

PROTOTIPO PIG INTELLIGENT

GUSTAVO ADOLFO LONDOÑO VELEZ

UNIVERSIDAD NACIONAL

POSTGRADO EN AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL

FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA Y ELECTRONICA

FEBRERO DE 2003

MANIZALES

PROTOTIPO PIG INTELLIGENT

GUSTAVO ADOLFO LONDOÑO VELEZ

ASESOR

ALFONSO SUAREZ

UNIVERSIDAD NACIONAL

POSTGRADO EN AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL

FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA Y ELECTRONICA

FEBRERO DE 2003

MANIZALES

**CONTENIDO**

<b>CONTENIDO</b>	<b>3</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>7</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>9</b>
<b>SUMMARY</b>	<b>10</b>
<b>1. DEFINICIONES</b>	<b>11</b>
<b>1.1 GAS NATURAL</b>	<b>11</b>
1.1.1 Composición del gas natural	11
<b>1.2 OLEODUCTO</b>	<b>12</b>
<b>1.3 PIG</b>	<b>13</b>
<b>1.4 INTELLIGENT PIG</b>	<b>14</b>
<b>1.5 TRAMPA DE ENVIO Y RECIBO</b>	<b>14</b>
<b>2. OPERACIÓN DEL PIG INTELIGENTE EN TUBERÍAS</b>	<b>16</b>
<b>2.1 PRINCIPIO DE OPERACIÓN DEL PIG</b>	<b>16</b>
<b>2.2 PIG DE INSPECCIÓN</b>	<b>17</b>
<b>2.3 UBICACIÓN DE LOS MARCADORES</b>	<b>18</b>
2.3.1 Sistema de marcación magnética	19
<b>3. DOBLADO DE TUBERÍA</b>	<b>20</b>
<b>3.1 ESPECIFICACIÓN DE TUBERÍA A INSPECCIONAR</b>	<b>20</b>
<b>3.2 DOBLADO DE TUBERÍA</b>	<b>20</b>
3.2.1 Operación del ducto	20
3.2.2 Mantenimiento del ducto	20
3.2.3 Operación del doblado	21
3.2.4 Radio mínimo de curvado	21

<b>4.</b>	<b>DIMENSIONAMIENTO DEL PIG</b>	<b>23</b>
<b>4.1</b>	<b>MATERIALES</b>	<b>23</b>
4.1.1	Cuerpo del PIG	23
4.1.2	Copas de Urethano	23
4.1.3	Número de copas	23
4.1.4	Eje metálico	25
4.1.5	Bridas	25
4.1.6	Soldadura	25
<b>4.2</b>	<b>LONGITUD DEL PIG CON DOS COPAS</b>	<b>25</b>
<b>5.</b>	<b>DISEÑO ODÓMETRO</b>	<b>27</b>
<b>5.1</b>	<b>ESPECIFICACIONES DE DISEÑO</b>	<b>27</b>
<b>5.2</b>	<b>CÁLCULOS</b>	<b>29</b>
<b>6.</b>	<b>DISEÑO ELECTRÓNICO DE SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS</b>	<b>31</b>
<b>6.1</b>	<b>DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA</b>	<b>31</b>
6.1.1	Microcontrolador	31
6.1.2	Memoria RAM	33
6.1.3	Convertor A/D	34
6.1.4	Comunicación serial	35
<b>6.2</b>	<b>ALGORITMO</b>	<b>36</b>
<b>6.3</b>	<b>DIAGRAMA DE FLUJO</b>	<b>38</b>
6.3.1	Programa Principal	38
6.3.2	Interrupción Puerto Serie	39
<b>7.</b>	<b>REGISTRO DE INSPECCIÓN</b>	<b>40</b>
<b>7.1</b>	<b>GRÁFICOS DE CAMPO Y GRÁFICOS MAESTROS</b>	<b>40</b>
<b>7.2</b>	<b>PROFUNDIDAD DEL DEFECTO</b>	<b>41</b>
<b>7.3</b>	<b>LARGO DEL DEFECTO</b>	<b>42</b>
<b>8.</b>	<b>SIMULACIÓN DE CORRIDA DEL PIG</b>	<b>44</b>
<b>8.1</b>	<b>BANDA TRANSPORTADORA</b>	<b>44</b>
8.1.1	Sensores utilizados en la simulación	44

	5
8.1.2 Acople del PIG con la banda	45
8.1.3 Simulación de corrosión	47
8.1.4 Primera simulación	47
8.1.5 Segunda simulación	47
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>50</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>51</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>52</b>
A. SOFTWARE	59
B. DIAGRAMA ELÉCTRICO DEL SISTEMA	69
<b>LISTA DE FIGURAS</b>	
Fig. 1: TRAMPA DE LANZAMIENTO	15
Fig. 2: TRAMPA DE RECIBO	15
Fig. 3: SECCIÓN MAGNETIZADORA	16
Fig. 4: PIG CON TRES SECCIONES	18
Fig. 5: SISTEMA DE MARCACIÓN MAGNÉTICA	19
Fig.6: LONGITUD DE ARCO	22
Fig. 7: DIMENSIONES DE LA COPA DE URETHANO	24
Fig. 8: DIMENSIONES LONGITUDINALES DEL PIG	26
Fig. 9: DISEÑO GEOMÉTRICO DEL ODÓMETRO	28
Fig. 10: MICROCONTROLADOR	32
Fig. 11: DISTRIBUCIÓN DE SENSORES MAGNÉTICOS	33
Fig. 12: MEMORIA RAM	34
Fig. 13: CONVENSOR ANÁLOGO / DIGITAL	35
Fig. 14: COMUNICACIÓN SERIAL	36

Fig. 15: DIAGRAMA ELÉCTRICO DEL SISTEMA	36
Fig. 16: DIMENSIONES DE UN DEFECTO DE CORROSIÓN	42
Fig. 17: REGISTRO DEL DEFECTO MAS SEVERO	43
Fig. 18: ACOPLA PIG - BANDA	46
Fig. 19: REGISTRO GRÁFICO DE LA PRIMERA SIMULACIÓN	48
Fig. 20: REGISTRO GRÁFICO SEGUNDA SIMULACIÓN	49

### **LISTA DE TABLAS**

TABLA N. 1 ANÁLISIS TÍPICO DE GAS NATURAL	12
TABLA N. 2: RADIO MÍNIMO PARA DOBLADO EN FRÍO	21
TABLA N. 3 DIMENSIONES ESTÁNDAR DE COPAS DE URETHANO	24
TABLA N. 4 DIMENSIONES LONGITUDINALES MAXIMAS DEL PIG	26
TABLA N. 5: BANDA DE GRADUACIÓN DE LA CORROSIÓN	41
TABLA N. 6 CARACTERÍSTICAS DE LA BANDA TRANSPORTADORA	44

## INTRODUCCIÓN

Los sistemas para transporte de hidrocarburos durante la construcción y antes de entrar a operar son sometidas a inspecciones y pruebas para verificar que son confiables y herméticos para un buen funcionamiento.

Durante los largos períodos de operación, la corrosión en las tuberías enterradas constituyen uno de los principales riesgos de fuga de producto.

Para controlar el riesgo de la corrosión se recurre al servicio de empresas extranjeras que poseen herramientas para localizar y medir corrosión en tuberías que se encuentran operando, por ser tecnología extranjera el servicio tiene costos elevados lo que obliga a disminuir la frecuencia de la inspección a veces a períodos de 5 a 10 años entre inspecciones y también impide que muchos sistemas no puedan acudir a este tipo de control.

El objetivo del presente proyecto es el diseño y construcción de un prototipo instrumentado para localizar corrosión en tuberías para el transporte de gas natural, particularmente diseño de odómetro, sistema de adquisición para el avance y sensores de campo magnético y la interface para presentar en forma gráfica los resultados.

Para el diseño del prototipo se recurrió a normas internacionales para construcción de sistemas de transporte de hidrocarburos, condiciones operativas en el transporte de gas natural, resultado e información de algunas inspecciones realizadas por empresas extranjeras y a la experiencia específica que el auto posee en construcción y operación de gasoductos.

Las limitaciones del proyecto radicarón en una financiación económica para adquirir un sistema de adquisición con capacidad suficientes para correr en prototipo en un oleoducto de varios kilómetros, la reserva de información que tienen las empresas que prestan el servicio y algunas que han recibido la inspección.

La importancia del prototipo radica en el principio de una herramienta de la cual no hay tecnología nacional aunque el servicio que presta ofrece buenas perspectivas de mercado en el sector de los hidrocarburos, ya que el uso de servicios extranjeros es costoso.

## RESUMEN

En este trabajo se exponen los aspectos a los que se recurrieron para el diseño y construcción de un prototipo para localizar y medir corrosiones en tubería de acero.

Se definen los términos considerados básicos para entender el uso de la herramienta prototipo.

El doblado de tubería de acero es el más importante aspecto para el dimensionamiento de la herramienta y por ese motivo se da una suficiente información del tema.

Se presentan los cálculos y normas requeridas para el dimensionamiento del pig así como los materiales y técnicas de fabricación, anexando ocho planos con los cuales se construyó el prototipo.

En otro capítulo se presentan los cálculos y diseño electrónico del sistema de adquisición de datos conformados por un microcontrolador, memoria, conversor análogo/digital y el puerto de comunicación, también se incluye el software que fue diseñado en assembler y visual basic.

El registro de la información tiene tratamiento, es importante en la inspección de tuberías, por eso se expone la forma en que se manejan los datos, las gráficas requeridas y el contenido del informe para reparación.

Por último se exponen los resultados obtenidos en las dos simulaciones realizadas con el prototipo y las conclusiones del proyecto.

## SUMMARY

In this work the aspects are exposed those that were appealed for the design and construction of a prototype to locate and to measure corrosions in steel pipe.

They are defined the basic considered terms to understand the use of the tool prototype.

The one bent of steel pipe it is the most important aspect for the dimension of the tool and for that reason an enough information of the topic is given.

The calculations and required norms are presented for the dimension of the pig as well as the materials and technical of production, annexing eight planes with which the prototype was built.

In another chapter are presented the calculations and electronic design of the system of acquisition of data conformed by a micro control, memory, converter similar /digital and the communication port, the software is also included that was designed in assembler and visual basic.

The registration of the information has treatment, it is important in the inspection of pipes, for that reason is exposed the form that the data, the required graphs and the content of the report for repair are managed.

Lastly the obtained results are exposed in the two simulations carried out with the prototype and the conclusions of the project.

## **1. DEFINICIONES**

### **1.1 GAS NATURAL**

El gas natural es una mezcla de hidrocarburos gaseosos asociado con algunas impurezas que son el resultado de la descomposición de materia orgánica. Las impurezas también incluyen vapor de agua y cuando el gas natural crudo es retirado de los subterráneos para suplir demandas de energía, estas impurezas son consideradas indeseables y son usualmente removidas por varios procesos. Los hidrocarburos gaseosos presentes en el gas natural normalmente son metano, etano, propano, butanos, pentanos y pequeñas cantidades de hexanos, heptanos, octanos y otros gases.

#### **1.1.1 Composición del gas natural**

Cada fuente de gas natural tiene su propia composición. Aún dos pozos de gas del mismo reservorio pueden tener composiciones diferentes.

TABLA N. 1 ANÁLISIS TÍPICO DE GAS NATURAL

Componente	Pozo 1	Pozo 2	Pozo 3
	Porcentaje Molecular	Porcentaje Molecular	Porcentaje Molecular
Metano	27.52	71.01	91.25
Etano	16.34	13.09	3.61
Propano	29.18	7.91	1.37
i- Butano	5.37	1.68	0.31
n- Butano	17.18	2.09	0.44
i- Pentano	2.18	1.17	0.16
n- Pentano	1.72	1.22	0.17
Hexano	0.47	1.02	0.27
Heptanos y otros	0.04	0.81	2.42
Dióxido de carbono	0.00	0.00	0.00
Sulfuro	0.00	0.00	0.00
Nitrógeno	0.00	0.00	0.00
TOTAL	100.00	100.00	100.00

El pozo N. 1 es típico de un gas asociado, que es, gas producido con crudo. Los pozos N.2 y N.3 son típicos de gases a baja presión y alta presión de los tipos no asociados.

## 1.2 OLEODUCTO

Conducto por el cual se transporta petróleo crudo desde los campos de producción hasta las plantas de procesamiento o muelles de embarque. Los oleoductos se constituyen con secciones de tubos de acero al carbono unidos con soldadura, generalmente son enterrados a una profundidad entre 1.5 y 2.0 metros, los tubos son doblados en frío antes de ser soldados para acondicionarlos a la forma del terreno donde quedan ubicados.

Para protegerlos de la corrosión se revisten externamente con pinturas epóxicas, adicionalmente se les hace protección catódica conectándolos a un sistema de ánodos de sacrificio o rectificadores que suministran corriente continua a la tubería para evitar o disminuir la corrosión en los sitios donde el revestimiento presenta fallas y el metal queda en contacto con el suelo.

Los ductos por donde son transportados diversos productos refinados son llamados poliductos.

En los tramos intermedios se instalan válvulas y trampas para facilitar la limpieza interior durante la operación.

Las válvulas son usadas para aislar tramo cuando se presentan derrames por fugas de hidrocarburos.

### 1.3 PIG

Los poliductos, gasoductos y oleoductos requieren limpieza interior antes de entrar en funcionamiento y durante operación, productos distintos requieren separación cuando son transportados a través del mismo ducto (poliducto) simultáneamente. PIG son usados para hacer limpieza y separación de productos.

La palabra “PIG” es una sigla que en el idioma inglés significa Pipeline Internal Gauge que traducido al español significa, Galga o calibrador interno para oleoductos.

En los países de habla hispana y específicamente en Latinoamérica se ha generalizado el nombre de marrano para designar el PIG, a causa de la traducción directa de la palabra PIG sin tener en cuenta que se trata de una sigla en inglés.

En la jerga de construcción y operación de poliducto el término raspador es usado para designar el PIG.

#### 1.4 INTELLIGENT PIG

Cuando el PIG utilizado para limpieza es instrumentado para medir deformaciones, detectar obstrucciones, corrosiones y otros daños en tuberías enterradas se habla de PIG o Marrano Inteligente.

Los PIG generalmente tienen forma cilíndrica y son fabricados en urethano, en todo su cuerpo cuando se usan para limpieza interior y separación de producto. Para los PIG Inteligentes se fabrica un eje metálico en el cual se fija la instrumentación y se instalan copas de urethano que son las que hacen contacto con la tubería. Por tratarse de una herramienta instrumentada y de múltiples usos, las copas de urethano son fijadas con tornillos para facilitar el cambio por desgaste o rompimiento.

#### 1.5 TRAMPA DE ENVIO Y RECIBO

Los PIGS son colocados en la tubería por medio de trampas de envío y recibo; las trampas son arreglos de tuberías, válvulas y accesorios que permiten la colocación de los pigs en línea de una manera fácil, rápida y sin interrumpir el servicio de transporte de producto. Tanto la de envío como la de recibo tienen pernos, bridas, codos, válvulas, reducciones y compuerta batiente. En el caso de pigs con grandes diámetros, una bandeja montacarga es parte de ambas trampas.

Para asegurar la entrada del pig en la línea se dispone de un indicador de paso que eleva una bandera o paleta cuando el pig accione la lengüeta instalada dentro del tubo.

Fig. 1: TRAMPA DE LANZAMIENTO

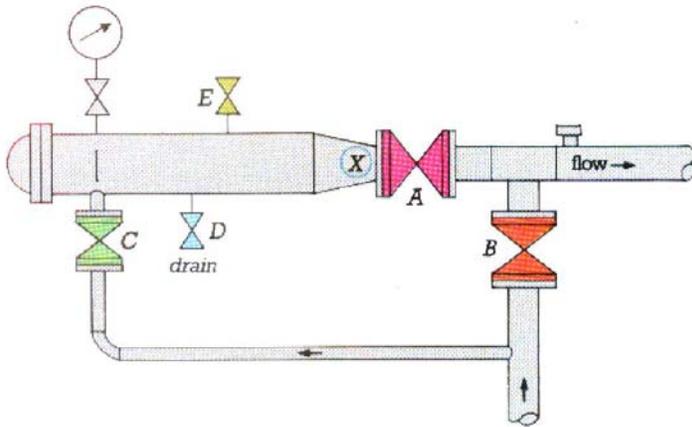
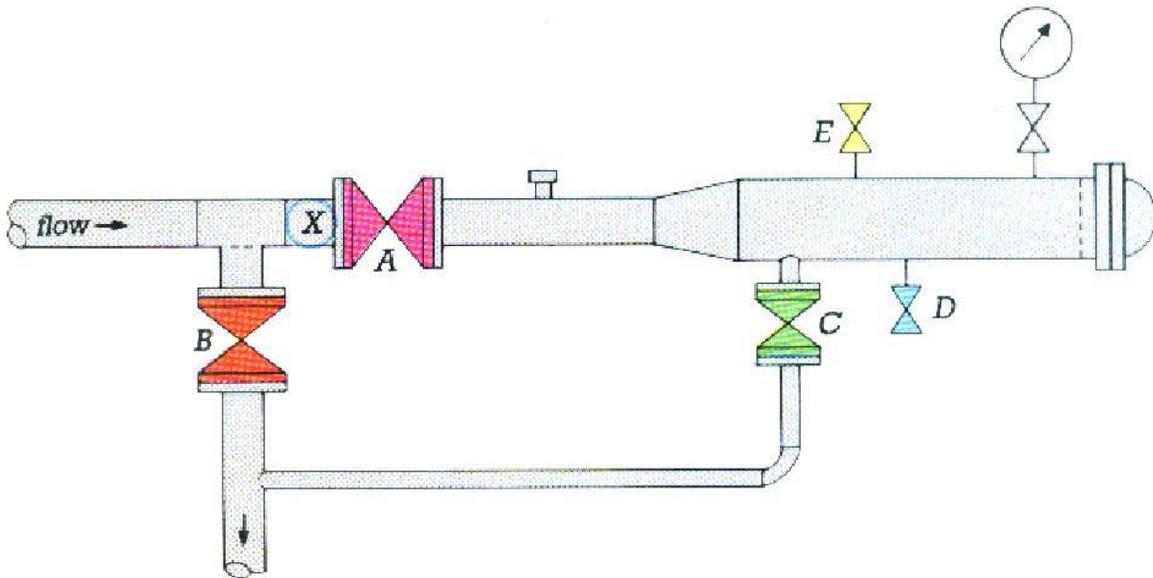


Fig. 2: TRAMPA DE RECIBO



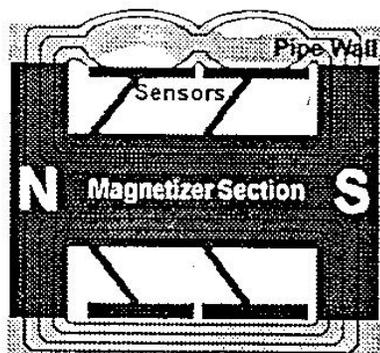
## 2. OPERACIÓN DEL PIG INTELIGENTE EN TUBERÍAS

### 2.1 PRINCIPIO DE OPERACIÓN DEL PIG

El sistema de inspección en tuberías de acero para el transporte de hidrocarburos emplea los principios de la tecnología de la dispersión de flujo magnético. Al magnetizar la tubería hasta un nivel de inspección óptimo y en el cual no se encuentran defectos, todas las líneas de flujo magnético se encontraran contenidas dentro de la pared de la tubería. Si existieran defectos, las líneas de flujo magnético se redistribuirán alrededor del defecto. El resultado será que algunas de las líneas de flujo magnético se dispersarán fuera del medio circundante. Un sensor de campo magnético, que explora a lo largo de la pared, detectará cualquier campo de dispersión y provocará la salida de una señal eléctrica proporcional a la profundidad y forma del defecto.

La pérdida de pared en la tubería creará esquemas de dispersión de flujo. Estas líneas de flujo atraviesan las bobinas montadas en la sección del magnetizador y crean voltajes eléctricos relativos a la cantidad de pérdida.

Fig. 3: SECCIÓN MAGNETIZADORA



Mientras el espesor de pared se mantiene constante, no se produce ninguna dispersión de flujo; por lo tanto no se registran voltajes.

El tipo de herramienta a ser utilizada en una inspección depende del tamaño de la tubería, del espesor de pared, de los radios de curvatura y del tiempo que tarde la pasada del PIG.

## 2.2 PIG DE INSPECCIÓN

El pig de inspección es una unidad autónoma que genera una inspección completa (desde el lanzamiento hasta la recepción).

La herramienta de inspección típica consta de tres secciones o PIGS individuales unidos con articulaciones universales que le permitan es paso por curvas agudas.

Una sección de impulsión, para crear una presión diferencial que permita que el producto transportado impulse la herramienta.

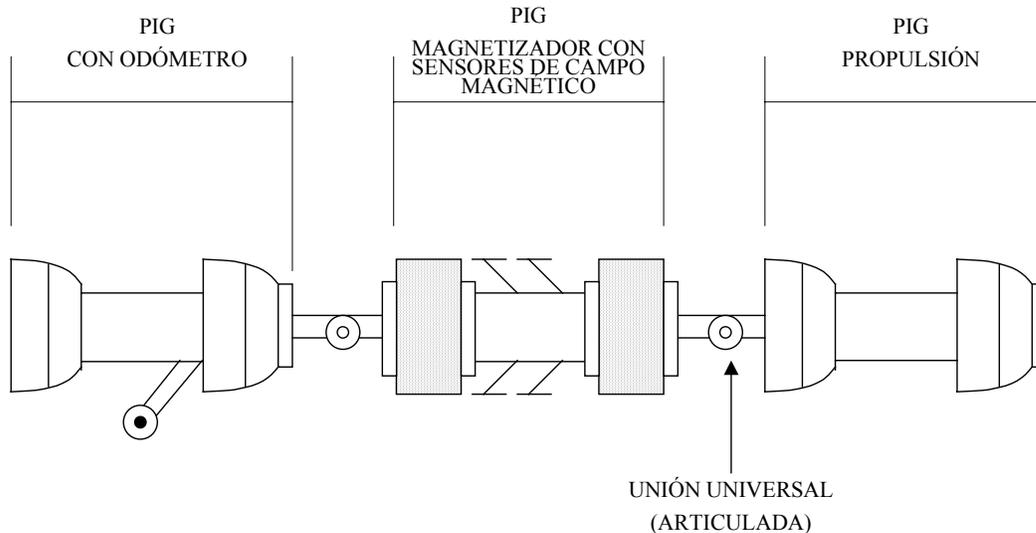
Un magnetizador, para inducir un campo de flujo dentro de la pared del tubo, y transductores para detectar los esquemas de dispersión de flujo.

Un conjunto de odómetro, para medir el avance de la herramienta a lo largo de la tubería.

Un conjunto de baterías, para alimentar el magnetizador y el aparato registrador.

Un registrador, para procesar las señales del transductor, distancia y circuitos de orientación y almacenar estas señales ya sea en la cinta magnética, cintas audio digitales o chip de memoria de estado sólido.

Fig. 4: PIG CON TRES SECCIONES



### 2.3 UBICACIÓN DE LOS MARCADORES

Los sistemas de marcación proporcionan puntos de referencia que establecen una relación entre las ubicaciones en las tuberías y en la inspección.

Las ubicaciones de referencia deben definirse antes de realizarse una inspección. Se colocará un marcador de la tubería en cada ubicación antes que pase la herramienta de inspección.

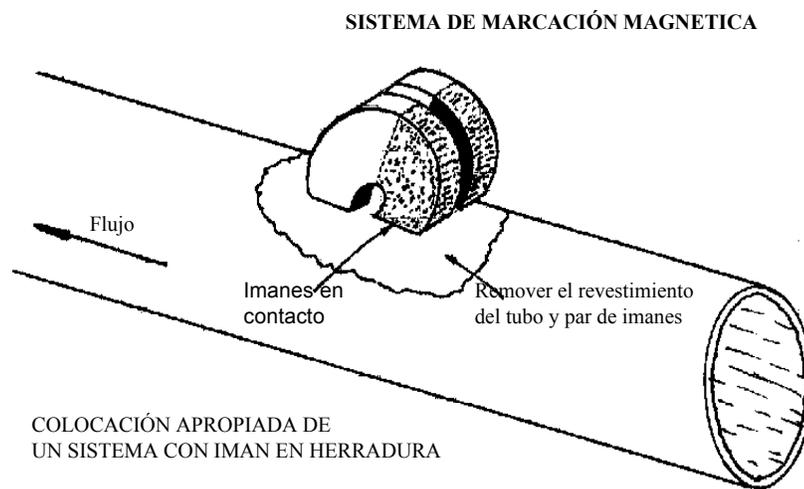
Los marcadores se deben colocar alejados entre sí en terrenos suaves, pero juntos en terrenos ásperos donde las mediciones de los defectos pueden resultar difíciles. Si se colocan los marcadores en áreas de las cuales se sospecha corrosión, se facilita el proceso de medición. Las características permanentes de la tubería que son de fácil acceso sobre terreno también pueden utilizarse como puntos de referencia.

Para asegurar la reubicación exacta de los marcadores, se coloca o bien una marca permanente por encima del lugar donde fue colocado el marcador durante la inspección.

### 2.3.1 Sistema de marcación magnética

Este sistema consiste en una serie de imanes permanentes colocados en pares a lo largo de la tubería. Las señales producidos por estos imanes se identifican fácilmente por la perturbación que causa al espesor de pared distorsionan la señal de los transductores de campo magnético y quedan registradas.

Fig. 5: SISTEMA DE MARCACIÓN MAGNÉTICA



### 3. DOBLADO DE TUBERÍA

#### 3.1 ESPECIFICACIÓN DE TUBERÍA A INSPECCIONAR

El prototipo de control de avance se constituye para una tubería con diámetro nominal de 10 pulgadas.

Material: Acero al carbono

Diámetro externo: 10.750" (273.05mm)

Diámetro interno: 10.02" (254.51mm)

Espesor de pared: 0.365 (9.27 mm)

#### 3.2 DOBLADO DE TUBERÍA

Las líneas para transporte de hidrocarburos se construyen con tubos de acero al carbono, cada tubo tiene una longitud entre 10 y 12,5 mts, para que la línea de conducción se acople a las variaciones topográficas del terreno, los tubos son sometidos individualmente a un proceso de doblado en frío utilizando equipo hidráulico normalmente.

##### 3.2.1 Operación del ducto

Cuando se trata de poliductos, gasoductos u oleoductos, dentro de sus operaciones se deben hacer uso de los RASPADORES (PIG) los cuales requieren que el doblado de la tubería cumpla con normas que permitan el paso del PIG, sin obstáculo, sin que haya lugar a quedar atrancado; esto generaría problema en el abastecimiento de los hidrocarburos.

##### 3.2.2 Mantenimiento del ducto

El uso de raspadores es de una frecuencia más amplia cuando se trate de limpieza internas por efecto de mantenimiento, cambio de producto transportados en los poliductos y se requiere que el doblado cumpla requerimientos establecidos en normas internacionales.

### 3.2.3 Operación del doblado

Cualquier sistema que se utilice para ejecutar un doblado también tiene sus ventajas y limitaciones que regulan los grados de curvatura de un tubo, bien sea por los aditamentos mecánicos o la protección del mismo tubo.

### 3.2.4 Radio mínimo de curvado

Efectuando un análisis de los esfuerzos que son asignados por la energía que se le debe aplicar en cada punto y grado de doblado a determinado tubo para obtener la curva ideal, se ha obtenido una relación entre el diámetro nominal de un tubo y el radio de curvatura mínima.

Normas americanas recomendadas en el ASME / ANSI B-31.4 en sus numerales 406.2.1. y 434.7.1 indican lo siguiente:

TABLA N. 2: RADIO MÍNIMO PARA DOBLADO EN FRÍO

DIÁMETRO NOMINAL (D)	RADIO EN DIÁMETROS NOMINALES (D)
12" y menores	18
14"	21
16"	24
18"	27
20" o mayores	30

Tubo  $\varnothing$

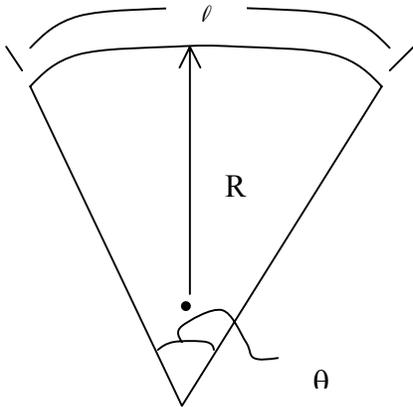


Fig.6: LONGITUD DE ARCO

$$\ell = \theta \text{ Rad} \times R$$

$$\theta \text{ rad} = \ell / R$$

$$\theta \text{ rad} = \frac{D}{18D} = \theta \text{ rad} = 1/18$$

$$\theta \quad \pi \text{ Rad} \longrightarrow 180^\circ$$

$$1/18 \quad - \quad X$$

$$X = 180 \times 1/18 \times \pi$$

$X = 3,18^\circ$

En la práctica de construcción de poliductos se ha limitado el radio mínimo de doblado  $\infty$  1.50 grados por cada diámetro de tubería.

## 4. DIMENSIONAMIENTO DEL PIG

### 4.1 MATERIALES

#### 4.1.1 Cuerpo del PIG

Los pigs están formados por un eje central o cuerpo de acero construido lo suficientemente resistente para durar o resistir en recorrido en toda la extensión de la tubería donde se aplica la inspección.

#### 4.1.2 Copas de Urethano

Las copas de urethano se fijan al cuerpo de acero mediante tornillos y son las que están en contacto con la tubería. Para controlar el desgaste por fricción entre las copas y la tubería, los fabricantes recomiendan correr los pigs a velocidades entre 0.8 y 1.6 m/seg. El diámetro de las copas es usualmente 1/8" mayor que el diámetro interno de interior de la tubería para un buen ajuste hermético.

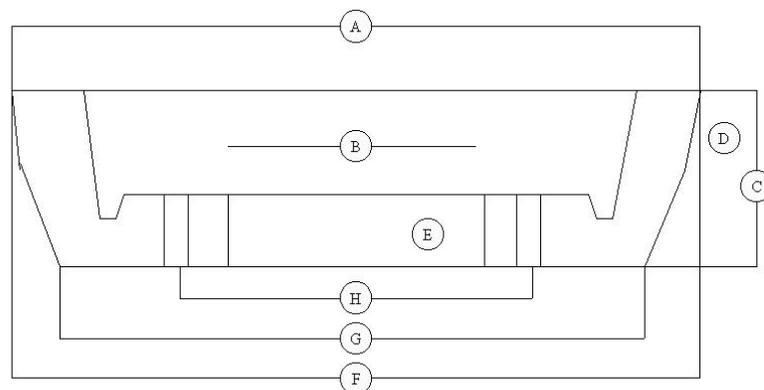
#### 4.1.3 Número de copas

En la práctica los PIGS se construyen de dos o tres copas, se ha generalizado el uso de PIGS con dos copas, una en cada extremo de la herramienta.

TABLA N. 3 DIMENSIONES ESTÁNDAR DE COPAS DE URETHANO

DIMENSIONES ESTÁNDAR DE LAS COPAS										
Diámetro Nominal de la Tubería	A En pulgadas	B En pulgadas	C En pulgadas	D En pulgadas	E En pulgadas	F En pulgadas	G En pulgadas	H Ø En pulgadas	K # Huecos	Peso Aprox. En libras
3"	3.19	.	1.13	.	.50	2.25	2.75	.	.	.3
4"	4.25	.	1.38	.	.50	3.07	3.38	.	.	.4
6"	6.13	.	1.75	.	.50	4.25	5.25	.	.	1.3
8"	8.25	.	2.00	.	.75	6.13	7.25	.	.	2.6
10"	10.50	.	2.25	.	.88	8.13	8.75	.	.	4.8
12"	12.22	.	2.25	1.63	.88	12.07	11.50	.	.	7.3
14"	14.25	.	2.50	1.88	.88	13.00	11.63	.	.	8.7
16"	16.00	8.75	2.75	2.25	1.00	15.25	13.88	11.00	8	9.9
18"	18.00	10.88	3.00	2.38	1.00	17.25	16.00	12.75	8	12.2
20"	20.25	10.88	3.50	2.63	1.25	19.00	17.25	13.50	12	18.6
22"	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	24.4
24"	24.25	14.13	4.00	2.88	1.50	23.25	21.63	16.50	14	29.8
26"	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	34.8
28"	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	51.0
30"	30.25	16.13	4.38	3.00	1.88	29.50	26.25	19.50	16	57.5
32"	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	74.0
34"	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	77.0
36"	36.25	22.13	4.38	3.00	1.88	35.88	33.25	25.00	22	80.8
40"	40.25	22.13	5.00	3.25	2.00	38.50	35.75	26.00	24	100.0
42"	42.25	24.13	5.50	3.38	2.00	↑	↑	↑	24	105.0
48"	48.25	32.13	6.00	3.50	2.00	46.00	44.50	36.00	24	144.00
56"	56.25									

Fig. 7: DIMENSIONES DE LA COPA DE URETHANO



Los huecos que tienen las copas para fijar sobre el cuerpo de acero varían dependiendo del diámetro y están uniformemente distribuidos en el perímetro.

Al fijar las copas sobre el cuerpo hay que asegurarse que la cavidad central del eje que guarda los instrumentos de registro queden selladas herméticamente para proteger los instrumentos más aún cuando el producto transportado y usado para el desplazamiento del pig sea líquido.

#### 4.1.4 Eje metálico

Para conformar el eje metálico del PIG se escogió un tubo en acero API grado B de 3 pulgadas de diámetro nominal, que tiene 3.5 pulgadas de diámetro externo, un espesor de pared igual a 5,48 milímetros y un peso de 7,58 libras por pie de longitud.

#### 4.1.5 Bridas

Las bridas soldadas al eje metálico y donde se fijan las copas de urethano se fabricaron en acero A – 36 con un espesor de  $\frac{1}{4}$  de pulgada.

#### 4.1.6 Soldadura

Todas las uniones soldadas se hicieron con proceso eléctrico y aplicando electrodos West Arco E 70 – 18, éste material de aporte es compatible con el eje central y el acero A –36.

### 4.2 LONGITUD DEL PIG CON DOS COPAS

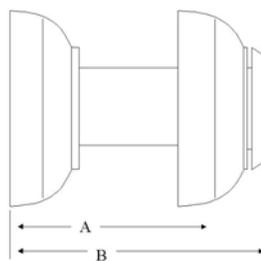
La longitud del PIG para inspección es una magnitud fundamental y está limitada por normas de doblado, específicamente el radio mínimo de doblado.

Normas y estándares de la industria de los hidrocarburos recomiendan una longitud máxima de los pigs de 1.5 veces el diámetro nominal de la tubería en lo que se refiere a la longitud del cuerpo metálico de la herramienta.

TABLA N. 4 DIMENSIONES LONGITUDINALES MAXIMAS DEL PIG

Diámetro en pulgadas	A En pulgadas	B En pulgadas	Peso En libras
6	10.0	12.0	18.0
8	13.0	15.0	20.0
10	17.0	20.0	25.0
12	20.0	22.0	30.0
14	24.0	28.0	38.0
16	27.0	32.0	55.0
18	30.0	35.0	65.0
20	33.0	38.0	86.0
22	36.0	41.0	95.0
24	40.0	45.0	130.0
26	43.0	49.0	150.0
28	46.0	53.0	280.0
30	49.0	57.0	330.0
34	56.0	64.0	400.0
36	59.0	67.0	440.0
40	65.0	73.0	560.0
42	69.0	80.0	590.0
48	78.0	90.0	720.0

Fig. 8: DIMENSIONES LONGITUDINALES DEL PIG



El diámetro del eje metálico del PIG está definido por el diámetro donde están ubicados los huecos para fijar las copas de urethano, corresponde a la dimensión H en la tabla 4.

## 5. DISEÑO ODÓMETRO

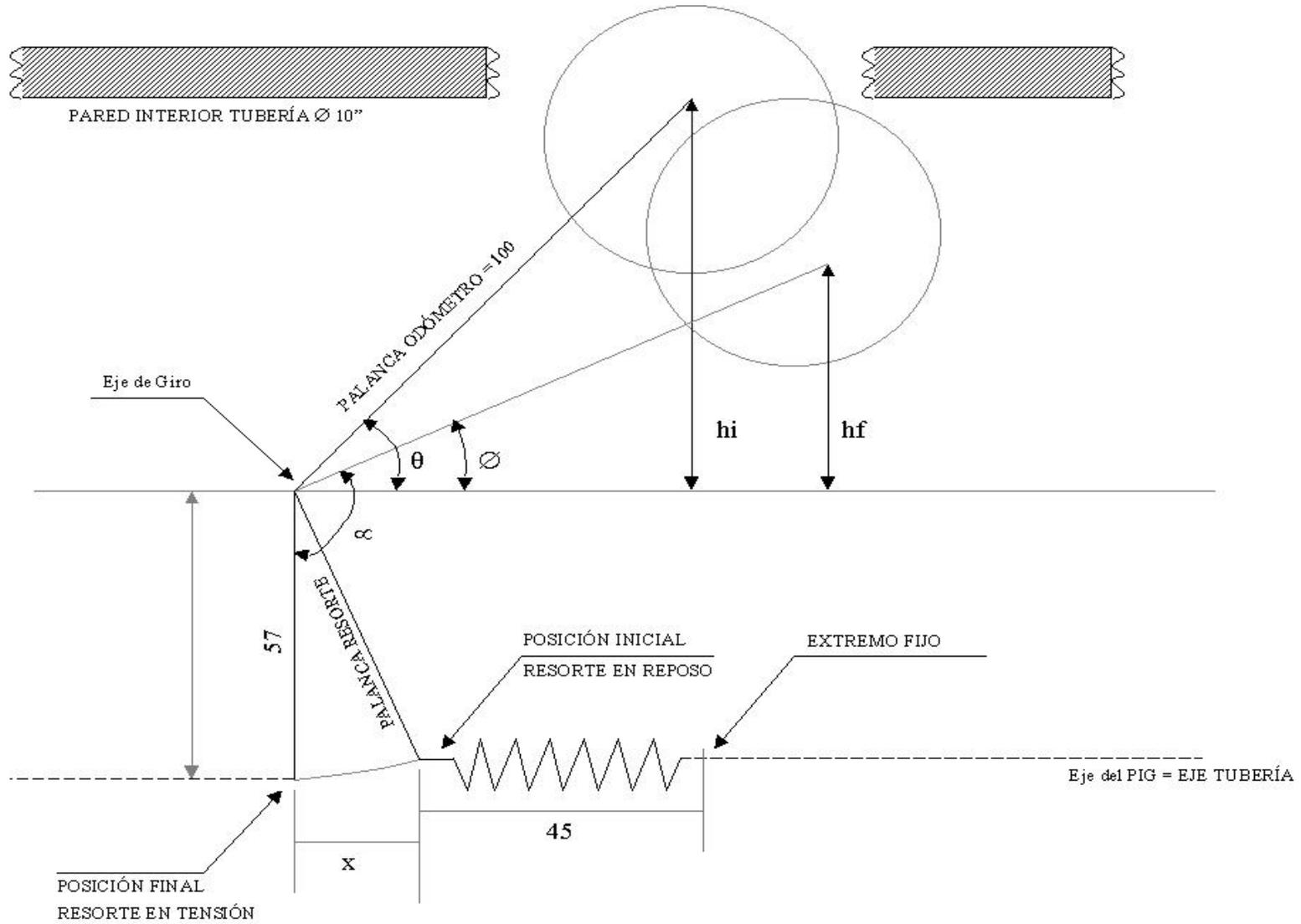
### 5.1 ESPICIFICACIONES DE DISEÑO

Diámetro PIG prototipo:	10 pulgadas	(254 milímetros)
Diámetro eje del PIG:	3 pulgadas	(76 milímetros)
Diámetro rueda odómetro:	2 pulgadas	(50,8 milímetros)
Longitud inicial del resorte:		45 milímetros
Desplazamiento vertical de la rueda:	1 pulgada	(25 milímetros)
Longitud brazo soporte de rueda:		100 milímetros
Longitud brazo accionamiento del resorte:		57 milímetros
Angulo entre brazos:	$\infty$	

El objetivo es calcular el ángulo  $\infty$  que forman los brazos de sujeción de la rueda y el resorte de tal forma que con un descenso vertical de una pulgada en la rueda, el resorte forme un ángulo de  $90^\circ$  con el brazo y así se garantiza una fuerza tensora máxima sobre el resorte por tratarse de una fuerza axial, con esto optimizamos el mecanismo y aseguramos que la rueda permanezca en contacto con la pared interior de la tubería durante el corrido de la herramienta.

El brazo se fija en el vértice del ángulo  $\infty$  con un pasador de tal manera que permita el libre giro del mecanismo.

Fig. 9: DISEÑO GEOMÉTRICO DEL ODÓMETRO



## 5.2 CÁLCULOS

Con base en la figura 9 y aplicando funciones trigonométricas se calcula el valor del ángulo  $\alpha$ .

*Cálculo de  $h_i$*

$$h_i = \frac{\text{Diámetro interno tubería}}{2} - 57 \text{ mm}$$

$$h_i = \frac{254,51 \text{ mm}}{2} - 57 \text{ mm}$$

$h_i = 70,26 \text{ mm}$
--------------------------

*Cálculo del ángulo  $\theta$*

$$\text{Sen } \theta = \frac{h_i}{100 \text{ mm}}$$

$$\theta = \text{Arc Sen } (70,26 \text{ mm} / 100 \text{ mm})$$

$$\theta = 44^\circ 38' 9''$$

*Se aproxima a  $45^\circ$*

$\theta = 45^\circ$
---------------------

*Cálculo de  $h_f$*

$$h_f = \frac{\text{Diámetro interno de tubería}}{2} - \left( \frac{\text{Diámetro Rueda}}{2} + 57 \text{ mm} \right)$$

$$hf = \frac{254,51 \text{ mm}}{2} - \left( \frac{50,8 \text{ mm}}{2} + 57 \text{ mm} \right)$$

$$hf = 44.86 \text{ mm}$$

Cálculo del ángulo  $\alpha$

$$\alpha = 90^\circ + \varnothing$$

$$\alpha = 90^\circ + 26^\circ 39'$$

$$= 116^\circ 39' 14''$$

Para normalizar la fabricación del soporte del odómetro se ajusta el ángulo ( $\alpha$ ) entre el brazo que soporta la rueda y el resorte en 120 grados.

## **6. DISEÑO ELECTRÓNICO DE SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS**

### 6.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

El equipo consta de 4 etapas:

- ✓ Microcontrolador
- ✓ Memoria
- ✓ Conversor A/D
- ✓ Comunicación serial

#### 6.1.1 Microcontrolador

Lee los pulsos del encoder, almacena datos en la memoria RAM, maneja el conversor A/D y envía los datos almacenados al computador cuando recibe la señal. La cantidad de pulsos/vuelta del encoder es independiente de esta parte del sistema y solo cobra importancia al leer los datos obtenidos por el computador, donde por medio de esta relación se calcula la distancia recorrida por el PIG de la forma:

Distancia recorrida por pulso =  $2\pi r / \#Pulsos \times Vuelta$

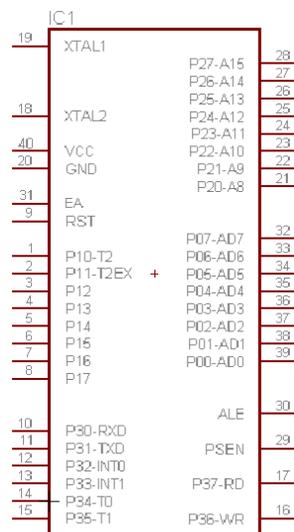


Fig. 10: MICROCONTROLADOR

Al encender el sistema se encuentra listo para leer la señal del encoder. Al recibir un flanco de bajada en la entrada T0 (pin 14) el microcontrolador primero guarda en memoria RAM la cantidad de pulsos contados, comprueba que la memoria tenga capacidad de almacenamiento de datos y de ser así lee y almacena el valor de 16 canales análogos, un canal para cada sensor de campo magnético. Una vez se tienen en la memoria los datos necesarios, se puede conectar la tarjeta al computador y por medio de transmisión serial se reciben y almacenan los datos para poder ser visualizados y emitir el reporte de corrosión del tramo de tubería inspeccionado.

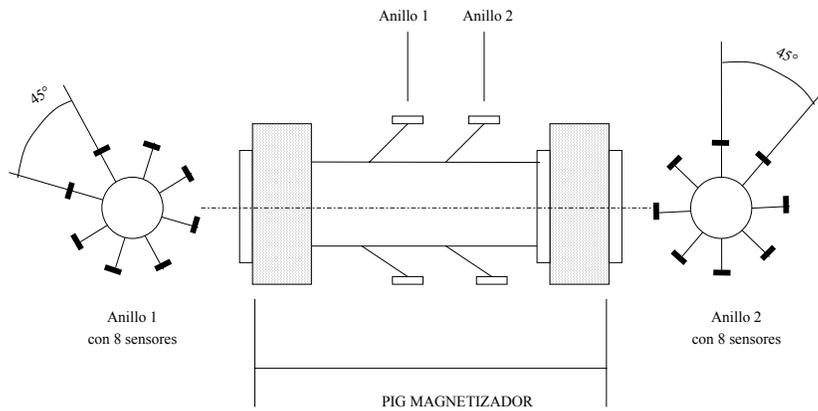


Fig. 11: DISTRIBUCIÓN DE SENSORES MAGNÉTICOS

### 6.1.2 Memoria RAM

El pig prototipo se construyó con una capacidad de almacenamiento de 2Kbytes (2049 datos), ya que con cada pulso del encoder se almacenan 16 canales y la cantidad de pulsos contados, es decir 17 datos por pulso, la cantidad máxima de lecturas almacenadas sería de  $2049/17= 120$ . Para un encoder de prueba de 9mm de radio y 42 pulsos por vuelta (tipo mouse) se almacenarían lecturas para una distancia de 160 mm. En las pruebas se utilizó una rueda de 7.6 cm de diámetro, es decir, el equivalente en distancia de cada pulso sería de 0.24 cm. La distancia total almacenada sería de:

2049 PosMem x 0.24 cm = 4.9 metros

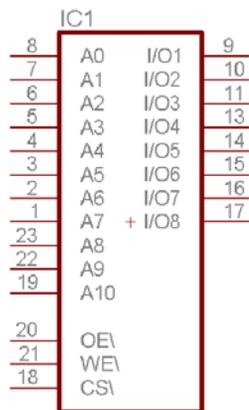


Fig. 12: MEMORIA RAM

Se utilizó dicha memoria para las pruebas debido a que, a diferencia de otras memorias de mayor capacidad, es de fácil consecución y económica. En la implementación del equipo para almacenar los datos de un sensor proyectado a 60 Km para el mismo tipo de encoder se necesitaría una memoria de:

$$60\text{Km}/2.4 \times 10^{-6} = 25 \text{ Mbytes}$$

Lo que equivale a 28 bits. Cabe aclarar que para utilizar una memoria de este tamaño se requeriría hardware adicional para el direccionamiento de la misma.

### 6.1.3 Conversor A/D

Es manejado completamente por el microcontrolador. Mientras no se esté tomando la lectura de datos, el conversor A/D no reconoce ninguna entrada análoga. Al momento en que se recibe un pulso del encoder el microcontrolador envía una señal de Inicio de Conversión al conversor (pines STAR-ALE a Cero) y espera hasta recibir la señal Fin de Conversión (EOC a cero) 100  $\mu\text{s}$  más tarde.

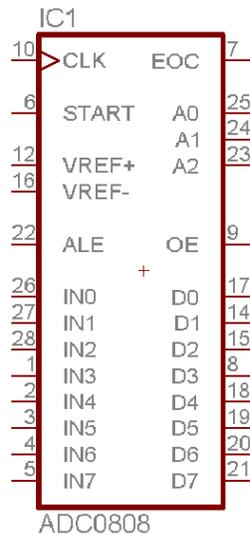


Fig. 13: CONVENSOR ANÁLOGO / DIGITAL

El tiempo aproximado de adquisición para 16 canales sería de  $1600\mu\text{s}$ , ya que las operaciones que efectúa el microcontrolador son mínimas ( $22\mu\text{s}$ ), es decir, el tiempo mínimo de adquisición es de aproximadamente  $2\text{ms}$ . Por lo tanto la velocidad máxima del encoder podrá ser de  $500$  pulsos/s. Para un encoder de  $42$  pulsos/vuelta esto se traduce en  $11$  rev./s o  $714$  rev./min.

#### 6.1.4 Comunicación serial

Es la interfaz que permite comunicar al microcontrolador con el PC. A través del circuito integrado MAX232 se convierte la señal TTL entregada por el micro a una señal  $+12$   $-12$  para RS-232. El microcontrolador se encuentra siempre listo para enviar datos al PC cuando este se lo ordene.

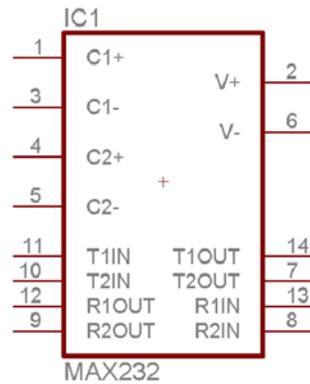


Fig. 14: COMUNICACIÓN SERIAL

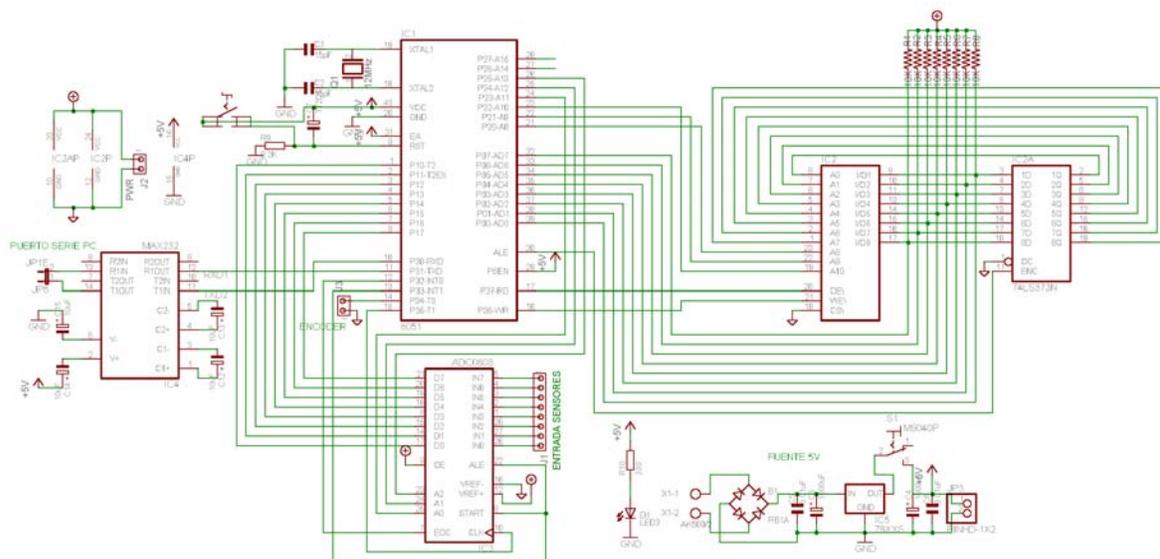


Fig. 15: DIAGRAMA ELÉCTRICO DEL SISTEMA

## 6.2 ALGORITMO

Al encender el sistema, el microcontrolador inicializa las variables y registros especiales para la configuración de interrupciones, transmisión serial, temporizadores y contadores.

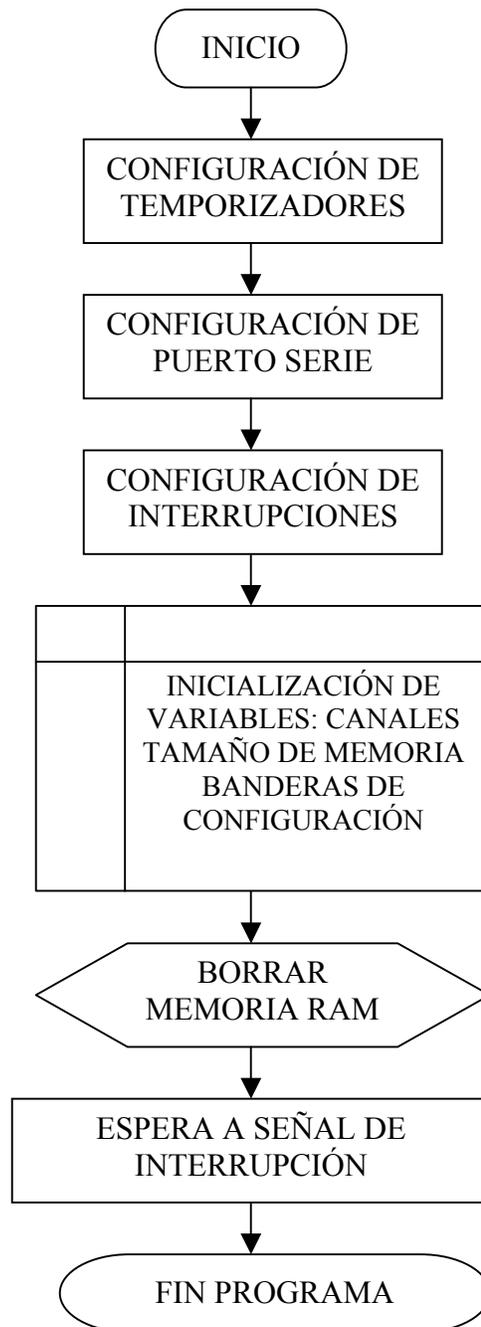
Se borra el contenido de la memoria RAM y permanece esperando bien sea la señal de configuración del computador o los pulsos del encoder para almacenamiento de datos.

Si se recibe la señal de configuración del computador (ASCII "C") por medio de transmisión serial, el microcontrolador entra a la rutina de interrupción del puerto serie y devuelve la señal de confirmación "R". Una vez realizado esto, comienza a guardar los datos de configuración enviados por el ordenador hasta que recibe la señal de fin de configuración (ASCII "F"). Al finalizar este proceso, el microcontrolador permanece listo para una nueva adquisición de datos o configuración. La configuración se refiere a la cantidad de canales a leer, identificación de los mismos y tamaño de la memoria.

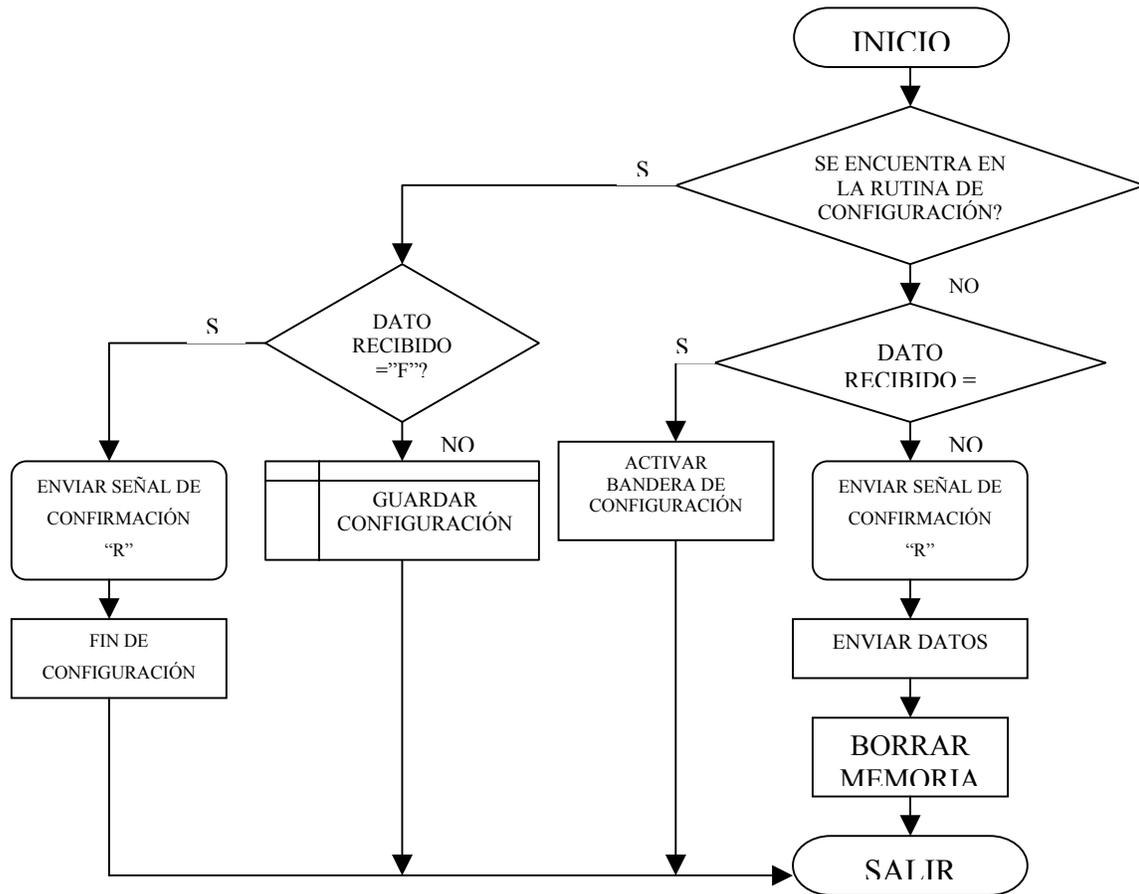
Si la señal recibida por el microcontrolador desde el computador no es la señal de configuración, éste envía la señal de confirmación (ASCII "R") y a continuación comienza el vaciado de los datos de la memoria uno a uno. La cantidad de datos enviados depende del recorrido del equipo, es decir, solo se descargan los datos almacenados en la memoria de acuerdo al número de pulsos del encoder que se traducen en una distancia equivalente. Con cada pulso del encoder se almacenan tantos datos como canales se han habilitado en la configuración. La configuración por defecto habilita la entrada análoga 0. Al finalizar la descarga, se borra el contenido de la memoria y el sistema vuelve al estado de espera de instrucciones, bien sea para iniciar una nueva adquisición o para configuración.

## 6.3 DIAGRAMA DE FLUJO

### 6.3.1 Programa Principal



## 6.3.2 Interrupción Puerto Serie



## 7. REGISTRO DE INSPECCIÓN

Un sistema de reproducción convierte los datos de pasado grabados en indicaciones visibles en un registro de inspección.

Este registro puede presentarse en un gráfico en papel continuo, impreso en papel de computador con pliegue en Z, o en un formato digitalizado visualizado en el monitor de un computador. El formato en el cual se presentan los datos de inspección se determina de acuerdo a la calidad del registro de inspección.

Cada canal de señal muestra las indicaciones registradas por un sensor individual en el PIG de inspección. Los indicadores del canal se mantienen relativamente planos hasta que la desviación registrada en la pared de la tubería a otro evento produce una señal de dispersión de flujo proporcional de la magnitud del evento. Estos eventos aparecen en el gráfico como ondas sinusoidales de amplitud y frecuencia variables. Dependiendo de su geometría, polaridad, agrupamiento, orientación y otras características, las señales se reconocen ya sea como pérdida de pared o como válvulas, uniones T, derivaciones y otras características de la tubería.

Los gráficos de inspección se imprimen en papel de computadora, termo sensible con pliegue en Z a una escala de entre 4,5 y 7,5 metros de tubería por hoja de papel.

### 7.1 GRÁFICOS DE CAMPO Y GRÁFICOS MAESTROS

La impresión inicial de un registro de inspección se denomina “gráfico de campo” ya que se obtiene mientras el equipo de inspección se encuentra en el sitio de la tubería. El gráfico se utiliza para controlar el funcionamiento de la herramienta, seleccionar los lugares donde se realizarán las excavaciones de verificación, inducir al operador de la tubería en las habilidades básicas de lectura de los gráficos y ubicar las áreas que pueden necesitar de un mantenimiento inmediato. Una copia del gráfico de campo se encuentra normalmente disponible dentro de las 24 horas después de una parada exitosa del PIG de inspección.

A continuación de la terminación de las operaciones de campo, la grabación de la inspección se somete a un sistema de reproducción más preciso para obtener un gráfico maestro. Este gráfico se considera el registro formal interpretado de la inspección. Los métodos utilizados para interpretar y presentar los datos de la pasada depende de la calidad de la información registrada.

## 7.2 PROFUNDIDAD DEL DEFECTO

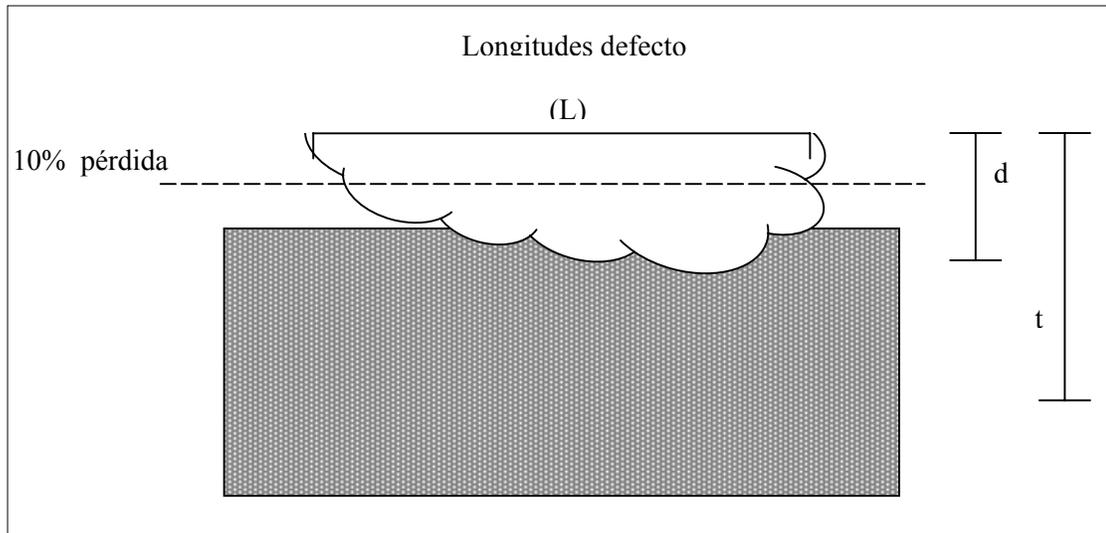
La cantidad de dispersión de flujo magnético que se produce alrededor de una anomalía y la señal resultante generada por el sensor del PIG, son generalmente proporcionales a la cantidad de pérdida de pared. Estas señales se interpretan mediante amplitud y grados de corrosión asignados, los cuales denotan los niveles variables de la severidad. Las cinco bandas de graduación de la corrosión utilizadas en los informes de interpretación son las siguientes:

TABLA N. 5: BANDA DE GRADUACIÓN DE LA CORROSIÓN

GRADO	DENOTA UNA PÉRDIDA DE PARED DE...
1	20 – 30%
2	30 – 40%
3	40 – 50%
4	50 – 60%
5	> 60%

La profundidad de defecto se encuentra definida como un porcentaje de la pérdida del cuerpo de pared hasta un 80% de penetración. El valor de la profundidad del defecto informado, es igual a la profundidad del defecto medido (d) dividido por el espesor de pared nominal (t).

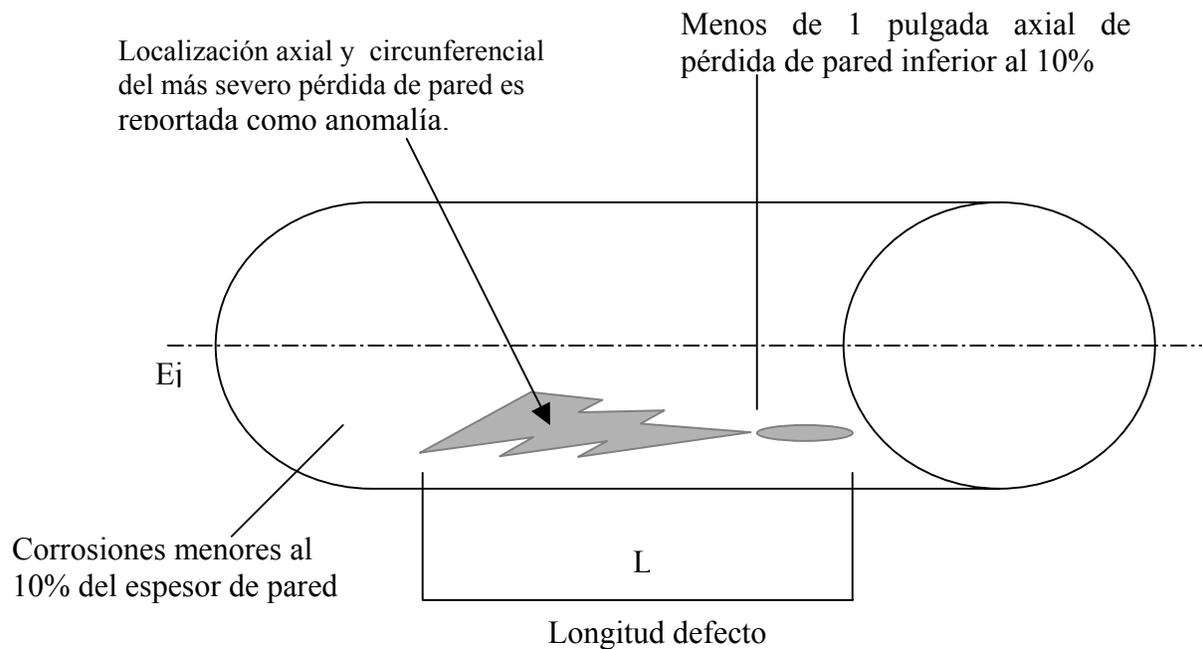
Fig. 16: DIMENSIONES DE UN DEFECTO DE CORROSIÓN



### 7.3 LARGO DEL DEFECTO

Los criterios para las mediciones de largo de la corrosión son los siguientes: el largo del defecto ( $L$ ) se encuentra definido como el área afectada medida en forma paralela al eje longitudinal de la tubería. El área afectada está definida como una región en la tubería donde la separación entre los largos medidos de dos defectos, no excede una pulgada longitudinalmente y/o cuatro pulgadas circunferencialmente. El criterio aplicado para los cálculos de largo del defecto es la distancia axial entre los puntos de inicio y final de un área de defecto afectada, con los límites del defecto determinados como toda la pérdida de cuerpo de pared mayor o igual al 10% del espesor de pared. La anomalía continua para codificar como un defecto simple hasta que la pared reforme al 90% o mayor de espesor de pared nominal para una distancia axial mayor a una pulgada. Las locaciones axial y circunferencial registradas de un defecto se relacionan con la indicación más severa dentro de la anomalía.

Fig. 17: REGISTRO DEL DEFECTO MAS SEVERO



La pérdida de pared tan baja como el 10% es generalmente registrada durante la inspección. El informe formal de los defectos normalmente comienza donde la pérdida de pared alcanza el 20% en inspecciones convencionales. El largo de los defectos está determinado como toda la pérdida de pared mayor o igual al 10% del espesor de pared. La anomalía continúa para calificar como un defecto simple hasta que la pared reforma el 90% o mayor de espesor de pared nominal para una distancia axial mayor a una pulgada.

## 8. SIMULACIÓN DE CORRIDA DEL PIG

La imposibilidad de disponer de un tramo de poliducto para correr el PIG prototipo hace necesario probar el sistema de registro del avance (odómetro) recurriendo a una simulación utilizando una banda transportadora.

### 8.1 BANDA TRANSPORTADORA

Se utilizó la banda transportadora del equipo de robótica SCORBOT que posee la Universidad Nacional sede Manizales, esta banda posee las siguientes características:

TABLA N. 6 CARACTERÍSTICAS DE LA BANDA TRANSPORTADORA

Longitud de la banda:	166 cms
Ancho	6 cms
Velocidad máxima	0,1276 m/seg
Variación de velocidad	0 – 100%
Posición de corrida	Horizontal
Accionamiento	Control manual
Material	Caucho

#### 8.1.1 Sensores utilizados en la simulación

Para obtener el objetivo específico de medir y registrar el avance del PIG cuando es corrido en un ducto, para el sistema odométrico se utilizó como único sensor un encoder marca Vernitech referencia 36G de 100 pulsos por revolución acoplado coaxialmente con el eje de la rueda odométrica (ver plano 7 de 8 anexo).

El encoder tiene un diámetro de 6,7 centímetros, mientras que la rueda odométrica tiene 5 centímetros, por esta razón se fabricó una nueva rueda odométrica con un diámetro de 7.6 centímetros y evitar el contacto del encoder con la banda transportadora.

En la tarjeta de adquisición se dejaron 16 canales, un canal para cada sensor magnético, se previó que los sensores magnéticos tengan una señal de salida de 0 – 5 V, con este rango de voltaje para la señal se diseñó el software para el registro gráfico de la corrida del PIG.

La generación del campo magnético y la selección, adquisición e instalación de sensores magnéticos no son de alcance del proyecto, para simular la presencia de un sensor magnético se emplea una fuente de voltaje con rango de 0 – 5V y se utiliza uno de los 16 canales disponibles en el sistema de adquisición de datos.

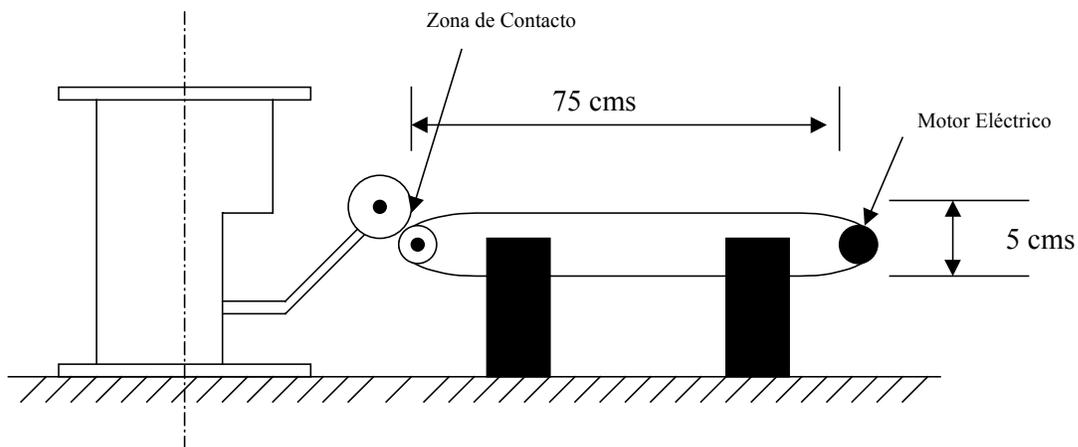
### 8.1.2 Acople del PIG con la banda

Para acoplar el PIG con la banda se colocó el eje metálico sin las copas de urethano en posición vertical y sobre la misma superficie que soporta la banda transportadora. La zona de contacto del odómetro con la banda se logró llevando el brazo que soporta el odómetro a una posición final igual a la que tendría si estuviera dentro de un ducto de 10” para el cual fue diseñado de tal manera que el resorte tensionado hace que la rueda odométrica ejerza una presión de contacto sobre la banda y garantice contacto permanente durante las pruebas.

El material elástico de la banda, el material plástico de la rueda y los rodamientos del sistema hacen que el acople no presente obstrucciones.

Antes de iniciar las simulaciones y conociendo el perímetro del odómetro, la longitud de la banda se comprobó la eficiencia del acople. La comprobación consistió en poner en movimiento el sistema, la velocidad máxima de la banda partiendo del reposo y estableciendo marcas o guías tanto en la rueda odométrica como en la banda para confrontar el recorrido de cada una, para cada vuelta de la banda se obtuviera aproximadamente siete vueltas del odómetro.

Fig. 18: ACOUPLE PIG - BANDA



Para supervisar el funcionamiento del sistema de adquisición de datos se colocó fuera del PIG.

Velocidad del gas fluyendo en tubería.

La velocidad es una de las variables para verificar la eficiencia de la simulación comparada con el paso del PIG en una inspección real.

Cálculo de la velocidad del gas.

$$V = 0,75 Q / d^2 P$$

Donde =  $V$  = Velocidad en pies/seg.

$Q$  = Volumen de gas en miles de pies cúbicos hora en condiciones estándar (A 14.7 psi y 60° F).

$d$  = Diámetro interior de la tubería en pulgadas

$P$  = Presión en psia (Presión absoluta)

Tomada la velocidad promedio en diversos gasoductos, ésta varía entre 0,2 y 0,45 mts/seg.

La velocidad menor en la banda no afecta la simulación ya que el sistema de rodamientos (rodillos), conque cuenta el odómetro, en material plástico de rueda y la limpieza interior de las tuberías no permiten que la rueda se frene o ruede libre cuando el pig esté estático.

La velocidad del gas que es la misma con que se desplaza el pig incide en la precisión de la inspección de acuerdo con el tiempo mínimo de adquisición de datos, para el prototipo se tiene un tiempo mínimo de 2 m seg.

Tomando la velocidad max de 0,45 m/s (450 mm/s) y un tiempo mínimo de adquisición de 2 m s, se estarían tomando datos cada 0,45 milímetro de tubería. Esto da una inspección de altísima precisión.

#### 8.1.3 Simulación de corrosión

Se empleó el canal cero para simular la señal del sensor magnético generando pulsos de 5 voltios utilizando fuente de voltaje.

#### 8.1.4 Primera simulación

En la primera simulación se generaron dos pulsos, el primero en forma puntual cuando la banda había recorrido una longitud de 123 cms, y el segundo fue un pulso de 5 vol sostenido 4 milisegundos cuando la banda había recorrido 150 centímetros, con este segundo pulso se buscaba simular la detección de una corrosión alargada.

#### 8.1.5 Segunda simulación

Para la segunda prueba se programa un tren de pulsos de 5 vol cada uno, sosteniendo el pulso durante 4 milisegundo e interrumpido por espacio de 8 milisegundos. El primer pulso se inició cuando la banda había recorrido 61 centímetros y el último pulso terminó cuando se habían recorrido 194 centímetros.

Fig. 19: REGISTRO GRÁFICO DE LA PRIMERA SIMULACIÓN

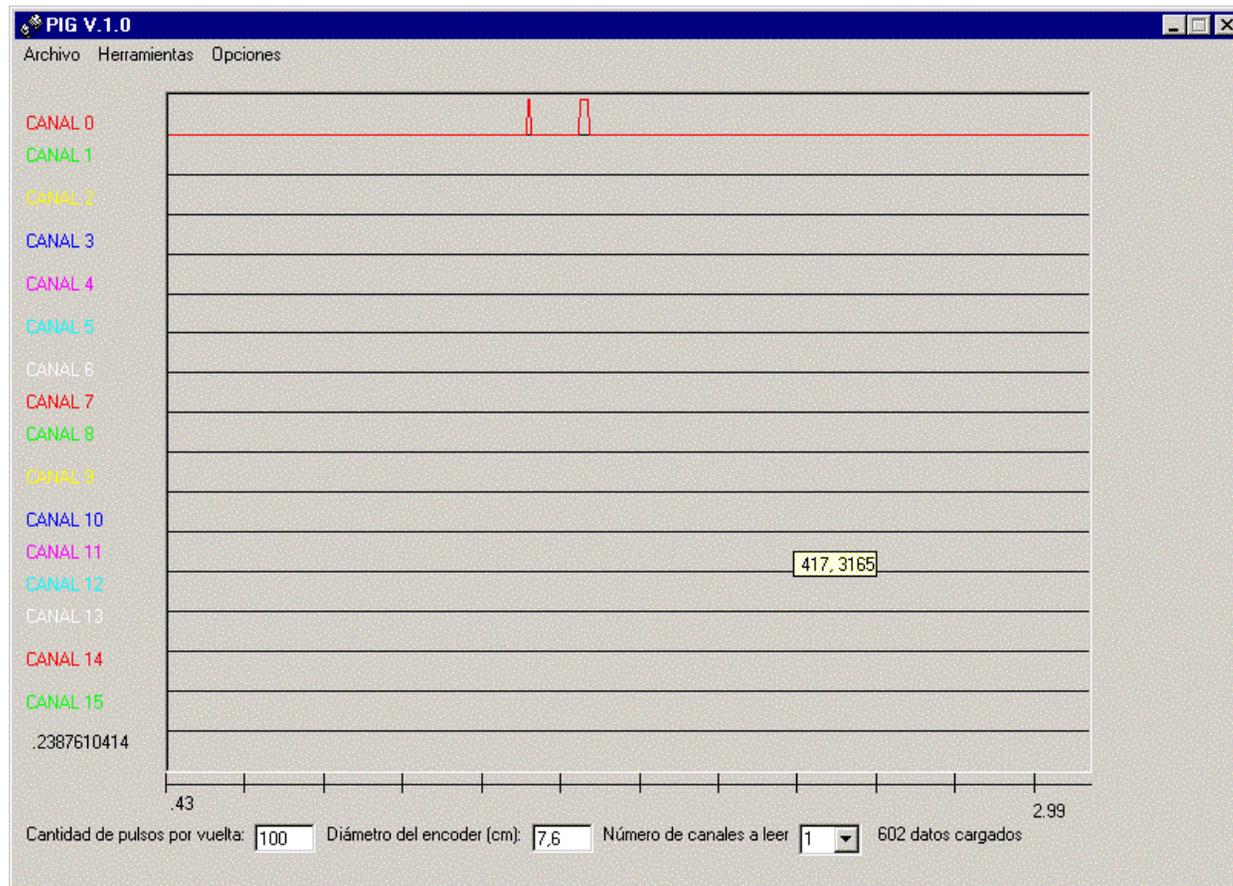
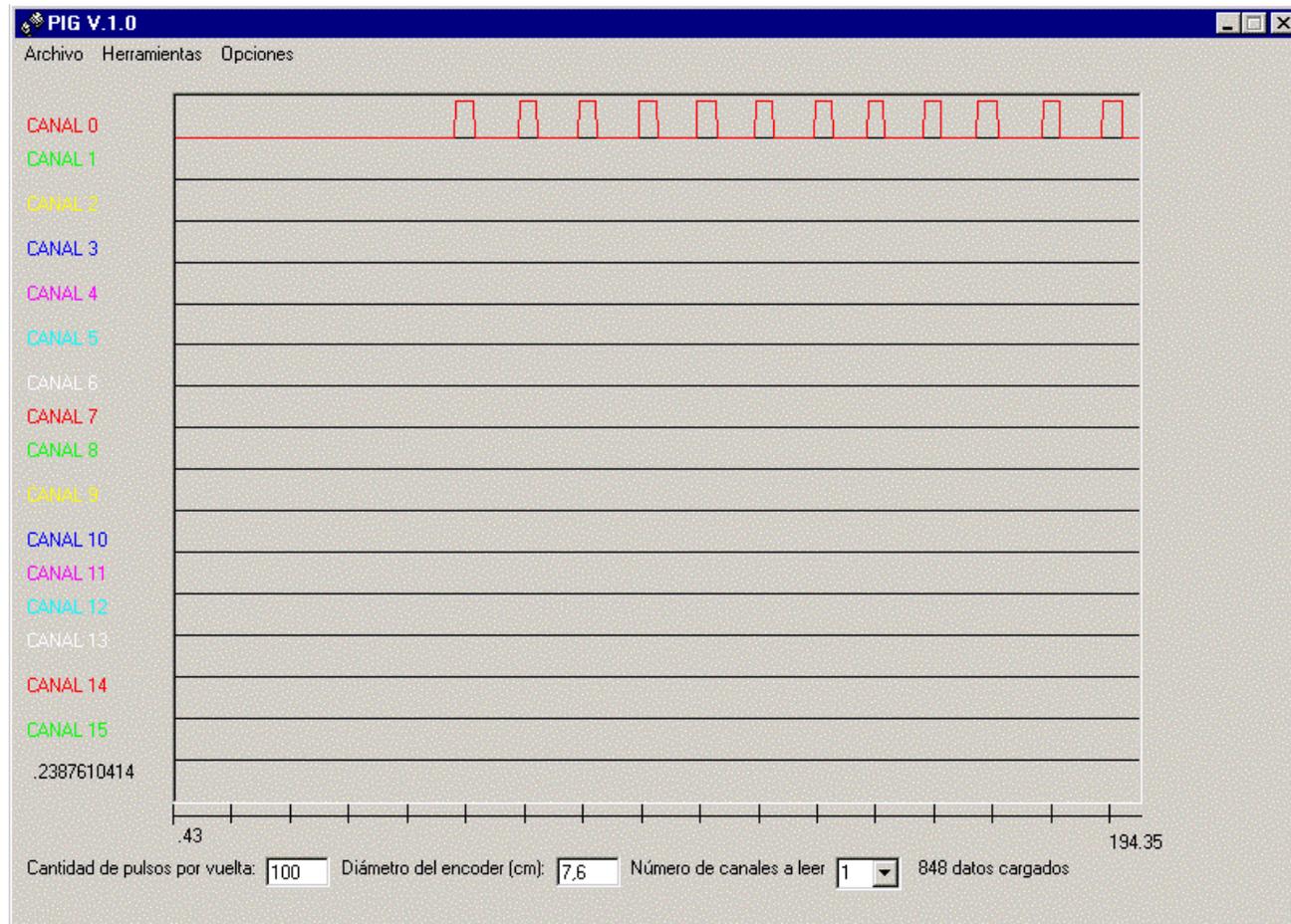


Fig. 20: REGISTRO GRÁFICO SEGUNDA SIMULACIÓN



## CONCLUSIONES

Revisando el desempeño del prototipo en la simulación, la distancia promedio que entre los sistemas de envío y recibo en los poliductos, que es de aproximadamente 60 kms, se sacaron las siguientes conclusiones.

El tiempo de adquisición de 2 milisegundos combinado con una velocidad máxima del PIG da una longitud de muestreo de cada 2 milímetros en la tubería, esta longitud implica muy buena precisión de inspección, garantiza la detección de la tubería en toda su longitud.

En la fabricación de una herramienta para inspeccionar tubería, se podrían usar encoder de 10 pulsos por revolución, esto aumentaría la capacidad de almacenamiento de información sin detrimento de la precisión.

Lo más práctico sería que el encoder quedara dentro del espacio donde se ubica el sistema de adquisición, con la hermeticidad de este lugar, la herramienta podría comerse con hidrocarburos líquidos.

El prototipo se construyó con un solo odómetro, una herramienta de inspección debería construirse con tres odómetros uniformemente distribuidos en el perímetro del PIG para que en el caso de falla de uno de los sistemas se tenga por lo menos dos sistemas de registro de avance y no perder la corrida del PIG.

Se recomienda que para el PIG magnetizador, el campo magnético se genere utilizando imanes y no bobinas, esto evita el uso de baterías y optimiza la dimensión y peso de la herramienta en conjunto.

El mecanismo de encoder, tamaño del sistema de adquisición hacen posible fabricar herramientas para la inspección de tuberías con diámetro de mínimo de 8" cumpliendo con el tamaño que debe tener los PIG.

**BIBLIOGRAFÍA**

PIPE LINE. Rules of thumb handbook. Editorial Gulf Publishing Company. Third Printing, October 1982.

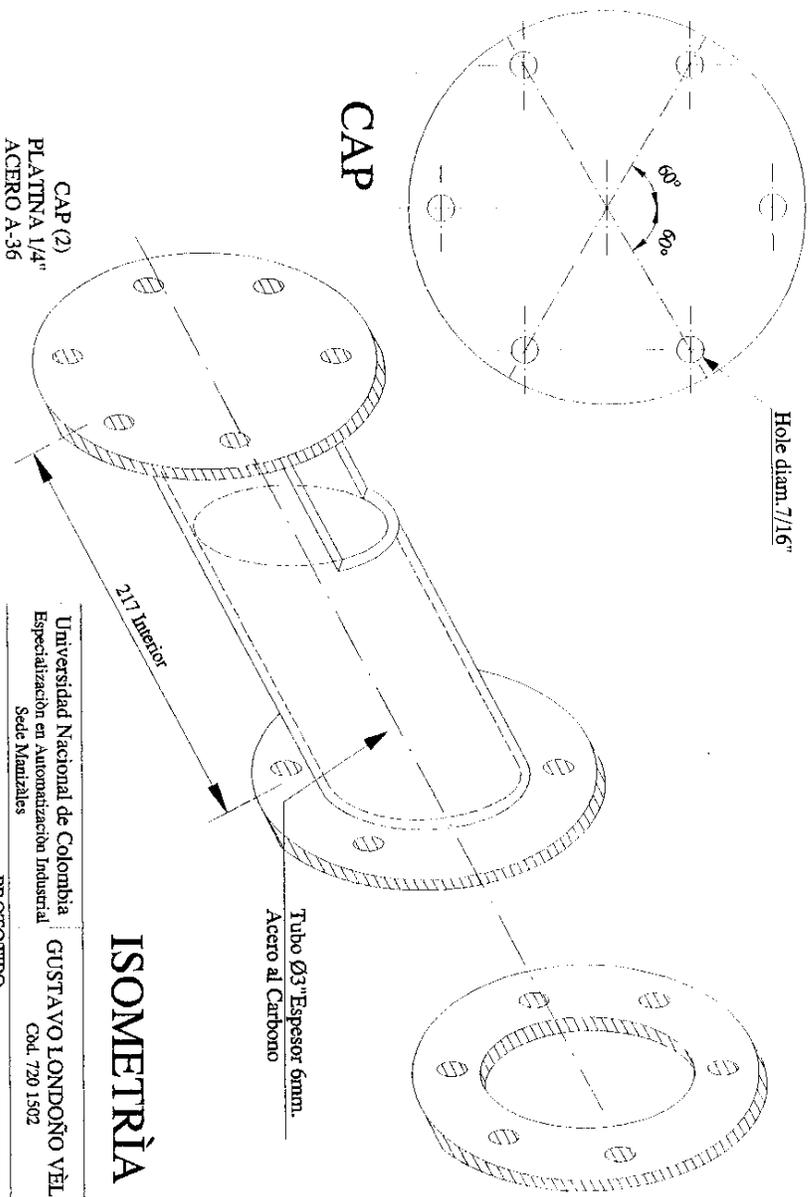
POCKET GUIDE. Flanges, Fittings y Piping Data. Thiva Edition, R.R. Lee, 1999.

Empresa Colombiana de Petróleos. Normas de Ingeniería de Oleoductos, Gerencia Técnica. Febrero 1997.

Petroleum Extension Service. Field Handling of Natural Gas. The University of Texas at Austin. Third Edition, 1972.

ASME B31.8. Gas transmission and distribution. Piping Systems, Revisión 1995.

**ANEXOS**



**CAP**

CAP (2)  
 PLATINA 1/4"  
 ACERO A-36

Hole diam. 7/16"

2.17 Interior

Tubo Ø3" Espesor 6mm.  
 Acero al Carbono

**ISOMETRÍA**

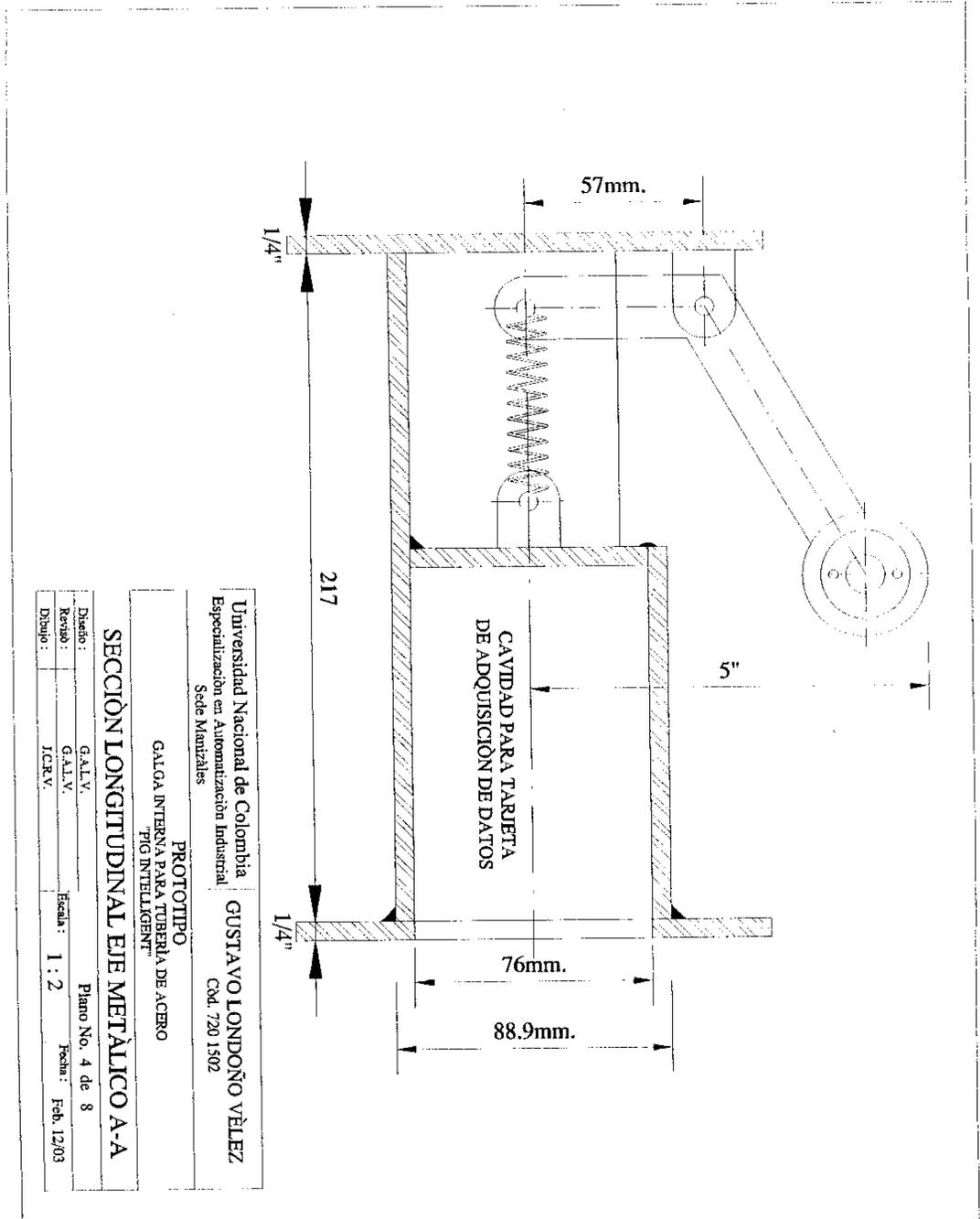
Universidad Nacional de Colombia  
 Especialización en Automatización Industrial  
 Sede Manizales

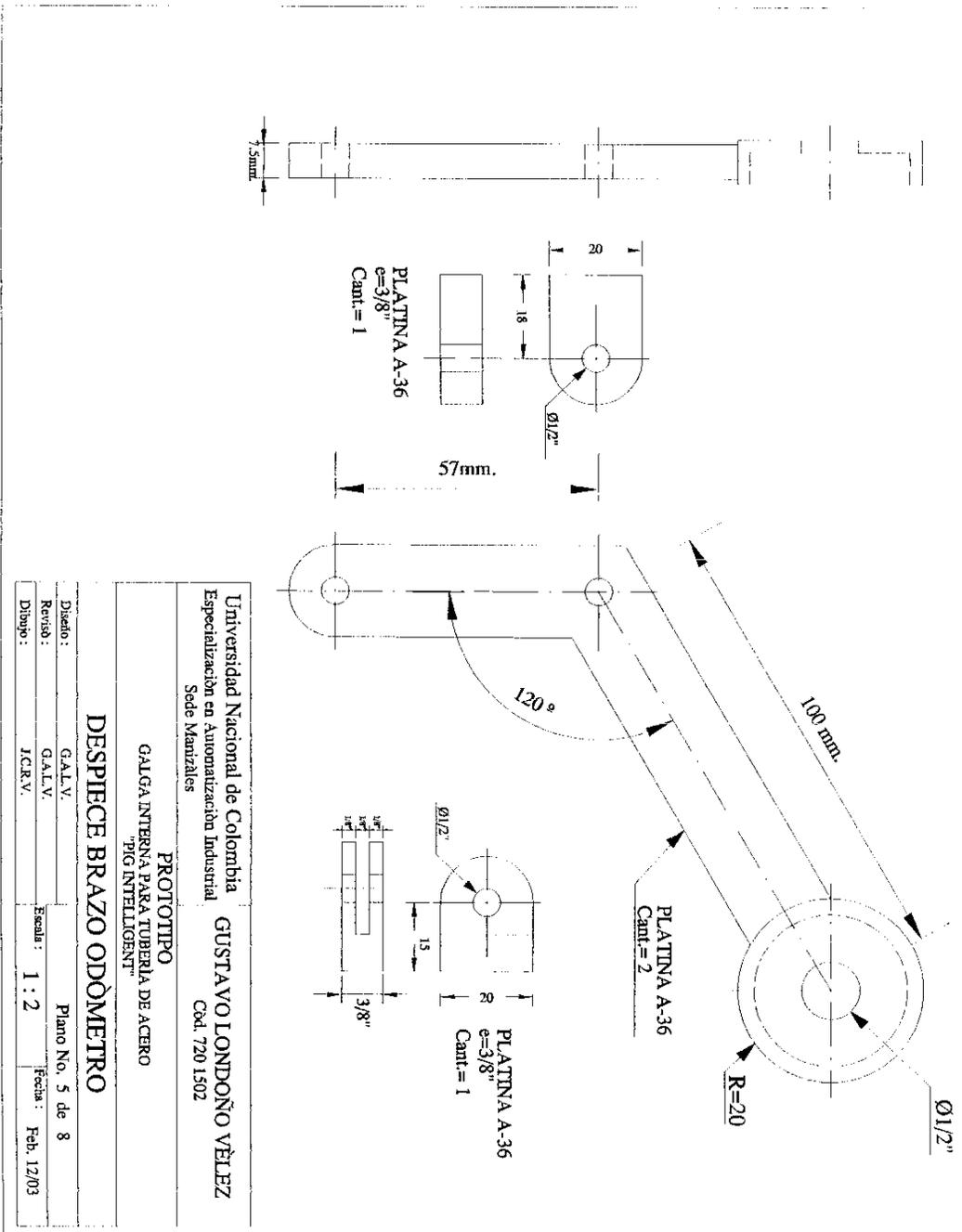
GUSTAVO LONDOÑO VÉLEZ  
 Cód. 720 1502

PROTOTIPO  
 GALGA INTERNA PARA TUBERÍA DE ACERO  
 PIG INTELIGENT™

**EJE DEL PIG**

Diseño:	GALV.	Página No. 3 de 8
Revisó:	GALV.	Escala: 1 : 2
Dibujó:	JCRV.	Fecha: Feb. 12/03



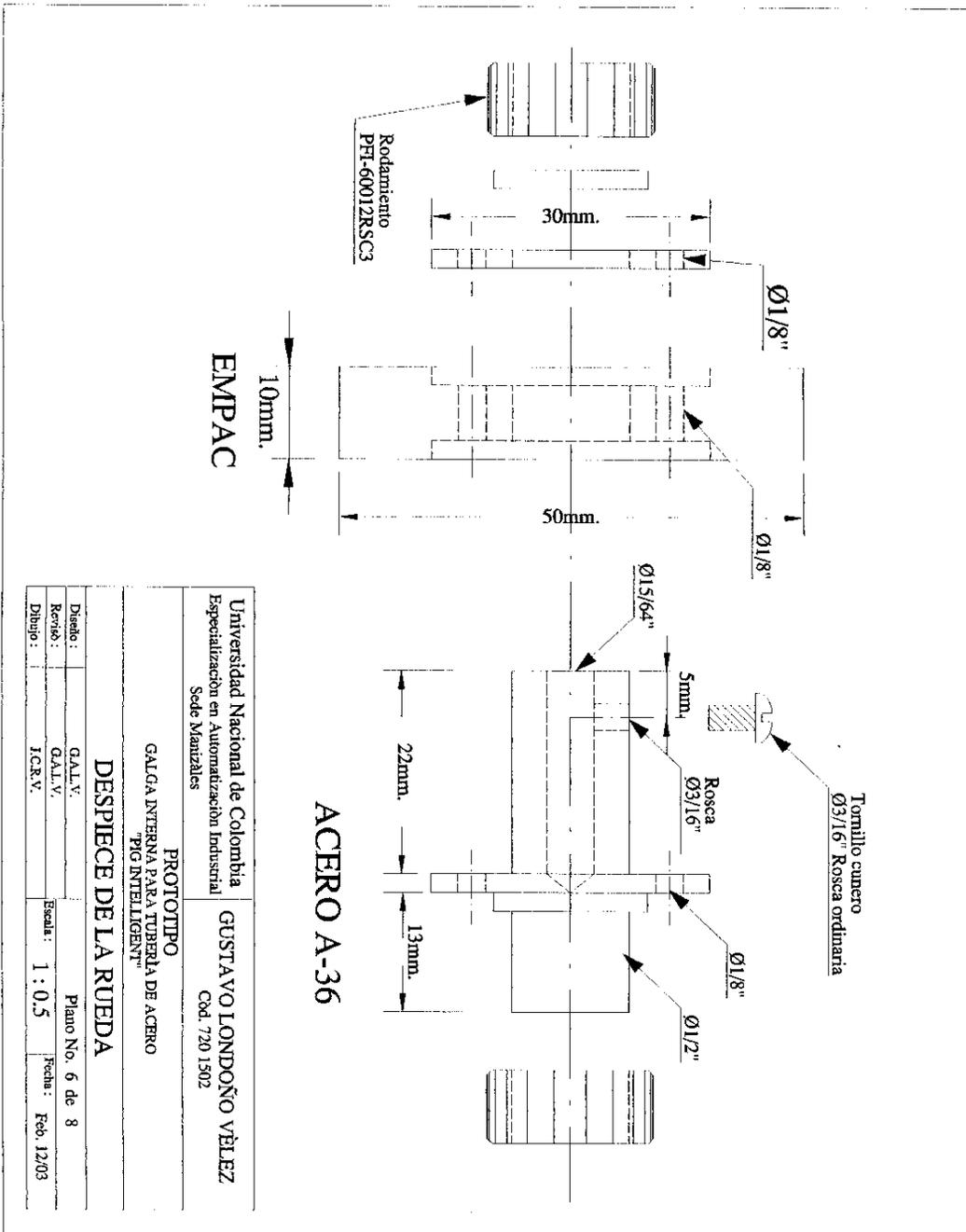


Universidad Nacional de Colombia  
 Especialización en Automatización Industrial  
 Sede Manizales  
 GUSTAVO LONDOÑO VELEZ  
 Cód. 720 1502

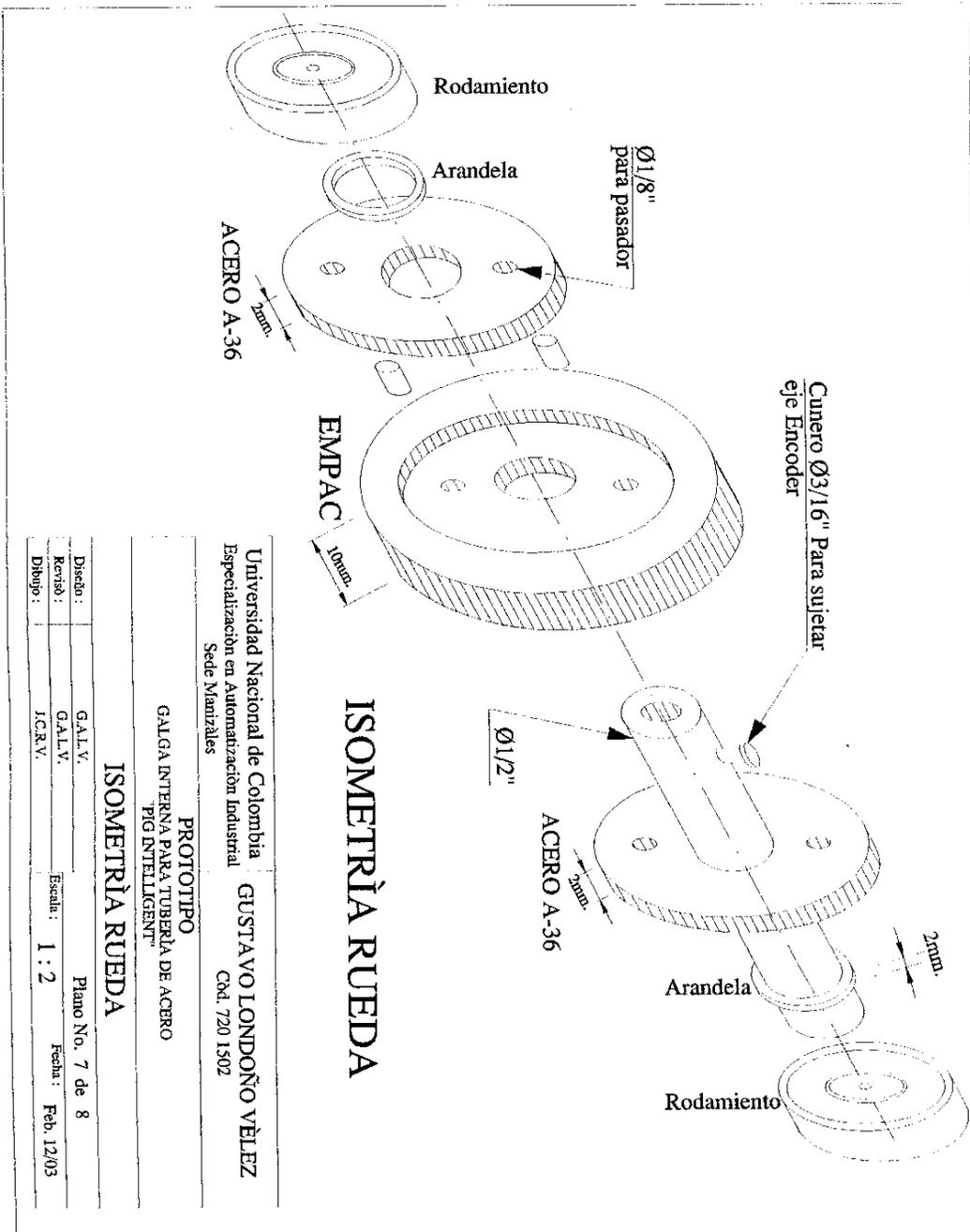
PROTOTIPO  
 GALGA INTERNA PARA TUBERÍA DE ACERO  
 "PG INTELLIGENT™"

**DESPIECE BRAZO ODÓMETRO**

Diseño:	G.A.L.V.	Piano No. 5 de 8
Revisó:	G.A.L.V.	Escala: 1 : 2
Dibujó:	J.C.R.V.	Fecha: Feb. 12/03



Universidad Nacional de Colombia Especialización en Automatización Industrial Sede Manizales		GUSTAVO LONDOÑO VÉLEZ Cód. 730 1502	
PROTOTIPO GALGA INTERNA PARA TUBERÍA DE ACERO "PIG INTELIGENT™"			
<b>DESPIECE DE LA RUEDA</b>			
Diseño : GAL.V. Revisó : GAL.V. Dibujo : J.C.R.V.	Plano No. 6 de 8		Fecha : Feb. 12/03

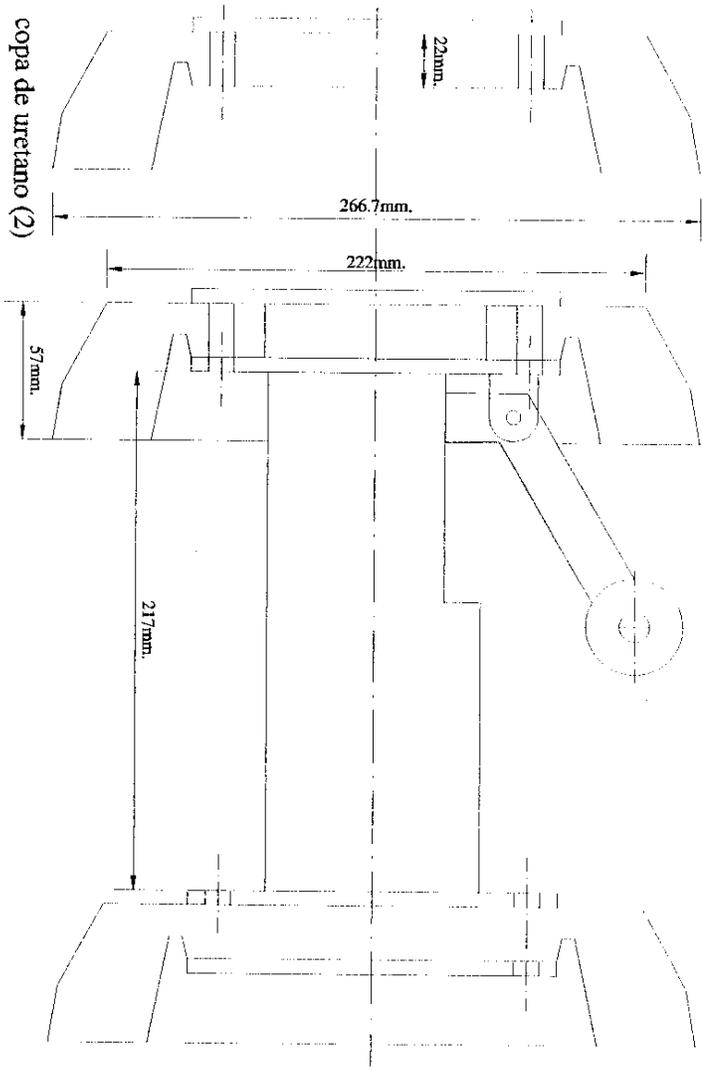


Universidad Nacional de Colombia  
 Especialización en Automatización Industrial  
 Sede Manizales  
**GUSTAVO LONDOÑO VÉLEZ**  
 Cód. 720 1502

PROTOTIPO  
 GALGA INTERNA PARA TUBERÍA DE ACERO  
 "PIG INTELLIGENT™"

**ISOMETRÍA RUEDA**

Diseño:	GALV.	Plano No. 7 de 8
Revisó:	GALV.	
Dibujo:	J.C.R.V.	Escala: 1 : 2 Fecha: Feb. 12/03



**PIG COMPLETO**

Universidad Nacional de Colombia		GUSTAVO LONDOÑO VELEZ	
Especialización en Automatización Industrial		Cód. 720 1502	
Sede Manizales			
PROTOTIPO			
GALGA INTERNA PARA TUBERÍA DE ACERO			
"PIG INTELLIGENT"			
<b>PIG COMPLETO</b>			
Diseño:	G.A.L.V.	Plano No. 8 de 8	
Revisó:	G.A.L.V.		
Dibujó:	J.C.R.V.	Escala: 1 : 2	Fecha: Feb. 12.03

## A. SOFTWARE

El software fue diseñado en 2 lenguajes: assembler y Visual Basic.

### Software en Assembler

```
;Cuenta los pulsos del encoder, con cada flanco de bajada se guarda en memoria externa de
datos
;el numero de pulsos contados y la lectura de los canales análogos según la configuración
;Los pulsos se cuentan a través del contador 0, pin 14, P3.4
;Con cada flanco de bajada se incrementa el contador
;Con cada flanco de bajada en el pin STR_ALE del CAD se inicia una nueva conversión, el
pin EOC permanece en 0
;hasta que los datos estén listos, entonces pasa de 0 a 1 y está listo para una nueva conversión

$MOD51
;Definición de variables

;Bits banderas
CONFIG EQU 20H.0;Indica si se ha entrado a la rutina de configuración

;Tabla de configuración
N_CHAN EQU 30H ;Almacena número de canales a leer
N_PULS EQU 31H ;Almacena número de pulsos para contar

;Variables para conteo de longitud
PULSOSL EQU 44H ;Parte baja del conteo máximo de pulsos
PULSOSH EQU 45H ;Parte alta del conteo máximo de pulsos
```

;Variables para el manejo del CAD

CANAL0 EQU 46H

CANAL1 EQU 47H

CANAL2 EQU 48H

CANAL3 EQU 49H

CANAL4 EQU 4AH

CANAL5 EQU 4BH

CANAL6 EQU 4CH

CANAL7 EQU 4DH

CANAL8 EQU 4EH

CANAL9 EQU 4FH

CANAL10 EQU 50H

CANAL11 EQU 51H

CANAL12 EQU 52H

CANAL13 EQU 53H

CANAL14 EQU 54H

CANAL15 EQU 55H

CHANNEL EQU 56H

DIRALTA EQU 58H

DIRBAJA EQU 59H

;Constantes

CANALES EQU 1 ;Cantida de canales a leer

VRALTA EQU 8H ;Tamaño de la memoria

VRBAJA EQU 0FFH;Tamaño de la memoria

;Puertos

DATOS EQU P1

```
;El direccionamiento del canal se realiza por P2
;P2.3 --> A
;P2.4 --> B
;P2.5 --> C
;P2.6 --> D

;Bits puertos
A8 EQU P2.0
A9 EQU P2.1
A10 EQU P2.2
SEL_A EQU P2.3
SEL_B EQU P2.4
SEL_C EQU P2.5
WRT EQU P2.6           ;Indica que se han escrito datos en la memoria
FULL_RAM EQU P2.7     ;Indica que se ha llenado la memoria

RECEIVE EQU P3.0
TRANSMI EQU P3.1
EOC EQU P3.2
STR_ALE EQU P3.3
ENCODER EQU P3.4
CLK EQU P3.5

                AJMP PROGRAMA

ORG 0BH         ;Interrupción del contador 0
;Obtiene el dato del conversor A/D y lo almacena en RAM externa
                AJMP INT_ET0

ORG 23H        ;Interrupción puerto serie
```

;Envía primero la "R" para confirmar la transmisión correcta, luego la cantidad de pulsos contados

;y por último los datos de la memoria RAM

JB CONFIG,GUARDAR\_CONF ;Si está activo el bit de configuración,  
almacena los datos

MOV A,SBUF ;Rescata el dato recibido

CJNE A,#'C',ENVIAR ;Si el dato recibido es "C" activa la señal de  
configuración

SETB CONFIG

MOV R1,#N\_CHAN

CLR RI

CLR TI

RETI

GUARDAR\_CONF: MOV A,SBUF

CJNE A,#'F',SAVE\_CONF

CLR IE.7

MOV SBUF,#'R'

ACALL WAIT\_TI

MOV CHANNEL,N\_CHAN ;Salva número de canales a leer

CLR CONFIG

CLR RI

CLR TI

SETB IE.7

RETI

SAVE\_CONF: MOV @R1,A

INC R1

CLR RI

```

        CLR TI
        RETI

ENVIAR:          CLR IE.7           ;Detiene las interrupciones
                MOV SBUF,#'R'       ;Envia señal de "Recibido"
                ACALL WAIT_TI
                MOV A,DPL
                MOV SBUF,A           ;Envía la parte baja de los pulsos contados
                ACALL WAIT_TI
                MOV A,DPH
                MOV SBUF,A           ;Envía la parte alta de los pulsos contados
                ACALL WAIT_TI
                MOV DIRBAJA,DPL
                MOV DIRALTA,DPH
                INC DIRALTA
                MOV DPTR,#1
                JNB WRT,ENVIAR_MEM   ;Si no se han contado pulsos se envía el contenido
de la RAM
NEXT_POSMEM:    MOVX A,@DPTR         ;Lee el dato
                MOV SBUF,A           ;Envía el dato
                ACALL WAIT_TI
                INC DPTR
                DJNZ DIRBAJA,NEXT_POSMEM
                DJNZ DIRALTA,NEXT_POSMEM
                MOV DPTR,#1
                CLR WRT               ;Señal luminosa que indica que la memoria está
lista para
                CLR RI               ;ser escrita desde el principio
                SETB IE.7

```

```
RETI
```

```
;Envia el contenido de la memoria RAM externa
```

```
ENVIAR_MEM:  MOVX A,@DPTR
              INC DPTR
              MOV SBUF,A
              ACALL WAIT_TI
              DJNZ DIRBAJA,ENVIAR_MEM
              DJNZ DIRALTA,ENVIAR_MEM
              MOV DIRBAJA,#VRBAJA
              MOV DIRALTA,#VRALTA
              MOV DPTR,#1
              CLR RI
              SETB IE.7
              RETI
```

```
;Interrupción del contador 0, se activa con cada pulso del encoder
```

```
INT_ET0:  MOV TL0,#0FFH
           MOV TH0,#0FFH
           JB FULL_RAM,SALIR      ;Sale de la interrupción sin guardar en caso que la
RAM este full
           CLR C                  ;Comprobación del estado de la RAM, si esta llena o no
           MOV A,PULSOSL          ;se resta a la dirección actual de la memoria el
tamaño total de
           SUBB A,DPL              ;esta, si el resultado es positivo quiere decir que se ha
           MOV A,PULSOSH          ;sobrepasado el tamaño de la memoria
           SUBB A,DPH
           JNC NEXT_CHAN          ;Si no hay carry, no se ha llenado la memoria
           SETB FULL_RAM          ;Se ha llenado la memoria
```

```

        SJMP SALIR
NEXT_CHAN:    MOV A,@R0        ;Carga la dirección del canal
              MOV P2,A        ;Envía al CAD la dirección del canal
              CLR STR_ALE     ;Flanco de bajada para iniciar una nueva
conversión
FIN_CONVERSION:CPL CLK
              JNB EOC,FIN_CONVERSION ;Espera la señal de fin de conversión
              SETB STR_ALE
              MOV A,DATOS     ;Valor del CAD
              MOVX @DPTR,A    ;Guarda el dato correspondiente al canal
              INC DPTR        ;Proxima dirección de RAM
              CLR C
              MOV A,PULSOSL
              SUBB A,DPL
              MOV A,PULSOSH
              SUBB A,DPH
              JNC SAVE_CHAN   ;Si no hay carry, no se ha llenado la memoria
              SETB FULL_RAM   ;Se ha llenado la memoria
              SJMP SALIR
SAVE_CHAN:    INC R0
              DJNZ N_CHAN,NEXT_CHAN ;CHANNEL almacena la cantidad de
canales a leer
              MOV N_CHAN,CHANNEL ;Carga nuevamente número de canales a leer
              MOV R0,#CANAL0   ;Apunta a las habilitaciones de los canales para el
CAD
              SETB WRT         ;Indica que se han escrito datos en la memoria
SALIR:       RETI
WAIT_TI:     JNB TI,WAIT_TI

```

```
CLR TI
```

```
RET
```

```
;Programa principal
```

```
;Inicialización de variables y registros
```

```
PROGRAMA:      MOV SCON,#01010000B ;Comunicación serial en modo 1, 8 bits;
habilita recepción
```

```
      MOV PCON,#00000000H ;No se dobla la velocidad de transmisión
```

```
      MOV TMOD,#25H ;Contador 0 en modo 1, 16 bits, control por
software; T1 modo 2
```

```
      MOV TL0,#0FFH ;Al recibir un pulso se sobrepasa y salta a la
interrupción
```

```
      MOV TH0,#0FFH ;del contador
```

```
      MOV TL1,#0E6H ;1200 baudios o 2400 baudios si SMOD es 1
```

```
      MOV TH1,#0E6H
```

```
      MOV PULSOSL,#0FFH ;Cantidad de pulsos contados --> 16 bits
```

```
      MOV PULSOSH,#07H
```

```
      MOV CANAL0,#00000111B ;Direccionamiento de los canales del CAD
```

```
      MOV CANAL1,#00001111B
```

```
      MOV CANAL2,#00010111B
```

```
      MOV CANAL3,#00011111B
```

```
      MOV CANAL4,#00100111B
```

```
      MOV CANAL5,#00101111B
```

```
      MOV CANAL6,#00110111B
```

```
      MOV CANAL7,#00111111B
```

```
      MOV CANAL8,#01000111B
```

```
      MOV CANAL9,#01001111B
```

```
      MOV CNAL10,#01010111B
```

```
      MOV CNAL11,#01011111B
```

```

MOV CNAL12,#01100111B
MOV CNAL13,#01101111B
MOV CNAL14,#01110111B
MOV CNAL15,#01111111B
MOV CHANNEL,#CANALES ;Carga el número de canales a leer del CAD por
defecto 1
MOV IE,#10010010B ;Habilita interrupción del contador 0 y puerto serie
MOV R0,#CANAL0 ;Apunta al canal del CAD
MOV R1,#N_CHAN ;Apunta a tabla de configuración
MOV N_CHAN,CHANNEL
SETB TCON.4 ;Habilita contador
SETB TCON.6 ;Habilita temporizador para transmisión serial
MOV DIRALTA,#VRALTA
MOV DIRBAJA,#VRBAJA

;Borra toda la memoria
MOV A,#128
BORRAR: MOVX @DPTR,A
INC DPTR
DJNZ DIRBAJA,BORRAR
DJNZ DIRALTA,BORRAR
MOV DIRALTA,#VRALTA
MOV DIRBAJA,#VRBAJA
MOV DPTR,#1

;Inicialización de bits
CLR CONFIG
CLR FULL_RAM ;Bit que indica que la memoria está llena
CLR WRT ;Señal de memoria lista para recibir
FIN: SJMP FIN ;Espera a recibir los pulsos o señales

END

```



