

35
20.



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN**



**“ANALISIS Y PROCESAMIENTO GRAFICO DE LA INFORMACION
REGISTRADA POR EL DISPOSITIVO ‘CALIPER’ DE INSPECCION
EN TUBERIAS QUE TRANSPORTAN HIDROCARBUROS”**

U. N. A. M.
FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES-CUAUTITLAN

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

PRESENTAN:
FRANCISCO VARELA GARCIA
JORGE CARRASCO VALDEZ

ASESOR:
ING. JORGE BUENDIA GOMEZ



DEPARTAMENTO DE
EXAMENES PROFESIONALES

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEX.

1993

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

INDICE

INTRODUCCION.	1
OBJETIVOS.	4
CAPITULO I	
LA IMPORTANCIA DE LA INSPECCION DE TUBERIAS EN SERVICIO.	5
1.1 Métodos y equipos de inspección.	5
1.2 Dispositivo de limpieza.	6
1.3 Dispositivos de inspección.	7
1.3.1 Dispositivo explorador.	7
1.3.2 dispositivo instrumentado.	8
1.4 Diablo calibrador (Caliper).	11
1.4.1 Conceptos generales.	11
1.4.2 Descripción del instrumento.	12
1.4.3 Especificaciones.	13
1.4.4 Tipos de anomalías detectadas.	13
1.5 Procedimiento de operación de los dispositivos.	14
1.5.1 Método de introducción o lanzamiento.	14
1.5.2 Método de recepción.	16
CAPITULO 2	
REGISTROS DE INFORMACION EN DUCTOS.	18
2.1 Descripción de las tarjetas del sistema electrónico.	19

2.1.1	Tarjeta de calibración.	19
2.1.2	Tarjeta de conversión A/D.	19
2.1.3	Tarjeta CPU Z80.	20
2.1.4	Tarjeta CTRL.	22
2.1.5	Tarjeta de conmutación de voltajes.	23
2.2	Transductores.	24
2.3	Formato de grabación.	24
2.4	Etapas de recuperación de datos en unidades de disco.	26
2.4.1	Tarjeta MTC.	26
2.4.2	Interfase para PC - XT.	27

CAPITULO 3

	ANALISIS Y PROCESAMIENTO DE LA INFORMACION.	28
3.1	Importancia del análisis y procesamiento gráfico de la información registrada en ductos.	28
3.2	Características físicas de los brazos sensores.	29
3.2.1	Análisis geométrico del sensor.	30
3.2.2	Análisis de las características del potenciómetro utilizado.	32
3.2.2.1	Gráfica de voltaje de salida del potenciómetro en función del ángulo.	34
3.3	Determinación de anomalías en la información grabada.	35
3.3.1	Análisis para determinar la amplitud del golpe.	36
3.3.2	Determinación de la distancia del golpe.	39

CAPITULO 4

LA TRANSFORMADA RAPIDA DE FOURIER.	41
4.1 Algoritmo de Cooley y Tukey.	41
4.2 La transformada de Fourier.	47
4.3 Transformada discreta de Fourier.	48
4.4 Desarrollo matemático del algoritmo de FFT (Algoritmo de Cooley y Tukey).	51

CAPITULO 5

MODULO GLOBAL DEL SISTEMA.	59
5.1 Modulo del sistema.	59
5.2 Dispositivos de entrada físicos.	60
5.3 Dispositivos de copia dura.	61
5.3.1 Impresoras.	61
5.3.2 Graficadoras.	63
5.4 Presentación de salida del sistema.	64
5.4.1 Estructura general del sistema.	64
5.4.2 Presentación final del sistema.	70

CONCLUSIONES.

BIBLIOGRAFIA.

APENDICE.

- Manual del usuario.
- Apéndice.

INTRODUCCION

La industria petrolera de cualquier país cuenta con una red de ductos para la distribución de hidrocarburos. El mantenimiento de esta red es importante para prevenir o corregir fallas como: obstrucciones, fugas o rupturas. Y para ello se requiere realizar cada 5 años (aproximadamente) operaciones de inspección de ductos.

Como se sabe nuestro país cuenta con una gran industria petrolera y por tal motivo es importante contar con equipos de inspección y limpieza para reducir las pérdidas por fallas en las tuberías.

Debido a lo anterior actualmente en el IMP se desarrolla un instrumento llamado diablo "caliper" que sirve para el proceso de dicha inspección. Este instrumento sirve para verificar un ducto, viaja a través de él propulsado por el fluido que circula por la tubería. En el transcurso del viaje el dispositivo sensa el estado del ducto, y graba esta información en cintas magnéticas para después ser procesada y analizada.

El análisis y el procesamiento gráfico de dicha información es la etapa más importante ya que de ésta depende la interpretación, para hacer un buen diagnóstico del estado de la tubería.

En nuestro país en la actualidad no se fabrican los diablos de inspección lo que ocasiona que este servicio lo hagan compañías extranjeras, y como resultado de esto obtenemos costos muy altos de aproximadamente \$1500 a \$2000 dólares por kilometro inspeccionado.

Debido a lo anterior es muy importante el desarrollo de un instrumento que realice este servicio, ya que se reducirían los costos por mantenimiento de la red de ductos en nuestro país.

Para tener un instrumento competitivo en el mercado, es necesario tener una buena herramienta computacional para el análisis de la información.

Por todo lo anterior, el presente trabajo de tesis aborda la etapa del análisis y procesamiento gráfico de la información.

En este trabajo nos enfocaremos principalmente al análisis de la información, ya que de está depende la determinación de fallas dentro de los ductos. Para dicho análisis se implementará el algoritmo de la Transformada Rápida de Fourier (FFT), para hacer un reconocimiento de patrones de la información registrada. Con este objetivo nuestro trabajo queda organizado de la siguiente manera:

Inicialmente se establecen los objetivos que guíaran el desarrollo del análisis y el procesamiento gráfico de la información. Estos objetivos principalmente marcan los diferentes programas en lenguaje C que se tienen que realizar para la solución del problema.

En el capítulo 1 se describen los diferentes métodos y equipos para realizar la inspección de tuberías; así como el funcionamiento de dichos equipos enfocandonos principalmente al diablo Caliper.

En el capítulo 2 se describen los componentes electrónicos del dispositivo en cuestión, así como de la etapa de recuperación de datos de la información grabada.

En los capítulos 3 y 4 se describe la manera en como se va a realizar el trabajo, enfocándose principalmente a la forma en que se hace el análisis y el procesamiento gráfico de la información.

Una parte importante de la que se trata en esta etapa es la manera en que se determina cuando existe una anomalía, además de dar el grado de amplitud y localización física (distancia) de la misma. En el capítulo 4 se abarca lo que es el algoritmo de la transformada rápida de Fourier (FFT), haciendo un desarrollo del mismo para su determinación.

En el capítulo 5 se determina lo que es el diseño global del sistema, en esta etapa se abarcan principalmente todos los algoritmos utilizados para cumplir los objetivos del trabajo. Dichos algoritmos se representan por diagramas de flujo. Los programas fuente de estos algoritmos se proporcionan en el apéndice.

OBJETIVOS

El objetivo principal es hacer un análisis de la información registrada por el instrumento de inspección "caliper", con la finalidad de detectar anomalías y referenciarlas geográficamente (distancia física de la anomalía).

Los objetivos específicos serían los siguientes:

-Elaborar un programa donde se pueda observar en la computadora en modo gráfico la información que registra en los ocho sensores el diablo "caliper". (Las gráficas serán de tipo cartesiano).

-Elaborar un programa donde se pueda observar en la computadora en modo gráfico la información que registra un sensor (seleccionado) del diablo "caliper". (Las gráficas serán de tipo cartesiano).

-Elaborar un programa donde se pueda observar en la computadora la información hexadecimal registrada por los ocho sensores del diablo "caliper". La información se procesará de tal manera que se pueda manejar un "scroll" en la pantalla.

- Para el análisis de la información se elaborará un programa utilizando el algoritmo de la transformada rápida de fourier (FFT), dicho programa nos proporcionará información de los puntos físicos donde se encuentre alguna anomalía.

-Elaborar programas para poder mandar la información a graficar en plotters. (En plotters Houston Instrument).

CAPITULO I

1.- LA IMPORTANCIA DE LA INSPECCION DE TUBERIAS EN SERVICIO.

El mantenimiento tanto preventivo como correctivo, de una línea conductora de hidrocarburo, al igual que en toda la industria y en toda la vida en general, es de suma importancia ya que con el, reducimos los costos de producción, incrementamos la vida útil de los sistemas y mejoramos la calidad de los productos.

En la industria de las tuberías, uno de los problemas más frecuentes es el mantenimiento de las líneas, donde si la detección de la corrosión, pérdidas de metal, fallas en soldaduras o rupturas, no son detectadas a tiempo, dan como resultado una pérdida sustancial en la capacidad de producción de las tuberías, daños materiales y ocasionalmente pérdidas humanas.

Hasta hace algunas décadas, era prácticamente imposible localizar al 100% todas las fallas que presentaban los ductos, una vez puestos en operación. Con el creciente desarrollo tecnológico, se han diseñado métodos y equipos capaces de detectar y con certeza localizar todas y cada una de las anomalías que presenta una línea de transportación.

1.1.- Métodos y equipos de inspección.

La inspección de ductos en nuestro país se realiza empleando unos dispositivos conocidos como DIABLOS.

Un diablo el cual puede ser constituido por uno o varios módulos, recorre internamente la tubería propulsado por el fluido que se transporta.

Existen diferentes tipos de diablos y su utilización depende del tipo de operación a realizar y de las condiciones generales de la línea.

En general, la tarea de inspección de ductos esta dividida en dos fases: limpieza y detección. A continuación describimos el método y equipo requerido (diablos) para cada una de estas fases:

1.2.- Dispositivo de limpieza.

La limpieza de tuberías es importante en cualquier planta, ya que debido a la acumulación de depósitos internos se restringe el paso del fluido transportado, se incrementa la potencia requerida para mover el producto, se contamina el fluido y sobre todo se ocasiona corrosión interna. Los recubrimientos internos en las tuberías pueden incrementar el periodo de tiempo entre limpiezas, pero no eliminan los depósitos, sin embargo, estos recubrimientos conservan la tubería, aumentan su vida útil y definitivamente hacen más fácil su limpieza.

La práctica de limpieza en tuberías recibió relativamente poca atención hasta antes de la segunda guerra mundial, generalmente fue más fácil y simple reemplazar la tubería. Con los altos costos actuales de los materiales, equipo y mano de obra los usuarios están adoptando formas más económicas de mejorar el flujo y reducir la corrosión.

Uno de los aparatos de limpieza más conocido, es denominado como GANCHO. Este gancho se fabrica de acuerdo al diámetro de la

tubería y es forzado a través de esta para realizar su labor, son hechos de una variedad de materiales, que van desde hule natural a espuma de estireno y de una multitud de configuraciones.

La velocidad es importante ya que los dispositivos de limpieza se dañan por el exceso de velocidad y las velocidades bajas ocasionan atascamientos del dispositivo. Por tal motivo se recomienda correrlos entre 3.2 a 9.6 Km/hr. (0.9 a 2.7 m/s).

1.3.- Dispositivos de inspección.

Para realizar el proceso de inspección en una tubería se cuenta con dos dispositivos, uno que se encarga de explorar la tubería (comercialmente llamado DIABLO CALIBRADOR) y otro que se encarga de hacer dicha inspección (comercialmente conocido como DIABLO INSTRUMENTADO).

1.3.1.- Dispositivo explorador.

El objetivo primordial de este dispositivo explorador, es mandarlo antes que al dispositivo instrumentado, ya que al pasar por el interior de la tubería arrastra con todo lo que encuentra a su paso, por lo que al salir de la trampa de recibo sale algunas veces muy dañado, con golpes, copas cortadas y en ocasiones destrozadas, dejando limpia la zona para que el dispositivo instrumentado realice su labor sin problema alguno.

El equipo explorador, determina con gran exactitud el que no haya abolladuras significativas u obstrucciones en la tubería que puedan impedir el paso al dispositivo instrumentado. Este procedimiento es también usado para estimar una velocidad constante, misma que será referencia en la corrida del dispositivo

instrumentado, cuando un dispositivo explorador es lanzado el tiempo se debe anotar a medida que el explorador va haciendo su recorrido a lo largo de la tubería, su traslado se debe medir en varios puntos conocidos de la tubería (válvulas, tees, imanes etc.). Y debe ser anotado el tiempo exacto que transcurre de un punto a otro, finalmente al concluir la corrida anotamos también el tiempo de recorrido, este método no solo ayuda a determinar la velocidad del dispositivo entre puntos conocidos, sino que ayudará a localizarlo en caso de que éste se atore en la tubería.

1.3.2.- Dispositivo instrumentado.

En términos generales el dispositivo instrumentado detecta y con certeza localiza, todas las anomalías físicas en tuberías construidas de material ferro-magnético que tenga una dimensión transversal significativa.

El dispositivo opera basándose en el principio de localizar las fugas magnéticas creadas en la vecindad de las anomalías e imperfecciones a medida que el instrumento pasa a través de la tubería.

Es sensible a todas las discontinuidades de carácter interno y externo, una discontinuidad puede ser en forma de exceso de metal tal como corrosión, defectos de manufactura y daños mecánicos o también puede ser en forma de exceso de metal como aquellas encontradas en soldaduras, bridas, válvulas, parches, etc. Otra forma de discontinuidad que es detectable, es la deformación de la curvatura de la tubería, ejemplo de este último caso son las abolladuras, ampollas de nitrógeno, curvas con arrugas y combas. El dispositivo instrumentado está compuesto de tres elementos principales, los cuales son:

La sección impulsora en el frente, denominada MODULO DE BATERIAS. La sección combinada de imanes y transductores en el centro, esta sección consta de dos módulos denominados MODULOS DE SENSORES. Y por último, la sección de amplificadores electrónicos y sistemas de grabación en la parte trasera del dispositivo denominada MODULO DE GRABADORAS.

- MODULO DE BATERIAS

Las baterías localizadas en la sección delantera suministran la energía necesaria para que la grabadora esté alimentada durante todo el recorrido.

El módulo contiene un total de 36 baterías las cuales tienen una vida útil de 13 horas.

La sección impulsora está centralizada por copas de poliuretano, estas copas permiten que se produzca una diferencia de presión, causando ésta a su vez, que el dispositivo se mueva dentro de la tubería.

-MODULO DE SENSORES

La sección del centro está provista de un número adecuado de contenedores en donde habitan los imanes, la cantidad de estos contenedores en los dos módulos es de 20.

Cada contenedor está sujeto a un extremo por una articulación compuesta de dos brazos, y éstos unidos a un disco que se sujeta con la flecha cardan del módulo, y por el otro extremo del contenedor se sujeta a un tensor. El contenedor descansa en dos resortes de compresión, haciendo que éste baje y suba acomodandose de acuerdo al diámetro interior de la tubería, dichos

resortes se encuentran alojados en un cilindro de material tenzaloy (aleación de aluminio antimagnética).

La parte superior del contenedor está provista en sus extremos por dos zapatas o extensiones transductoras, y en el centro cuenta con un sensor que va a detectar las anomalías dentro de la tubería. Las extensiones mantienen un contacto estrecho entre los sistemas sensores y la superficie interior de la tubería a través de la corrida de inspección.

Los sensores cubren los 360 grados completos de la circunferencia de la tubería con un amplio margen de empalme. La suspensión de los sensores provee un factor de colapso suficiente para que le permita al dispositivo pasar a través de reducciones localizadas en el diámetro interior de la tubería, sin que esto cause daño al equipo.

A medida que el instrumento pasa a través de la tubería, un activo campo de flujo magnético es inducido a la pared de la tubería, señales electrónicas son generadas de la fuga del campo magnético, causadas a su vez por anomalías de carácter interno o externo del material de la tubería. Esta fuga de flujo magnético se detecta por los dos grupos de sensores colocados en posición tal que se cubren, como ya se ha señalado, los 360 grados de la tubería.

-MODULO DE GRABADORA

Esta sección es la trasera y contiene en su interior un sistema electrónico completo, y además instrumentos de grabación donde todas las señales son procesadas y acumuladas en una cinta magnética.

Anexo a la parte trasera del dispositivo instrumentado, se encuentran dos ruedas cuya función es la de medir la distancia que recorre el equipo durante la corrida, a este sistema de ruedas se le conoce con el nombre de ODOMETRO.

1.4.- Diablo calibrador (caliper).

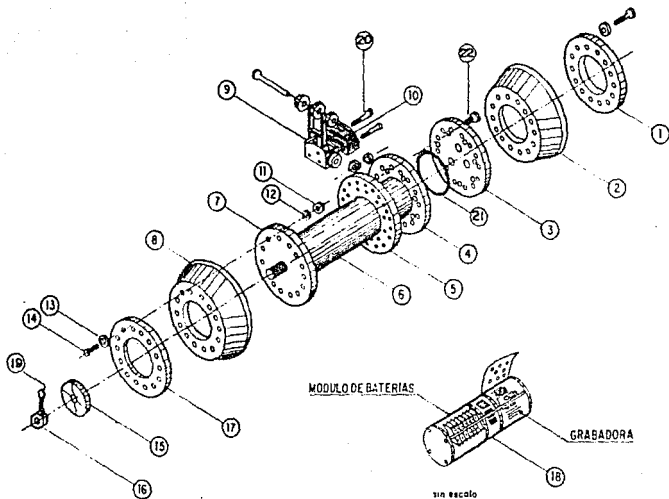
El diablo calibrador, del cual se habla de aquí en adelante fue el que se desarrolló en México, y es de suma importancia para este trabajo, ya que la información grabada que se sometió a estudio es producto de este dispositivo. (fig. 1.1)

1.4.1.- Conceptos generales.

Normalmente, los diablos calibradores tienen un conjunto de brazos acoplados al cuerpo del instrumento. Durante el recorrido del diablo, estos brazos están en contacto con la superficie interna de la tubería.

El cuerpo del instrumento, que se centra dentro de la tubería por medio de las copas, es la referencia del brazo. Los cambios geométricos y su magnitud se detectan en función de la deflexión que se presente sobre el brazo.

Transductores acoplados al brazo convierten esta deflexión en una señal eléctrica. Esta se procesa y depura antes de su grabación. Los diablos calibradores, a diferencia de los instrumentados, se construyen en un solo módulo lo cual simplifica su manejo.



NUMERO	CANTIDAD	DESCRIPCION
1	1	ANILLO DE COPA POSTERIOR
2	1	COPA POSTERIOR
3	1	TAPA
4	1	ANILLO DE LA TAPA
5	1	ANILLO DE SENSORES
6	1	CUERPO CALIPER (TURBO)
7	1	TAPA SOLDADA
8	1	COPA FRONTAL
9	8	SENSORES
10	8	AMORTIGUADOR (TACON)
11	28	TUERCA DE FIJACION 14 C/40 M6
12	28	ROLDANA DE PRESION
13	28	ROLDANA PLANA
14	28	TORNILLOS 9/16 - 3 1/2
15	1	AGARRADERA (MARIZ)
16	1	TUERCA FIJACION MARIZ
17	1	ANILLO DE COPA FRONTAL
18	1	MODULO DE GRABADOR
19	1	CHAVETA 3/16" - 3"
20	16	TORNILLOS 3/16" - 3"
21	1	ORING No PARKER 451
22	7	TORNILLOS 5/8" - 1" ALLE
23		
24		
25		
26		
27		
28		
29		

FIG. 1.1 DIABLO CALIPER

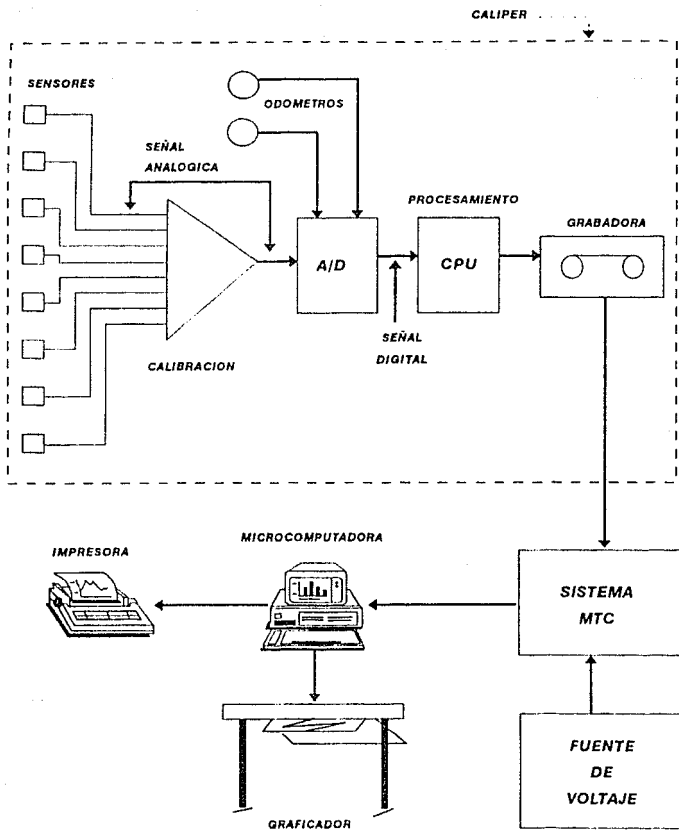


FIG. 1.2 DIAGRAMA GENERAL DEL FUNCIONAMIENTO DE CALIPER

Reducciones
Expansiones
Abolladuras
Curvaturas
Válvulas

No pudiendo detectar corrosión, tanto interna como externa. Para que una anomalía pueda ser detectada se requiere que presente un tamaño mínimo en sus dimensiones:

Hundimiento radial: mayor de 7 mm.

Longitud mínima: 6 cm.

1.5.- Procedimiento de operación de los dispositivos.

Recordemos que las líneas de conducción, contienen en todo momento al fluido que transportan, por tal motivo la introducción y la salida del equipo de limpieza e inspección requieren de procedimientos especiales, para los cuales, es requisito indispensable que toda tubería que desee ser inspeccionada debe contar en el inicio y al final de ésta con una sección denominada TRAMPA DE DIABLOS.

1.5.1.- Método de introducción y lanzamiento.

La secuencia de lanzamiento se muestra en la (fig. 1.3).

CONDICIONES: La trampa está presurizada y llena de gas. las válvulas A, B y C se encuentran abiertas. La válvula D por el contrario se encuentra cerrada.

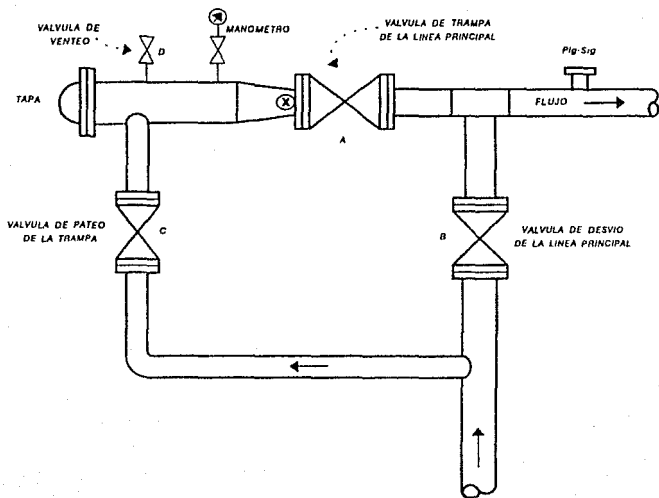


FIG. 1.3 SECUENCIA DE LANZAMIENTO

- a.- Se cierran las válvulas A y C
- b.- Se abre la válvula D para despresurizar la trampa a presión atmosférica.
- c.- Cuando la trampa es completamente despresurizada y la válvula D se encuentra abierta, se abre la puerta de la trampa y se procede a insertar el dispositivo de inspección.
Una vez insertado el dispositivo, se le coloca una cápsula radioactiva, la cual puede ser IRIDIO u otro elemento radioactivo esto se hace con el fin de que se pueda localizar y detectar el paso del dispositivo.
Se debe tener en cuenta que la copa frontal haga un ajuste firme en el reductor (punto X).
- d.- Posteriormente se procede a cerrar y asegurar la puerta.
Después se purga el aire de la trampa por la válvula D y lentamente se abre la válvula C. Cuando se complete la purga se cierra la válvula D para permitir equiparación de la presión. Entonces se cierra la válvula C.
- e.- Se abre la válvula A, luego se abre la válvula C. el dispositivo está listo para el lanzamiento.
- f.- Se cierra parcialmente la válvula B. Esto forzará aumento de flujo de gas a través de la válvula C y detras del dispositivo. Se continua cerrando la válvula B hasta que el dispositivo se mueva fuera de la trampa y entre a la corriente central como es indicado en el punto *pig-sig*.
- g.- Cuando el dispositivo deja la trampa e ingresa a la corriente central se abre la válvula B en su totalidad.

h.- Una vez lanzado el dispositivo, se procede a localizarlo y detectarlo, se recomienda hacer esto a cada cuatro kilómetros y en cada válvula de seccionamiento que se encuentre en el recorrido de la tubería, pero en algunos casos no es posible ya que la tubería atraviesa por cerros, zonas de cultivo, casas, etc., y esto hace que se detecte a más kilómetros.

La detección del dispositivo se lleva a cabo con un instrumento denominado RATEMETER, este aparato es muy sensible para medir y detectar la radiación producida por la cápsula que contiene el dispositivo en la parte trasera, alojada en un contenedor especial.

Al finalizar la corrida se procede a sacar el dispositivo de la trampa.

1.5.2.- Método de recepción.

La secuencia de recepción se muestra en la (fig. 1.4).

CONDICIONES: La trampa está vacía a presión atmosférica. Las válvulas B, D y E están abiertas. Las válvulas A y C están cerradas.

a.- Para purgar la trampa, se cierra la válvula E y lentamente se abre la válvula C.

b.- Después de purgar, se deja que se equipare la presión en la trampa cerrando la válvula D con la válvula C abierta.

c.- Con la válvula C aún abierta se abre la válvula A. Ahora la trampa está lista para recibir al dispositivo.

d.- Cuando llegue el dispositivo puede ser que se detenga entre la válvula A y la Tee (punto X).

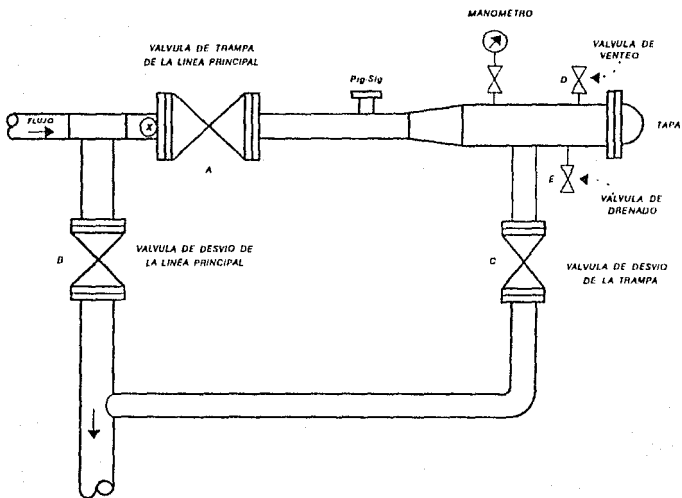


FIG. 1.4 SECUENCIA DE RECEPCION

- e.- Se cierra parcialmente la válvula B. Esto forzará al dispositivo en la trampa debido al aumento de flujo en la válvula C.
- f.- Después que el dispositivo esté en la trampa, se abre la válvula B y se cierran las válvulas A y C.
- g.- Se abren la válvulas D y E y se presuriza la trampa hasta lograr presión atmosférica.
- h.- Después de presurizar la trampa y drenar con las válvulas D y E abiertas, se abre la puerta de la trampa y se procede sacar el dispositivo.
- i.- Por último se cierra y se aseguran las puertas.

CAPITULO 2

2. REGISTROS DE INFORMACION EN DUCTOS.

Electrónicamente, el diablo caliper se compone de cinco tarjetas electrónicas. Dos de estas tarjetas incluyen un microprocesador Z80 en su diseño, una se emplea para el análisis de datos y la segunda se encarga del control de las grabadoras. Además se tiene la tarjeta que realiza la conmutación de las fuentes de voltajes que proporcionan energía a las grabadoras digitales, la tarjeta de adquisición de datos y conversión analógica/digital (A/D) y la tarjeta de calibración electrónica de sensores.

La operación del sistema es como sigue:

Al inicio, se envía un pulso de restablecimiento (RESET), a través de la caja denominada 'PRUEBA'. Este pulso provoca que tanto en la tarjeta de procesamiento (CPU Z80), como en la tarjeta controladora de grabadoras (CTRL), se inicien las rutinas de análisis y selección de datos (programa ANALISIS) y control de grabadoras (programa Z8OCTRL), respectivamente.

En el CPU, el programa de ANALISIS realiza un ciclo de espera, durante el tiempo en que el programa Z8OCTRL efectúa un chequeo de las cuatro grabadoras con que cuenta el sistema. De este modo, se eligen las grabadoras que se encuentran operando correctamente. Se marcará como mala la grabadora con operación defectuosa y el sistema no la empleará para grabar datos durante la operación de inspección.

Una vez realizado este proceso, Z80CTRL establece comunicación con la tarjeta CPU, indicándole que la tarjeta CTRL se encuentra lista para recibir datos.

Cuando el CPU comienza a recibir las interrupciones provenientes de los odómetros, se inicia la lectura de datos desde la tarjeta de conversión A/D. Durante este proceso se realiza una rutina de discriminación de información a fin de encontrar algún golpe o, en general, alguna anomalía dentro de los datos captados. Cuando se ha reunido una cantidad programada de datos, se transfieren a la memoria de la tarjeta CTRL, en donde se formatean y envían a la grabadora seleccionada en primer término. Este proceso se repite hasta terminar la corrida o hasta que se llenen las cintas magnéticas en cada una de las grabadoras que se etiquetaron como correctas. Cada vez que se llena una cinta se realiza una conmutación a la siguiente grabadora disponible.

2.1 Descripción de las tarjetas del sistema electrónico.

2.1.1 Tarjeta de calibración.

Esta tarjeta tiene la función de calibrar los brazos sensores para que trabajen a un mismo nivel de voltaje, con lo que se uniformiza la medición. Con esto se logra manejar en la tarjeta CPU un solo nivel de umbral referido a los valores calibrados, para la correcta discriminación de datos.

2.1.2 Tarjeta de conversión A/D.

La función principal de esta tarjeta es adecuar las señales analógicas proporcionadas por la tarjeta de calibración.

Multiplexea las ocho señales provenientes de los sensores y realiza la conversión analógica-digital para que la tarjeta CPU pueda procesar la información correctamente.

Los elementos principales que constituyen esta tarjeta son los siguientes:

Un circuito multiplexor MC4051 selecciona la señal de uno de los ocho canales para su conversión.

Un circuito sample-hold HA2420-2, encargado de tomar muestras por tiempo de la señal que pasa al convertidor.

Un circuito convertidor A/D NE3050 que se encarga de convertir las señales de su forma analógica a digital.

Un circuito monoestable 74LS221, que conforma los pulsos entregados por el odómetro para proporcionar a la salida una señal de interrupción para la tarjeta CPU.

2.1.3 Tarjeta cpu x80.

Esta tarjeta se encarga de realizar las tareas que se describen a continuación:

Registra el avance de los odómetros. Estos datos sirven para llevar la relación de la distancia recorrida. Se cuenta con dos odómetros para evitar perder información en caso de falla en alguno de ellos. El CPU atiende la interrupción del primer odómetro que la envíe.

Efectúa la adquisición de datos provenientes de la tarjeta de conversión analógica/digital, tomando una lectura de cada sensor cada vez que se atiende la interrupción de alguno de los odómetros.

Desarrolla el procesamiento de datos, seleccionando la información de interés, es decir, aquella que contenga al menos una anomalía, almacenándola temporalmente en memoria. Cada anomalía se almacena con su distancia correspondiente. Durante este proceso se verifica que la tarjeta CTRL tenga localidades disponibles para transferirle los datos seleccionados.

Envía las marcas de tiempo hacia la tarjeta CTRL. Estas marcas se emplean como referencias.

Los componentes principales empleados en el diseño de esta tarjeta son:

Un microprocesador Z80-A operando a una frecuencia de 4MHz, siendo el procesador central del sistema.

Dos interfaces de entrada/salida tipo paralelo Z80-PIO, encargados de la atención de las interrupciones generadas por los odómetros.

Un contador/temporizador Z80-CTC, que genera señales de reloj en tiempo real que sirven para obtener las marcas de tiempo usadas como referencias durante la corrida.

Una memoria EPROM 2732A que contiene el programa de control denominado "ANALISIS".

Dos circuitos de memoria RAM estática 6164, necesaria para el almacenamiento temporal de los datos seleccionados y las marcas de tiempo.

Un conjunto de circuitos reforzadores de señal (buffers) formado por los circuitos integrados 74LS240 y 74LS245, para la comunicación bidireccional entre las tarjetas CPU y CTRL.

Un circuito oscilador de 4 MHz., que es la señal de reloj del microprocesador.

Circuitos 74LS139 y 74LS32, para la decodificación de los puertos y la memoria.

2.1.4 Tarjeta CTRL.

La función de esta tarjeta es recibir los datos seleccionados enviados por la tarjeta CPU, formatearlos y enviarlos a grabar en cinta magnética. Para ello, al inicio de la operación del sistema, se realiza un proceso para probar secuencialmente las cuatro grabadoras. En este proceso se seleccionan las grabadoras que operen correctamente y se marcan aquellas en las que se detecte alguna falla. De este modo se evitará enviar datos a una grabadora marcada como incorrecta.

Una vez que se tienen datos para almacenar, la tarjeta CTRL se encarga de seleccionar la grabadora a la que se enviará la información, energizando la fuente de alimentación correspondiente, valiéndose de la tarjeta de conmutación de voltaje, que se explicará más adelante. El diseño de esta tarjeta se realizó en base a los siguientes circuitos:

Un microprocesador Z80, operando a una frecuencia de 2 MHz que funciona como procesador secundario, estando sujeto al procesador de la tarjeta CPU.

Dos interfaces de entrada/salida tipo paralelo PIA 6821 encargados del control de las grabadoras y la conmutación de la fuentes de alimentación de éstas.

Una memoria EPROM 2732A que contiene el programa de control denominado "Z80CTRL".

Dos circuitos de memoria RAM estática 6114, para el almacenamiento de la información enviada por la CPU.

Un conjunto de circuitos buffer 74LS240, 74LS245 y 74LS126 para la comunicación bidireccional entre CTRL y CPU.

Un circuito MC14111 encargado de la generación y división de frecuencias que emplean el microprocesador y las grabadoras digitales

La circuitería de control para la selección de puertos y memoria, compuesta por los C.I. 74LS139 y 74LS00.

2.1.5 Tarjeta de conmutación de voltajes.

La tarjeta CTRL ocupa esta tarjeta para el control de encendido y apagado de las grabadoras digitales. Esta operación se hace mediante cuatro señales proporcionadas por CTRL, cada una de ellas corresponde a una de las cuatro grabadoras existentes. Dichas señales se aíslan

de las fuentes de voltaje mediante optoacopladores H11B1, evitándose una posible sobrecarga en las líneas que manejan baja potencia. Las fuentes de voltaje se controlan mediante transistores MJB02.

2.2 Transductores.

Para medir el desplazamiento de los brazos mecánicos se emplea un potenciómetro de precisión. Cada brazo mecánico cuenta con uno de estos potenciómetros cuya función es suministrar un voltaje proporcional al movimiento del brazo. Este voltaje se convierte a una forma digital para su manejo dentro del programa de selección de datos (programa ANALISIS).

El rango de voltaje suministrado por el potenciómetro, necesario para la conversión, es de 0 a 1.5 V.

El acoplamiento entre el brazo sensor y el potenciómetro se hace mecánicamente.

Las características del potenciómetro son:

Rango de resistencia	0 a 10K ohm.
Tolerancia	+/- 10%.
Linealidad	+/- 1%.
Voltaje máximo de entrada	400V CD.

2.3.- Formato de grabación.

La información adquirida, una vez procesada y depurada por la sección electrónica, se almacena en las cintas magnéticas con el siguiente formato:

Contenido	FF ₁₆ ...FF ₁₆	00 ₁₆	No.de bloque	Bloque	FF ₁₆ ...FF ₁₆	00 ₁₆
No.de bytes	64	1	2	513	64	14	

FF₁₆... FF₁₆ Se graba un bloque de 64 bytes con el valor de FF hexadecimal, para separar y validar los bloques de información.

00₁₆ Un byte con valor cero, que indica la continuación de un bloque válido.

No.de bloque Dos bytes en donde se registra el número consecutivo del bloque.

Bloque 513 bytes, en un arreglo de 27 adquisiciones cada una ocupando 19 bytes.

Cada adquisición se integra de la siguiente manera:

D1 D2 D3 D4 D5 D6 D7 D8 D1 D2 D3 D4 D5 D6 D7 D8 O1 O2 O3

Dn Un byte de información por cada uno de los ocho transductores con que cuenta el instrumento.

Esta información es redundante, para asegurar su registro.

O1 O2 O3 Tres bytes para el registro del odómetro.

La frecuencia de muestreo la da el odómetro cada dos centímetros.

2.4.- Etapa de recuperación de datos en unidades de disco.

Posterior a la corrida se debe recuperar la información grabada en las cintas magnéticas para realizar su interpretación.

El sistema para la recuperación de la información se compone de:

- a).- la tarjeta MTC basada en el microprocesador Z80.
- b).- una tarjeta de interfaz entre la tarjeta MTC y una computadora tipo PC.
- c).- una computadora PC-XT compatible.
- d).- una o dos grabadoras digitales.
- e).- una fuente de alimentación con voltajes de salida +5V y +12V.
- f).- programa para la recuperación de información.

En la (fig. 2.1) se muestra un diagrama a bloques del sistema.

2.4.1.- Tarjeta MTC.

La función de esta tarjeta es leer las cintas magnéticas grabadas durante una corrida de inspección y controlar las dos grabadoras digitales que se pueden conectar a la misma.

La tarjeta MTC está diseñada en base a los siguientes circuitos integrados:

Un microprocesador Z80, empleado para el control de las grabadoras, lectura de datos desde la cinta y envío de la información leída hacia la PC.

Dos interfaces de entrada/salida tipo paralelo PIA MC6821. Uno de ellos se emplea para el control de las

señales de las grabadoras y el otro para la transferencia de datos entre la PC-XT y la MTC.

Una interfaz de entrada/salida tipo serie ACIA6850 configurada en transmisión asíncrona utilizada para la recuperación de los datos de las cintas magnéticas.

Los C.I. 74LS08 y 74LS74 empleados como conformadores de la señal proveniente de la grabadora.

Una memoria EPROM 2732 que contiene el programa de control denominado ASMTC.

Una memoria RAM estática 6116 para almacenamiento temporal de datos.

Un C.I. MC14411 utilizado para generar y derivar las frecuencias requeridas por el sistema.

2.4.2.- Interfaz para la PC-XT.

Esta tarjeta se encuentra mapeada dentro del espacio de entrada/salida de la microcomputadora PC-XT, siendo el medio adecuado para que la microcomputadora capture los datos proporcionados por la tarjeta MTC.

En esta interfaz existe un conjunto de indicadores luminosos con los que se monitorea la correcta comunicación entre la microcomputadora y la MTC.

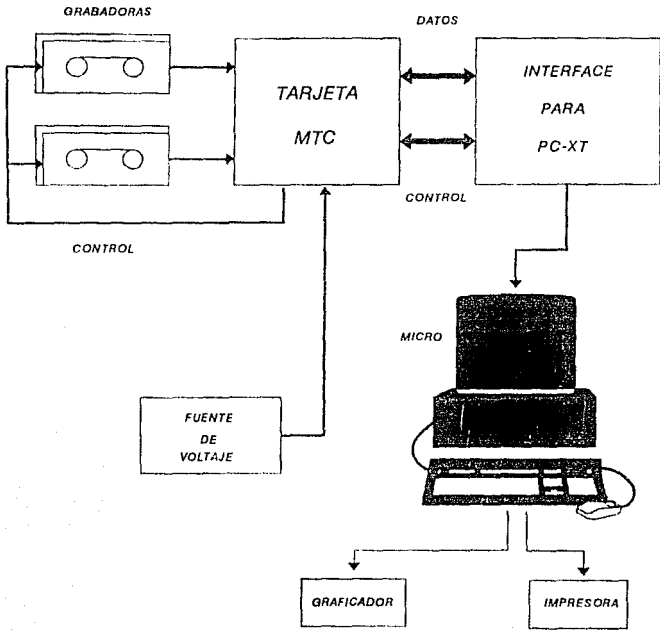


FIG. 2.1 DIAGRAMA DEL SISTEMA DE RECUPERACION DE DATOS

CAPITULO 3

3.- ANALISIS Y PROCESAMIENTO DE LA INFORMACION.

Durante mucho tiempo una de las técnicas más utilizadas para el análisis de información a sido la transformada de Fourier desde que su autor Jean Baptiste Joseph Fourier la definiera. A partir de ese momento, las áreas en las cuales era útil, fue aumentando al mismo tiempo que la cantidad de datos y operaciones que se requerían para su obtención. Debido a esto, hubo un gran desarrollo de nuevos algoritmos que hicieran este análisis.

Actualmente, existen otros algoritmos, para el análisis de espectro de una función, como son: La Transformada Rapida de Fourier (FFT), transformada de Hartley, Walsh, H.hart y máxima entropía. Cada uno de estos algoritmos tiene diferentes ventajas y aplicaciones dependiendo de la naturaleza de los datos. En esta tesis se presenta la implementación del algoritmo en software de la Transformada Rapida de Fourier para la determinación de golpes detectados en la información grabada por el instrumento en cuestión.

3.1 Importancia del análisis y procesamiento gráfico de la información registrada en ductos.

Realizar un buen análisis de la información en cualquier área es de suma importancia, ya que como consecuencia de esto se logran obtener resultados confiables en los proyectos. Una técnica que no puede pasar desapercibida como complemento del análisis es

la graficación de dichos datos. Esto dará una mejor presentación profesional del análisis que se este realizando.

La representación gráfica puede realizarse por medio de herramientas actuales tales como son: computadoras personales, graficadores de todo tipo, impresoras, tablillas digitizadoras etc. Estas herramientas se contemplarán mas adelante en este trabajo.

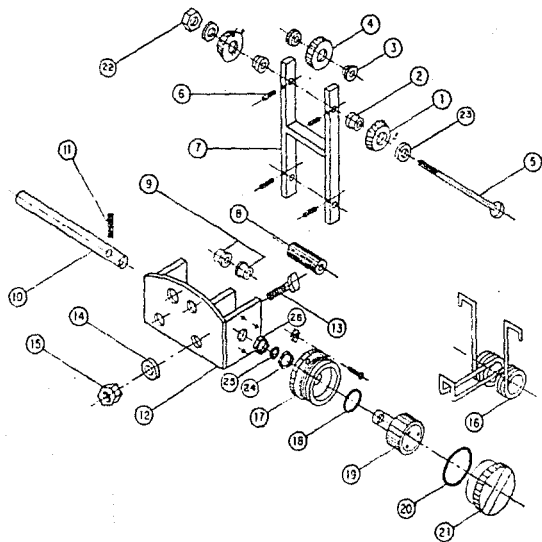
Sabiendo de los antecedentes de este proyecto, para nosotros es sumamente importante realizar un buen análisis de la información que se registra en los ductos, ya que de está depende obtener resultados confiables, y con esto conocer el estado físico de la tubería.

Dependiendo de estos resultados se puede realizar un buen mantenimiento de la red de distribución y con esto elevar el nivel de producción evitando pérdidas materiales y humanas.

3.2 Características físicas del brazo sensor.

Se considera como sensor, al conjunto formado por la rueda, el brazo el potenciómetro y demás mecanismos de acoplamiento. (fig. 3.1).

La función del sensor es la de detectar defectos en la tubería, al pasar el sensor por un defecto cambia el ángulo del brazo como se puede apreciar en la (fig. 3.2), esta variación del ángulo es transformada por medio del potenciómetro, en una variación de voltaje, finalmente el voltaje es medido y analizado por las tarjetas de adquisición y de CPU respectivamente, para determinar la amplitud del defecto.



NUMERO	CANTIDAD	DESCRIPCION
1	16	RUEDA (LATERALES)
2	16	BUJE RUEDAS LATERALES
3	16	BUJE
4	2	RUEDA DE ODOMETRO
5	8	TORNILLO GUIA
6	32	OPRESORES 3/8" x 1/2"
7	8	BRAZO (M)
8	8	NUCLEO
9	16	BUJE
10	8	FLECHA DEL BRAZO
11	8	PIN DE SEGURIDAD 1/8"
12	8	BASE
13	24	TORNILLOS 5/16"
14	24	ROLDANAS DE PRECISION
15	24	TUERCA DE SEGURIDAD 1/2"
16	8	RESORTE TORSIONAL
17	8	CONTEADOR POT
18	8	ORING No PARKER 216
19	8	POTENCIOMETRO
20	8	ORING
21	8	TAPA POTENCIOMETRICA
22	8	TUERCA DE SEGUR. 3/8"
23	16	ROLDANA
24	8	TUERCA FUSION PC
25	8	ORING No PARKER 105
26	8	TUERCA PARA SE...

FIG. 3.1 DIAGRAMA DEL BRAZO SENSOR

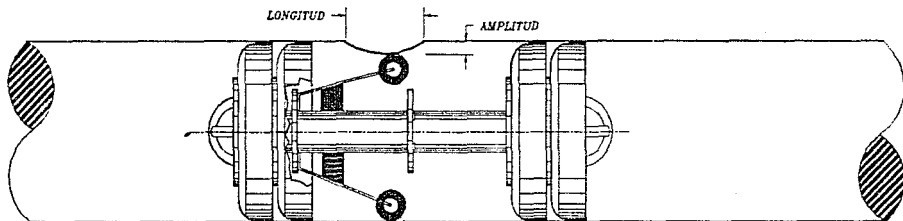


FIG. 3.2 MUESTRA DEL BRAZO SENSOR CON DEFECTO EN TUBERIA

3.2.1 Análisis geométrico del sensor.

Refiriendonos a las figuras (3.3a) y (3.3b). tenemos:

Radio exterior de la tubería. (R_e) = 30.48 cm (24")

Espesor de la tubería = 0.635 cm

Radio interior de la tubería (R_i) = 29.84 cm

Radio de la corona (R_c) = 17.51 cm (radio donde se encuentran conectados los sensores)

Radio de la rueda (r) = 3.18 cm

Longitud del brazo (l) = 13.25 cm

Radio total (R_t) = 33.94 cm

De la figura (3.3a) se obtienen las siguientes expresiones:

$$y = l \operatorname{sen} \Theta$$

$$h = l + r$$

$$d = h - (y + r)$$

$$d = l + r - l \operatorname{sen} \Theta - r$$

$$d = l (1 - \operatorname{sen} \Theta) \dots\dots\dots \text{Ec. (1)}$$

$$\Theta = \operatorname{Arc} \operatorname{sen}(1 - d/l) \dots\dots\dots \text{Ec. (2)}$$

de la figura (3.3b) se obtienen las siguientes expresiones:

$$R_i = l \operatorname{sen} \Theta + R_c + r$$

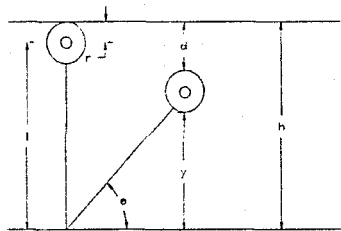
$$\Theta = \operatorname{Arc} \operatorname{sen}[(R_i - (R_c + r))/l] \dots\dots\dots \text{Ec. (3)}$$

$$l = [R_i - (R_c + r)] / \operatorname{sen} \Theta \dots\dots\dots \text{Ec. (4)}$$

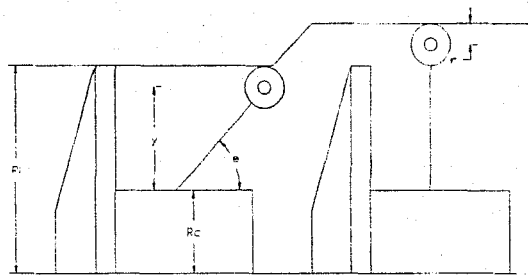
donde:

d es el desplazamiento que sufre el sensor a un ángulo y a una longitud del brazo dados Ec.(1)

Θ es el ángulo en el que se posiciona el sensor para un desplazamiento y una longitud del brazo dados Ec.(2).



(a)



(b)

FIG. 3.3 ANALISIS GEOMETRICO DEL SENSOR

l es la longitud que debe tener el brazo para un ángulo deseado dentro de la tubería.

De la Ec.(1) se observa que el tamaño del desplazamiento es independiente del radio de la rueda y que entre menor sea l menor desplazamiento se puede detectar para un mismo ángulo. En condiciones actuales el brazo del sensor se posiciona en 43.67° ya que:

$$\Theta = \text{Arc sen } [(29.84 - 3.18 - 17.51)/13.25]$$

$$\Theta = 43.67^\circ$$

Tablas del desplazamiento en función del ángulo para una l dada

θ	d	Δd	d	Δd
90°	0		0	
80°	0.0759	0.07	0.2012	0.20
70°	0.3015	0.22	0.7990	0.59
60°	0.6698	0.36	1.7751	0.97
50°	1.1697	0.49	3.0990	1.32
40°	1.7860	0.61	4.7330	1.63
30°	2.5	0.71	6.6250	1.89
20°	3.2898	0.78	8.7182	2.09
10°	4.1317	0.84	10.9491	2.23

para $l = 5 \text{ cm}$
para $l = 13.25 \text{ cm}$

De las tablas se observa que para valores mayores los incrementos de desplazamiento son menores. Y que para una I menor se presenta un desplazamiento menor a un mismo ángulo.

3.2.2 Análisis de las características del potenciómetro utilizado.

De la ecuación $V_s = k\Theta$ se observa que el voltaje de salida es independiente del valor del potenciómetro.

De la ley de Ohm se puede determinar que entre mayor sea el valor de la resistencia del potenciómetro menos corriente se consume, y esto reditua un mayor tiempo en la duración de las baterías.

En el manual de potenciómetros de Beckman no se indica de que manera influye el valor del potenciómetro en su linealidad, o en el ruido generado para el caso de corriente directa.

La (fig. 3.4) nos muestra el circuito general de los sensores.

Donde:

$$R_{p1} = R_{p2} = R_{p3} = \dots = R_{pn} = R_p$$

Del circuito tenemos que: $R_t = 1/(1/R_{p1} + 1/R_{p2} + \dots + 1/R_{pn})$

$$R_t = R_p/n$$

Donde n = Número de potenciómetros.

Para el caso de 8 potenciómetros de 10 k ohms se tiene un consumo de corriente de:

$$I = V_o/R_t$$

$$I = 4 \text{ mA}$$

Un factor importante que determina la linealidad de un potenciómetro, es el material con que esta hecho el elemento

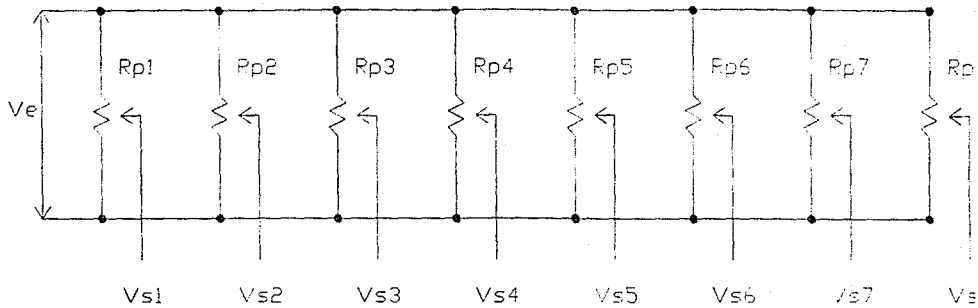


FIG. 3.4 CIRCUITO GENERAL DE LOS SENSORES

resistivo; en el manual de potenciómetros de Beckman se especifica que el potenciómetro que utiliza plástico conductor como elemento resistivo es el más lineal.

El potenciómetro que se está utilizando actualmente es de plástico conductor, por lo tanto, la elección fue buena.

Con respecto al valor de la resistencia, sería bueno considerar que si se implementa la corona con 16 sensores, el consumo total de corriente sería de 8 mA, pero si se cambian los potenciómetros de 10k ohms a 20k ohms el consumo sería de 4 mA. con 16 sensores, es decir, que el consumo de corriente sería el mismo al que consumen 8 sensores con potenciómetros de 10k ohms.

La k teórica en un potenciómetro se obtiene de la siguiente manera:

$$k = \text{Voltaje de entrada} / \text{Recorrido angular eléctrico mínimo}$$

Donde el recorrido angular eléctrico mínimo (RAEM) se obtiene de la hoja de especificaciones del fabricante del potenciómetro, y es el recorrido total del ajuste de la flecha entre los voltajes de salida mínimo y máximo.

Para el potenciómetro utilizado (modelo 6187) el RAEM es de 340 grados; si se aplica un voltaje de entrada de 5 volts entonces:

$$k^{-1} = 340^{\circ} / 5 = 68^{\circ} / \text{volts.}$$

3.2.2.1 Gráfica de voltaje de salida del potenciómetro en función del ángulo.

Para la obtención de esta gráfica se utilizó un potenciómetro de 10 kohms modelo 6187 como el que se está utilizando actualmente, se aplicó un voltaje de entrada de 6.3116 volts y se tomo la lectura de voltaje de salida cada 5 grados. la k teórica para este arreglo es:

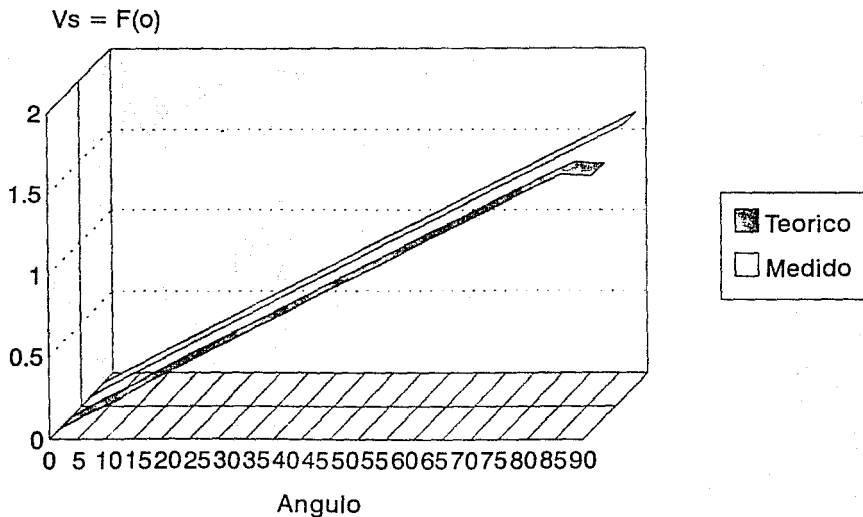
$$k = 340^0 / 6.311 = 53.874$$

Por lo tanto el voltaje de salida teórico esta dado por:

$$V_s = \Theta / 53.874$$

GRAFICA DEL POTENCIOMETRO

VOLTAJE DE SALIDA vs. ANGULO



0	RESULTADOS	
	VS MEDIOO	VS TEORICO
0	0.000	0.000
5	0.098	0.092
10	0.179	0.185
15	0.280	0.278
20	0.372	0.371
25	0.463	0.464
30	0.554	0.556
35	0.646	0.649
40	0.735	0.742
45	0.832	0.835
50	0.923	0.928
55	1.011	1.020
60	1.106	1.113
65	1.197	1.206
70	1.288	1.299
75	1.377	1.392
80	1.471	1.484
85	1.560	1.577
90	1.649	1.670

DE ESTOS RESULTADOS SE CONCLUYE QUE PODEMOS CONSIDERAR
AL POTENCIOMETRO MODELO 6187 COMO UN TRANSDUCTOR DE POSICI-
ON LINEAL.

3.3 Determinación de anomalías en la información grabada.

El objetivo principal al que se debe llegar utilizando
diablos para inspeccionar tuberías, es verificar el estado físico
de la misma para darle mantenimiento.

El hecho de darle un buen mantenimiento a la línea es resultado de una buena inspección de la misma, por lo tanto lo más importante en la utilización de estos dispositivos de inspección es obtener un reporte final que nos determine:

- a) Las deformaciones geométricas (golpes).
- b) En donde están situadas geográficamente.

La determinación de las anomalías y su distancia física depende de una buena interpretación de la información grabada, ya que de nada nos sirve que nuestro instrumento registre deformaciones geométricas y no logremos determinarlas, esto es que no contemos con los suficientes recursos y experiencia para poder realizar un buen análisis de la información que graba nuestro instrumento.

Para realizar una buena interpretación es importante elegir un método confiable. En este trabajo se llegó a la conclusión de utilizar el algoritmo de la transformada rápida de Fourier como arma principal en el método de analizar la información, este método será tratado más adelante.

De acuerdo a lo tratado se puede decir que esta es la etapa más importante, y donde se puede comprobar si nuestro instrumento es confiable o no.

3.3.1 Análisis para determinar la amplitud del golpe.

De las figuras siguientes, se obtiene una ecuación para describir la altura del golpe, sabiendo que el elemento sensor es un potenciómetro y que el microprocesador no registra valores angulares sino únicamente dígitos hexadecimales equivalentes a el voltaje de salida que proporciona el potenciómetro.

De la figura (3.5a) se obtienen las siguientes relaciones

$$h = y + r \quad \text{Ec (5)}$$

$$y = L (\text{sen} \Theta) \quad \text{Ec (6)}$$

En el convertidor Dato1 = $f(Vs, \Theta)$

De la figura (3.5b) se obtiene:

$$G = h - (y' + r) \quad \text{Ec(7)}$$

$$y' = L (\text{sen} \Theta') \quad \text{Ec(8)}$$

En el convertidor Dato2 = $f(Vs', \Theta')$

La diferencia hexadecimal de los datos registrados sera:

$$\Delta_D = \text{Dato1} - \text{Dato2}$$

Sustituyendo en la ec (7) las ecs (5) (6) y (8)

$$G = y + r - (y' + r)$$

$$G = L (\text{sen} \Theta) + r - L (\text{sen} \Theta') - r$$

$$G = L (\text{sen} \Theta - \text{sen} \Theta') \quad \text{Ec(9)}$$

obteniendo una relación entre el voltaje de salida del potenciómetro del ángulo de posicionamiento:

$$V_{\text{pot}} = K \Theta ; \quad \Theta = V_{\text{pot}}/K$$

La resolución del convertidor A/D esta dada por :

$$R = V_t/2^n$$

donde:

V_t = voltaje máximo de entrada

n = Es el número de bits del convertidor

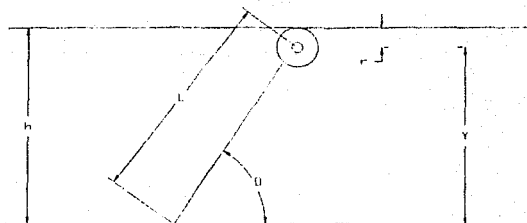


FIG 35a

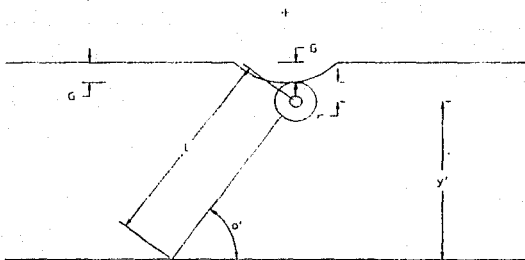


FIG 35b

El voltaje de entrada hacia el convertidor en función del dato hexadecimal esta dado por:

$$V_s = R \text{ Dato}; \quad V_s = V_{pot};$$

Sustituyendo V_s en la ecuación de Θ obtenemos, la relación entre el dato de conversión y la posición angular del potenciómetro:

$$\Theta = (R / K) \text{ Dato}$$

$$\Theta = C \text{ Dato}$$

$$C = \text{ángulo máximo} / 2^n = 90^\circ / 256 = 0.35$$

Sustituyendo en la ecuación 9

$$G = L (\text{seno } (C \text{ Dato1}) - \text{seno } (C \text{ Dato2}))$$

Ejemplo.

Teniendo:

$$\text{Dato1} = 70$$

$$\text{Dato2} = 49$$

$$C = 90/256$$

$$L = 13.25 \text{ cm}$$

Entonces:

$$G = 13.25 \text{ cm } (\text{sen } (C \text{ 70}) - (C-49))$$

$$G = 1.59 \text{ cm}$$

La ecuación anterior describe el tamaño del golpe en función del dato inicial del potenciómetro del brazo mecánico, con respecto a la posición final el brazo mecánico cuando se registra el golpe.

El valor de la constante C será obtenido de valores experimentales, para tener un valor más exacto o más cercano a las condiciones reales del comportamiento de los potenciómetros y la escala de conversión del convertidor.

De acuerdo con la ecuación de G , la posición inicial del sensor es determinante para obtener el tamaño del golpe con un margen de error pequeño.

De la ecuación G podemos deducir que si G es positivo se trata de una deformación hacia adentro de la tubería y si G es negativo se trata una deformación hacia afuera de la tubería.

3.3.2 Determinación de distancia del golpe.

El diablo Calibrador mide la distancia de la tubería por medio de un dispositivo electromecánico llamado odómetro, el cual consiste en una rueda, sensor de efecto Hall y un campo magnético. Dicha rueda va girando al tener contacto con las paredes de la tubería y va registrando la distancia recorrida cada dos centímetros.

La referencia a las anomalías detectadas se hace por medio del registro que se lleva con los odómetros, teniendo la distancia desde un punto de referencia hasta la anomalía.

Los puntos de referencia pueden ser la trampa de envío o cualquier otra localización geográfica sobre el ducto que se haya establecido durante la operación de inspección.

Para validar esta referencia, el instrumento cuenta con un reloj de tiempo real que genera marcas, con las cuales se correlaciona la información registrada.

CAPITULO 4

4.- LA TRANSFORMADA RAPIDA DE FOURIER.

El análisis de espectro es una herramienta importante en una gran cantidad de áreas, por lo que se han desarrollado diferentes algoritmos para su aplicación. Uno de los primeros algoritmos fue el de la transformada de Fourier, pero debido a que en su tiempo no se tenía un desarrollo óptimo de cálculo para la gran cantidad de datos y número de operaciones que se necesitaban, se buscaron nuevos algoritmos para su implementación; uno de ellos fue elaborado en 1965, por James W. Cooley y John W. Tukey. El trabajo de ambos dio lugar a un programa conocido por Transformada Rápida de Fourier (FFT). Este algoritmo realiza la transformación en menor tiempo que la transformada discreta de Fourier, reduciendo el número de multiplicaciones necesarias.

El algoritmo de la (FFT) es una buena herramienta para la transformación del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia de una función.

4.1.- Algoritmo de Cooley y Tukey.

Crestomatia:

1628 teorema fundamental del Barón Jean Baptiste Joseph Fourier al que procedieron en su estudio Bernoulli y Euler.

1965 *Transformada Rápida de Fourier*, el perfeccionamiento del algoritmo permitió un amplio rango de aplicaciones y en el tipo de problemas que se pueden afrontar con FFT, anteriormente los cálculos o procesos que involucraban *Fourier* eran hechos con dispositivos analógicos, sin embargo, los dispositivos analógicos no satisfacían la precisión requerida y los dispositivos digitales eran demasiado lentos.

La variedad de aplicaciones de *Fourier* implicaban principalmente proceso digital unidimensional, en el cual participaban profesionales de diferentes especialidades, diseñadores de computadoras y especialistas en programación.

Existen actualmente, una amplia variedad de algoritmos de *Fourier* que cubren las necesidades específicas así como las restricciones de Hardware de la gente que los usa.

La historia de FFT, es la historia de la optimización de programas de propósito general y ejemplo clásico de análisis de algoritmos.

La formulación de la FFT es frecuentemente acreditada a *Cooley* y *Tukey*; la FFT sin embargo, tiene una interesante historia esbozada a continuación: En respuesta al artículo de *Cooley* y *Tukey*, *Rudnick* reportó haber estado utilizando una técnica cuyo número de operaciones era también proporcional a $N \log_2 N$ y que estaba basado en un método publicado por *Danielson* y *Lanczos*. Estos autores se basaron a su vez en *Runge* [1903 - 1905] como las fuentes de sus técnicas. Los dos últimos artículos juntos con las notas de *Runge* y *König* [1939] contienen las ventajas computacionales esenciales de los presentes algoritmos de FFT.

Técnicas similares fueron también publicadas por *Yates*, *Stumpff*, *Goody* *Thomas*. Un artículo de *Cooley*, *Lewis* y *Welch*

presenta un resumen histórico y una comparación interesante de resultados previos al artículo de 1965 de Cooley y Tukey.

Los artículos de C. Runge, H. König y K. Stumpff describían primariamente como se podían usar las propiedades simétricas de las funciones trigonométricas seno y coseno para reducir la cantidad de cálculos por factores de 4, 8 o los mismos datos. La sucesiva aplicación de este algoritmo implica que el análisis de Fourier de N puntos se realiza en $\text{Log } N$ doblamientos, y por tanto, toma $N \text{ Log} 2 N$ operaciones.

Entonces, mientras el método computacional utiliza las propiedades simétricas reducen en un factor proporcional a KN operaciones requeridas para transformar una secuencia de N puntos, método basado en el Algoritmo de Doblamiento toma un número proporcional de $N \text{ Log} 2 N$.

Con el arribo de las computadoras electrónicas capaces de desarrollar los cálculos de la Transformada de Fourier con grandes valores de N , los métodos de $N \text{ Log} 2 N$ operaciones fueron revisados para estas computadoras.

El espectro de frecuencias (o transformada de Fourier) provee el peso relativo a las diferentes frecuencias que comprenden o representan una señal dada.

El concepto de espectro de frecuencias a jugado un papel importante en numerosas aplicaciones científicas y a sido de interés a matemáticos, ingenieros y científicos de muchas disciplinas diferentes. Algunas de las áreas donde el análisis espectral a sido empleado son: sonido y análisis musical, diseño de sistemas de comunicación, análisis de vibraciones mecánicas, análisis de ondas oceánicas y muchas otras.

Los datos a transformar pueden ser conceptualizados como elementos de una matriz de transformación, el producto es una matriz que contiene los datos transformados.

Usualmente la información es descrita en términos de amplitud y la fase de los componentes.

Observando la definición de la DFT revela que son aproximadamente N multiplicaciones complejas y cerca del mismo número de adiciones complejas requeridas para calcular el espectro de un valor particular de $m = N^2$ el número total de cálculos requeridos para generar el espectro de frecuencias.

La transformada discreta de Fourier (DFT) es una aproximación del concepto fundamental de Fourier adecuada para ser implementada digitalmente.

Las funciones que describen una área neta (una área entre la curva y el eje horizontal) tienen algunos componentes con amplitud cero en sus frecuencias. Por otra parte si no se tiene una área neta entonces su transformada de Fourier no tiene componentes con amplitud cero en sus frecuencias.

Una función tiene una representación de Fourier de bajas frecuencias las cuales conforman la información principal de la función. (su forma general) y de altas frecuencias que definen los cambios abruptos (su forma en detalle), el límite entre ambas no está establecido objetivamente.

Las funciones con comportamiento periódico revelan un pico sobre o cerca de la frecuencia de oscilación y este será más definido si la función original tiene más ciclos.

El ruido usualmente está presente en las altas frecuencias, la señal propiamente dicha se encuentra en las bajas frecuencias.

Elegir la frecuencia de corte apropiada es materia de ensayo error.

La causa del 'efecto de extremos' es que algunas de las altas frecuencias (genuinas altas frecuencias) proveen la discontinuidad entre el inicio y el fin de los datos.

La transformada discreta de Fourier trata a los datos como periódicos asumiendo que los puntos finales están seguidos por réplicas de los puntos iniciales, entonces la transformada 'percibe' un salto repentino entre el final del primer período y el inicio del siguiente. Cambios repentinos corresponden a altas frecuencias, las cuales a su vez resultan en más altas frecuencias en espectro de la transformada.

Aunque la señal de tiempo puede o no ser periódica en naturaleza, el concepto matemático de la transformada discreta de Fourier trata la señal como si fuera periódica.

La duración total de la señal de tiempo es el periodo de $t_p = NT$ segundos, donde T tiempo de incremento entre muestras, N cantidad de muestras.

El espectro obtenido de DFT es periódico y contiene N componentes, sin embargo para una función de tiempo que es real la mitad de sus componentes son ambiguos entonces $N/2$ son los componentes espectrales significativos, estos componentes están espaciados entre frecuencias por $F = 1/t_p$ hertz.

Acorde a teoría de muestreo, una señal debe ser muestreada a

una tasa de $T \leq 1/2fh$ donde fh es la más alta frecuencia. En caso contrario se tendrá traslape espectral que distorsionará el espectro.

En general, hay una relación inversa entre el ancho de una señal y el ancho de su correspondiente espectro. Esta propiedad es un concepto importante en la transmisión de señales e implica la necesidad de grandes anchos de banda para transmitir señales de pulsos cortos.

Si una señal es primero transformada en el dominio espectral (de frecuencias), esta es más fácil de filtrar de ruido e interferencias.

A menudo es más eficiente manipular una señal transformandola al dominio de la frecuencia espectral procesarla y transformarla de forma inversa; el costo del proceso en general está justificado por la velocidad y conveniencia de muchas operaciones cuando son aplicadas a los componentes de frecuencia de una función.

Ventajas de FFT (Transformada Rápida de Fourier)

- Usando propiedades trigonométricas el número de senos y cosenos es drásticamente reducido.
- El número de multiplicaciones puede ser reducido reemplazandolas por adiciones.
- El tiempo de proceso es reducido, en especial cuando N es grande.

Desventajas de FFT.

- N debe ser potencia de 2

-La evaluación trigonométrica aún siendo poca, tiende a consumir mucho tiempo.

-La salida del algoritmo cuya entrada es N , es de N datos complejos.

-Por la necesidad de invertir bits, la programación de lenguajes de alto nivel no es eficiente requiriéndose un lenguaje de máquina.

4.2 La transformada de Fourier.

4.2.1. Transformada de Fourier en continuo.

Una herramienta usual para el análisis de funciones del tiempo $f(t)$ periódicas y continuas es la de representar la función como una serie de Fourier:

$$f(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} F(n) e^{jn2\pi f_1 t} \quad (4.1)$$

El período de la función es $T_1 = 1/f_1$ y $F(n)$ es el coeficiente complejo de Fourier dado por:

$$F(n) = \frac{1}{T_1} \int_{-T_1/2}^{T_1/2} f(t) e^{-jn2\pi f_1 t} dt \quad (4.2)$$

La representación para funciones $x(t)$ no periódicas es:

$$x(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} s(f) e^{j2\pi f t} df \quad (4.3)$$

O bien, en términos de $\omega = 2\pi f$:

$$x(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} s(\omega) e^{j\omega t} d\omega$$

El espectro complejo continuo de frecuencia de la función no periódica $S(f)$ se determina por:

$$S(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} X(t) e^{-j2\pi ft} dt \quad (4.4)$$

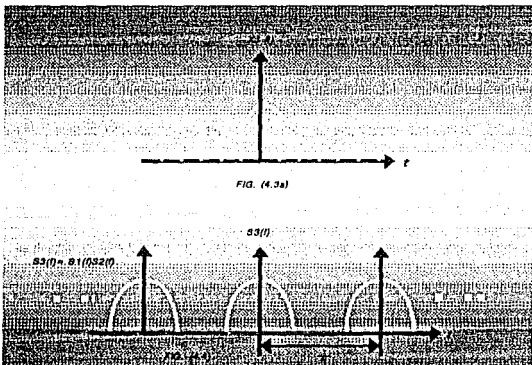
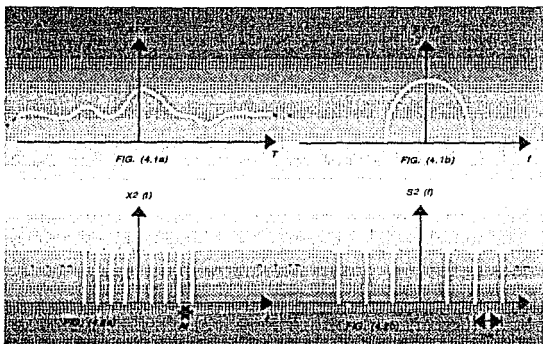
Las relaciones recíprocas (4.3) y (4.4) se conocen como transformadas de Fourier. Más comúnmente, $S(f)$ se le llama transformada de Fourier de $X(t)$, y a $X(t)$ se le llama transformada inversa de $S(f)$.

Si $X(t)$ es periódica con T_1 de período, entonces la transformación definida en (4.4) cambia de una secuencia de funciones de impulsos "pesados" a integrales múltiples de la frecuencia fundamental f_1 ; los pesos corresponden a los coeficientes de la serie de Fourier, determinados de la expresión (4.2).

4.3.- Transformada discreta de Fourier.

Se puede establecer la relación entre las transformadas de Fourier de funciones de tiempo continuas y discretas. Considerando $X_1(t)$ y su transformada $S_1(f)$, ilustradas en las figuras (4.1a) y (4.1b).

Se puede tomar el muestreo de $X_1(t)$ como la multiplicación de $X_1(t)$ por la función $X_2(t)$ que es una secuencia infinita de



impulsos como se ve en la fig.(4.2a). La transformada de $X_2(t)$ o sea $S_2(f)$ se ve en la figura 4.2b.

De este modo obtenemos una función discreta con amplitud igual a $X_1(t)$ y muestreada cada intervalo Δt como en la fig. (4.3a).

La función en el tiempo $X_3(t)$ es lo que se llama convolución de $X_1(t)$ con $X_2(t)$ y su transformada de Fourier es:

$$S_3(f) = S_1(f) S_2(f)$$

Cuya gráfica aparece en la fig. (4.4).

Se ve que la función $S_3(f)$ es par periódica, de período $1/\Delta t$, donde cada período contiene información completa del espectro de frecuencia de $x_1(t)$.

Es claro que al usar una computadora digital, sólo se podrá considerar un número finito de muestras discretas tanto como para la función del tiempo como parte del espectro.

Ahora podremos expresar las ecuaciones (4.3) y (4.4) de las transformadas de Fourier para funciones discretas con N muestras:

$$S(f_n) = \Delta t \sum_{k=0}^{N-1} X(t_k) e^{-j2\pi f_n t_k} \quad (4.5)$$

$$n = 0, \pm 1, \dots, \pm N/2$$

$$X(tk) = \Delta f \sum_{n=-N/2}^{N/2} S(f_n) e^{j2\pi f_n t_k}$$

$$k = 0, \dots, N-1$$

Si tomamos $t_k = k\Delta t$, $f_n = n\Delta f$ y vemos que $\Delta t = T/N$ y $\Delta f = 1/T$ podemos expresar:

$$S(n) = \Delta t \sum_{k=0}^{N-1} X(k) e^{-j2\pi(nk)/N}$$

$$n = 0, 1, \dots, N-1$$

(4.6)

$$X(k) = \Delta f \sum_{n=0}^{N-1} S(n) e^{j2\pi(nk)/N}$$

$$k = 0, 1, \dots, N-1$$

Donde el argumento n no varía de $0, 1, \dots, N-1$ y no de $0, -1, \dots, -N/2$ lo cual no altera el primer miembro de (4.5) y facilita su cómputo. El término $n = N/2$ corresponde al alias o frecuencia de doblamiento de Nyquist.

El par de las ecuaciones (4.6) pueden resolverse directamente en una computadora y se denomina método convencional para la solución de las transformadas de Fourier. Este método implica la realización de $2N^2$ operaciones aritméticas complejas (multiplicaciones y sumas) y la utilización de gran cantidad de unidades de almacenamiento.

Se ha mencionado que se realizan operaciones complejas al obtener las transformadas de Fourier y esto se debe a que aparece el término $e^{+j\omega t_n}$, que como se sabe es igual a:

$$e^{+j\omega t_n} = \cos(n\omega t) + j\sin(n\omega t) \quad (4.7)$$

4.4.- Desarrollo matemático del algoritmo de (FFT).

(Algoritmo de Cooley y Tukey).

Con objeto de hacer una descripción del algoritmo para fines de cómputo, la primera ecuación de (4.6) se expresa de la siguiente forma:

$$\begin{bmatrix} S(n) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} W^{nk} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X0(K) \end{bmatrix} \quad (4.8)$$

donde $\begin{bmatrix} S(n) \end{bmatrix}$ y $\begin{bmatrix} X0(k) \end{bmatrix}$ son matrices columna de orden $N \times 1$,

$\begin{bmatrix} W^{nk} \end{bmatrix}$ matriz de orden $N \times N$ y

$$W = e^{-j2\pi/N}$$

Para mayor claridad, el factor de escala Δt se ha omitido; y se le ha colocado un subíndice cero al vector $X(k)$ para tener una continuidad en la notación durante el desarrollo.

Para ver el comportamiento de la ecuación (4.8) considérese el ejemplo para $N = 4$, tendremos entonces:

$$\begin{bmatrix} S(0) \\ S(1) \\ S(2) \\ S(3) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} W^0 & W^0 & W^0 & W^0 \\ W^0 & W^1 & W^2 & W^3 \\ W^0 & W^2 & W^4 & W^6 \\ W^0 & W^3 & W^6 & W^9 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X0(0) \\ X0(1) \\ X0(2) \\ X0(3) \end{bmatrix} \quad (4.9)$$

La ejecución de esta ecuación, como se ha dicho, requiere N^2 operaciones complejas (W es compleja). Por medio del algoritmo, el número de operaciones se reduce. Ahora veremos cómo se obtiene dicha reducción.

El algoritmo de Cooley y Tukey factoriza la matriz $[W^{nk}]$ en un producto de $\log_2 N$ matrices de $N \times N$; como este producto se multiplica por la matriz columna $[X0(k)]$ de $N \times 1$ se tiene un total de $N \log_2 N$ operaciones.

Se observa entonces, que como $N \log N$ debe ser un número entero, N debe ser igual a 2^Y , siendo Y un número entero.

Desarrollo:

El primer paso es escribir la matriz $[W^{nk}]$ de (4.9) en la forma:

$$\begin{bmatrix} S(0) \\ S(1) \\ S(2) \\ S(3) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & W^1 & W^2 & W^3 \\ 1 & W^2 & W^0 & W^2 \\ 1 & W^3 & W^2 & W^1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X0(0) \\ X0(1) \\ X0(2) \\ X0(3) \end{bmatrix} \quad (4.10)$$

La nueva matriz $[W^{nk}]$ en (4.10) se obtiene usando la relación $W^{nk} = W^{nk \bmod N}$, donde $nk \bmod N$ es el residuo que resulta de la división de nk/N . Por ejemplo para $k = 3$, $n = 2$ tenemos W^6 , ahora como $n = 4$, entonces $nk \bmod N = (\text{residuo de } nk/N) = (\text{residuo } (6/4)) = 2$, o bien,

$$\begin{aligned}
 W^{nk} &= \exp \left[\frac{-j2\pi}{4} (6) \right] = \exp \left[-j3\pi \right] = \\
 &= W^{nk \bmod N} = \exp \left[\frac{-j2\pi}{4} (2) \right] = \exp \left[-j\pi \right]
 \end{aligned}$$

El segundo paso es muy importante y consiste en permutar las componentes del vector $[S(n)]$ y por lo tanto los elementos de la matriz $[W^{nk \bmod N}]$ también se permutan para no alterar la ecuación la cual escribimos ahora:

$$\begin{bmatrix} \overline{S(n)} \\ S(2) \\ S(1) \\ S(3) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & W^2 & W^0 & W^2 \\ 1 & W^1 & W^2 & W^3 \\ 1 & W^3 & W^2 & W^1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X0(0) \\ X0(1) \\ X0(2) \\ X0(3) \end{bmatrix} \quad (4.11)$$

El procedimiento para obtener $[\overline{S(n)}]$ a partir de $[S(n)]$ ó

0001

$$\begin{bmatrix} \overline{S(n)} \\ S(2) \\ S(1) \\ S(3) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S(0) \\ S(2) \\ S(1) \\ S(3) \end{bmatrix} \text{ en lugar de } \begin{bmatrix} S(n) \\ S(1) \\ S(2) \\ S(3) \end{bmatrix}$$

es el siguiente: 1) poner los subíndices de S en notación binaria:

$$\begin{bmatrix} S(0) \\ S(1) \\ S(2) \\ S(3) \end{bmatrix} \quad \text{es} \quad \begin{bmatrix} S(00) \\ S(01) \\ S(10) \\ S(11) \end{bmatrix} \quad (4.12)$$

2) los argumentos binarios de (4.12) son "girados" (se intercambian), obteniéndose:

$$\begin{bmatrix} S(n) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S(00) \\ S(01) \\ S(10) \\ S(11) \end{bmatrix} \quad \text{se cambia a} \quad \begin{bmatrix} S(00) \\ S(10) \\ S(01) \\ S(11) \end{bmatrix} = \overline{\begin{bmatrix} S(n) \end{bmatrix}}$$

El tercer paso es el de factorizar la matriz $[W^{nk \bmod N}]$ de $N \times N$, en γ matrices de $N \times N$. Para la matriz de la ecuación (4.11) tendríamos la relación siguiente:

$$\begin{bmatrix} S(0) \\ S(2) \\ S(1) \\ S(3) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & W^0 & 0 & 0 \\ 1 & W^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & W^1 \\ 0 & 0 & 1 & W^3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & W^0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & W^0 \\ 1 & 0 & W^2 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & W^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X(0) \\ X(1) \\ X(2) \\ X(3) \end{bmatrix} \quad (4.13)$$

La factorización se realiza de la siguiente forma:

a).- De la matriz a factorizar, se toman los elementos de las dos primeras columnas y las N filas, con ellos formamos $N/2$ matrices de orden 2×2 dividiendo las N filas de dos en dos.

b).- Con las $N/2$ matrices de 2×2 , se forma una matriz de $N \times N$ suponiendo dichas matrices de una matriz nula de $N \times N$ de tal forma que las diagonales de las matrices pequeñas formen diagonal principal de la matriz de $N \times N$ (los elementos de las matrices de 2×2 no cambian de fila, sólo de columna). Se tiene entonces:

$$\left[w^{nk \bmod N} \right] = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & w^2 & w^0 & w^2 \\ 1 & w^1 & w^2 & w^3 \\ 1 & w^3 & w^2 & w^1 \end{bmatrix} \quad \begin{array}{l} \text{Matriz a factorizar} \\ (N = 4) \\ N \times N \end{array}$$

a) Las matrices de 2×2 son:

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & w^2 \end{bmatrix} \quad \begin{array}{l} \text{Fila 1} \\ \text{Fila 2} \end{array} \quad \begin{bmatrix} 1 & w^1 \\ 1 & w^3 \end{bmatrix} \quad \begin{array}{l} \text{Fila 3} \\ \text{Fila 4} \end{array}$$

b) Suponiendo la primera matriz de 2×2 , sin que sus elementos cambien de fila y que su diagonal principal forme la diagonal principal de una matriz nula, se tiene:

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & w^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Suponiendo ahora la segunda matriz de 2×2 , en la misma forma se tiene:

$$[W_1] = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & W^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & W^1 \\ 0 & 0 & 1 & W^3 \end{bmatrix}$$

Obtenida la matriz, se procede a formar la siguiente matriz factor, hasta tener n matrices de $N \times N$:

c) Se toman ahora los elementos de las $n/2$ primeras filas y columnas de la matriz $[W_1]$. Con cada elemento de éstos se forma una matriz diagonal de 2×2 . En el ejemplo se tiene:

Los elementos de las primeras $n/2$ ($4/2 = 2$) filas y columnas de $[W_1]$ son:

$$\begin{matrix} 1 & 1 \\ 1 & W^2 \end{matrix} \quad \text{ó bien} \quad \begin{matrix} 1 & W^0 \\ 1 & W^2 \end{matrix} \quad \text{ya que } W^0 = 1$$

y las matrices diagonales con estos elementos son:

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} W^0 & 0 \\ 0 & W^0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} W^2 & 0 \\ 0 & W^2 \end{bmatrix}$$

d) Con estas matrices se forma una matriz W_2 de $N \times N$ de tal forma que los elementos que están en la diagonal principal de la matriz W_1 formen la de la matriz W_2 , ó sea:

$$\begin{bmatrix} W_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & W^0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & W^0 \\ 1 & 0 & W^2 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & W^2 \end{bmatrix}$$

Con esta matriz se repiten a su vez los pasos (c) y (d) hasta obtener n matrices ($[W_1] \dots [W_n]$) "rales" (contienen muchos elementos cero). Ya factorizada la matriz $[W^{NK \text{ MOD } N}]$ en matrices, se multiplica por la matriz columna $[X_0(K)]$; ($K=0,1,\dots,N-1$) da como resultado final el espectro discreto de frecuencias.

Se puede examinar ahora el número de multiplicaciones y adiciones complejas para el ejemplo de $N=4$. Al resolver la ecuación (4.13) se tiene:

Primer paso:

$$\begin{bmatrix} X_1(0) \\ X_1(1) \\ X_1(2) \\ X_1(3) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & W^0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & W^0 \\ 1 & 0 & W^2 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & W^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_0(0) \\ X_0(1) \\ X_0(2) \\ X_0(3) \end{bmatrix} \quad (4.14)$$

El valor $X_1(k)$ es el resultado de multiplicar las dos matrices de la extrema derecha de la ecuación (4.13). El elemento $X_1(0)$ es calculado por una multiplicación compleja y una suma:

$$X_1(0) = X_0(0) + W X_0(2) \quad (4.15)$$

En este caso, como $W^0 = 1$, la multiplicación $W^0 X_0(2)$ no es necesaria; pero para el caso general si lo es. El elemento $X_1(1)$ también es determinado por una multiplicación compleja y una suma. Para encontrar $X_1(2)$, sólo se requiere una suma compleja debido a que $W^0 = -W^2$, entonces:

$$\begin{aligned} X_1(2) &= X_0(0) + W^2 X_0(2) \\ &= X_0(0) - W^0 X_0(2) \end{aligned}$$

y el producto $W^0 X_0(2)$ ya ha sido realizado antes para calcular $X_1(3)$ sólo se requiere una suma compleja. En total, el vector $X_1(k)$ es completamente determinado con cuatro sumas y dos multiplicaciones.

$$\begin{bmatrix} S(0) \\ S(2) \\ S(1) \\ S(3) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & W^0 & 0 & 0 \\ 1 & W^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & W^1 \\ 0 & 0 & 1 & W^3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1(0) \\ X_1(1) \\ X_1(2) \\ X_1(3) \end{bmatrix} \quad (4.16)$$

Entonces, $S(0)$ se determina por una multiplicación y una suma:

$$S(0) = X_1(0) + W^0 X(1)$$

Operando en igual forma se obtiene $S(1)$. Para el caso de $S(2)$, donde $W^0 = -W^2$ sólo se requiere una suma. lo mismo para $S(3)$. En resumen, a partir de $X_1(k)$ se obtiene el vector $S(n)$ con dos multiplicaciones y cuatro sumas, al igual que para obtener $X_1(k)$ a partir de $X_0(k)$, dando un total de cuatro multiplicaciones ($N\gamma/2 = 4 \times 2/2 = 4$) y ocho sumas ($N\gamma = 4 \times 2 = 8$) En cambio, para resolver la ecuación (4.13) se necesitan $N^2 = 16$ multiplicaciones y 16 sumas. Obviamente, si el número de muestras es grande, la reducción de operaciones (y de tiempo de máquina) será muy significativa.

La ventaja que tiene el uso del algoritmo de Cooley y Tukey para obtener la transformada de Fourier discreta, consiste en la reducción del tiempo de operación de la computadora.

Aplicando el método directo para la transformación de una señal muestreada de N puntos, el tiempo requerido es proporcional a $N \log_2 N$ y la razón de tiempo de computación es:

$$\frac{N \log_2 N}{N^2} = \frac{\log_2 N}{N} = \frac{\gamma}{N}$$

donde $N = 2^Y$. Por ejemplo, si $N = 1024$ puntos ($n = 2^{10}$), la transformada rápida requiere menos de 0.01 del tiempo normal de computación.

CAPITULO 5

5.1 MODULO GLOBAL DEL SISTEMA.

Gráficas por computadora es uno de los campos más interesantes y que crece más rápidamente dentro de la computación. Algunos de los sistemas de computación más complejos que se usan hoy día están diseñados para la generación de despliegues gráficos. Se conoce el valor de una figura como un eficaz medio de comunicación, y la capacidad de conversar en forma gráfica con una computadora está revolucionando la forma en que las computadoras se están utilizando en todas las áreas, algunas de las principales pueden ser:

- Análisis y Procesamiento gráfico de datos.
- Cartografía
- Reconocimiento de formas en Inteligencia Artificial
- Medicina y Biotecnología
- Diseño Integrado por Computadora (CIM) y todas sus áreas de:
- Diseño Auxiliado por Computadora (CAD)
- Diseño y Dibujo Auxiliado por Computadora (CADD)
- Ingeniería Auxiliada por Computadora (CAE)
- Manufactura Auxiliada por Computadora (CAM)
- Sismología y Geología
- Manuales de Servicio (Instrucción Auxiliada por Computadora CAI)
- Gráficas para Negocios
- Simulación Científica de Procesos Físicos y/o Químicos
- Nuevas Formas de Expresión Artística
- Juegos y Entretenimiento.

Varios programas de gráficas disponibles comercialmente están diseñados específicamente para la generación de gráficas y diagramas. A menudo un programa de trazo de gráficas tendrá la capacidad de generar una variedad de tipos de gráficas, como diagramas de barras, gráficas lineales, gráficas superficiales o diagramas de pastel.

Las gráficas y los diagramas se usan por lo general para resumir datos financieros, estadísticos, matemáticos, científicos o económicos. Estas gráficas se generan para informes de investigaciones, informes administrativos, boletines de información para el consumidor y auxiliares visuales que se utilizan durante las presentaciones.

5.2 Dispositivos de entrada físicos.

Muchos tipos de dispositivos de hardware pueden utilizarse para introducir datos a un programa de gráficas. Entre ellos se incluyen teclados, botones y cuadrantes o discos, paneles de tacto, plumas linterna, tabletas bidimensionales y tridimensionales, palancas de mando, esfera de control, ratón y dispositivos de transmisión de voz.

El tipo de dispositivo que se utiliza en un sistema determinado depende del tipo de aplicación y del tipo de datos que se introduzcan.

Los programas de gráficas utilizan varios tipos de datos de entrada. Entre ellos se incluyen valores de posiciones coordenadas, cadenas de caracteres para rotular, valores escalares de parámetros de transformación, valores que especifican opciones de menú y valores de identificación de segmentos.

Para hacer que los paquetes de gráficas sean independientes de los dispositivos de hardware particulares que se utilicen, los comandos de entrada pueden estructurarse conforme a la descripción de los datos que serán manejados por cada comando.

Este punto de vista ofrece una clasificación lógica de los dispositivos de entrada en función del tipo de datos que se introducirán.

Los diversos tipos de datos de entrada se resumen en las seis siguientes clasificaciones lógicas de dispositivos:

- LOCALIZADOR.- dispositivo para especificar una posición coordenada (x,y).
- DE TRAZO.- dispositivo para especificar una serie de posiciones coordenadas.
- DE CADENA.- dispositivo para especificar una entrada de texto.
- EVALUADOR.- dispositivo para especificar valores escalares.
- CON ELECCION.- dispositivo para seleccionar opciones de menú.
- RECOGEDOR.- dispositivo para seleccionar componentes de una imagen.

5.3 Dispositivos de copia dura.

Muchos sistemas de gráficas están equipados para producir salida en copia dura directamente de un monitor de video en la forma de acetatos o transparencias de 35 mm.

5.3.1 Impresoras.

Aunque originalmente se diseñaron para producir páginas de texto, las impresoras estándar son dispositivos de gráficas aceptables para aplicaciones que no requieren salida de alta

calidad. Por lo general son accesibles, de modo que aún los sistemas sin capacidades especiales de graficación se pueden utilizar para generar salidas de gráficas en una impresora conectada.

Las impresoras producen salida por métodos de impacto o bien de no impacto. Las impresoras de impacto oprimen caras de caracteres formados contra una cinta entintada contra el papel. La conocida impresora de líneas es un ejemplo de un dispositivo de impacto, con los tipos montados sobre bandas, cadenas, tambores o margaritas (discos).

Una cabeza de impresión de matriz de puntos, que contiene un arreglo rectangular de puntas muy finas, se usa a menudo en las impresoras de caracteres de impacto para formar caracteres individuales activando modelos seleccionados de puntas de contacto.

Las impresoras de no impacto son más rápidas y silenciosas y con frecuencia se valen de un método de matriz de puntos para imprimir caracteres o trazar líneas.

Los atomizadores de chorro de tinta, técnicas láser, procesos xerográficos (como los que se utilizan en las máquinas fotocopiadoras), métodos electrostáticos y métodos electrotérmicos se emplean en el diseño de impresoras de no impacto.

Los métodos de matriz de puntos ofrecen mayores posibilidades para obtener salidas de gráficas. Además de imprimir modelos de caracteres prefijados, estas impresoras pueden adaptarse para imprimir cualquier combinación de puntos seleccionada por un programa de gráficas.

5.3.2 Graficadoras.

Estos dispositivos producen trazos de líneas en copia dura. Las graficadoras más comunes son las que usan plumas de tinta para generar los trazos, pero muchos dispositivos de graficación emplean ahora haces de rayo láser, atomizadores de chorro de tinta y métodos electrostáticos.

A diferencia de las impresoras estándar, las graficadoras requieren otros comandos de software para dirigir la graficadora a partir de un programa de aplicaciones. Las graficadoras de pluma normalmente usan una o más plumas de tinta montadas en un cartucho o barra transversal, para trazar líneas en una hoja de papel, el papel de la graficadora es plano o bien está enrollado en un tambor o banda.

Entre los comandos comunes para una graficadora de pluma de un programa de aplicaciones se incluyen aquellos para levantar y bajar la pluma y para desplazarla a una posición especificada.

Un electromagneto se utiliza para elevar y bajar la pluma y los servomotores mueven las plumas y el cartucho o bien el tambor. Algunas graficadoras permiten el movimiento de la pluma solamente en pasos unitarios, mientras que otras son capaces de aceptar comandos para realizar movimientos de más de una unidad en varias direcciones.

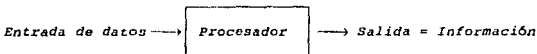
Los microprocesadores a menudo se colocan en las graficadoras para permitir la generación automática de figuras comunes, como líneas, circunferencias y elipses, y para producir automáticamente diferentes modelos de caracteres.

5.4 Presentación de salida del sistema.

5.4.1 Estructura general del sistema.

Nuestro sistema en general consiste en analizar y procesar graficamente la información grabada por un dispositivo. El objetivo de nuestro sistema es obtener información significativa y útil.

Los tres componentes de un sistema de proceso de información son: *entrada, salida y procesador.*



El *procesador* que puede ser bastante complicado, se representa por una simple caja y puede aceptar datos llamados *entrada* y esta entrada se transforma entonces para producir una información denominada *salida* o resultados.

El conjunto de instrucciones que especifican la secuencia de operaciones a realizar, en orden, para resolver un sistema específico o clase de problema se denomina algoritmo.

Para realizar un proceso se debe suministrar al procesador un algoritmo adecuado. Cuando el procesador es una computadora (como en nuestro caso) el algoritmo ha de expresarse de una forma que recibe el nombre de programa. Un programa se escribe en un lenguaje de programación y a la actividad de expresar un algoritmo en forma de programa se le denomina programación.

El proceso de programación, es por consiguiente, un proceso de solución de problemas y el desarrollo de un programa requiere de las siguientes fases:

- 1.- Definición y análisis del problema.
- 2.- Diseño de algoritmos.
 - Diagramas de flujo (en este trabajo utilizaremos esta técnica).
 - Pseudocódigo
 - Diagramas N-S.
 - etc.
- 3.- Codificación del programa.
- 4.- Depuración y verificación del programa.
- 5.- Documentación.
- 6.- Mantenimiento.

1.- Definición y análisis del problema.

El propósito del análisis del problema es ayudar al programador para llegar a una cierta comprensión de la naturaleza del problema. El problema debe estar bien definido si se desea llegar a una solución satisfactoria.

Para poder definir con precisión el problema se requiere que las especificaciones de entrada y salida sean descritas con detalle. Una buena definición del problema junto con una descripción detallada de las especificaciones de entrada y salida, son los requisitos más importantes para llegar a una solución eficaz.

2.- Diseño de Algoritmos.

Los algoritmos son independientes tanto del lenguaje de programación en que se expresan como de la computadora que los ejecuta. En la ciencia de computación y en la programación los algoritmos son más importantes que los lenguajes de programación o las computadoras.

Las características fundamentales que debe cumplir un algoritmo son:

- a) Un algoritmo debe ser preciso e indicar el orden de realización de cada paso.
- b) Un algoritmo debe estar definido. Si seguimos un algoritmo dos veces se debe obtener el mismo resultado cada vez.
- c) Un algoritmo debe ser finito. Si se sigue un algoritmo, se debe terminar en algún momento ; o sea debe tener un número finito de pasos.

Para representar un algoritmo se debe utilizar algún método que permita independizar dicho algoritmo del lenguaje de programación elegido. Ello permitirá que un algoritmo pueda ser codificado indistintamente en cualquier lenguaje. Para conseguir este objetivo se precisa que el algoritmo sea representado gráfica o numéricamente, de modo que las sucesivas acciones no dependa de las sintaxis de ningún lenguaje de programación, sino que la descripción pueda servir fácilmente para su transformación en un programa, es decir, su codificación.

Los métodos usuales para representar un algoritmo son:

- Diagramas de flujo
- Diagramas N-S (Nassi-Schneiderman)
- Lenguaje de especificación de algoritmos: *pseudocódigo*
- Lenguaje español
- Diagramas de HIPO
- Fórmulas.

En este trabajo nos enfocaremos a los Diagramas de flujo, ya que con esta técnica representaremos más adelante nuestro sistema.

Los diagramas de flujo (flowchart) es una de las técnicas de representación de algoritmos más antigua y a la vez más utilizada. Un diagrama de flujo es un diagrama que utiliza los símbolos (cajas) estándar mostrados en la figura (5.1) y que tienen los pasos del algoritmo escritos en esas cajas unidas por flechas, denominadas líneas de flujo, que indican la secuencia en que se deben de ejecutar.

3. Codificación del Programa.

La codificación es la etapa de conversión del algoritmo en programa, escrito en un lenguaje de programación de alto nivel como Pascal, Turbo C etc. La codificación del programa suele ser una tarea pesada que requiere un conocimiento completo de las características del lenguaje elegido para conseguir un programa eficaz. Sin embargo, si el diseño del algoritmo se ha realizado en detalle con acciones simples y con buena legibilidad, el proceso de codificación puede reducirse a una simple tarea mecánica.

Las reglas de sintaxis que regulan la codificación variarán, de un lenguaje a otro y el programador deberá conocer en profundidad dichas reglas para poder diseñar buenos programas.

4. Depuración y Verificación del Programa.

Una vez finalizada la base de codificación, el usuario dispone de un programa fuente que podrá ser introducido en la computadora; normalmente, via teclado mediante un programa editor.

Normalmente un programa casi nunca funciona (corre) bien a la primera y se producirán diferentes errores. Para poder llegar a tener un programas correctos sin ningún tipo de error, necesitará corregir estos errores. La detección de errores y la posterior eliminación de estos constituyen la fase de depuración del



Conector
sirve para enlazar dos partes cualesquiera de un organograma a través de un conector en la salida y otro en la entrada.



Indicador de dirección o línea de flujo.
Indica el sentido de ejecución de las operaciones.



línea conectora
Sirve de unión entre dos símbolos.



Llamada a subrutina o a un proceso predeterminado.



Impresora.
Se utiliza en ocasiones en lugar del símbolo de E/S.



Conector
Conexión entre dos puntos del organograma situado en páginas diferentes.

FIG.5.1 SIMBOLOS DE DIAGRAMAS DE FLUJO



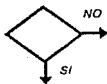
Terminal
representa el inicio y el fin de un programa . Puede representar también una parada o interrupción programada que sea necesario realizar en un programa.



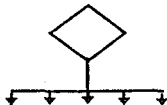
Entrada / Salida
Cualquier tipo de introducción de datos en la memoria desde los periféricos o salida.



Proceso.
Cualquier tipo de operación que pueda originar cambio de valor , formato o posición de la información censada en memoria, operaciones aritméticas, etc.



Decisión.
Indica operaciones lógicas o de comparación entre datos y en función del resultado de la misma determina cuál de los distintos caminos alternativos del programa se deben seguir.



Decisión múltiple.
En función del resultado de la comparación se seguirá uno de los diferentes caminos de acuerdo con dicho resultado.

FIG. 5.1 SIMBOLOS DE DIAGRAMAS DE FLUJO

programa. El objetivo final de esta etapa será prevenir tantos errores como sea posible a la hora de ejecutar un programa, así como facilitar la detección y corrección de los mismos.

5. Documentación

La documentación aunque no es la fase más difícil en el proceso de programación, es, sin duda, la fase que más directamente afectará a la consecución de resultados reales correctos. Esta documentación del programa en el lenguaje seleccionado vendrá influenciada notablemente por el grado de detalle al que se haya descendido en la fase de análisis del problema. La programación y su fase de documentación como exponente fiel de ella puede ser un trabajo de simple conversión o traducción a instrucciones de lenguaje o requerir del programador la realización de complejos diagramas o pseudocódigos.

La documentación se debe ajustar a unas reglas básicas que puedan ser entendibles fácilmente. Los programas solucionan problemas cuando se ejecutan en una computadora; sin embargo, es frecuente que sucedan situaciones como:

- El programa ha sido escrito por un programador y debe ser consultado por personas diferentes al mismo.
- Los programas pueden contener errores (pese a que este en apariencia funcione) y deberán ser verificados por personas distintas al que lo realizó.
- Los programas no contienen errores, pero deben ser modificados para actualizarlos: añadirles, modificarles o quitarles determinadas cualidades.

La documentación de un programa puede ser interna y externa.
La documentación interna de un programa esta constituida por:

- Los comentarios.

Que es una codificación auto-documentada.

En este trabajo utilizaremos comentarios en nuestros programas fuentes con la utilización de los siguientes símbolos (/* comentario */) permitidos en el lenguaje C. Los comentarios se utilizan libremente para indicar las operaciones que se van a realizar. Como norma general se deben incluir comentarios en los siguientes puntos:

- Nombre del programa.
- Tarea que realiza
- Nombre del programador, destino del programa
- fecha de creación
- número de versión o actualización
- fecha de sucesivas actualizaciones
- estructuras de datos de entrada y salida, así como rangos aceptables de variables de entrada.
- La presentación.

Se manejarán sangrías en los párrafos, listados, impresiones agradables a la vista.

La documentación asociada con un programa, pero no contenida en él, se denomina externa.

Una buena documentación externa debe incluir cuando menos:

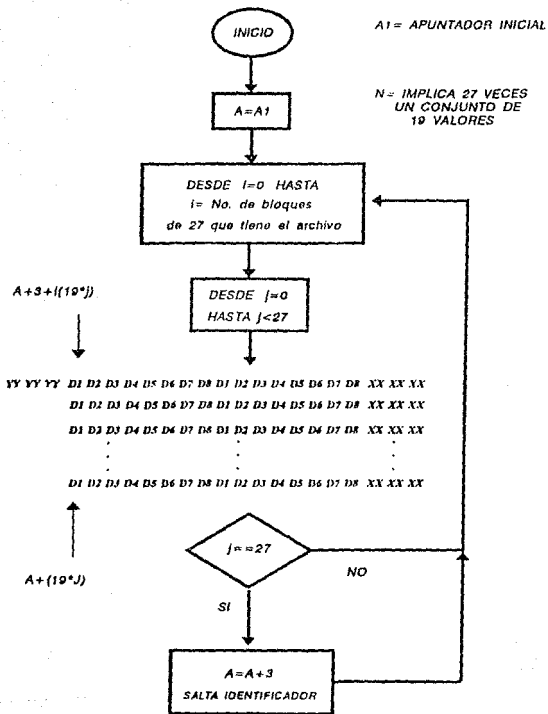
- a).- Manual del usuario
- b).- Manual de operación.
- c).- Manual de mantenimiento del programa.
- d).- Especificaciones del programa.
- e).- Lista de datos de prueba y resultado.
- f).- Versiones en uno y diferencia entre sí.

6.- Mantenimiento.

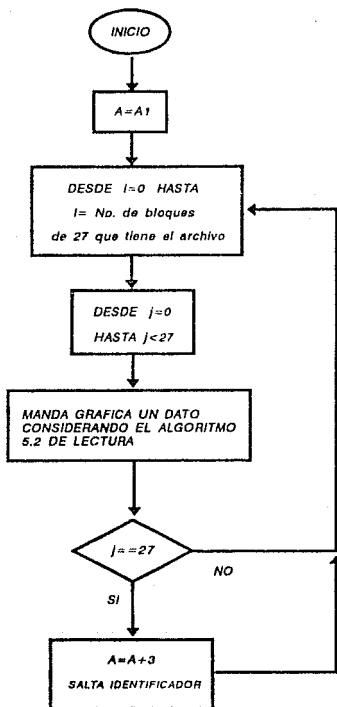
Cuando los programas son modificados para actualizarlos: añadirles, modificarles o quitarles determinadas cualidades se dice que se les esta dando mantenimiento. El mantenimiento exige ineludiblemente la necesidad de tener los programas muy bien documentados.

5.4.2 Presentación final del sistema.

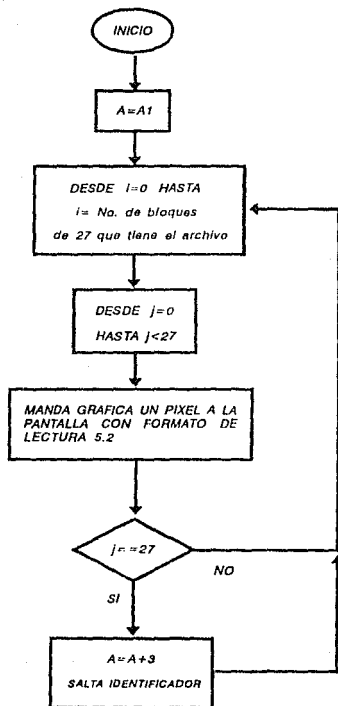
Para representar la salida final de nuestro sistema de análisis y procesamiento de información mostraremos en los siguientes diagramas flujo que pertenecen al sistema en general el cual consta de los modulos graficos y modulos de análisis de la información.



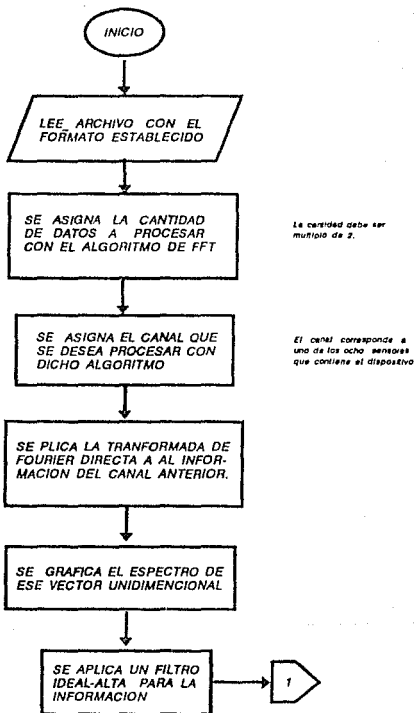
5.2 ALGORITMO DE LECTURA DE ARCHIVO



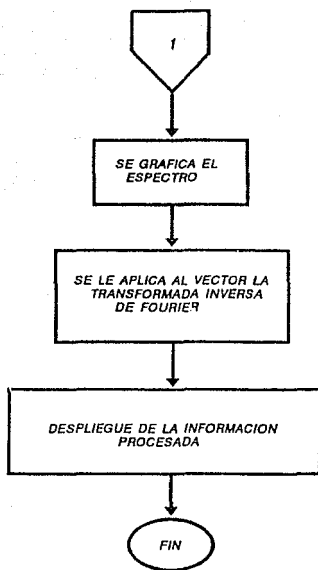
5.3 ALGORITMO PARA GRAFICAR EN PLOTTER



5.4 ALGORITMO PARA GRAFICAR EN PLOTTER



5.5 ALGORITMO DE LA FFT Y IFFT



CONCLUSIONES

El sistema de programas para análisis y procesamiento de información, es de gran apoyo para la detección de las anomalías en estudio. Dicho sistema se finalizó de la manera más adecuada a nuestras necesidades y con el equipo que se disponía.

El objetivo principal de este trabajo marca la utilización de un algoritmo computacional para el análisis de la información, del cual se obtuvieron resultados satisfactorios.

Un aspecto importante en el cual hacemos incapié, es el tiempo de máquina que utilizamos para procesar la información con el algoritmo de la Transformada Rápida de Fourier. Se puede concluir que el tiempo utilizado con nuestro sistema es confiable, ya que nuestro programa fue comparado con un paquete comercial (MATHCAD 2.0) tomando como número de datos 1024, y el resultado fue muy parecido. Para esta comparación utilizamos una computadora BPM 80286 con coprocesador matemático.

En la actualidad la inspección de ductos con diablos es la opción más confiable y representativa, razón por la cual en algunos países industrializados ya se tiene la legislación de estos trabajos para que se efectúen en forma continua y realizar las rehabilitaciones de la línea en forma conveniente, evitando así riegos donde la línea cruce áreas urbanas.

Por último se puede decir que para un dar un buen mantenimiento a las líneas, además de utilizar diablos se deben tomar en cuenta, datos de construcción de la línea, tipo de

producto que maneja, importancia de la línea, longevidad de la línea, récord de fallas, datos de operación etc.

Es indispensable también que se cumplan los requisitos necesarios para la corrida de diablo simulador, como lo son las condiciones de flujo y presión para que efectivamente sirva de ensayo para el proceso de mantenimiento.

BIBLIOGRAFIA

LIBROS

- [ADA89] High - performance graphics in C.
Lee Adams.
Ed. Windcrest books 1989.

- [PLA 89] Graficas por Computadora.
Roy A. Plastoc, and Gordon Kalley.
Ed. McGRAW-HILL 1989.

- [AMM88] Programming Principles in Computer Graphics.
L. Ammeraal.
Hayeschool Utrecht the Netherlands (1988).

- [HEA88] Donald Hearn, and M. Pauline Baker.
- [HEA88] Graficas por computadora.
Donald Hearn, and M. Pauline Baker.
Ed. Prentice Hall (1988).

- [CAS89] Tesis:Requerimientos Generales para la Construcción de
Inspección de Tuberías de Hidrocarburos.
Juan Antonio Castro Rodarte.
México, D.F. 1989.

- [JOS90] Manual Operativo de Inspección Interior de Tuberías
Utilizando Diablos.
Jose F. Roman
Mantuvex, 1990

- [PET85] Normas Generales para Sistemas de Tubería de Transporte
de Petróleo.
Petroleos Mexicanos 1985.
48-126, 135-190.

- [STA90] Digital Signal Processing.
William D. Stanley.
Ed. Prentice-Hall.
USA , 1990.

REVISTAS Y MANUALES.

- [AVR91] G. Avrin and R.I Coote. "On-Line Inspection and
Analysis for Integrity "

- [DHP56] Manual de comandos del graficador
DMP 56 Houston Instrument.

- [DHP90] Manual de interfaz del graficador
DMP-56 Houston Instrument

- [AIP92] INGENIERIA PETROLERA
Organo de la Asociación de ingenieros petroleros de
México A.C. 1992.

- [PAT54] Patent (54) "PIPELINE PIG FOR INDICATING
DEVIATION IN A PIPELINE BORE"

ARTICULOS.

- [COO89] The Fast Fourier Transform and its Applications
J.W. Cooley, P.D. Welch,
IEE Trans. on Education
Vol.12 NO.1.

- [ROD86] Diseño de Filtros Digitales Bidimensionales Aplicados
a Señales Espaciales de Convolución y el Dominio del
Número de Onda.
Rodolfo Marín Campos.
IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Int. 1986
vol. 1 No. 1

- [WIL78] Fast Fourier Transforms on your Home Computer,
William D. Stanley
Byte Vol.4 NO.12 1978.

APENDICE

MANUAL DEL USUARIO.

A continuación se explica como usar los programas que fueron diseñados para procesar la información almacenada en las cintas magnéticas de las grabadoras que utiliza el Caliper,

Para el manejo de la información se diseño un programa principal, llamado "CALIPER".

El programa "CALIPER" contiene un menú principal del cual se deriva todo su funcionamiento.

Este menú sirve para:

- a) Desplegar información numérica en pantalla.
- b) Despliegue en modo gráfico de la información con formato de ocho canales.
- c) Despliegue en modo gráfico de la información de un canal seleccionado.
- d) Mandar información a graficar en plotter.
- e) Desplegar en pantalla la información procesada.

REQUERIMIENTOS MINIMOS PARA UTILIZAR EL PROGRAMA "CALIPER"

HARDWARE

- Computadora PC/ XT
- 640 Kb de RAM
- Unidad de disco flexible de 5 1/4"

- Monitor CGA
- Puerto serie
- Disco duro de 20 Mbytes

SOFTWARE:

Comprobar que se encuentren presentes los siguientes archivos cuando se ejecute el programa CALIPER:

- CGA.bgi (si se tiene un monitor CGA)
- EGA.VGA.bgi (si se tiene un monitor EGA)

COMO USAR LOS PROGRAMAS

Programa CALIPER.- Este programa se ejecuta desde el cursor del DOS de la siguiente manera:

>Caliper

Return

En la pantalla aparecerá el menú principal.

MENU
1.- DESPLEGAR INFORMACION EN PANTALLA
2.- GRAFICAR OCHO CANALES
3.- GRAFICAR UN CANAL SELECCIONADO
4.- MANDAR GRAFICAR AL PLOTTER
5.- DESPLEGAR INFORMACION ANALIZADA
SALIR

1.- DESPLEGAR INFORMACION EN PANTALLA

Se despliega información numérica con formato de 16 canales.

Procedimiento:

ARCHIVO>_

=> PART\ NOMBRE DEL ARCHIVO

Return

En la pantalla aparecerá la información con el siguiente formato.

c	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	odom
<p><ESC> menu <CR> continuar <PgUp> arriba <PgDn> abajo</p>																	

2.-GRAFICAR OCHO CANALES EN PANTALLA.

Despliega información en modo gráfico de ocho canales en pantalla.

Procedimiento:

ARCHIVO>_

=>PATH\ NOMBRE DEL ARCHIVO

Return

En la pantalla se visualizará:

F1-Ayuda	CANALES
	1.-
	2.-
	3.-
	4.-
	5.-
	6.-
	7.-
	8.-
	ODOMETRO TOMADO
ODOMETRO CALCULADO	
CURSOR	

NOTA: En esta opción al desplegarse la información en modo gráfico en la pantalla, se observa que aparece una ayuda para utilizar el ambiente la cual esta referenciada en la parte inferior izquierda y denotada por "F1-Ayuda".

3.- GRAFICAR UN CANAL SELECCIONADO

Despliegue de información en modo gráfico de un canal seleccionado.

Procedimiento.

ARCHIVO>_

=>PATH\ NOMBRE DEL ARCHIVO

Return

CANAL>_

=> CANAL A GRAFICAR (DEL 1 AL 8)

Return

En la pantalla se visualizará:

FI-Ayuda	CANAL 2
	DATO TOMADO
	ODOMETRO TOMADO
	ODOMETRO CALCULADO
	AMPLITUD DEL GOLPE EN (MM)

4.-MANDAR GRAFICAR A PLOTTER.

En esta opción se procesa la información en un graficador.

IMPORTANTE: Este programa solo funciona con graficadores Houston

Instrument series 40 en adelante.

Antes de ejecutar este programa es necesario realizar los siguientes pasos:

1.-Configurar el puerto serie (COM1 ó COM2) con el comando MODE de la siguiente manera:

```
> MODE COM1:9600,n,8,2,p
```

2.-Configurar el graficador Houston Instrument a 9600 bauds.

Ver manual de operación del graficador.

1.- GRAFICAR OCHO CANALES

Se graficará la información por archivo en un formato de ocho canales, cada canal representa 46 mts. de longitud.

Al terminar la graficación de los ocho canales el graficador se detendrá, y sólo basta con oprimir la tecla <Return> para regresar al menú.

5.- DESPLEGAR INFORMACION ANALIZADA.

Se despliega en pantalla un reporte con la información por canal que se analizó, dicho reporte contiene las anomalías que se encontraron.

Procedimiento.-

ARCHIVO>_

=>PATH\NOMBRE DEL ARCHIVO

Return

N >_

=>NUMERO DE DATOS A PROCESAR

Return

CANAL>_

=>CANAL A PROCESAR

Return

procesando....

En esta etapa el programa se encuentra procesando la información, el tiempo que tarde el programa en procesar la información dependerá del número y de la PC que se este utilizando.

SALIR:

Regresar a Dos.

```

/*****
*
*      UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
*
*      FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES FES-CUAUTITLAN
*
*      PROGRAMA GENERAL DE TRABAJO DE TESIS
*
*      PROGRAMA: CALIPER.C
*
*      Turbo C v 2.0
*
*****/

```

```

# define NUMV 6
# define NUMM 1
# define NMOPC 10

```

```

#include <alloc.h>
#include <conio.h>
#include <dos.h>
#include <fcntl.h>
#include <graphics.h>
#include <io.h>
#include <math.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include "ventanas.h"
#include "menus.h"
#include "caliper2.c"

```

```

unsigned int DV;

```

```

/*****
*
*      FUNCION PRINCIPAL
*
*
*****/

```

```

int main()
{
    clrscr();
    limpnegra();
    prompt(0);
    inicialvent(0, 1, 1, 80, 4, 0, 'L');
    caractvent(0,BLUE, YELLOW, GREEN, YELLOW, "DI", "");
    crear_v(0);
    activa_v(0);
    gotoxy(1,1);
    printf("UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO");
    inicialvent(1, 10, 10, 70, 15, 0, 'L');
    caractvent(1,LIGHTGRAY,RED, GREEN, BLACK, "DI", "");
    crear_v(1);
    activa_v(1);
    gotoxy(2,1);
    printf("FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN");
    gotoxy(4,3);
    printf("CALIPER");
    delay(2000);
    cierra_v(1);
}

```

```

cierra_v(0);
limpnegra();
menu();
}

```

```

/*****
 *
 *           MENU DEL PROGRAMA
 *
 *****/

```

```

int menu()
{
    int opc = -2;
    int ty,tz;
    tm_crsr(-1, -1);
    limpnegra();
    iniclzvent(0, 20, 1, 60, 4, 0, 'I');
    caractvent(0,LIGHTGRAY,RED, GREEN, BLACK, "DI", "");
    crear_v(0);
    activa_v(0);
    gotoxy(1,1);
    cprintf("           C A L I P E R ");
    iniclzvent(1, 10, 23, 71, 25, 0, 'I');
    caractvent(1,BLUE, YELLOW, GREEN, WHITE, "DI", "");
    crear_v(1);
    activa_v(1);
    gotoxy(3,1);
    cprintf("Seleccione con teclas de flecha y <Enter>");
    iniclzvent(2,20, 8, 58, 17, 1, 'I');
    caractvent(2,RED, BLACK, WHITE, YELLOW, "DC", "M E N U");
    iniclzmenu(0,6,BLUE,GREEN);
    llenamenu(0,0,4,2, "DESPLEGAR INFORMACION EN PANTALLA");
    llenamenu(0,1,4,3, "GRAFICAR 8 CANALES");
    llenamenu(0,2,4,4, "GRAFICAR UN CANAL SELECCIONADO");
    llenamenu(0,3,4,5, "MANDAR INFORMACION AL GRAFICADOR");
    llenamenu(0,4,4,6, "ANALIZAR LA INFORMACION CON FFT");
    llenamenu(0,5,4,8,"SALIR");
    crear_v(2);

    while(1)
    {
        if( opc == -1 )
            break;
        activa_v(2);
        opc = crea_opcvnt(0,2);
        tm_crsr(-1,-1);

        switch( opc )
        {
            case -1:
                iniclzvent(4, 24, 14, 55, 16 , 0, ' I');
                caractvent(4,MAGENTA,BLUE,BROWN,LIGHTCYAN,"DI","");
                crear_v(4);
                activa_v(4);
                gotoxy(5,1);
                cprintf("Se eligio la SALIR");
                delay(1200);
                break;

```

```

case 0:
    cierra_v(0);
    cierra_v(2);
    cierra_v(1);
    limpnegral();
    prompt(2);
    datos1();
    break;

case 1:

    cierra_v(0);
    cierra_v(1);
    cierra_v(2);
    limpnegral();
    prompt(2);
    ocho();
    break;

case 2:
    cierra_v(0);
    cierra_v(1);
    cierra_v(2);
    limpnegral();
    prompt(2);
    canall();
    break;

case 3:

    cierra_v(0);
    cierra_v(1);
    cierra_v(2);
    limpnegral();
    prompt(2);
    grafica();
    break;

case 4:

    cierra_v(0);
    cierra_v(1);
    cierra_v(2);
    anafourier();
    break;

case 5:

    cierra_v(0);
    cierra_v(1);
    cierra_v(2);
    iniclzvent(4, 24, 12, 55, 14, 0, ' I');
    caractvent(4, MAGENTA, BLUE, BROWN, LIGHTCYAN, "DI", "");
    crear_v(4);
    activa_v(4);
    gotoxy(5, 1);
    cprintf(" ***** FIN ***** ");
    delay(1500);
    cierra_v(4);

```

```
        delay(500);  
        window(1,1,80,25);  
        textbackground(BLACK);  
        clrscr();  
        exit(0);  
        break;  
    }  
    }  
}
```