del fluido tiene mayor exactitud que los de tipo clamp-on, pero son más costosos.

Existen dos técnicas para medir el tiempo de tránsito en los medidores ultrasónicos:

1. De una trayectoria. Los medidores que utilizan una trayectoria para medir el fluido usan un par de transductores para formar una sola trayectoria de ultrasonido, la cual será interceptada por el fluido; esta técnica es recomendable para medidas de tubos pequeños y medianos.
2. Multi-trayectorias. Para tubos con medidas grandes, se utiliza la técnica de multi-trayectoria, esto para obtener una buena exactitud; un medidor que utiliza la técnica de multi-trayectoria es más costoso que uno que utiliza una trayectoria.

Cuando se quiere medir el flujo, es necesario conocer bien las características tanto del fluido a medir como de las instalaciones donde se llevará a cabo la medición. Las siguientes preguntas ayudan a conocer bien lo mencionado anteriormente:

1. ¿El tubo está lleno de fluido?

Todos los medidores ultrasónicos requieren que la tubería este siempre llena de fluido.

2. ¿El fluido contiene partículas en suspensión mayores a 200 ppm y con tamaño mayor a 75  $\mu\text{m}$ ?

Si la respuesta es sí, se debe utilizar un medidor tipo ultrasónico que utilice el principio de Efecto Doppler. En lo contrario, utilizar tiempo de tránsito.

3. ¿El transductor soporta las temperaturas del fluido?

4. ¿Qué tipo de señal de salida se necesita?

Señal analógica o digital.

5. ¿Cuáles son los requerimientos de seguridad?

6. ¿Cuál es el tamaño y material de la tubería?

7. ¿Cuál es el rango que tiene el flujo en velocidad?

8. ¿Cuál es la longitud para llevar a cabo la medición?

Para garantizar una buena exactitud, se recomienda tener 15 veces el diámetro del tubo; si existe una válvula o un motor en la parte posterior, se debe incrementar la longitud.

El texto citado descrito anteriormente, contiene suficiente información acerca del medidor ultrasónico: sus características, tipos, ventajas y desventajas entre los dos principios que utiliza, etcétera. También, se conoce todo lo existente en cuanto a medidores ultrasónicos de fluido y el funcionamiento de los principios.

Más, no abarca otros tipos de medidores de fluido, sólo el medidor ultrasónico. Para el lector que desea conocer todo lo relacionado con medidores ultrasónicos de fluido, es bueno, ya que menciona desde los principios que utiliza hasta como elegir el mejor medidor para alguna instalación específica. [10], [11]

### **Medidor de caudal ultrasónico: tiempo de tránsito**

Como se describió el principio de medición de flujo "Tiempo de tránsito" en la referencia [10] de forma general; ahora, este principio se explica con detalle en los siguientes párrafos.

De la Figura 100, se tienen los dos transductores, los cuales envían pulsos tanto ascendentes como descendentes. La diferencia de los tiempos que tardarán en llegar al transductor opuesto es proporcional a la velocidad del fluido.

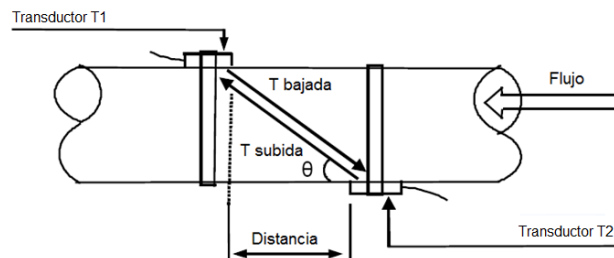


Figura 100. Principio "Tiempo de tránsito" del medidor de caudal ultrasónico.

Se asume que el tiempo de bajada es el tiempo de tránsito de un pulso de sonido que viaja del "transductor T1" hacia el "transductor T2", y el tiempo de tránsito de subida, la dirección opuesta, de "transductor T2" hacia "transductor T1".

Por lo tanto, se obtienen las siguientes ecuaciones:

$$T_{bajada} = (D / \sin \theta) / (c + (V) * (\cos \theta)) \quad (11)$$

$$T_{subida} = (D / \sin \theta) / (c - (V) * (\cos \theta)) \quad (12)$$

Donde:

$T_{bajada}$  Tiempo que tarda la señal en llegar del T1 al transductor T2  
(segundos).

$T_{subida}$  Tiempo que tarda la señal en llegar del T2 al transductor T1  
(segundos).

$D$  Diámetro de la tubería (m).

$\theta$  Ángulo en radianes del disparo del pulso con respecto a la pared de la tubería.

$c$  Velocidad del sonido en el líquido (m/s).

$V$  Velocidad del líquido (m/s).

La solución de las ecuaciones (11) y (12) para la velocidad es:

$$V = (D/\sin 2\theta) * (\Delta T)/(T_{subida}) * (T_{bajada}) \quad (13)$$

Donde  $\Delta T = T_{subida} - T_{bajada}$ .

La ecuación (13) se obtiene de lo siguiente:

Se despeja "c" la ecuación (11) y (12); la velocidad del sonido en el líquido siempre es la misma para cualquier distancia se considera la misma temperatura del fluido.

Se despeja "c" de la ecuación (11):

$$c = \frac{D}{T_{bajada} * \sin \theta} - V * \cos \theta \quad (14)$$

De la ecuación (12), "c" es:

$$c = \frac{D}{T_{subida} * \sin \theta} + V * \cos \theta \quad (15)$$

Se igualan las ecuaciones (14) y (15) para después obtener la velocidad del fluido al despejar "V":

$$\frac{D}{T_{bajada} * \sin \theta} - V * \cos \theta = \frac{D}{T_{subida} * \sin \theta} + V * \cos \theta \quad (16)$$

Se suman en ambos lados de la igualdad  $V * \cos \theta$  se tiene:

$$\frac{D}{T_{bajada} * \sin \theta} - V * \cos \theta + V * \cos \theta = \frac{D}{T_{subida} * \sin \theta} + V * \cos \theta + V * \cos \theta \quad (17)$$

Al reducir términos y se despeja "V":

$$\frac{D}{T_{bajada} * \sin \theta} - \frac{D}{T_{subida} * \sin \theta} = 2V * \cos \theta \quad (18)$$

$$\frac{D * T_{subida} - D * T_{bajada}}{T_{subida} * T_{bajada} * \sin \theta} = 2V * \cos \theta \quad (19)$$

$$\left( \frac{D * T_{subida} - D * T_{bajada}}{T_{subida} * T_{bajada} * \sin \theta} \right) \left( \frac{1}{2 \cos \theta} \right) = V \quad (20)$$

$$\frac{D * T_{subida} - D * T_{bajada}}{2 * T_{subida} * T_{bajada} * \sin \theta * \cos \theta} = V \quad (21)$$

Como:

$$\sin 2\theta = 2 \sin \theta * \cos \theta \quad (22)$$

$$V = \frac{D * T_{subida} - D * T_{bajada}}{T_{subida} * T_{bajada} * \sin 2\theta} \quad (23)$$

Se acomodan términos de la ecuación (22), se observa la ecuación (13):

$$V = \left( \frac{D}{\sin 2\theta} \right) * \left( \frac{T_{subida} - T_{bajada}}{T_{subida} * T_{bajada}} \right) \quad (24)$$

Al medir con exactitud los tiempos de tránsito tanto de subida como de bajada, se encuentra la velocidad del flujo "V" (en m/s) por lo tanto, se puede conocer el caudal "Q" (en m<sup>3</sup>/s) de la siguiente forma:

$$Q = k * A * V \quad (25)$$

Donde:

$Q$  Caudal ( $m^3/s$ ).

$k$  Constante de instrumentación.

$A$  Área transversal del tubo ( $m^2$ ).

$V$  Velocidad del fluido ( $m/s$ ).

Usualmente, " $k$ " es determinado en la calibración del instrumento.

De las ecuaciones (13) y (25), se observa que la medición tanto de " $V$ " como de " $Q$ ", son independientes de las propiedades del fluido, tales como: presión, temperatura, material del tubo, etc. Además de que en la ecuación (13), la velocidad del sonido " $c$ " no aparece. Todas estas características, se le agrega que este tipo de tecnología, no contiene: partes en movimiento, contacto con el fluido, pérdidas de presión, entre otros beneficios.

Es por ello que el uso de tecnología de tiempo de tránsito es extremadamente útil para la medición de fluidos.

Los transductores pueden estar montados de tres formas:

1. Método Z: En este tipo de configuración, los dos transductores están colocados de forma opuesta sobre el tubo (Figura 100). El pulso de sonido atraviesa el tubo sólo una vez. Este tipo de instalación es usada para diámetros de tubería mayor a 30.5 cm.
2. Método V: En esta configuración (Figura 101), los dos transductores están colocados sobre el mismo lado del tubo; el pulso del sonido atraviesa la tubería dos veces. Este método es el más aplicado y se usa para tubos con diámetro entre 2.5 y 30.5 cm.

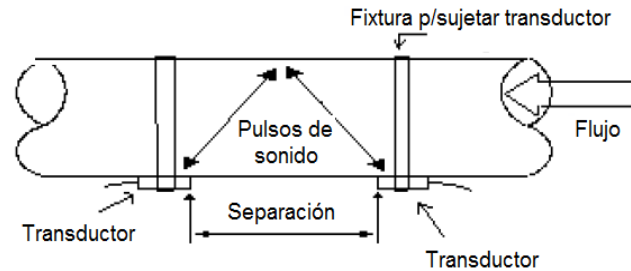


Figura 101. Configuración del método V de medidor de caudal ultrasónico.

3. Método W: En el método W (Figura 102), los dos transductores están colocados sobre el mismo lado del tubo, sin embargo, la distancia entre los dos transductores es el doble comparada con el método V. El pulso de sonido es rebotado dos veces de un lado del tubo, de esta forma, el pulso atraviesa el fluido cuatro veces. Este método es usado para diámetros de tubería pequeños, usualmente menos de 3.8 cm, para obtener mayor exactitud.

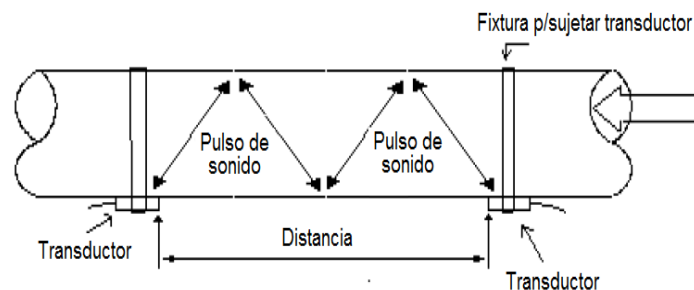


Figura 102. Configuración del método W de medidor de caudal ultrasónico.

La implementación de los métodos de configuración de la figura 100, figura 101 y figura 102, son mucho más complejos de lo que se describen. Los retos incluyen:

1. Medir con exactitud el tiempo de tránsito.
2. Reducir la discrepancia entre los recorridos de la señal hacia arriba y hacia abajo (que la diferencia entre los dos tiempos no sea muy grande).
3. Garantizar resultados estables cuando la calidad de la señal es degradada debido al envejecimiento del material del tubo, baja conductividad del sonido en el fluido, presencia de partículas pequeñas o burbujas de aire, etc.
4. Reducir errores inducidos por la instalación; como hacer la instalación fácil y confiable.

5. Para aplicaciones de alta temperatura, como diseñar un transductor que soporte altas temperaturas.
6. Diseñar una interface de operación amigable para el usuario; como agregar más funcionalidades que sólo medir flujo (por ejemplo, presión, temperatura, etc.).
7. Reducir el costo del instrumento.

Lo mencionado anteriormente es proporcionado por una compañía que se dedica a vender instrumentos de medición de flujo con tecnología ultrasónica.

Es de gran importancia conocer de manera clara que tipo de tecnología conviene usar a la hora de diseñar o comprar un instrumento de esta índole. En el caso de diseñarlo, es necesario entender y conocer: principios físicos involucrados en la tecnología a utilizar, configuraciones para la instalación del medidor, tipos de transductores que existen en el mercado, retos y consideraciones que son necesarios para llevar a cabo una buena medición. Estos factores son proporcionados por el documento revisado, por lo que lo hace importante.

Cuando se desea realizar una medición de flujo y una de las condiciones es que el medidor no debe estar en contacto con el líquido (tipo no-intrusivo), una buena opción es un medidor con tecnología ultrasónica tiempo de tránsito, debido a las grandes características que estos medidores ofrecen. Pero es importante recalcar que trabaja para fluidos "limpios", esto es con una cantidad mínima de partículas en el fluido. Si se desea diseñar y desarrollar un instrumento de este tipo, es necesario investigar a gran escala tanto el principio físico como las dificultades, para lograr medir el flujo de forma precisa. [12]

### **Medidor de caudal ultrasónico: efecto doppler**

Los medidores ultrasónicos de tipo Doppler, utilizan el concepto de que sí se deja pasar el ultrasónico en un fluido en movimiento con partículas, el sonido será reflejado de nuevo desde las partículas. La variación de frecuencia del sonido reflejado será proporcional a la velocidad de las partículas.

En la figura 103, se muestra un transductor que transmite con una frecuencia ( $f_T$ ) y un ángulo ( $\theta$ ). El sonido tiene que realizar un recorrido a través del encapsulado del transductor, el adhesivo, la pared de la tubería y el fluido. En cada límite de separación, el sonido es refractado. El instrumento consiste esencialmente de un emisor y un receptor ubicados en la pared exterior de la tubería.

La energía ultrasónica en un tren de pequeñas ráfagas de ondas senoidales a una frecuencia entre 0.5 y 20 MHz. Este rango de frecuencias es descrito como ultrasónico porque está fuera de la audición humana. La velocidad del flujo  $v$  es dada por:

$$v = \frac{c(f_t - f_r)}{2f_t \cos \theta} \quad (26)$$

Donde:

$v$  Velocidad del fluido ( $m^3 / s$ ).

$f_t$  Frecuencia de las ondas de transmisión (Hz).

$f_r$  Frecuencia de las ondas de recepción (Hz).

$c$  Velocidad del sonido del fluido a medir (m/s).

$\theta$  Ángulo en radianes: que las ondas de emisión y recepción forman con el eje del flujo en la tubería.

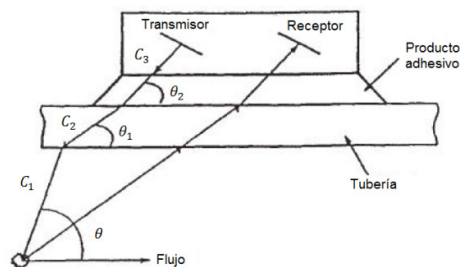


Figura 103: Transmisión y recepción de frecuencias de "Efecto Doppler".

Finalmente el flujo de volumen o el caudal el calculado al multiplicar dicha velocidad del flujo por el área transversal de la tubería. [13]

## APÉNDICE C

### Cotizaciones de medidores de caudal electromagnéticos

Los medidores de caudal que se cotizan, son especiales para la industria alimenticia o sector higiénico; estos medidores deben estar certificados por Foundation Fieldbus Specification, entre otros; estandarizados por Sanitary Standards (3-A) y probados por European Hygienic Engineering and Design Group (EHEDG), todas ellas, de acuerdo con Food and Drug Administration (FDA) para la compatibilidad sanitaria.

Además de contar con ciertas características, algunas de ellas son: Materiales de aplicación específica, tanto para electrodos y tubo. El material del recubrimiento interno debe ser de teflón PTFE, PFA o EPDM, para altas temperaturas, conexión a tubería tipo tri-clamp.

Sí se considera que un medidor de caudal está compuesto por dos partes:

1. *El sensor.* Incluye el tubo del flujo, revestimiento interno, electrodos para la medición y dos bobinas.
2. *Convertidor.* Compuesto por la parte electrónica para el tratamiento de la señal, cálculo del flujo, cálculo del volumen, visualizador y señales de salida.

Así, dentro de las cotizaciones, se tienen dos tipos de medidores:

1. Versión compacta: convertidor sobre el sensor (una pieza).
2. Versión remota: sensor con el convertidor remoto (dos piezas), con cable hasta 200 metros de largo.

Como ejemplo, se presenta un medidor versión compacta (Figura 104), mientras que en la figura 105, se tiene un medidor con el convertidor remoto.



Figura 104. Medidor de caudal electromagnético versión compacta.



Figura 105. Medidor de caudal electromagnético versión remota.

Además, es posible comprar sólo el sensor, por lo tanto se tienen cotizaciones del puro sensor en diferentes diámetros.

Los medidores cotizados que contienen el convertidor, entregan información sobre el flujo y volumen total, en diferentes unidades. Ninguno tiene memoria para almacenar información, aunque, el modelo 53H de Endress + Hauser, ofrece un convertidor con memoria EEPROM, la cual únicamente guarda la información en caso de fallo de energía eléctrica, mas ningún medidor guarda un historial. Todos los medidores cotizados cumplen para ser aplicados en el sector alimenticio o higiénico. En la tabla 12, se observa de forma clara, la comparación de precios de las cotizaciones, estos precios no incluyen el IVA del 15 %.

Tabla 12. Medidores de caudal electromagnéticos cotizados.

| Marca:           | Sensor: |       | Sensor y convertidor<br>una pieza: | Sensor con convertidor<br>remoto<br>dos piezas: |       | Precio:        | Modelo:          | Distribuidor<br>Localidad: |
|------------------|---------|-------|------------------------------------|---|-------|----------------|------------------|----------------------------|
|                  | DN 40   | DN 50 | DN 40                              | DN 40   | DN 50 |                |                  |                            |
| Endress + Hauser |         |       |                                    | ✓   |       | \$ 2700<br>USD | Promag<br>10H40  | ECN<br>Mexicali            |
| Endress + Hauser |         |       |                                    |   | ✓     | \$ 3213<br>USD | Promag<br>50H50  | ECN<br>Mexicali            |
| Endress + Hauser |         |       |                                    | ✓   |       | \$ 3173<br>USD | Promag<br>50H40  | ECN<br>Mexicali            |
| Endress + Hauser |         |       | ✓                                  |   |       | \$ 2592<br>USD | Promag<br>50H40  | ECN<br>Mexicali            |
| Endress + Hauser |         | ✓     |                                    |   |       | \$ 2762<br>USD | Promag<br>50H50  | ECN<br>Mexicali            |
| Endress + Hauser | ✓       |       |                                    |   |       | \$ 2722<br>USD | Promag<br>50H40  | ECN<br>Mexicali            |
| Endress + Hauser |         |       |                                    |   | ✓     | \$ 3565<br>USD | Promag<br>53H50  | ECN<br>Mexicali            |
| Endress + Hauser |         |       |                                    | ✓   |       | \$ 3515<br>USD | Promag<br>53H40  | ECN<br>Mexicali            |
| Endress + Hauser |         | ✓     |                                    |   |       | \$ 3227<br>USD | Promag<br>53H50  | ECN<br>Mexicali            |
| Endress + Hauser | ✓       |       |                                    |   |       | \$ 3177<br>USD | Promag<br>53H40  | ECN<br>Mexicali            |
| Badger-meter     |         |       |                                    | ✓   |       | \$ 2901<br>USD | Magneto-<br>flow | Badgermeter<br>Milwaukee   |
| Bopp & Reuther   | ✓       |       |                                    |   |       | \$ 3400<br>USD | MID              | México                     |
| FLOMAG           |         |       | ✓                                  |   |       | \$ 1340<br>USD | Flomag<br>3000   | FLOMAG<br>Brno, CZ         |
| FLOMAG           |         | ✓     |                                    |   |       | \$ 1023<br>USD | Flomag<br>3000   | FLOMAG<br>Brno, CZ         |
| FLOMAG           | ✓       |       |                                    |   |       | \$ 955<br>USD  | Flomag<br>3000   | FLOMAG<br>Brno, CZ         |
| FLOMAG           |         |       |                                    | ✓   |       | \$ 1605<br>USD | Flomag<br>3000   | FLOMAG<br>Brno, CZ         |

Los precios de los caudalímetros están en Dólares Americanos, con tipo de cambio entre las fechas del 14 de Agosto al 2 de Septiembre del 2009 (en promedio 1 Dólar Americano = 13 Pesos Mexicanos). Todos los caudalímetros tardan entre 4 a 6 semanas en llegar una vez realizada la compra y tienen un año de garantía.

En la tabla 13 y 14, se muestran las características de los modelos cotizados, lo cual es importante para decidir cuál es el más indicado para medir el puré de tomate en la Empresa Val Vita.

Tabla 13. Características de los medidores de caudal cotizados.

| <b>Modelo:</b> | <b>Características:</b>  |
|----------------|--|
| 10H40          | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Pantalla sin iluminación con botones para operar.</li> <li>➤ Despliega flujo y volumen total (1 totalizador).</li> <li>➤ Exactitud <math>\pm 0.5</math> % a velocidad del producto <math>\geq</math> a 2 m/s.</li> <li>➤ Conductividad: <math>\geq 50</math> <math>\mu\text{S}/\text{cm}</math>.</li> <li>➤ Electrodo para detección de tubo vacío.</li> <li>➤ Módulo de visualización en sitio ó remoto.</li> </ul>  |
| 50H(50/40)     | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Display con dos líneas, botones para operar.</li> <li>➤ Despliega flujo y volumen total 2 (totalizadores).</li> <li>➤ Se puede programar: unidades de, flujo y volumen.</li> <li>➤ Exactitud <math>\pm 0.5</math> % a velocidad del producto <math>\geq</math> a 2 m/s.</li> <li>➤ Conductividad: <math>\geq 5</math> <math>\mu\text{S}/\text{cm}</math>.</li> <li>➤ Menús rápidos.</li> <li>➤ Electrodo para detección de tubo vacío.</li> <li>➤ Módulo de visualización en sitio ó remoto.</li> </ul>   |
| 53H(50/40)     | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Visualizador LCD con cuatro líneas, touch screen para operación.</li> <li>➤ Despliega flujo, volumen total de 1 a 3 (totalizadores) y masa.</li> <li>➤ Se puede programar: unidades de flujo y volumen.</li> <li>➤ Guarda información en caso de fallo de alimentación.</li> <li>➤ Exactitud <math>\pm 0.2</math> % a velocidad del producto <math>\geq</math> a 2.5 m/s.</li> <li>➤ Conductividad: <math>\geq 5</math> <math>\mu\text{S}/\text{cm}</math>.</li> <li>➤ Menús para aplicación específica.</li> <li>➤ Electrodo para detección de tubo vacío.</li> <li>➤ Amplificador en sitio ó remoto.</li> </ul> |
| Magnetoflow    | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Visualizador LCD de cuatro líneas</li> <li>➤ Despliega flujo, 2 totalizadores, alarmas.</li> <li>➤ Se puede programar: unidades de flujo y volumen.</li> <li>➤ Exactitud: 0.25 %.</li> <li>➤ Conductividad: <math>\geq 5</math> <math>\mu\text{S}/\text{cm}</math>.</li> <li>➤ Electrodo para detección de tubo vacío.</li> <li>➤ Módulo de visualización remoto (sensor separado del transmisor).</li> </ul>   |

Tabla 14. Características de los medidores de caudal cotizados (continuación).

| <b>Modelo:</b> | <b>Características:</b>   |
|----------------|---|
| MID            | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Sensor con pre-amplificador incorporado.</li> <li>➤ Conductividad: <math>\geq 1 \mu\text{S}/\text{cm}</math>.</li> <li>➤ Se conoce el cableado de salida, cableado de entrada, alimentación de bobinas y de pre-amplificador.</li> <li>➤ Sensor desarmado para análisis.</li> </ul>  |
| Flomag 3000    | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Visualizador con dos líneas, botones para operar.</li> <li>➤ Despliega flujo y volumen.</li> <li>➤ Se puede programar: unidades de flujo y volumen.</li> <li>➤ Exactitud <math>\pm 0.5 \%</math> a velocidad del producto <math>\geq 0.5 \text{ m/s}</math>.</li> <li>➤ Conductividad: <math>\geq 20 \mu\text{S}/\text{cm}</math>.</li> <li>➤ Menús rápidos.</li> <li>➤ Electrodo para detección de tubo vacío.</li> <li>➤ Módulo de visualización en sitio ó remoto.</li> </ul> |

Un punto importante a considerar para determinar un medidor, es la velocidad mínima que debe llevar el puré de tomate para tener una exactitud de 0.5%.

Algunos de los medidores cotizados, requieren una velocidad del producto igual o mayor a 2 m/s, para garantizar 0.5 % de exactitud; para velocidades menores, el error de medición incrementa conforme la velocidad disminuye. El único modelo que necesita una velocidad del producto igual o mayor a 0.5 m/s para garantizar el mínimo error de lectura, es el modelo FLOMAG 3000 de Flomag.

Referente a la Empresa Val Vita, en la tubería de 50 milímetros que transporta el puré de tomate, la velocidad aproximada es de 0.37 m/s (dato proporcionado por la Empresa, 0.74 litros/seg). Esta velocidad está por debajo de lo requerido para garantizar el mínimo error de lectura con respecto a los equipos analizados. Es por ello que, es necesario una reducción de la tubería, con el fin de incrementar la velocidad del puré de tomate considerando que el ángulo de reducción debe ser de 8 grados para evitar turbulencias en el conducto del medidor.

Se considera un diámetro de 40 milímetros o 1.5 pulgadas, el cual, garantiza la velocidad requerida al incrementarla, de acuerdo con la ecuación de continuidad para fluidos incomprensibles [17], por lo tanto, se reduce de 50 a 40 milímetros para el siguiente caso:

La ecuación de continuidad para fluidos incompresibles es:

$$A_1 * V_1 = A_2 * V_2 \quad (27)$$

Donde:

$A_1$  Área transversal por donde entra el fluido ( $m^2$ ).

$V_1$  Velocidad del fluido que entra ( $m/s$ ).

$A_2$  Área transversal por donde sale el fluido ( $m^2$ ).

$V_2$  Velocidad del fluido que sale ( $m/s$ ).

En la figura 106, se muestran los elementos físicos de la ecuación de continuidad.

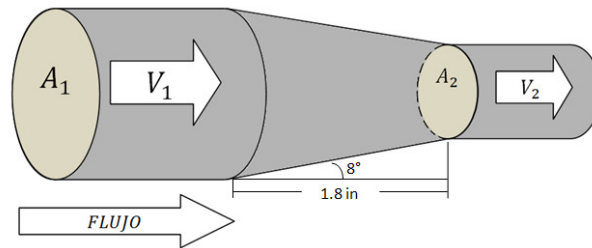


Figura 106. Reducción de tubería.

Datos:

El área transversal  $A_1$  es de:  $0.002026 \text{ m}^2$

El área transversal  $A_2$  es de:  $0.001140 \text{ m}^2$

La velocidad  $V_1$  del puré de tomate es:  $0.37 \text{ m/seg}$ .

Por lo tanto, despejando  $V_2$  de la ecuación 27, se tiene:

$$V_2 = \frac{A_1 * V_1}{A_2} \quad (28)$$

Al sustituir los valores en ecuación 28:

$$V_2 = \frac{0.002026 \text{ m}^2 * 0.365251 \text{ m/seg}}{0.001140 \text{ m}^2} = 0.65 \text{ m/seg} \quad (29)$$

Lo que significa que para el medidor 50H, con una reducción de 1.5 pulgadas, la exactitud esta en 0.6 %. Si se incrementa la velocidad del producto, mejorara hasta máximo de 0.5 %, al alcanzar los 2 m/s es una reducción aceptable.

En el caso del 53H, a la misma velocidad, la exactitud esta en 0.45 %, al incrementar la velocidad. El error puede disminuir hasta 0.2 % si la velocidad supera los 2.5 m/s. Por lo tanto, este medidor ofrece menor grado de error, lo que lo hace más exacto. La información anterior se observa en la figura 107, donde la línea de 0.2 % corresponde al 53H, y la otra al 50H.

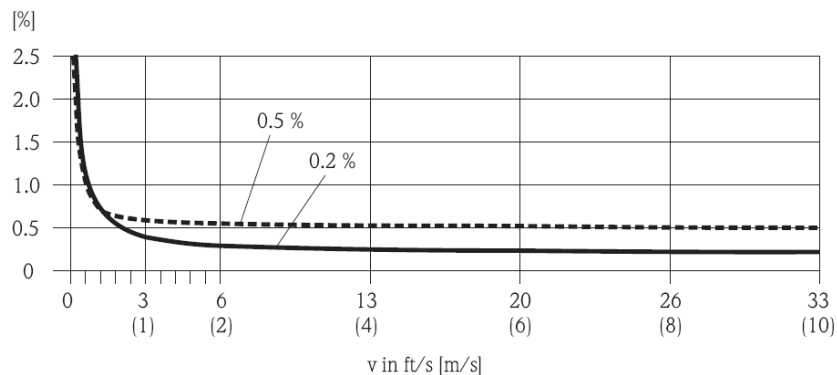


Figura 107. Error de medición del medidor de caudal comprado.

Se toman en cuenta las características del medidor y sensor, su precio, el diámetro del tubo y las características del lugar de instalación, para determinar un medidor para su compra. Este fue el medidor de caudal electromagnético de la marca Endress + Hauser, el modelo 50H40, versión compacta, con diámetro de tubería de 1 ½ pulgadas cuyas características se muestran en la Tabla 13 y su precio se encuentra en la Tabla 12.

El motivo por el cual se eligió un medidor, y no sólo el sensor, fue por que el precio de diferencia entre ellos, era de \$ 92 USD, ya que el sensor (Figura 108) tiene electrónica para la alimentación de las bobinas, conversión a flujo y volumen, pero no tiene la pantalla LCD. Mientas que el medidor versión compacta, tiene lo mismo que el sensor, pero este tiene la pantalla (Figura 109).



Figura 108. Medidor de caudal electromagnético comprado sin pantalla LCD.



Figura 109. Medidor de caudal electromagnético con pantalla LCD.

Requerimientos de la Empresa Val Vita que no ofrece el medidor comprado:

1. El sitio de instalación del medidor esta a 3 metros sobre el nivel del suelo. La tubería donde se instalará el medidor es inaccesible para operarlo, por tanto en necesario llevar la información a un lugar accesible.
2. El medidor no tiene memoria. Una de los requerimientos de la Empresa Val Vita para el instrumento a desarrollar, es que se pueda almacenar un historial de volumen de puré de tomate por hora incluyendo la hora y fecha, para que posteriormente pueda ser extraída con una memoria USB y sea visualizada en una computadora para su análisis.

No se compró un medidor de caudal electromagnético en versión remota, ya que el precio es elevado, \$ 3,150 USD, además de que no almacenan información.

Existe un instrumento DATALOGER Memograph MSG40 de la misma compañía, el cual puede almacenar información en una memoria USB y visualizarla en una PC entre otras cosas; este instrumento tiene un precio de \$ 3,700.00 USD, por tal motivo no se adquirió.

Del medidor adquirido, se tomará y llevará, la información a un lugar de fácil acceso para su visualización, almacenamiento de información y recuperación de información.

La compañía Endress + Hauser es alemana, pero tiene distribuidores alrededor del mundo, una está en Mexicali, donde se compró el medidor. El tiempo de entrega es de 4 semanas. [14]

## APÉNDICE D

### Sitio de instalación del instrumento en la Empresa Val Vita

El sitio de instalación del medidor, es en la tubería que está ubicada a 5 metros de los contenedores donde se prepara el puré de tomate para su envasado, como se muestra en la Figura 110.

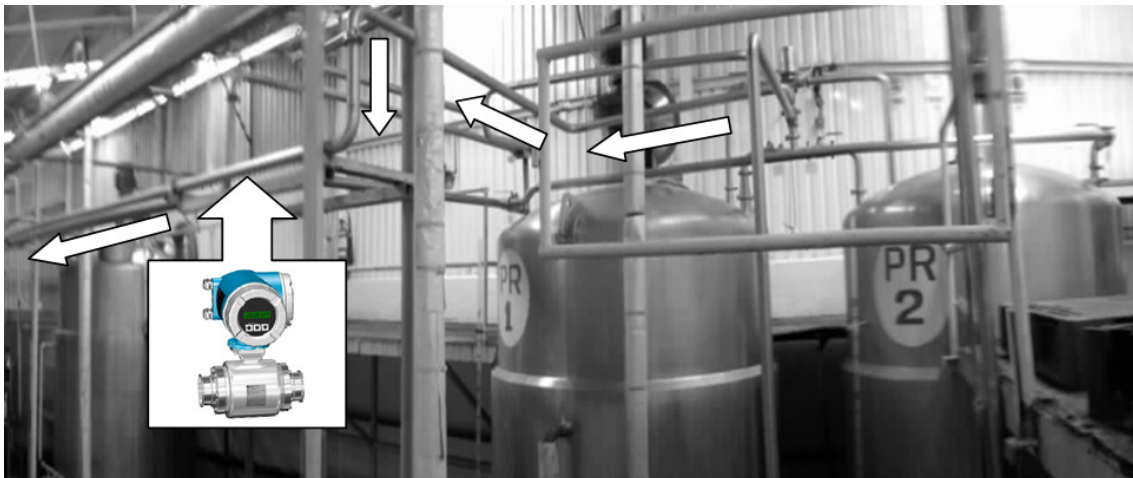


Figura 110. Sitio de instalación del medidor de caudal electromagnético.

En la figura 110, se tienen los dos contenedores PR1 y PR2, donde se mezcla la pulpa de tomate con otros ingredientes, como la cebolla, chile y ajo. Una vez elaborada, es transportada por tubería de dos pulgadas hacia el envasado (flechas en figura 110).

El sitio de instalación del medidor se indica en la figura 110. De aquí, se enviará un cable de instrumentación hacia una zona de fácil acceso para el operador, donde se instalará el gabinete metálico que contendrá: el microcontrolador, pantalla LCD, botones de presionar, puerto de USB, fuente de voltaje de 5 volts y demás componentes del instrumento.

El sitio del gabinete estará ubicado en la pared, aproximadamente a 1 metro de altura, como se muestra en la figura 111. La longitud de cable para conectar al sensor con el gabinete es de 15.3 metros.



Figura 111. Sitio de instalación del gabinete.

# APÉNDICE E

## Componentes y elementos

### **Medidor de caudal electromagnético**

El medidor de caudal que se compró es de la compañía Endress + Hauser, la cual tiene más de 30 años. Esta Empresa ofrece un completo y robusto, equipo de instrumentación, entre los cuales se destaca el medidor de flujo electromagnético, llegando a vender el millón de medidores para el 2008.

Las características del medidor adquirido son:

- Medidor de flujo electromagnético para flujo de salsa de tomate tipo compacto con conexiones tri-clamp grado higiénico.
- Marca: Endress + Hauser.
- Modelo 50H40, tamaño 1½ pulgadas.
- Aplicación en zonas seguras.
- Sensor de medición con recubrimiento interno de PFA, para la aplicación higiénica.
- Calibración de 0.5 % de exactitud.
- Conexión a proceso clamp, material de acero inoxidable.
- Calidad de electrodos en acero inoxidable.
- Sello interno (aseptic shape silicon) libre de contaminación, para temperaturas hasta 150 °C.
- Transmisor compacto en aluminio con protección IP-67, NEMA 4X.
- Conexión de alimentación tipo rosca M20.
- Alimentación de 16-62 VDC / 20-55 VAC.
- Visualizador de 2 líneas + botonería para operar.

- Salida de 4-20 mA para flujo instantáneo.
- Salida de pulsos para flujo.
- Peso: 15 kilos aprox.
- Precio: \$ 2,592 USD + IVA.
- Tiempo de entrega: 4 semanas.
- Distribuidor: Electro controles del noroeste ECN, Mexicali.

El medidor de caudal electromagnético que se tiene es el que se muestra en la figura 112. Está compuesto por el sensor, convertidor y pantalla LCD. La información que entrega es de flujo y volumen, en distintas unidades.



Figura 112. Medidor de flujo electromagnético Endress + Hauser.

### **Módulo M52259**

El módulo para el trabajo de tesis es el M52259 de Freescale, el cual contiene los componentes que el trabajo requiere. Uno de ellos es que el microcontrolador soporte la comunicación de USB en modo Host, ya que se necesita de almacenamiento de información en una memoria USB, además del resto de los componentes primordiales, como reloj de tiempo real, convertidor A/D, controlador de pantalla LCD con comunicación  $I^2C$ , puertos de I/O de uso general, entre otros. [15]

Las características del módulo son:

- MCF52259 CPU, 144 LQFP.
  - V2 ColdFire.
  - 80 MHz bus interno.
  - 512 KB de FLASH.
  - 64 KB de SRAM.
  - 4 CH, DMA Controller w/ Temporizadores.
  - Fast Ethernet Controller (FEC).
  - USB Physical Layer Interface (PHY).
  - Mini-FlexBus External Bus Interface.
  - Convertidor A/D de alta velocidad.
  - FlexCAN 2.0B Module.
  - $I^2C$ , UART(s), QSPI.
- Integrado Open-Source USB BDM.
- 48 MHz XTAL.
- MiniAB USB Port.
- Switch RESET con indicador LED.
- Distintas entradas para la alimentación de voltaje.
  - Por USB BDM.
  - Por mini USB.
  - De regulador del módulo.
  - De bloque de terminal (no instalado).
- LEDs y push button.
  - 4 LEDs.
  - 2 Push button.
- Conectores.
  - 0.5 mm Stack Connectors para expansión.
  - Conector tipo B USB.
  - Conector mini AB USB.

- 10/100 Ethernet.
  - KZS8041 Ethernet PHY.
  - Configuración para operar en MII.
  - Tab-down RJ-45 Connector w/ integrated.
  - Magnético.
  - LEDs para indicar la velocidad y conexión.
- RS-232 PHY.
  - Un canal con protocolo.
  - Operación de dos cables.
  - Conector DB-9.
- HS CAN PHY.
  - 1 Mbaud de transferencia.
  - Configurado para operación en modo esclavo.
  - Conector de tres terminales.
- Conector de 40 I/O.
- Incluye: cable serial DB9, cable USB, cable Ethernet, documentación en CD, and CodeWarrior Development Studio en CD.
- Dimensiones: 2 X 2 X 1 pulgadas.
- Precio: \$ 59 USD.
- Distribuidor: Mouser Electronics.

En la figura 113, se presenta el módulo de Freescale que contiene el microcontrolador MFC52259 ColdFire de 32 bits, además de los puertos físicos de USB (modo OTG, host o dispositivo), DB9 (RS-232), Ethernet (10/100), CAN y USB tipo B para depurar.

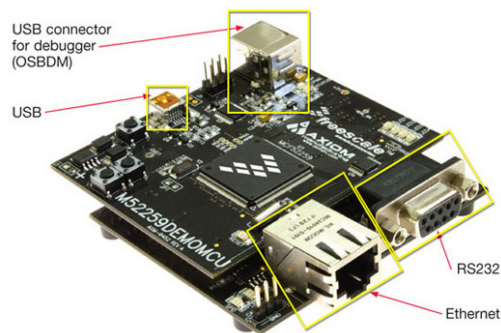


Figura 113. Módulo M52259 de Freescale.

## Microcontrolador

El microcontrolador de Freescale MCF52259 de 32 bits, es un miembro de la familia de ColdFire tipo RISC (reduced instruction set computing), basado en la versión 2 ColdFire Core operando a una frecuencia de 80 MHz, ofrece alto desempeño y un bajo consumo de energía. Contiene memoria interna de hasta 64 KB de SRAM (static random access memory) y 512 KB de Flash. Este microcontrolador está incorporado en el módulo M52259 (figura 114), es de 144 terminales con tipo de montaje superficial y empaquetado LQFP (Low-profile Quad Flat Package) con dimensiones de 20 x 20 mm.

Las características del microcontrolador son:

- V2 ColdFire Core a 80 MHz.
- Unidad de aceleración criptográfica (CAU).
- Controlador Ethernet de alta velocidad (FEC).
- Interfaz mini-FrexBus.
- USB On-The-Go (USBOTG).
- Transmisor – receptor USB.
- Módulo CAN.
- Transmisor – receptor UART.
- Dos módulos I2C.
- Convertidor A/D, 8 canales de 12 bits.

- Temporizador de propósito general (GPT) de 4 canales, modulación de ancho de pulso (PWM), modulación de pulso (PCM) y acumulación de pulso.
- 8 canales / 16 canales, 8 bit / 16 bit temporizador de modulación de ancho de pulso.
- 2 Temporizadores de interrupción periódica de 16 bits (PITs).
- Módulo de reloj de tiempo real (RTC) con cristal de 32 KHz.
- Temporizador de watchdog programable por software.
- Controlador de interrupciones hasta 57 fuentes.
- Puesto para acceso a pruebas o depurar (JTAG, BDM).

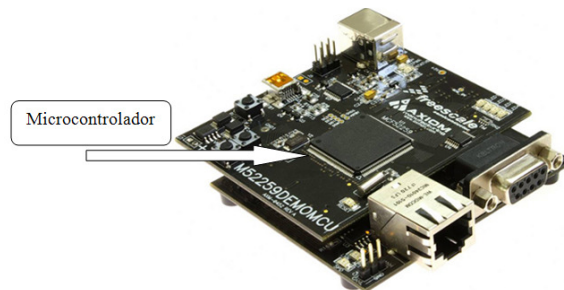


Figura 114. Microcontrolador MCF52259 de Freescale.

La configuración de los terminales del microcontrolador se muestra en la figura 115.

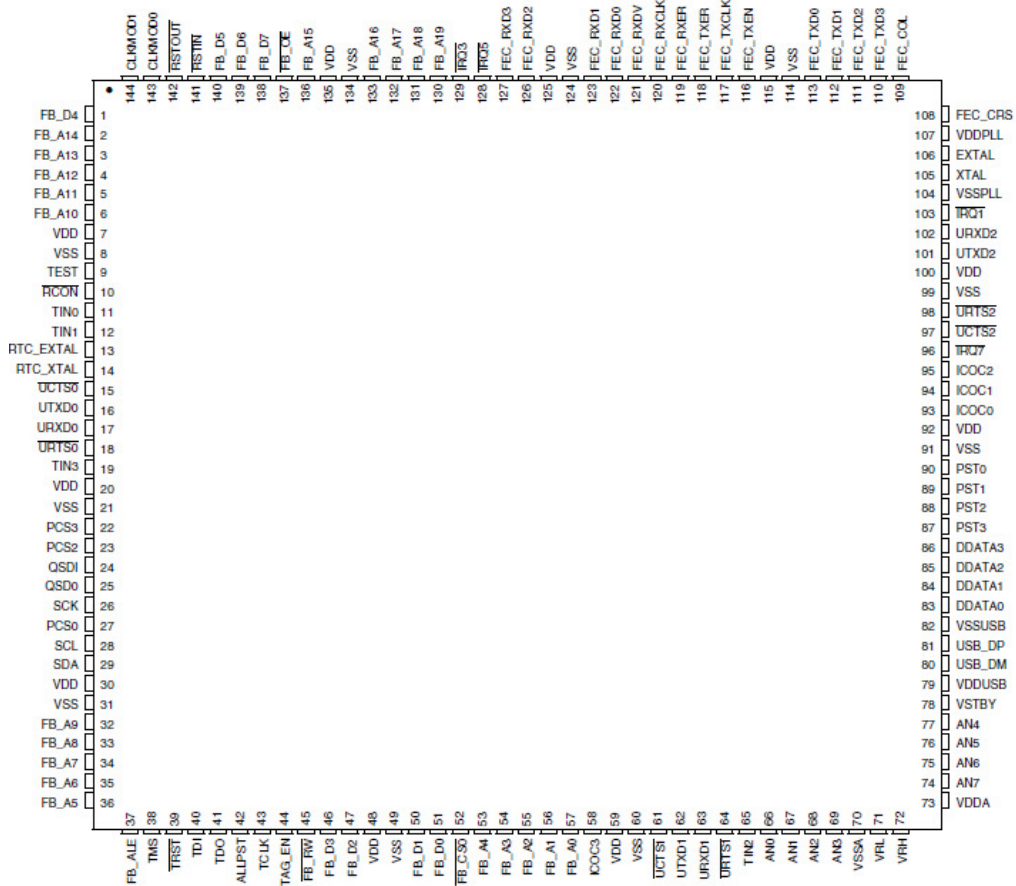


Figura 115. Configuración de las terminales del microcontrolador.

Algunas de las terminales tienen más de una función, la cual es configurada en programación. Son cuatro funciones como máximo, las que una terminal puede realizar.

Esas funciones se muestran en la figura 116, es la función primaria la más cercana al puerto.

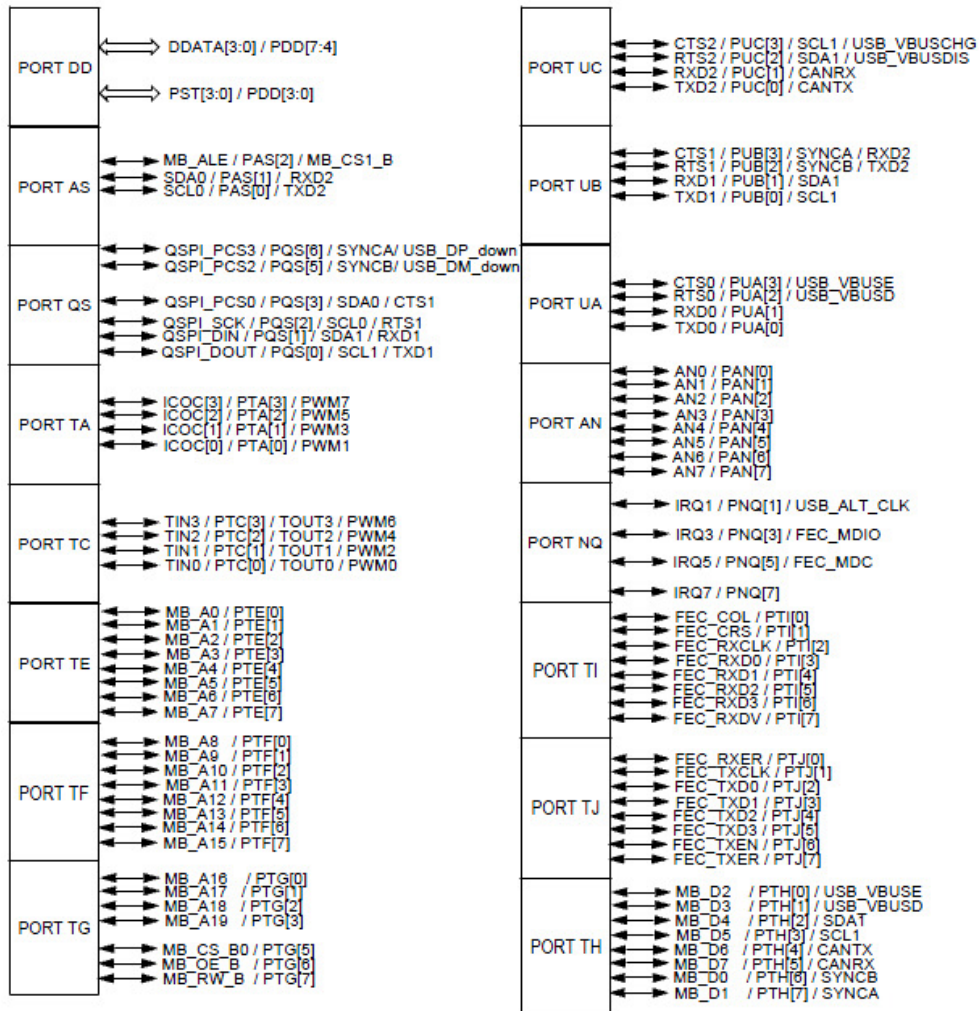


Figura 116. Puertos del microcontrolador.

## Visualizador LCD

La pantalla de visualización es de LCD con 20 caracteres por 4 líneas, en donde se desplegará información del flujo, volumen, hora, fecha y una línea de uso general. El visualizador es de la marca MATRIX ORBITAL, ofrece las siguientes características:

- Pantalla de cristal líquido alfanumérico de 20 columnas por 4 filas.
- Protocolo de comunicación seleccionable: serie RS-232 o niveles de TTL y  $I^2C$ .
- Seis salidas de propósito general a 5 VDC 20 mA máximo.

- Altas velocidades de comunicación: 57.6 Kbps para RS-232 y 100 Kbps para  $I^2C$ .
- Contraste y brillo controlado por software.
- Controlador de teclado incorporado.
- Alimentación: 5 VDC 120 mA.
- Modelo: LK204-25-WB.
- Precio: \$ 79 USD.
- Distribuidor: Allied Electronics.

En la figura 117, se presenta la imagen de la pantalla de LCD. Para el este modelo se tienen cuatro formatos de visualización distintos, de los cuales se elige el modelo con iluminación de fondo de pantalla color azul y el carácter color blanco. [16]

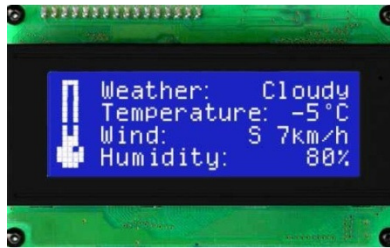


Figura 117. Pantalla de cristal liquido.

Las conexiones de la pantalla se muestran en la figura 118, es esta la parte posterior del visualizador. La comunicación que se usará entre el microcontrolador y el visualizador será  $I^2C$ .

Las terminales son:

1. Conector de comunicación serial DB-9.
2. Puente para alimentación de LCD por DB-9.
3. Salidas de uso general.
4. Conector para teclado matricial.
5. Conector de alimentación de LCD y comunicación  $I^2C$ .
6. Interface del teclado matricial.
7. Puentes para seleccionar el protocolo de comunicación.

## 8. Cable opcional para alimentación del LCD.

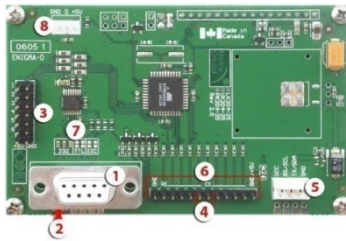


Figura 118. Parte posterior de la pantalla LCD.

## Memoria USB

El dispositivo que se utiliza para almacenar información es una memoria USB de 512 KB (figura 119) de la marca Freescale, donde se graba un historial de volumen por día del puré de tomate. El historial se recupera de la memoria del microcontrolador cada semana, mediante la inserción de la memoria USB al módulo del microcontrolador.



Figura 119. Memoria USB.

## Cable de instrumentación

El cable de instrumentación (figura 120) que se usa es tipo STP (Shielded Twisted Pair) blindado y transado de 4 pares, calibre 24 AWG, el diámetro del protector exterior es de 0.35 pulgadas. Se usa para enviar la información del medidor de caudal electromagnético hacia el sitio de instalación de la caja metálica.

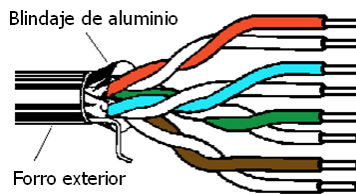


Figura 120. Cable de instrumentación.

## Cable eléctrico

A través de cable se suministra el voltaje tanto para las fuentes de corriente directa como para el medidor de caudal electromagnético. Dos fuentes de voltaje DC están dentro de la caja metálica. Para hacer llegar el voltaje AC a las fuentes de DC se usan 9 metros de cable del calibre 14 AWG, mientras que el medidor de caudal electromagnético utiliza 16 metros del calibre 16 AWG. El cable tiene las siguientes características:

- Calibre: 16 AWG para sensor y 14 AWG para fuentes de voltaje.
- Tres conductores de cobre.
- Aislamiento individual de termoplástico de policloruro de vinilo (PVC).
- Identificación por color: negro, blanco y rojo.
- Color exterior: negro.
- Superficie exterior: estriada.
- Cordón flexible de uso rudo PVC.
- Tensión máxima: 300 Volts.

En la figura 121, se muestra una imagen del cable que se utiliza, el precio por metro es de \$ 13 MXN para calibre 14 AWG y \$ 11 MXN para 16 AWG, y lo vende Productos Eléctricos de Tijuana, distribuidor Ensenada.



Figura 121. Cable eléctrico de uso rudo.

### Caja metálica con puerta

Es necesario resguardar el instrumento en una caja metálica, hermética y que cumpla con características de uso industrial. La caja es de la marca BUD Industries (figura 122) y tiene las siguientes características:

- Dimensiones en centímetros 25 (largo) X 20 (ancho) X 15 (profundo).
- Material: hoja metálica de 1.5 mm.
- Soportes exteriores para montaje en pared.
- Conexiones para tierra en caja y puerta.
- Cumple con los estándares de NEMA 1, 2, 4, 4X, 12, 13, IP 65 y UL508-4X.
- Puede ser modificada para los requerimientos mediante maquinado.
- Acabado: gris metálico.
- Precio: \$ 60.
- Distribuidor: Allied Electronics. [18]



Figura 122. Caja metálica.

La caja metálica contendrá el módulo del microcontrolador, pantalla LCD, dos botones de presionar, conector circular metálico para conexión del cable de instrumentación con el interior de la caja, dos conectores para cable de alimentación, conector de USB y dos fuentes de voltaje de 5 y 24 VDC.

## Conectores circulares metálicos

Los conectores que se utilizan son de la clase de conectores circulares metálicos, de ocho terminales, medida 18, socket para soldar, clamps para cable, acabado negro y marca Anphenol. Se usan cuatro conectores (\$ 90 USD) para la transmisión de información por cable de instrumentación. Los conectores son:

- Receptáculo para conexión de cable tipo hembra (figura 123).



Figura 123. Receptáculo para conexión de cable.

Este conector recibirá cable de instrumentación directamente del sensor.

- Receptáculo para montaje en caja tipo hembra (figura 124).



Figura 124. Receptáculo para montaje en caja.

Se monta en la caja metálica mediante cuatro tornillos y funciona para comunicar el cable de instrumentación con el interior de la caja.

- Conector para receptáculo tipo macho (figura 125). Se usan dos conectores de este tipo, uno para cada extremo del cable de instrumentación.



Figura 125. Conector para receptáculo tipo macho.

Cada extremo del cable de instrumentación se suelda con este conector cilíndrico, de esta forma se puede enviar la información del sensor mediante cable de instrumentación con la ventaja de poder quitar el cable en cualquier instante. El distribuidor de los conectores es Allied Electronics.

### **Conector hermético para cable.**

Para introducir el cable a la caja metálica y no quede espacio libre que pueda contaminar el interior de la caja de polvo, humedad, etcétera, es necesario un conector hermético para cable. Se usan dos conectores de este tipo, uno para el cable de 110 VAC que alimentara las dos fuentes de voltaje y otro para sacar el cable de alimentación para el medidor de caudal electromagnético.

1. Conector hermético para cable AC (figura 126).

Características:

- Conexión a caja de 1/2 pulgada.
- Material del cuerpo exterior: zinc.
- Material de la cabeza: acero.
- Material del interior: neopreno.
- Rango del cable: 0.375 – 500 pulgadas.
- Marca: Thomas & Betts.
- Precio: \$ 8 USD.
- Distribuidor: Allied Electronics.



Figura 126. Conector hermético para cable AC.

2. Conector hermético para el cable de alimentación del medidor de caudal (figura 127).

Características:

- Conexión a caja de 1/2 pulgada.
- Material del cuerpo exterior: zinc.
- Material de la cabeza: acero.
- Material del interior: neopreno.
- Rango del cable: 0.500 – 0.625 pulgadas.
- Marca: Thomas & Betts.
- Precio: \$ 9 USD.
- Distribuidor: Allied Electronics.



Figura 127. Conector hermético para cable de medidor de caudal.

### Fuentes de alimentación

En el proyecto se usan dos fuentes de voltaje de corriente directa. Una es para la alimentación del módulo con microcontrolador y pantalla LCD, mientras que la otra es para la alimentación del medidor de caudal electromagnético.

1. Fuente de voltaje para módulo M52259 y LCD (figura 128).

Las características son:

- Voltaje de entrada: 85 – 132 VAC o 110 – 170 VDC.
- Voltaje de salida: + 5 VDC, 3 A, 15 Watts.
- Máximo ruido de salida: 120 mVpp.
- Medida: 30 X 69 X 84 mm (WXHxD).
- Peso: 200 gr. máx. (sin cubierta).
- Protección contra sobre corriente y sobre voltaje.
- Modelo: R-15A-5-3N.
- Marca: Cosel.
- Precio: \$ 45 USD.
- Distribuidor: Allied Electronics.



Figura 128. Fuente de + 5 VDC

La fuente tiene 5 conectores, tres de entrada y dos de salida.

Los de entrada son:

- Line 110 VAC.
- Neutro.
- Tierra física.

Los de salida son:

- + 5 VDC.
- Tierra.

2. Fuente de voltaje de corriente directa para el medidor de caudal electromagnético (figura 129).

Las características de la fuente de voltaje son:

- Voltaje de entrada: 85 – 264 VAC.
- Voltaje de salida: + 24 VDC, 10 (20 pico) A, 240 Watts.
- Máximo ruido de salida: 150 mVpp.
- Medida: 9.5 X 4.5 X 2.2 cm (WXHxD).
- Peso: 690 gr. máx. (sin chasis y cubierta).
- Protección contra sobre corriente y sobre voltaje.
- Modelo: LEP240F-24.
- Marca: Cosel.
- Precio: \$ 161 USD.
- Distribuidor: Allied Electronics.



Figura 129. Fuente de + 24 VDC.

La fuente de voltaje de 24 VDC tiene dos conectores.

El conector uno es de entrada:

- Line 110 VAC.
- Neutro.
- Tierra física.

El conector dos es de salida:

- + 24 VDC.
- Tierra.

### **Botón de presión**

El botón de presión a usar (figura 130) es de uso industrial, material de acero inoxidable, normalmente abierto, de dos contactos, acabado brillante, máximo voltaje, 48 VDC y 2 A de corriente.

El modelo es MP0042/1 distribuido por Allied Electronics a un precio de \$ 8 USD.



Figura 130. Botón de presionar N/A de acero inoxidable.

### **Reductor de tubería**

Para incrementar la velocidad del puré de tomate en el medidor de caudal electromagnético, se usa un reductor de 50 a 40 mm en cada extremo del medidor y es conectado por medio de una abrazadera (figura 131), con el fin de disminuir el error de lectura. El material de los reductores de tubería es de acero inoxidable para cumplir con las normas higiénicas. El precio de cada reductor con el clamp es de \$ 350 MXN.



Figura 131. Reductores de tubería.

**Capacitores electrolíticos y cerámicos.**

Se utilizan dos capacitores de 15000  $\mu\text{F}$  electrolíticos y dos cerámicos: de 0.1  $\mu\text{F}$  y 0.01  $\mu\text{F}$ . Debido al ruido eléctrico que generan los motores de 220 VAC al accionarse, fue necesario utilizar capacitores en la salida de la fuente de +5 VDC COSEL, ya que ese ruido afecta a las mediciones del instrumento. Esta fuente de voltaje alimenta al módulo y al LCD. La configuración de los capacitores es en paralelo con la salida de voltaje de la fuente de 5 VDC.

# APÉNDICE F

## Equipos

### **Circuito de tubería para pruebas en campo**

Debido a que no se pueden hacer pruebas en el sitio de instalación del medidor de caudal electromagnético por motivos de inaccesibilidad para operarlo, es necesario un circuito de tubería para simular el flujo de puré de tomate. El circuito es construido con material que tiene la Empresa Val Vita, Estos son:

- Contenedor de acero inoxidable con capacidad de 150 litros.
- Motor de corriente alterna 220 V.
- Tubería de acero inoxidable de 50 mm.
- Abrazaderas de acero inoxidable.
- Reducciones de acero inoxidable de 50 a 40 mm.
- Medidor de caudal electromagnético.

En la figura 132, se muestra el circuito con todos los elementos conectados, está ubicado en las instalaciones de la Empresa Val Vita, a un lado del taller de maquinado. El tiempo de armado es de 2 horas. El costo del circuito para la Empresa es únicamente 2 horas de trabajo del soldador, ya que el material lo tienen disponible.



Figura 132. Circuito de tubería para pruebas en campo.

## Computadora

El microcontrolador del módulo M52259 se programa por medio de una computadora usando el software CodeWarrior™ Development Studio para ColdFire® Architectures V7.1. Los requerimientos del sistema son:

- Hardware: procesador compatible Pentium 1 GHz, 512 de memoria RAM, CD/DVD-ROM, puerto USB.
- Sistema operativo: Microsoft Windows 2000, Windows XP o Windows Vista de 32 bits.
- Espacio en disco: total 2 GB y 400 MB en disco del sistema Windows.

La computadora que se usa es una laptop HP Pavilion dv2000 (figura 133), y tiene las siguientes características:

- Hardware: procesador AMD turion 2 GHz, 4031 de memoria RAM, CD/DVD-ROM, puerto USB.
- Sistema operativo: Microsoft Windows XP.
- Espacio en disco: 126 GB y 2 GB en sistema.



Figura 133. Laptop HP Pavilion dv2000.

### **Programador**

El programador del microcontrolador forma parte del módulo M52259, se ocupa un cable USB para comunicar la computadora con el módulo, y por medio del software CodeWarrior™ Development Studio para ColdFire® Architectures V7.1 versión Professional, se realiza la programación del microcontrolador.

En la figura 134, se muestra como es la conexión entre la computadora y el módulo, por medio del cable USB.

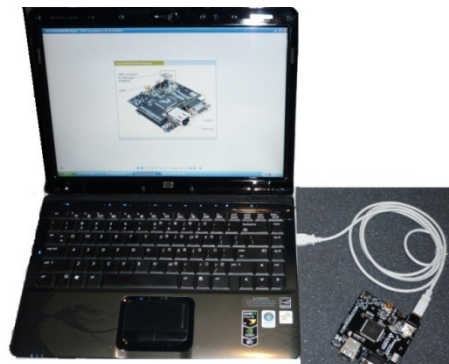


Figura 134. Conexión entre laptop y módulo M52259.

## Multímetro

El Multímetro que se usa es el modelo Fluke – 115 de la marca FLUKE (figura 135). Este instrumento se usa para obtener distintas mediciones tanto de voltaje como de componentes. Las características son:

- Resistencia, continuidad, frecuencia, capacitancia y prueba de diodos.
- Mediciones de 10 Amperes.
- Pantalla con luz de fondo blanco.
- Diseño compacto.
- Máximo voltaje: 600 V
- Fuente de protección: 6,000 V pico.
- Fusible para corriente: 11 Amperes.
- Pantalla: digital.
- Temperatura de operación: -10 a +50 °C.
- Temperatura de almacenaje: -40 a +60 °C.
- Batería: alcalina de 9 V.



Figura 135. Multímetro Fluke – 115.

## Fuente de voltaje

Se usa una fuente de voltaje lineal de corriente directa para alimentar circuitos electrónicos de prueba. El modelo es Instek GPS-1850D de la marca GWINSTEK (figura 136). Las características son:

- Diseño compacto y ligero.

- Alta regulación: 0.01 %.
- Bajo nivel de ruido: < 0.5 mVrms.
- Número de salidas: 1.
- Máximo voltaje: 18 VDC.
- Máxima corriente: 5 Amperes.



Figura 136. Fuente de voltaje DC Instek GPS-1850D.

## Osciloscopio

Para observar las señales que se obtienen del medidor de caudal electromagnético 50H40, se utiliza un osciloscopio de la marca GWINSTEK y el modelo Instek GDS-1022 (figura 137), cuyas características se mencionan a continuación:

- Ancho de banda: 25 MHz.
- Número de entradas: dos.
- Velocidad: 250 MSa/segundos en tiempo real.
- 5.6 pulgadas TFT pantalla LCD a color.
- Rango tiempo de base: 1 nS – 10 nS/div.
- Puerto USB para conexión a computadora.
- Operadores matemáticos: suma, resta, Transformada Rápida de Fourier.



Figura 137. Osciloscopio digital Instek GDS-1022.

# APÉNDICE G

## Carta de aceptación de instrumento por parte de Val Vita



**Val Vita**

A 15 de Junio de 2010

Carta de aceptación

A quien corresponda.

Por medio del presente, **Comercializadora Val Vita S.A. de C.V.** acepta que el proyecto con el título "**Instrumento para medir y almacenar, información de flujo y volumen, del puré de tomate pre-ensado**", está instalado y en funcionamiento en nuestras instalaciones, conforme a lo especificado en el objetivo general del proyecto.

Atentamente,

Ing. Fernando García Solórzano  
Gerente de Planta

Km. 117 Carr.  
Ensenada - La Paz  
Ejido Chapultepec  
C.P. 22785  
Ensenada, B.C.  
México.

TELÉFONOS  
(646) 176-6055  
(646) 177-4104  
(646) 177-5174  
FAX  
(646) 177-5173

Figura 138. Carta de aceptación del instrumento por Val Vita.