

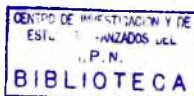


CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DE  
ESTUDIOS AVANZADOS EN  
INGENIERÍA  
BIBLIOTECA  
INGENIERÍA ELÉCTRICA

CENTRO DE INVESTIGACION Y ESTUDIOS AVANZADOS  
DEL INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA ELECTRICA

COMPUTACION



SISTEMA GENERADOR DE PROGRAMAS PARA UNA  
MAQUINA DE MEDICION EN TRES COORDENADAS

TESIS QUE PRESENTA LA LIC. CARLOTA MARTINA TAMAYO ISLAS, PARA  
OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS EN LA ESPECIALIDAD DE  
INGENIERIA ELÉCTRICA.

CENTRO DE INVESTIGACION Y DE  
ESTUDIOS AVANZADOS DEL  
I. P. N.  
BIBLIOTECA  
INGENIERIA ELÉCTRICA

MÉXICO, D.F. DICIEMBRE DE 1989

## P R E F A C I O

LA MAYORÍA DE LOS SISTEMAS COMERCIALES QUE SE HACEN LLAMAR SISTEMAS CAD/CAM (DISEÑO Y MANUFACTURA ASISTIDOS POR COMPUTADORA) EN COMPUTADORAS PERSONALES, POR SER DE USO GENERAL, SI SE LES APLICA EN UN PROBLEMA PARTICULAR (MECÁNICA POR EJEMPLO), RESULTAN INSUFICIENTES. PUES ALGUNOS NI SIQUERA PERMITEN CREAR CILINDROS CUYO EJE TENGA DIRECCIÓN ARBITRARIA. Y SI ADEMÁS SE LES QUIERE INCORPORAR A UN SISTEMA ORIENTADO A RESOLVER PROBLEMAS ESPECÍFICOS, PRIMERO, SE TIENE QUE RESOLVER EL PROBLEMA DE EXTRAER LOS DATOS DE LOS CUERPOS QUE SE EDITARON CON ESTOS SISTEMAS.

LOS SISTEMAS COMPLEJOS QUE RESUELVEN ESTOS PROBLEMAS, DEBEN SER INSTALADOS, YA NO EN COMPUTADORAS PERSONALES, SINO EN 'MINIS' POR LO MENOS, PERO ESTOS SISTEMAS SON BASTANTE CAROS.

ESTE TEMA DE TESIS FUE PROPUESTO POR EL ING. WALTER LOUIS BUEHLER, JEFE DEL LABORATORIO DE MECÁNICA DE LA SECCIÓN DE METROLOGÍA DEL DEPARTAMENTO DE ING. ELÉCTRICA DEL CINVESTAV.

LA PROPUESTA CONSISTE EN PROBAR LA FACTIBILIDAD DE INCORPORAR UN SISTEMA DE DISEÑO ASISTIDO POR COMPUTADORA, INSTALADO EN COMPUTADORAS PERSONALES A UN SISTEMA DE INSPECCIÓN PARA EL CONTROL DE CALIDAD EN PIEZAS METAL-MECÁNICAS.

DESPUÉS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS AL REVISAR UN SISTEMA CAD (COMPUTER AIDED DESIGN) COMERCIAL, SE DECIDIÓ IMPLEMENTAR UNA AYUDA GRÁFICA PARA EL SISTEMA DE MEDICIÓN, DE LA QUE SE PUEDA FÁCILMENTE LEER DATOS Y, POSTERIORMENTE HACER USO DE LOS PARÁMETROS QUE DEFINEN LOS ELEMENTOS GEOMÉTRICOS MEDIBLES.

EN EL LABORATORIO DE MECÁNICA EXISTE UNA MÁQUINA DE MEDICIÓN EN COORDENADAS (MMC), ORIENTADA A MEDIR EL ATRIBUTO LONGITUD, EN PIEZAS METAL-MECÁNICAS, CUYO CONTROL DE CALIDAD ESPECIFIQUE TOLERANCIA EN MICRAS.

PARA LLEVAR A CABO LA MEDICIÓN (PRUEBA DE CALIDAD), LA MMC CUENTA CON UN SISTEMA POSICIONADOR EN TRES DIMENSIONES. ESTE POSICIONADOR DESPLAZA LA PUNTA DE PRUEBA O PALPADOR, MOVIÉNDOLO HACIA LA SUPERFICIE DE LA PIEZA QUE SE QUIERE MEDIR. LA TRAYECTORIA QUE SIGUE EL POSICIONADOR ES PROGRAMADA POR EL OPERADOR DE LA MMC.

LA MÁQUINA DE MEDICIÓN PRESENTA DESVENTAJAS AL SER PROGRAMADA, PUES ES HASTA EL TIEMPO DE EJECUCIÓN, QUE EL PROGRAMADOR SE DA CUENTA DE ERRORES LÉXICOS, SINTÁCTICOS Y DE LÓGICA.

LA PUNTA DEL PALPADOR PUEDE SUFRIR UNA COLISIÓN CON LA PIEZA QUE MIDE, A CAUSA DE UNA MALA PROGRAMACIÓN DE LA TRAYECTORIA QUE DEBE SEGUIR EL PALPADOR PARA INSPECCIONAR LA PIEZA, SIENDO ÉSTE UN RIESGO MUY CARO.

EL PRESENTE PROYECTO DE TESIS TIENE COMO OBJETIVOS LOS SIGUIENTES:

- a: AGILIZAR LA PROGRAMACIÓN DE LA MMC.
- b: SIMULAR LA MEDICIÓN GRÁFICAMENTE EN UNA COMPUTADORA PERSONAL (QUE ES UN EQUIPO MÁS BARATO QUE LA MMC).
- c: GENERAR PROGRAMAS ESCRITOS EN EL LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN DE LA MMC (HELP).

EL DOCUMENTO DE TESIS CONSTA DE SIETE CAPÍTULOS Y UN APÉNDICE, CUYO CONTENIDO ES EL SIGUIENTE:

EN EL PRIMER CAPÍTULO SE MUESTRAN CONCEPTOS DE SIMULACIÓN, SISTEMAS, CONTROL DE CALIDAD Y, MEDICIÓN.

CENTRO DE INVESTIGACIONES  
ESTUDIOS AVANZADOS

1.º

S. D. D.

INFORMÁTICA

EN EL SEGUNDO SE DESCRIBE LA MMC, QUE ES EL SISTEMA REAL QUE SE DESEA SIMULAR.

EN EL TERCERO, SE DESCRIBE EL LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN DE LA MMC (HELP)

EN EL CUARTO SE MUESTRA EN TÉRMINOS GENERALES EL SISTEMA MODELO.

EN EL QUINTO, SE MUESTRA EL LENGUAJE DE COMANDOS DEL SISTEMA MODELO Y, EL CÓDIGO INTERMEDIO QUE ÉSTE GENERA.

EN EL SEXTO SE DESCRIBE EL TRADUCTOR, QUE GENERA CÓDIGO HELP.

EN EL SÉPTIMO Y ÚLTIMO, SE DETALLA LA GEOMETRÍA USADA POR EL SISTEMA.

EL APÉNDICE CONSISTE DEL MANUAL DE USUARIO.

EL TRABAJO CONSISTE BÁSICAMENTE DE LO SIGUIENTE:

1. ANÁLISIS DE UN SISTEMA CAD PARA COMPUTADORAS PERSONALES, PARA PROBAR LA FACTIBILIDAD DE SU INCORPORACIÓN A UN SISTEMA CAM ORIENTADO AL CONTROL DE CALIDAD EN LA MEDICIÓN DE PIEZAS.
2. DEPENDIENDO DEL PUNTO ANTERIOR, LIMITAR LOS ALCANCES DE LA TESIS.
3. ANÁLISIS DE LA PROGRAMACIÓN Y UTILIZACIÓN DE LA MMC.
4. CREACIÓN DE UNA AYUDA GRÁFICA PARA EL SISTEMA DE MEDICIÓN CON LAS SIGUIENTES CARACTERÍSTICAS:
  - a: PERMITIR CAMBIAR EL PUNTO DE VISTA, DIRIGIÉNDOSE SIEMPRE A VER EL OBJETO QUE SE MIDE.
  - b: PERMITIR ACERCARSE Y ALEJARSE DEL OBJETO QUE SE MIDE.
  - c: GENERAR TRAYECTORIAS PARA LA MEDICIÓN DE ELEMENTOS.
5. CREACIÓN DE UN INTÉRPRETE DE COMANDOS PARA EL PROGRAMADOR DE LA MÁQUINA DE MEDICIÓN EN COORDENADAS.
6. CREACIÓN DE UN TRADUCTOR, QUE TOMA EL CÓDIGO INTERMEDIO GENERADO POR EL INTÉRPRETE Y, PRODUCE PROGRAMAS DE PARTE ESCRITOS EN HELP.

CENTRO DE INVESTIGACION Y DE  
ESTUDIOS AVANZADOS

I. F.

INGENIERIA ELÉCTRICA

## AGRADECIMIENTOS:

EN ESTE DOCUMENTO, QUIERO MOSTRAR MI RECONOCIMIENTO POR LA AYUDA ECONÓMICA PARCIAL QUE ME PROPORCIONÓ LA UNESCO, PARA LA REALIZACIÓN DE LOS ESTUDIOS DE MAESTRÍA.

AGRADEZCO A LOS DOCTORES: RENATO BARRERA Y, MANUEL GUZMAN RENTERIA, POR INVOLUCRARME EN ESTE PROYECTO.

AL PROFESOR WALTER LOUIS, POR SUS ENSEÑANZAS DE METROLOGÍA Y, POR SUS PETICIONES COMO USUARIO DEL SISTEMA.

TAMBIÉN RECONOZCO LA AYUDA QUE ME BRINDÓ EL DR. GUILLERMO MORALES, POR SU ASESORIA CORRESPONDIENTE A LA GEOMETRÍA DEL SISTEMA; Y AL DR. JOSEPH KOLAR, POR SUS RECOMENDACIONES EN LA CONSTRUCCIÓN DEL INTÉRPRETE DE COMANDOS Y, DEL TRADUCTOR.

AGRADEZCO TAMBIÉN AL FÍSICO MANUEL MARTÍN, AL M.C. FELIÚ SAGOLS Y, AL DR. JAN JANECEK POR LA LECTURA Y CONSEJOS PARA MEJORAR EL ESCRITO.

POR ÚLTIMO QUIERO RESERVAR ESTE ESPACIO PARA AGRADECER A MIS PADRES, EL ING. FEDERICO TAMAYO GONZÁLEZ Y LA SRA. ENRIQUETA ISLAS, POR SU APOYO MORAL Y ECONÓMICO, QUE HAN SABIDO BRINDAR A MÍ Y, A TODOS MIS HERMANOS (FEDERICO, ADELA, FRANCISCO, CLAUDIA Y, JOSUÉ).

CARLOTA MARTINA TAMAYO ISLAS.

CENTRO DE INVESTIGACION Y RE  
ESTUDIOS AVANZADOS

I. F. I.

1975  
1976

# INDICE

## 1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

1.1 CONCEPTOS GENERALES	1-1
1.1.1 SIMULACIÓN Y SISTEMAS.	1-1
1.1.2 CONTROL DE CALIDAD EN PIEZAS METAL-MECÁNICAS.	1-5
1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	1-11
1.3 OBJETIVOS DE LA TESIS	1-13

## 2 DESCRIPCIÓN DE LA MÁQUINA DE MEDICIÓN EN 3D (DEA)

2.1 ESTRUCTURA FÍSICA BÁSICA DE LA MMC.	2-1
2.2 INTERFACE ENTRE OPERADOR Y MÁQUINA	2-3
2.2.1 PANEL DE CONTROL	2-4
2.2.2 CAJA DE COMANDOS (UNIBOX)	2-4
2.2.3. EXHIBIDOR (DISPLAY)	2-6
2.2.4. CAJA DE PALANCAS (LEVBOX)	2-6
2.2.5. BOTÓN DE EMERGENCIA	2-8
2.2.6. CONSOLA	2-9
2.2.7 SENSOR DE POSICIÓN.	2-9
2.2.8 PALPADOR	2-10
2.3 CONCEPTOS DE OPERACIÓN	2-12
2.4 OPERACIÓN DIRIGIDA POR PROGRAMA DE PARTE	2-14

## 3 DESCRIPCIÓN DEL HELP

3.1 INSTRUCCIONES DEL LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN HELP	3-1
3.1.1 SELECCIÓN DEL MODO DE OPERACIÓN	3-2
3.1.2 DEFINICIÓN DE PALPADORES	3-5
3.1.3 CONTROL PARA LA SALIDA DE RESULTADOS	3-5
3.1.4 DEFINICIÓN DE VALORES TEÓRICOS Y TOLERANCIAS	3-7



3.15	DEFINICIÓN DE PARÁMETROS DE MEDICIÓN	3-8
3.16	ARREGLOS PARA ALMACENAMIENTO DE RESULTADOS	3-9
3.17	MEDICIÓN DE ELEMENTOS	3-11
3.18	CÁLCULO DE ELEMENTOS	3-14
3.19	MANEJO DE COORDENADAS	3-19
3.110	DEFINICIÓN DE ORIGEN	3-20
3.111	CALIFICACIÓN DE PALPADORES	3-21
3.112	ALINEACIÓN DE LOS EJES DE LA PARTE	3-21
3.113	DESPLAZAMIENTO	3-22
3.114	FUNCIONES AUXILIARES PARA EL CONTROL	3-23
3.2	DESCRIPCIÓN DEL INTERPRETE DE H E L P	3-23
3.2.1	ESTRUCTURA DEL INTÉRPRETE DE HELP	3-23
3.2.2	COMPONENTES DEL LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN HELP	3-24
3.3	PROCEDIMIENTOS BÁSICOS ESCRITOS EN HELP	3-25

#### 4 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL GENERADOR DE PROGRAMAS DE MEDICIÓN

4.1	EL INTÉRPRETE DE COMANDOS	4-3
4.2	EL TRADUCTOR	4-4
4.3	CONTENIDO DE UN PROGRAMA DE PARTE	4-5
4.3.1	INICIALIZACIÓN	4-6
4.3.2	CAMBIO DE PALPADOR	4-8
4.3.3	MEDICIONES Y CÁLCULOS	4-8
4.3.4	RECALIFICACIÓN DE PALPADORES	4-9

#### 5 DESCRIPCIÓN DEL INTERPRETE DE COMANDOS

5.1	CARACTERÍSTICAS DE LA GRAMÁTICA DEL INTERPRETE DE COMANDOS	5-1
5.2	DEFINICIÓN DEL LENGUAJE DE COMANDOS	5-2
5.3	PSEUDO-CÓDIGO GENERADO POR EL INTÉRPRETE DE COMANDOS.	5-7

## 6 DESCRIPCIÓN DEL TRADUCTOR

6.1 ESTRUCTURA DEL TRADUCTOR	6-1
6.2 PROGRAMAS PARA MEDICIÓN AUTOMÁTICA	6-5

## 7 LA GEOMETRÍA USADA EN EL GPM.

7.1 PROYECCIÓN PERSPECTIVA.	7-1
7.1.1 PUNTO DE VISTA DEL SUPERVISOR DE LA MEDICIÓN.	7-2
7.1.2 ¿QUÉ ES UNA PROYECCIÓN PERSPECTIVA?	7-2
7.1.3 TRANSFORMACIONES PARA POSICIONAR LA VISTA	7-3
7.1.4 PROYECCIÓN PERSPECTIVA.	7-5
7.1.5 EL CENTRO DE ATRACCIÓN.	7-8
7.1.6 ALCANCE DE LA VISTA.	7-9
7.2 CILINDROS	7-11
7.2.1 GENERACIÓN DE LOS PUNTOS DE UN CILINDRO.	7-11
7.2.2 LA REGIÓN ACCESIBLE DE UN CILINDRO EXTERNO.	7-16
7.2.3 DISTRIBUCIÓN DE LOS PUNTOS PALPABLES	7-18
7.2.4 TRAYECTO LIBRE DE COLISIONES, PARA MEDIR CILINDROS EXTERNOS.	7-19
7.2.5 EL CASO DE CILINDROS INTERNOS.	7-21
7.3 ESFERAS	7-23
7.3.1 DIBUJANDO ESFERAS	7-23
7.3.2 REGIÓN ACCESIBLE DE UNA ESFERA EXTERNA.	7-23
7.3.3 DISTRIBUCIÓN DE PUNTOS SOBRE ESFERAS.	7-24
7.3.4 TRAYECTO LIBRE DE COLISIONES PARA MEDIR ESFERAS EXTERNAS.	7-25
7.3.5 TRAYECTORIA LIBRE DE COLISIONES PARA ESFERAS INTERNAS.	7-26

CONCLUSIONES	v
BIBLIOGRAFIA	vii
APENDICE	A-1

## CAPITULO I

### DESCRIPCION DEL PROBLEMA

En este capítulo se plantea el problema, cuya solución fue el motivo de la tesis. El capítulo está dividido en dos secciones: la primera trata conceptos generales relacionados con la ubicación del problema, la segunda presenta el problema y, los objetivos que se cubren.

### 1.1 CONCEPTOS GENERALES

#### 1.1.1 SIMULACIÓN Y SISTEMAS.

La simulación ha sido practicada desde hace varios siglos en juegos, arte e ingeniería. Los participantes crean modelos de situaciones concretas. Usualmente el modelo es más simple que el Sistema real.

Algunos ejemplos de modelos históricos son:

- Las leyes de Newton de Atracción universal.
- Las leyes de Kepler sobre el sistema solar.
- La teoría de Relatividad de Einsten.

La Simulación definida por [Shannon]: 'Es el proceso de diseñar un modelo computarizado de un Sistema Real y, los experimentos que conduzcan con este modelo al entendimiento del comportamiento del sistema o, a la evaluación de varias estrategias para la operación del Sistema Real'. Lo importante en esta definición es la relación entre Simulación y la construcción de un modelo para la solución de un problema.

Se puede decir que un modelo es la representación simbólica y formal de un sistema. La representación puede ser matemática, física, o mediante un programa de computadora.

Desarrollar un modelo para simular un sistema es equivalente a desarrollar un programa para simularlo [Lewis]. Así que el desarrollo de programas tiene las mismas fases que el método científico.

Central a cualquier estudio de simulación esta la idea de sistema:

Sistema es una colección de objetos con un conjunto bien definido de interacciones entre ellos, por ejemplo: El sistema solar, los planetas y el sol forman la colección de objetos y la fuerza gravitacional es una de las interacciones entre los objetos del sistema.

Además de los objetos y de sus relaciones se puede considerar todos los factores externos que forman el medio ambiente del sistema.

El estado del sistema es la colección mínima de información con la cual el futuro comportamiento del sistema puede ser predeterminado.

Al incluir el tiempo en consideración de un sistema, implica que el estado del sistema cambia, existen varios procesos o eventos (actividades) que producen cambio. El estado del sistema puede cambiar por la respuesta a actividades internas o externas.

Los sistemas pueden ser clasificados por Naturales y los hechos por el hombre, en Continuos y Discretos, en Determinísticos y Estocásticos, en Abiertos y Cerrados.

#### **Continuos y Discretos:**

Se refiere a la naturaleza del comportamiento en sus cambios de estado con respecto al tiempo.

Un sistema cuyos cambios de estado ocurren continuamente sobre el tiempo, se dicen que son continuos.

Sistemas cuyos cambios ocurren en cantidades finitas o saltos son discretos.

Existen sistemas en los cuales algunas variables del estado del sistema pueden variar continuamente en respuesta a eventos, mientras que otras pueden variar discretamente, estos sistemas se les conoce como híbridos.

#### **No Determinísticos y Determinísticos:**

Un sistema determinístico es un sistema en el cual el nuevo estado del sistema esta completamente determinado por el estado previo y por la actividad.

Los sistemas no determinísticos contienen cierta aleatoriedad en la transición de un estado a otro. En algunos casos no es posible asignar la probabilidad, al estado que el sistema podría asumir después de un estado dado y una actividad. En otros casos estas probabilidades son conocidas o pueden ser determinadas.

#### **Sistemas Cerrados o Abiertos:**

Sistemas Cerrados si todos los estados cambian solamente por actividades internas.

Los sistemas son Abiertos si el cambio de estado se propicia por actividades internas y externas.

El método para desarrollar programas que modelen un sistema real tiene las mismas fases del método científico, a continuación se muestran dichas fases:

- 1) Análisis del Sistema
- 2) Síntesis del Programa
- 3) Verificación del Modelo
- 4) Validación de Modelo
- 5) Análisis del Modelo.

El análisis del sistema involucra el examen detallado del Sistema Real, para descomponerlo en tareas pequeñas.

El análisis debe revelar las interacciones, dependencias y reglas que gobiernan las componentes del sistema.

La síntesis es el esfuerzo creativo del modelado, el modelador decide sobre qué componentes y sus interacciones. El modelador puede simplificar componentes o, bien omitirlas si el análisis sugiere que sus efectos no justifican que se incluyan.

El modelo es una representación del sistema real. Las características de este sistema modelo pueden ser representativas de las características del sistema real. Note el uso del término representativas en lugar de idénticas, la mayoría de los sistemas reales son tan complejos, que un modelo con características idénticas conducen a sistemas idénticos en complejidad siendo prohibitivos y caros.

Una de las metas en esta fase es elegir un conjunto mínimo de características del sistema, de manera que el sistema aproxime al sistema real reduciendo el costo y haciéndolo manejable. El modelo incluye estas características y un conjunto bien definido de relaciones entre esas características.

La verificación involucra la prueba lógica de que el programa equivale al modelo, por ejemplo:

Suponga que la relación a modelar es la siguiente:

$$F = \frac{M}{gr^2}$$

y el programador, le asignó el siguiente código en FORTRAN:

$$F = M / G * R ** 2$$

Lo que equivale a:

$$F = \frac{M}{G} R^2$$

Un modelo se valida al probar que es correcta la representación del sistema real. La validación no debe confundirse con la verificación. Cuando un programa se verifica se asegura que la lógica es lo que se intentaba hacer. Un programa de computadora puede ser verificado pero representar un modelo inválido. El programa puede ser exactamente lo que el programador intento, pero no representar la operación del sistema real.

Una técnica de validación es comparar los resultados del modelo simulado contra los resultados históricamente producidos por el Sistema Real trabajando bajo las mismas condiciones.

Otra técnica es usar un simulador para predecir resultados, las predicciones son comparadas con los resultados producidos por el sistema real durante un periodo futuro de tiempo.

El análisis del modelo se aplica una vez que el modelo ha sido validado.

#### Ventajas

Adkins da 5 ventajas de la simulación:

1. Permite una experimentación controlada. Un experimento de la simulación puede efectuarse un número de veces variando los parámetros de entrada para probar el comportamiento del sistema bajo una variedad de situaciones y condiciones.
2. Permite comprimir el tiempo. La operación del sistema sobre extensos periodos de tiempo puede ser simulada en minutos con computadoras ultrarápidas.
3. Permite un análisis sensitivo, por la manipulación de las variables de entrada.
4. No interrumpe al Sistema Real. Esta es una gran ventaja. La mayoría de los directores se niegan al tratar estrategias experimentales en un Sistema en-línea.
5. Es efectivo en el entrenamiento de herramientas.

#### Desventajas:

1. Una simulación de un modelo puede ser caro en términos de recursos humanos y de tiempo de computadora.
2. Es largo el tiempo de desarrollo.
3. Suposiciones críticas escondidas.
4. La existencia de parámetros del modelo que son difíciles de inicializar, pueden necesitar un largo tiempo de análisis e interpretación.

Este proyecto de tesis modela el comportamiento de un Sistema de Medición (sistema real), para medir elementos geométricos, que en el sistema real no tienen asignado control numérico.

## 1.12 CONTROL DE CALIDAD EN PIEZAS METAL-MECANICAS.

De lo que se trata es medir longitud, para completar tareas que conducen al control de calidad de piezas metal-mecánicas, en esta sección se muestran conceptos básicos de Metrología y de Control de Calidad.

Una cantidad medible es un atributo de un fenómeno, cuerpo, o sustancia, la cual puede ser muchas veces distinguida cualitativamente y determinada cuantitativamente.

Medir es el conjunto de operaciones que tienen por objeto determinar el número de unidades de medición que están contenidas en un atributo.

Es muy raro que la unidad de longitud esté contenida en la longitud del objeto un número entero de veces, generalmente la respuesta es: 'varias unidades más fracción de una unidad'

El error en la medición: Evidentemente una medida está sujeta a varias fuentes de error. Es responsabilidad del que mide reducir la fuente de error tanto como sea posible. Una manera de reducir el error es elegir una herramienta adecuada, en seguida se presentan términos relacionados con herramientas de medición.

La legibilidad de un instrumento es la facilidad con la cual puede leerse la escala de un instrumento.

La discriminación de un instrumento de medición es la menor diferencia entre dos indicaciones que se pueden detectar en la escala del instrumento.

La legibilidad y la discriminación depende de la longitud de la escala, el espaciamiento de las graduaciones, tamaño del indicador (o pluma si se utiliza un graficador), y los efectos del paralelaje.

La sensibilidad de un instrumento es la relación del movimiento lineal del indicador en el instrumento al cambio en la variable medida que origina dicho movimiento.

Se dice que un instrumento presenta histéresis cuando para un mismo valor de la excitación, existe una diferencia en las lecturas debido a que el proceso de medición se haya realizado en forma ascendente o descendente. La histéresis puede ser el resultado de la fricción mecánica, efectos magnéticos, deformación elástica o efectos térmicos.

La exactitud de un instrumento indica la desviación de la lectura respecto a una entrada conocida. Comúnmente la exactitud se expresa como un porcentaje de la escala total.

La precisión de un instrumento indica la habilidad para reproducir ciertas lecturas con una exactitud dada. Como un ejemplo para distinguir entre exactitud y precisión, considérese la medición de un voltaje conocido de 100 v con un cierto medidor. Se toman cinco lecturas cuyos valores son: 104, 103, 105, 103 y 105 volts. Por estos valores se ve que el instrumento no puede tener una exactitud mayor del 5% (5 volts), mientras que la precisión será de 1% y que la desviación máxima respecto a la lectura media de 104 volts es de solamente 1 volt. Puede observarse que el instrumento puede calibrarse para que sea capaz de dar medidas confiables con una exactitud de 1 volt.

La exactitud se puede mejorar por medio de la calibración, pero no más allá de la precisión del instrumento.

La calibración de todos los instrumentos es importante porque ofrece la oportunidad de verificar el instrumento con respecto a un estándar conocido, y por lo tanto reducir los errores en la exactitud. El procedimiento de la calibración involucra una comparación del instrumento en particular con:

1. un estándar primario
2. un estándar secundario con una exactitud más alta que la del instrumento que va a calibrarse.
3. una excitación conocida.

Las palabras clave son 'exactitud conocida' su interpretación aquí, es que la exactitud del medidor debe ser especificada por una fuente respetable.

La importancia de la calibración no debe pasarse por alto, porque con la calibración se establece firmemente la exactitud de los instrumentos.

Para que los investigadores en diferentes partes del país y del mundo puedan comparar los resultados de sus experimentos con una base común, es necesario establecer ciertas unidades estándar de longitud, peso, tiempo, temperatura y cantidades eléctricas. Por ejemplo, la *National Bureau of Standards* tiene la responsabilidad primaria de mantener estos estándares en los Estados Unidos de Norteamérica.

En 1960 la conferencia General de Pesas y Medidas definió el metro estándar en términos de la longitud de onda de la luz naranja-roja de una lámpara de kriptón-86

1 metro = 1 650 763.73 longitudes de onda

Antiguamente la unidad fundamental de tiempo, el segundo, se definió como 1/86400 del día solar medio.

El día solar se define como el intervalo de tiempo entre dos tránsitos sucesivos del Sol a través de un Meridiano de la Tierra; dicho lapso varía con la posición de la Tierra y la época del año; sin embargo, el día solar medio para un año es constante. El año solar es el tiempo que requiere la Tierra para efectuar una revolución alrededor del Sol. El año solar medio es de 365 días 5 hrs. 48 min. 48 seg.



Aunque la definición de día solar es muy exacta depende de las observaciones astronómicas. En octubre de 1957 la Décimo tercera Conferencia General de Pesas y Medidas adoptó como definición de segundo, la duración de 9 192 631 770 períodos de la radiación correspondiente a la transición entre los dos niveles hiperfinos del estado fundamental del átomo de cesio -133. Este estandar puede duplicarse fácilmente en los laboratorios de estándares de todo el mundo. La exactitud estimada es de 2 partes en  $10^9$ .

#### **Sistema Generalizado de Medición.**

La mayoría de los sistemas de medición se pueden dividir en tres partes:

1. Una etapa detectora-transdutora, la cual detecta la variable física y efectua una transformación, ya sea mecánica o eléctrica para convertir la señal a una forma más manejable. En el sentido general un transductor es un dispositivo que transforma un efecto físico en otro. Sin embargo, en la mayoría de los casos, la variable física se transforma en una señal eléctrica, ya que ésta es la forma de señal más fácilmente medible.
2. Alguna etapa intermedia, la cual modifica la señal que proviene del transductor, ya sea por amplificación, filtrado u otros medios para obtener una salida deseable.
3. Una etapa final o terminal, en la cual se indica, graba o controla la variable que va a ser medida.

#### **Causas y Tipos de Errores Experimentales.**

Existen datos de una sola muestra y datos de varias muestras. Los datos de una sola muestra son aquellos en los cuales algunas incertidumbres no pueden descubrirse por repetición, en contraposición con los de varias muestras las cuales se obtienen de varios experimentos, de tal forma que la confiabilidad de los resultados se puede asegurar por estadística. Frecuentemente el costo limitará la recopilación de los datos de varias muestras y, por ende el experimentador debe conformarse con obtener datos de una sola muestra y estar preparado para obtener tanta información como le sea posible de tal experimento. Ejemplo: si una presión se mide con un medidor para presión y además se utiliza un solo instrumento para realizar el conjunto de observaciones, entonces algun error que se presente en la medición sera muestreado una sola vez, no importa cuantas veces se repita la lectura. Consecuentemente tal experimento es un experimento de una sola muestra. Por otra parte, si se utiliza más de un medidor de presión para el mismo conjunto de observaciones, podríamos decir entonces que se ha llevado a cabo un experimento de varias muestras. El numero de observaciones determinará el éxito de este experimento de acuerdo con los principios estadísticos aceptados.

Un error experimental es tal que si el experimentador supiese qué error fué, lo corregiría y entonces dejaría de ser un error. En otras palabras los errores reales en los datos experimentales son aquellos factores que son indeterminados hasta cierto punto y que tienen cierta cantidad de incertidumbre. Nuestra labor consiste en determinar qué tan incierta puede ser una observación en particular y planear un método sistemático para especificar la incertidumbre en forma analítica.

Podemos tomar como una definición razonable de incertidumbre experimental el valor posible que puede tener el error.

Mencionaremos algunos tipos de errores que pueden ser causa de incertidumbre en una medición experimental. En primer lugar, pueden existir fallas en el aparato o en la construcción de la instrumentación las cuales pueden invalidar los datos obtenidos. Segundo, puede haber ciertos errores fijos, los cuales ocasionaran que en repetidas lecturas, se tenga un error de la misma magnitud aproximada por alguna razón desconocida. En algunas ocasiones este tipo de errores se les llama errores sistemáticos. Tercero, existen errores aleatorios, los cuales pueden causarse por fluctuaciones personales, alteraciones electronicas en los instrumentos, efectos de fricción, etc.

#### **Requisitos para una Herramienta de Medición.**

Una manera de reducir el error en el procedimiento de medir, es elegir una buena herramienta. En el caso de longitud las subdivisiones de la escala deben ser suficientes para detectar el 'fuera o dentro de tolerancia'. La herramienta de medición debe permitir que las escalas queden alineadas a la pieza que se mide. Además debe proporcionar una buena lectura de las escalas al efectuarse una medición. Por citar otro requisito, la pieza que se va a inspeccionar no debe sufrir cambios apreciables en sus cualidades, al usar esta herramienta para medirla.

#### **Control.**

Control es un sistema que dirige el buen comportamiento de otro sistema, a través de la inspección y comprobación de sus acciones.

#### **El Control de Calidad en la Manufactura Metálica.**

Las funciones de Control de Calidad en piezas metal-mecánicas han sido desarrolladas usando métodos de inspección manual y procedimientos de muestreo estadístico. La Inspección Manual es un procedimiento que consume tiempo, que requiere precisión, aunque sea un trabajo monótono. La inspección generalmente no se realiza en la línea de producción, sino que requiere una area de inspección separada, esto causa demoras y puede constituir el cuello de botella en el despacho de la manufactura.

Existen varios factores: económicos, sociales y tecnológicos en el trabajo, para modernizar las funciones de control de calidad.

El factor económico incluye el costo en el proceso de inspección, pues comúnmente se le considera fuente del retardo en la salida de la producción.

El factor social se ve en el incremento de los clientes que demandan productos cercanos a la perfección en la calidad de los artículos manufacturados, en el crecimiento del número de productos con responsabilidad legal y, de reglamentos gubernamentales que requieren registros completos de producción y calidad. Otro factor en esta categoría es la tendencia de algunas tareas de inspección manual que involucran juicios subjetivos por parte del inspector humano. Generalmente es deseable eliminar esta componente subjetiva de las operaciones de inspección.

El factor tecnológico involucra los avances en la automatización de la inspección al eliminar el factor humano, como se puede notar en el aumento de las aplicaciones de microprocesadores y en el mejoramiento de técnicas de inspección sin-contacto tales como sistemas de visión.

Los objetivos del Control de Calidad son:

1. - Mejorar la calidad de la producción.
2. - Incrementar la productividad en el proceso de inspección.
3. - Reducir el tiempo muerto en la manufactura.

La estrategia para lograr esos objetivos es automatizar el proceso de inspección. Existen dos técnicas para la inspección: por contacto y sin-contacto. Entre los métodos de inspección por contacto se tienen las Máquinas de Medición en Coordenadas.

#### Control Numérico.

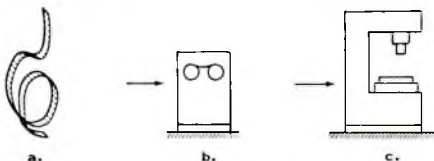
Muchos de los logros en el Diseño, Manufactura e Inspección Asistidos por Computadora tienen un origen común en el Control Numérico (CN).

El Control Numérico puede ser definido como una forma de automatización programable, en el cual el proceso es controlado por números, letras y símbolos [Mikell P]. En CN los números forman un programa de instrucciones designadas para crear o inspeccionar una parte o pieza en particular. Si la pieza cambia la lista de instrucciones cambia.

El Control Numérico es un sistema que puede interpretar una lista de instrucciones previamente almacenadas en algún formato, que causa que la máquina controlada ejecute las instrucciones, y pueda entonces mostrar resultados que requieren precisión y que su buen funcionamiento se mantenga hasta terminar con la tarea. El Control Numérico no es una máquina herramienta, pero sí es una técnica para dirigir una gran variedad de máquinas. El CN tiene su origen en las máquinas cortadoras de metal [Rogers S].

El modo de operación de un Sistema de Control Numérico consiste básicamente de tres elementos, cuyas relaciones se ilustran en la figura 1.1.2-1.

- a. Un Programa de Instrucciones.
- b. Una Unidad de Control de la Máquina.
- c. Una Máquina Herramienta.



Elementos de un Sistema de Control Numérico

fig 1.1.2 - 1

#### Sistema de Coordenadas del Control Numérico.

A diferencia de un Sistema Cartesiano Teórico con un número infinito de subdivisiones, el Sistema de Coordenadas del Control Numérico considera solamente un número finito de divisiones. La máquina es tan exacta como la subdivisión más pequeña predefinida. Es decir, es un sistema de posicionamiento discreto.

#### Posicionamiento en Máquinas Controladas Numéricamente:

Hemos definido al CN como un método de control automático que usa instrucciones codificadas simbólicamente, que causa que la máquina desarrolle una serie específica de operaciones, la más importante es el posicionamiento.

Existen dos tipos de posicionamiento: **Absoluto e Incremental.**

**Posicionamiento Absoluto:** El sistema de Referencia es fijo y las coordenadas se especifican con respecto a su origen.

**Posicionamiento Incremental:** La referencia al sistema es relativa a la última posición.

#### Sistema de Control para el Movimiento:

La trayectoria que sigue la herramienta para dirigirse desde un punto a otro, depende del Sistema de Control de Movimiento. Existen tres sistemas de control de movimiento cuya diferencia es la ruta que generan.

**Corte Recto:** Primero satisface la dirección X y luego la dirección Y, recorriendo la subdivisión mínima de la máquina

**Punto a Punto:** Además de las trayectorias rectas paralelas a los ejes de la máquina, ejecuta trayectorias diagonales.

**Contorneado:** El controlador de este tipo de rutas genera una trayectoria por la interpolación de coordenadas intermedias.



## 1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

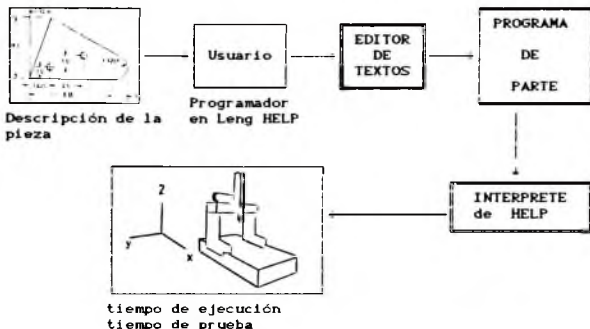
En el laboratorio de mecánica de la sección de metrología del departamento de Ingeniería Eléctrica del CINVESTAV existe una Máquina de Medición en Coordenadas (MMC) orientada a medir el atributo longitud, en piezas metal mecánicas cuyo control de calidad especifique tolerancia en décima de micra.

Se trata de un mecanismo de 'inspección por contacto', 'controlado numéricamente', de escalas 'incrementales', y de posicionamiento 'punto a punto'. Pero en su modo de operación presenta ciertas dificultades para programarla.

Las desventajas que presenta se observan en el momento de probar un programa, pues es hasta el tiempo de ejecución donde el programador detecta errores léxicos, sintácticos y de ejecución.

Generalmente las piezas a medir son de un material (metal) más duro que la punta del palpador (con el que se efectúa el contacto), lo que una colisión entre el palpador y la pieza podría dañarlo, siendo esto un riesgo muy caro. Las colisiones pueden ser causadas por una mala programación en la trayectoria que debe recorrer el palpador dentro de su espacio de libertad para medir ciertas regiones en la pieza.

En la figura 1.2-1 se muestra la interacción entre el Operador y la (MMC).



El usuario a partir de un dibujo detallado de la pieza crea un programa de parte en lenguaje de programación HELP, usando el Editor, el programa de parte se almacena en un archivo y, el INTERPRETE de HELP lo ejecuta instrucción por instrucción.

fig 1.2 - 1

En la figura 1.2-1 se puede notar una gran desventaja, pues, es hasta el tiempo de ejecución donde el operador encuentra errores léxicos, sintácticos y de ejecución. En la mayoría de las veces, por un simple error léxico, el operador tiene que instalar nuevamente el Sistema Operativo, cargar el Editor y corregir el programa de parte; lo que prácticamente cierra el ciclo en la figura anterior.

### 1.3 OBJETIVOS DE LA TESIS

Los objetivos de este proyecto de tesis se muestran a continuación:

#### Generales:

- Agilizar la programación de la (MMC).
- Evitar el tiempo muerto de la aprobación del programa de parte en línea.
- Reducir el costo de los fracasos de la medición en cada iteración.

#### Particulares:

- La entrada al sistema no debe ser un programa, para que el usuario no tenga necesidad de aprender un lenguaje de programación y además le sea atractivo usar este sistema.
- Generar la trayectoria que debe seguir el palpador, para inspeccionar las regiones en la pieza de manera automática.
- Simular la medición mediante dibujos en la pantalla, para que el usuario de este sistema, observe el detalle del trayecto, sin necesidad de probar el programa en la MMC.
- Generar programas en código HELP, listos para ser instalados en la MMC.

■

### DESCRIPCION DE LA MAQUINA DE MEDICION EN 3D (IDEA)

El presente proyecto simula el comportamiento de un sistema de medición, es por eso que antes de describir como esta hecho el sistema modelo, se describe el Sistema Real.

En este capítulo se muestran las componentes físicas y, las capacidades de programación con las que cuenta la Máquina de Medición en Coordenadas, también se muestra como se utiliza para medir piezas metal-mecánicas. Esta descripción es una síntesis de los manuales de operación del Sistema de Medición (Sistema Real).

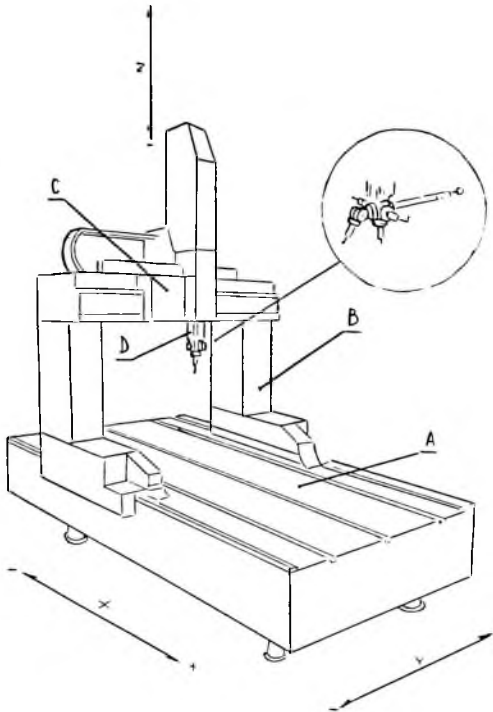
Estas máquinas están compuestas por un ensamble mecánico, un ensamble electrónico y sistemas de programación, orientadas a dar servicio en un departamento de Control de Calidad de una Industria Manufacturera, para resolver diferentes problemas de prueba en las partes que fabrican.

#### 2.1 ESTRUCTURA FÍSICA BÁSICA DE LA MMC.

Las componentes de la estructura física de la Máquina de Medición en 3 Coordenadas (MMC) son las siguientes, y se muestran en la figura 2.1-1.

- A.- Una base o mesa de trabajo usada para soportar la pieza o parte, durante la inspección.
- B.- Un vehículo principal en forma de puente, que transporta todas las componentes móviles de la máquina, despiazándose sobre cojines de aire a lo largo de la mesa, siguiendo la dirección X.
- C.- Un vehículo central corredizo sobre el vehículo principal, que se desplaza por lo ancho de la base, recorriendo en la dirección Y, y soporta una columna vertical.
- D.- Una columna vertical que se desplaza en la dirección Z en ambos sentidos, y posee una cabeza en el extremo inferior con cinco orificios para la montura de la herramienta (palpadores).





**Estructura Física de la Máquina de Medición:**  
**A. Mesa de Trabajo, B. Vehículo Principal, C. Vehículo Central,**  
**D. Columna Vertical**

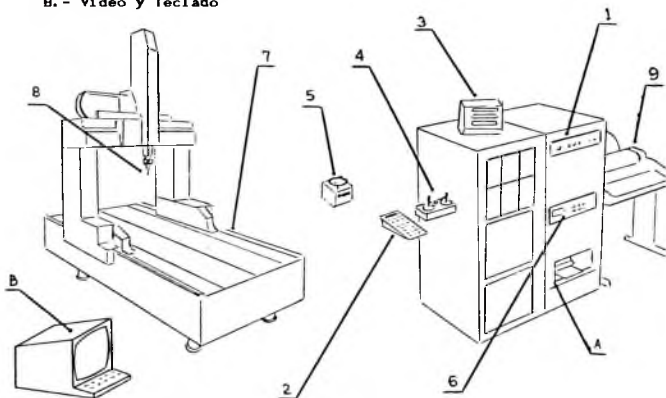
*fig 2.1-1*

## 22 INTERFACE ENTRE OPERADOR Y MÁQUINA

La MMC esta controlada numéricamente por una computadora, esta última está basada en una minicomputadora PDP11/04 con 28k de memoria RAM.

La MMC para su operación cuenta con los siguientes elementos (Operator Manual):

- 1.- Panel de Control
- 2.- Caja de Comandos (Unibox)
- 3.- Exhibidor (Display)
- 4.- Caja de Palancas (Levbox)
- 5.- Botón de Emergencia
- 6.- Consola
- 7.- Sensor de Posición
- 8.- Palpador
- 9.- Impresora
- A.- Sistema de discos flexibles
- B.- Video y Teclado



Interface entre Operador y Máquina

fig 2.2-1

## 2.2.1 PANEL DE CONTROL

El sistema de medición permite elegir uno entre tres tipos de Operación:

**Operación Automática:** Es el modo normal de operación, el sistema de medición es controlado por la computadora.

**Operación Fuera de Línea:** El sistema no puede ser usado para medición, pero si pueden usarse las capacidades de la computadora como tal, así como pueden usarse los periféricos de acuerdo a sus principios de operación.

**Sistema de medición controlado por un procesador especial:** Reduce las capacidades del sistema, la minicomputadora PDP11/04 puede usarse en paralelo fuera de línea.

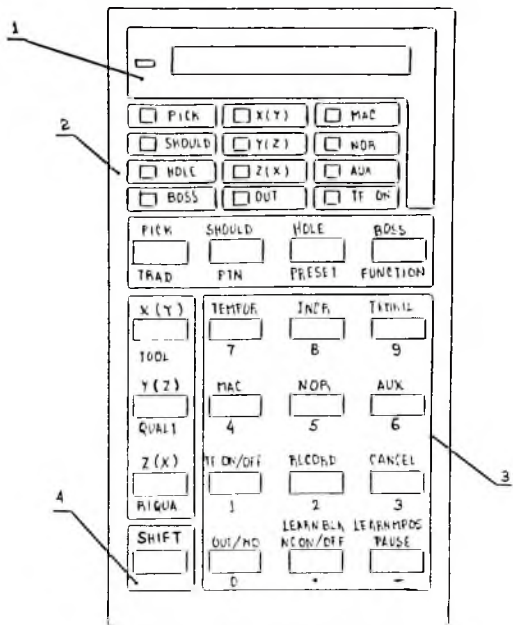
Los botones para el control del tipo de operación están ubicados en el panel de control.

## 2.2.2. CAJA DE COMANDOS (UNIBOX)

Si el Sistema de Medición esta controlado por la computadora permite varios modos de operación, como se verá más adelante. Por ahora diremos que en el modo de operación manual la caja de comandos es útil.

La caja de comandos incluye los siguientes elementos, como se muestran en la figura 2.2.2-1 .

1. - Un exhibidor numérico para 8 dígitos más el signo.
2. - Diodos emisores de luz para indicar el estado del sistema.
3. - Botones con doble función.
4. - Botón para elegir uno de esos significados (Shift).
5. - Una alarma sonora.

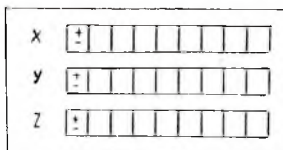


Caja de Comandos

fig. 2.2.2-1

### 2.2.3. EXHIBIDOR (DISPLAY)

Este exhibidor esta construido para mostrar, tres valores reales, usando ocho dígitos más el signo. Como se muestra en la siguiente figura:



Despliegue de la Posición Actual.

fig. 2.2.3-1

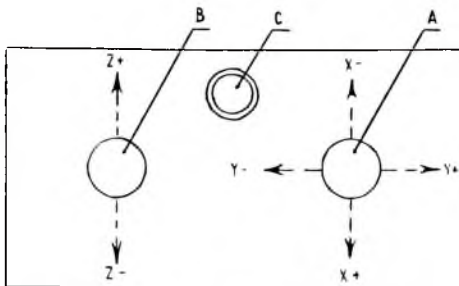
Los valores que son mostrados representan las coordenadas de la posición actual de la máquina del Sistema de Referencia seleccionado (el de la máquina MAC, el normal a la pieza NOR, ó el auxiliar a la pieza AUX).

Una traslación al sistema de referencia causa que los valores de coordenadas automáticamente se actualicen mostrándose en este exhibidor.

### 2.2.4. CAJA DE PALANCAS (LEVBOX)

La máquina de medición cuenta con una caja de palancas LEVBOX (como lo muestra la figura 2.2.4-1), que incluye los siguientes elementos:

- Una palanca para el movimiento de la máquina a lo largo de los ejes X y Y (A).
- Una palanca para el movimiento de la máquina a lo largo del eje Z (B).
- Un botón para el control de encendido/apagado de esta caja, con un indicador luminoso (C).
- Una alarma sonora.



Caja de Palancas, vista desde arriba.

fig 2.2.4-1

El LEVBOX es útil solamente en el modo manual de la operación de la máquina. En el modo de operación dirigido por un programa de parte, es decir, mediante control numérico, el botón luminoso se encuentra apagado, con lo que indica que esta unidad no puede ser manejada en forma manual.

#### TIPOS DE MOVIMIENTO

El sistema de medición tiene dos tipos de movimiento, uno para cambiar de posición y, otro para palpar un punto teórico, sobre la pieza a inspeccionar.

El tipo de movimiento puede ser elegido por el usuario, que habilita o deshabilita la sensibilidad del palpador.

Con el botón TF (ubicado en el LEVBOX) apagado se deshabilita la sensibilidad del palpador.

El movimiento de la máquina está únicamente controlado por las palancas del LEVBOX, y si en la trayectoria que va recorriendo la columna, existe un obstáculo y choca, la máquina no frena. Esto puede ocasionar que el palpador sufra algún daño.

Las dos palancas pueden ser inclinadas simultáneamente (la palanca XY puede ser inclinada en una dirección sesgada), obteniendo un movimiento combinado. El desplazamiento de la máquina es una función exponencial de la inclinación de las palancas. La velocidad de movimiento a lo largo de cada eje puede tomar 14 valores discretos positivos y 14 valores discretos negativos, correspondiendo a tantas como posiciones de las palancas.

- La palanca en la posición de en medio de las carreras, corresponde a una velocidad cero.
- La primera posición de inclinación (positiva o negativa) corresponde a una velocidad de  $5 \mu\text{m}/\text{seg}$ .
- La posición de la palanca al final de la carrera (positiva o negativa) corresponde a una velocidad de  $10 \text{ m}/\text{min}$ .

TF habilitado, habilita el movimiento tipo medición.

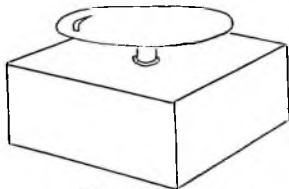
En esta condición el movimiento de la máquina esta controlado por una inclinación del palpador, esto es, cuando el palpador esta en movimiento y siente un obstáculo (por ejemplo, la superficie del elemento a medir) automáticamente se detiene, aún cuando la palanca se mantenga inclinada. El movimiento puede ser reiniciado, si la palanca primero se inclina en sentido opuesto.

Las palancas del LEVBOX pueden ser inclinadas una a la vez, y la palanca XY no puede actuar con una inclinación sesgada, esto es, todos los movimientos siguen trayectorias paralelas a los ejes de coordenadas.

La velocidad de movimiento a lo largo de cada eje es fija, es decir, que no depende de la posición de la inclinación de las palancas, esta velocidad es de  $0.5 \text{ m}/\text{min}$ .

## 2.2.5. BOTÓN DE EMERGENCIA

Es un control manual de emergencia, situado en una cajita separada (como se muestra en la siguiente figura), que permite un ALTO instantáneo en los movimientos de la máquina. La ejecución de este comando hace que los motores de los tres ejes de coordenadas se detengan simultáneamente. Para iniciar el movimiento otra vez, es necesario habilitar la caja de palancas LEVBOX



Botón de Emergencia

fig. 2.2.5-1

El botón de emergencia se usa para abortar un proceso bajo Control Numérico, en caso de comportamiento inesperado de la máquina y en cualquier otra situación de emergencia.

## 2.2.6. CONSOLA

La consola es el control general de la computadora, basada en el procesador PDP11/04, tiene un número limitado de controles, que permiten: inicializar la computadora, interrumpir la ejecución de cualquier programa, y continuar la ejecución de un programa suspendido.

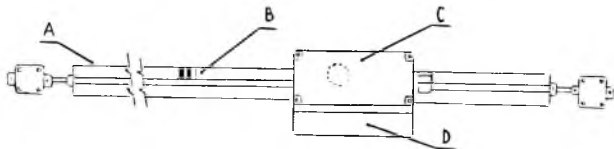
## 2.2.7 SENSOR DE POSICIÓN.

La Máquina de Medición en Coordenadas (MMC) usa una interpolación electrónica y, un sistema de posicionamiento incremental, construido mediante una escala óptica y un lector.

La escala óptica (A) (como lo muestra la fig. 2.2.7-1) es una regla de acero con una cinta dorada adherida a ella, situada sobre los rieles que permiten el movimiento de la cabeza. La cinta (B) lleva marcas doradas reflejantes con un ancho de  $20 \mu\text{m}$ , alternando con marcas de alta absorción no reflejantes del mismo ancho.

El sistema de posicionamiento usa una escala óptica fija y un lector móvil, la escala óptica esta adherida a lo largo de los ejes X y Y. El lector del eje Z esta incluido en el lector sobre el vehículo central; la escala óptica esta integrada a la columna vertical, que se mueve a lo largo de la carrera completa del eje Z.

Cada lector (C) esta montado en un soporte ajustable (D), para alinearlo con cada escala óptica (ver la siguiente figura).



Sensor de Posición

fig 2.2.7-1



## 2.2.8 PALPADOR

El palpador es la herramienta de la máquina de medición, mediante la cual se lleva a cabo el contacto sobre la superficie de la pieza; es un dispositivo eléctrico, al que se le puede cambiar la punta, dependiendo de la región que se desea medir.

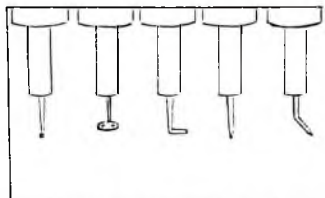
En la operación normal de la máquina, el circuito permanece cerrado, pero en cuanto sufre una pequeña inclinación el circuito se abre, de tal manera, que el control de la máquina siente la ausencia de corriente eléctrica, y la posición actual que se obtiene por la lectura de las escalas, se considera como punto medido. La siguiente figura muestra las componentes del palpador:

Ensamble del Palpador  
con punta instalada.



fig 2.2.8-1

Las puntas son de varios perfiles: rectas, angulares, de plato, etc. que tienen una aplicación particular en la medición de ciertos elementos. La figura 2.2.8-2, muestra diferentes puntas que se pueden instalar al palpador.



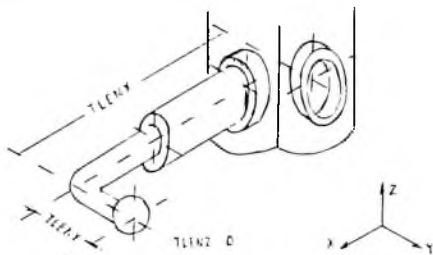
Diferentes puntas para el palpador.

fig 2.2.8 - 2

Desde el punto de vista operación, el palpador se puede instalar en cualquiera de los cinco orificios (en cada uno de los siguientes sentidos:  $+X$ ,  $-X$ ,  $+Y$ ,  $-Y$ , y  $-Z$ ) de la montura ubicada en la parte inferior de la cabeza.

Para desplazar en forma automática al palpador es necesario implementar un programa que la minicomputadora interpreta y ejecuta. A dicho programa le denominaremos Programa de Parte.

Al integrar un programa de parte, el programador debe definir los desplazamientos de la punta del vástago, desde el centro de la cabeza de medición, así como el radio de la punta. La siguiente figura muestra el palpador instalado con una punta sencilla y los desplazamientos correspondientes:



Descripción del Palpador: desplazamientos del centro de la punta con respecto al centro de la cabeza de medición.

fig 2.2.8- 3

## 2.3 CONCEPTOS DE OPERACIÓN

Para medir una pieza normalmente se procede de la siguiente manera:

1. Se localizan las regiones que se deben medir, dependiendo de la tolerancia especificada en un plano de la pieza, se coloca y sujeta la pieza de manera que, las regiones sean accesibles para él que mide.
2. Se distribuyen y calculan las posiciones de los puntos para calcular un elemento (por ejemplo una esfera, un cilindro, una circunferencia, una elipse, un plano o, una línea recta)
3. Se calcula el error, que es la diferencia entre el elemento teórico y, el elemento calculado con los puntos previamente medidos.
4. Si la diferencia está dentro de la tolerancia permitida se acepta la pieza.

Usando la MMC el operador debe proceder de la siguiente manera:

1. Se coloca la pieza sobre la mesa de la MMC.
2. Sujeta la pieza para que no se mueva durante la inspección, al sujetar la pieza se debe procurar que las regiones que caracterizan la pieza sean accesibles para el palpador, instalado en uno de los cinco orificios de la cabeza de la MMC.
3. Debe 'ayudar' a que la MMC reconozca la posición de la pieza.
4. Debe alinear la pieza a los ejes del sistema de coordenadas de la MMC.
5. Elige la herramienta adecuada para accesar los puntos sobre la pieza.
6. Califica la herramienta.
7. Introduce los valores teóricos de las coordenadas del punto centro y del diámetro de elementos circulares que va a medir.
8. Calcula la distribución de cada punto a palpar, sobre el elemento geométrico que posteriormente se calculará.
9. Calcula los puntos que marcan la trayectoria de la punta del palpador para que se recorra y mida la pieza.
10. Realiza el palpado y el almacenamiento de los puntos.
11. Calcula el elemento geométrico con los puntos previamente palpados y almacenados.
12. Calcula el error.
13. Presenta resultados, tales como: valores teóricos, valores medidos, errores y, salidas de tolerancia.

Para tal efecto el operador debe escribir un programa de parte en lenguaje HELP.

La MMC opera de varias formas, pero la más importante es la dirigida por un programa de parte escrito en HELP.

El sistema cuenta con un intérprete de HELP, que ejecuta instrucción por instrucción.

Las instrucciones principales que el programador puede ordenar en lenguaje HELP, son las siguientes:

1. Elegir la Unidad de Medición, milímetros o pulgadas.
2. Seleccionar del Sistema de Coordenadas en el que se llevará a cabo la medición.
3. Seleccionar del eje y plano de trabajo.
4. Definir uno de los cinco orificios del cabezal, donde está instalado el palpador, con el que se llevará a cabo la medición.
5. Tomando como referencia el centro del cabezal, el programador debe definir los desplazamientos a lo largo de los tres ejes, de la punta del palpador y, el radio de la punta del palpador.
6. Elegir la velocidad para el posicionamiento.
7. Tomando como referencia el punto teórico a palpar, deja al usuario definir el radio, en el cual la punta de prueba se desplaza tratando de encontrar el punto correspondiente sobre la superficie de la pieza.
8. Elegir la velocidad en la que el palpador se desplaza durante la medición.
9. Definir la dirección de movimiento para palpar un punto.
10. Definir el punto teórico (3 coordenadas) sobre la pieza, para palparlo y almacenarlo.
11. Calcular elementos Geométricos, tales como: Planos, Líneas Rectas, Elipses, Circunferencias, Esferas y Cilindros.
12. A partir de los parámetros de dos elementos geométricos (previamente almacenados), puede efectuar los siguientes cálculos: Distancia, Punto Medio, Proyección e, Intersección.
13. La MMC mide automáticamente circunferencias, es decir, que el sistema se encarga de distribuir los puntos teóricos, calcula la trayectoria, palpa y almacena los puntos y, posteriormente efectúa el cálculo; siempre que las circunferencias pertenezcan a planos paralelos a cualquiera de los de la máquina (XY, YZ y ZX).

Con lo visto en párrafos anteriores, si el usuario quiere medir un cilindro, debe proceder de la siguiente manera:

1. Debe calcular cada punto teórico sobre la superficie del cilindro.
2. Calcular puntos de posicionamiento, que marcan la trayectoria para medir cada punto.
3. Almacenar los puntos palpados en un arreglo preestablecido por HELP.
4. Calcular el elemento en cuestión (cilindro en este caso).
5. Retener el resultado y calcular la Diferencia con respecto al elemento teórico.

## 2.4 OPERACION DIRIGIDA POR PROGRAMA DE PARTE

### Lógica para el Control del Sistema

En la operación controlada por un Programa de Parte, la actividad del sistema esta controlada por la ejecución de un programa de medición escrito en HELP, aplicado a una pieza en particular. Cuando se ejecuta el programa por el Procesador del Sistema, cada instrucción es interpretada, generando una serie de comandos, impulsando a la máquina a que realice las operaciones de medición programadas. Todo lo que el operador tiene que hacer, es integrar un programa de parte.

El operador es el encargado de manipular la máquina para que ésta palpe los puntos requeridos por el programa y, dar algunas funciones de control mediante el UNIBOX.

### Palpado de Puntos

En el modo de operación controlado por un programa de parte, si el intérprete encuentra una instrucción que requiere uno o más puntos, detiene la ejecución del programa y la mantiene suspendida hasta que el operador dirija manualmente (vía el UNIBOX) el sistema y palpe los puntos. Cuando el contacto con los puntos ya se efectuó, el intérprete completa la ejecución de la instrucción y va por la siguiente. El mismo programa de parte debe pedir (mediante la impresión de textos) la ejecución de los palpados al operador.

En el caso de la operación controlada numéricamente, los movimientos para el posicionamiento y palpado son automáticamente desarrollados por el sistema, sin intervención del operador (únicamente en el caso de circunferencias internas y, externas).

El programa de parte puede contener algunas bloques de programación con movimientos manuales y otros desarrolladas automáticamente, este es el caso de los programas bajo control numérico, donde la calificación inicial del palpador debe ser programada para desarrollarse manualmente. Entonces durante la ejecución del programa, el operador debe alternar con la ejecución de la medición asistida por un programa de parte.

### Medio Ambiente de Programación

Partiendo de la descripción de la pieza que se muestra en un plano, vía el sistema operativo se pide la ejecución del programa editor, para integrar un programa que se archiva en disco, terminando la sesión de edición, se pasa el control de la computadora nuevamente al sistema operativo, para ordenar la ejecución del intérprete, se carga el programa previamente grabado y se ordena ejecutarlo.

El intérprete obtiene la siguiente instrucción del programa, y si está libre de errores léxicos y sintácticos la ejecuta.

En caso de que la instrucción contenga errores de lógica; es hasta el momento de la ejecución de la medición sobre la pieza de trabajo, cuando el programador distingue equivocaciones, a menos de que se trate de un programador experimentado que sea precavido y verifique con lápiz y papel cada uno de los movimientos programados para alcanzar los puntos a medir, para que el programa que integre esté libre de colisiones, esto es, que el palpador no tenga contacto inesperado con la superficie que esta probando.

En el caso de una colisión, el operador puede inmediatamente oprimir el botón de emergencia, fijarse en el error que desplegó el interprete, recargar el sistema operativo, editar el archivo, corregir las fallas, llamar al intérprete, pedir la ejecución del programa, supervisar los movimientos de la máquina, alistarse con el botón de emergencia, y así sucesivamente hasta lograr una corrida libre de errores.

## CAPITULO III

### DESCRIPCION DEL H E L P

Como ya se mencionó en el capítulo 2, la Máquina de Medición en Coordenadas esta compuesta por un ensamble mecánico, un ensamble electrónico y sistemas de programación.

En este capítulo se describe uno de los sistemas de programación, el más importante relacionado con la tesis, el lenguaje de programación HELP.

En la sección 3.1 de este capítulo se muestran las instrucciones de HELP clasificadas según su aplicación dentro de un programa de parte ['M' and 'P'], en la sección 3.2 se muestra una breve descripción del programa intérprete y las componentes más relevantes del lenguaje de programación [Guide to HELP] y, en la 3.3 procedimientos básicos escritos en HELP describiendo un programa de parte.

### 3.1 INSTRUCCIONES DEL LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN HELP

Dentro de un programa de parte podemos incluir instrucciones que pertenecen a las siguientes clases:

- Las que eligen el modo de operación (manual ó automático).
- Las que definen palpadores.
- Las que controlan la salida de resultados.
- Las que definen valores teóricos y tolerancias.
- Las que definen parámetros de medición.
- Las que dirigen la medición automática de elementos.
- Las que calculan elementos a partir de puntos previamente palpados.
- Las que manejan los sistemas de coordenadas.
- Las que permiten calificar y recalificar palpadores.
- Las que permiten alinear los ejes coordenados de la pieza a medir y,
- las que controlan el desplazamiento.

En las siguientes secciones se describen cada una de esas clases y, en la sección 3.1.8 se introducen dos arreglos privilegiados del sistema para manipularlos desde un programa de parte.

### 3.11 SELECCIÓN DEL MODO DE OPERACIÓN

#### MANMOV

**FUNCION:** Selecciona el tipo de operación manual, los desplazamientos para el posicionamiento y el palpado de los puntos son controlados manualmente por el operador desde el UNIBOX y LEVBOX.

**FORMATO:** MANMOV;

#### NCMOV

**FUNCION:** Selecciona el tipo de operación automático, los desplazamientos para el posicionamiento y palpado son controlados por un programa de parte.

**FORMATO:** NCMOV;

#### MEIR

**FUNCION:** Selecciona al milímetro como unidad de medición.

**FORMATO:** MEIR;

**NOTAS:** El sistema supone que los valores numéricos y todos los resultados de medición se proporcionan en esta unidad.

#### INCH

**FUNCION:** Selecciona a la pulgada, como unidad de medición.

**FORMATO:** INCH;

**NOTAS:** El sistema supone que los valores numéricos y todos los resultados de medición se proporcionan en esta unidad.

#### RESULT

**FUNCION:** Define el tipo de procedimiento (comparación/medición) para imprimir los resultados requeridos por el usuario.

**FORMATO:** RESULT <MEAS| THEO| ERR| UPTOL| LWTOL| OOT| BLK>

**PARAMETROS:**

MEAS        las cantidades medidas las toma como salida. Si no es seguido por otro parámetro, selecciona el procedimiento de 'imprimir la medición'.

THEO        ordena la salida de valores teóricos. Elige el procedimiento de 'comparación programada'.

ERR        ordena la salida de los errores de la pieza, el error es la diferencia entre los valores medidos y los valores teóricos.

UPTOL      ordena la salida de los valores para tolerancia superior.

LWTOL      ordena la salida de los valores de tolerancia inferior.

OOT        ordena la impresión de la señal de 'salida de tolerancia'.

BLK        ordena la impresión del texto para la identificación del bloque.



**MAC**

**FUNCIÓN:** Elige al Sistema de Coordenadas de la Máquina como el sistema de referencia para la medición.

**FORMATO:** MAC;

**NOR**

**FUNCIÓN:** Elige tres ejes normales a la pieza como el sistema de referencia usado en la medición.

**FORMATO:** NOR;

**AUX**

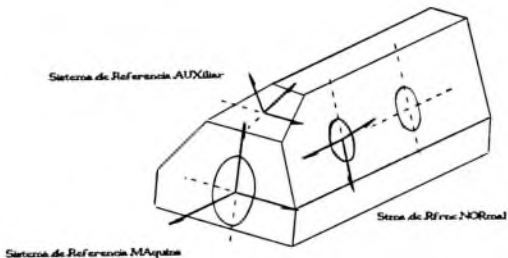
**FUNCIÓN:** Elige tres ejes auxiliares en la pieza, como sistema de referencia para la medición.

**FORMATO:** AUX;

**NOTAS:** Todos los datos para el posicionamiento y los resultados de medición, son relativos al último Sistema de Coordenadas elegido.

El sistema de referencia MAC, está físicamente definido por las direcciones de las carreras de la máquina de medición.

Los ejes AUX y NOR pueden ser definidos en diferentes áreas del elemento a medir, como lo muestra la figura 3.1.1-1.



El Sistema de Medición cuenta con tres Sistemas de Referencia.

*fig 3.1.1-1*

**XY**

**FUNCIÓN:** Elige el eje X y el plano XY como de trabajo.

FORMATO: XY;

#### YZ

FUNCION: Elige al eje Y y el plano YZ como de trabajo.

FORMATO: YZ;

#### ZX

FUNCION: Elige al eje Z y al plano ZX como de trabajo.

FORMATO: ZX;

NOTAS: El sentido de movimiento, después de la ejecución de alguna de las tres instrucciones anteriores es positivo, también se tienen los sentidos negativos correspondientes: NX, NY, y NZ.

Las tres instrucciones anteriores tienen diferentes significados, dependiendo del contexto en el que se encuentren:

- Definen la dirección del movimiento para efectuar la medición automática de puntos, como en el caso de SHOULD, POINT, y PICK.
- Para definir el eje en el cual se va aplicar una redefinición temporal o definitiva del origen.
- Define la dirección sobre la que se va a llevar a cabo la calificación o recalificación de un palpador.
- Determina el eje que se mantiene sin alterar al realizar una alineación en dos dimensiones.
- Por último, determina el eje, del cual primero se calculará la desalineación en tres dimensiones.

#### TOOL

FUNCION: Hace operativo, a uno de los palpadores previamente definidos mediante los comandos TDEF, TLEN y TRAD.

FORMATO: TOOL n;

n es un número entero entre uno y cinco.

NOTAS: Cada desplazamiento para el posicionamiento considera sólo las características del palpador operativo o activo, esto es, ignora la presencia de otros palpadores montados sobre la cabeza de medición.

Desde el punto de vista operación, esta instrucción detiene la ejecución del programa e imprime automáticamente el siguiente mensaje:

WAIT (Y/N)

El operador debe verificar la presencia del palpador, que posiblemente deba instalar en la montura de la cabeza de medición. Para continuar con el programa, el operador debe oprimir la secuencia de teclas: [N] y [CR].

### 3.12 DEFINICIÓN DE PALPADORES

#### TDEF

**FUNCION:** Asocia un código entero entre uno y cinco a la descripción de un palpador.

**FORMATO:** TDEF n;

n define el número del palpador, entre 1 y 5.

**NOTAS:** Solamente después de la asignación de un código, es posible definir las características del palpador relevante.

Hasta cinco palpadores pueden definirse y montarse sobre la cabeza de medición al mismo tiempo, pero es responsabilidad del programador considerar el espacio que ocupa la cabeza con una instalación múltiple en desplazamientos.

#### TRAD

**FUNCION:** Define el radio de la esfera en la punta del palpador.

**FORMATO:** TRAD valor;

valor es un número real, en la unidad de medición última establecida, para definir el radio de la punta del palpador.

**NOTAS:** Define el radio del palpador al que recientemente se le ha asignado un código.

El sistema si fuera necesario, automáticamente efectúa la compensación del radio en las mediciones que realice, por eso es conveniente definirlo muy exactamente.

El TRAD es un parámetro que se debe calibrar y únicamente corresponde al radio de la esfera de manera aproximada.

#### TLEM

**FUNCION:** Define los desplazamientos (relativos al sistema de coordenadas de la máquina), de la punta del palpador con respecto al centro de la cabeza de medición.

**FORMATO:** TLENX valor;

TLENY valor;

TLENZ valor;

valor es un número real, correspondiente a la dimensión del palpador, a lo largo del eje de coordenadas en cuestión, a partir del centro de la cabeza de medición.

### 3.13 CONTROL PARA LA SALIDA DE RESULTADOS

#### OUTVAL

**FUNCION:** Define la clase de cantidades requeridas por el usuario, como salida de resultados.

**FORMATO:** OUTVAL <X| Y| Z| A| P| D| K> ;

**PARAMETROS:**

X para que se imprima la coordenada X

Y la coordenada Y

Z la coordenada Z  
 A ángulo polar  
 P radio polar  
 D diámetro  
 K variable disponible  
 C error circular

NOTAS: El usuario puede elegir las cantidades de salida para cada elemento que el sistema calcule o mida. En la figura 3.1.3-1 se muestra un ejemplo, cuando todos los parámetros de RESULT y OUTVAL se han pedido.

	MEAS	THEO	ERR	LWTO	UPTO	OOT
NOOO18	HO MA					
X	472.766	470.000	2.766	-.005	.005	2.761
Y	000.119	000.500	0.381	-.005	.005	0.376
Z	-79.997	-80.000	0.003	-.005	.005	
A	000.014	000.061	0.047	0.000	.000	0.047
P	471.766	470.000	2.766	0.000	.000	2.766
D	040.046	040.000	0.046	-.005	.005	0.041
K	-06.007	001.000	7.007	-.005	.005	7.002
C			1.02		.1	0.02

Aquí, todos los parámetros de RESULT y OUTVAL estan activos.

fig 3.1.3-1

#### OUTPER

FUNCION: Define la unidad periférica para la salida de resultados.

FORMATO: OUTPER <TTY | VDT | LPR | FLP > ;

PARAMETROS:

TTY

VDT video

LPR Impresora de Línea

FLP unidad de disco flexible.

NOTAS: Si más de un periférico se elige, la misma salida será reproducida en cada uno de los periféricos.

#### DISOUT

FUNCION: Deshabilita la ejecución de cualquier ciclo de salida.

FORMATO: DISOUT;

#### ENOUT

FUNCION: Habilita la salida de resultados.

FORMATO: ENOUT;

#### OUTPUT

FUNCION: Desarrolla la ejecución del último ciclo de salida.

FORMATO: OUTPUT;

### 3.14 DEFINICIÓN DE VALORES TEÓRICOS Y TOLERANCIAS

#### \$T

**FUNCION:** Define valores teóricos

**FORMATO:** \$XT = valor; de la coordenada X  
\$YT = valor; de la coordenada Y  
\$ZT = valor; de la coordenada Z  
\$AT = valor; del ángulo polar  
\$PT = valor; del radio polar  
\$DT = valor; diámetro de elementos circulares  
\$KT = valor; diámetro secundario (elipses).

**NOTAS:** Se dan valores teóricos en el caso de medición de huecos y protuberancias circulares, en la unidad de medición previamente establecida.

#### \$UP

**FUNCION:** Define el valor de tolerancia superior aceptable para las cantidades medidas.

**FORMATO:** \$UPX = valor; tolerancia superior para coord. X  
\$UPY = valor; tolerancia superior para coord. Y  
\$UPZ = valor; para la coordenada Z  
\$UPA = valor; para el ángulo polar  
\$UPP = valor; para el radio polar  
\$UPD = valor; diámetro de elementos circulares  
\$UPK = valor; diámetro secundario

valor es un número real, en términos del sistema de medición establecido.

#### \$LW

**FUNCION:** Define el valor de tolerancia inferior aceptable de los elementos medidos.

**FORMATO:** \$LWX = valor; tolerancia inferior para la coord. X  
\$LWY = valor; para la coordenada Y  
\$LWZ = valor; para la coordenada Z  
\$LWA = valor; para el ángulo polar  
\$LWP = valor; para el radio polar  
\$LWD = valor; para el diámetro de circunferencias  
\$LWK = valor; para el diámetro secundario

valor es un número real expresado en unidades de medición último establecido.

#### \$CT

**FUNCION:** Define el valor para la tolerancia circular.

**FORMATO:** \$CT = valor;  
valor es un número real en términos de la unidad de medición establecida.

### 3.1.5 DEFINICIÓN DE PARÁMETROS DE MEDICIÓN

#### \$PTN

**FUNCION:** Establece el número de puntos que se palparán en la medición automática de huecos y protuberancias circulares (HOLES BOSSES).

**FORMATO:** \$PTN: = n;

n es un número entero mayor o igual que tres y menor o igual que veinte.

**NOTAS:** El sistema no verifica que esta asignación esté en el rango permitido, pero en el caso de que sea menor que tres o mayor que veinte, el sistema automáticamente asigna el valor de 3.

#### \$ARC

**FUNCION:** Define los límites inferior y superior del recorrido del palpador en la medición de huecos y protuberancias circulares (HOLE, BOSS).

**FORMATO:** \$ARC1: = valor; límite inicial de la sección.

\$ARC2: = valor; límite final de la sección.

valor es un número real, considerando positivo el sentido de las manecillas del reloj (como se muestra en la figura 3.1.5-1), relativo al primer eje del par que define el plano de trabajo. Este valor tiene el siguiente formato:

s. m.

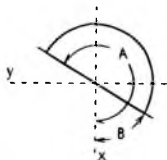
s número de grados

m fracción de grados expresada en milésimas de grado.

Plano de Trabajo: XY

B= \$ARC1

A= \$ARC2



Definición de los límites de un arco, para recorrer un elemento circular.

fig 3.1.5-1

### **\$DIR**

**FUNCION:** Define una dirección de palpado no paralela a un eje del sistema de referencia seleccionado, para la medición de puntos y caras (PICK, POINT, SHOULD).

**FORMATO:** \$DIRX:= valor;            componente X del vector dirección  
              \$DIRY:= valor;            componente Y del vector dirección  
              \$DIRZ:= valor;            componente Z del vector dirección

### **\$REG**

**FUNCION:** Define a que distancia del elemento a medir, con desplazamiento automático, la cabeza debe comenzar a moverse para palpar la superficie.

**FORMATO:** \$REG:= valor;

**NOTAS:** Un palpado exacto, sólo es posible en un trayecto con velocidad constante, la definición de esta distancia asegura que la medición se efectue en buenas condiciones. Como una consecuencia, la distancia depende de la velocidad de palpado elegida:

- Si se elige velocidad 'alta', el valor no debe ser menor de 4 milímetros (0.1574 pulgadas).
- Si se elige la velocidad 'baja', el valor no debe ser menor de 2 milímetros (0.0786 pulgadas).

### **MEAH**

**FUNCION:** Selecciona la velocidad 'alta' de 0.5 metros/minuto para la medición.

**FORMATO:** MEAH;

### **MEAL**

**FUNCION:** Selecciona la velocidad 'baja' de 0.1 metros/minuto para la medición.

**FORMATO:** MEAL;

## **3.16 ARREGLOS PARA ALMACENAMIENTO DE RESULTADOS**

El interprete HELP destina dos arreglos, uno para almacenar las coordenadas de los puntos medidos y otro asociado a los parámetros geométricos de elementos que están siendo procesados, los nombres de estos arreglos son: \$BUF y \$MEMO respectivamente. El usuario puede definir variables siempre que no use nombres que inicien con el símbolo \$.

## \$BUF

Es un arreglo de 20 renglones por 3 columnas, que puede almacenar las coordenadas X, Y, y Z de hasta 20 puntos. Las funciones PICK, HOLE, y BOSS almacenan automáticamente las coordenadas de los puntos que se palpan.

Las coordenadas del punto N-ésimo se almacenan, como se muestra a continuación:

X	\$BUF(1,N)
Y	\$BUF(2,N)
Z	\$BUF(3,N)

\$IB es una variable predefinida por el intérprete, que indica el número de puntos que han sido almacenados en \$BUF, de esta manera las coordenadas del último punto medido son:

\$BUF(1, \$IB)	para X
\$BUF(2, \$IB)	para Y
\$BUF(3, \$IB)	para Z

Cualquier función que procese los puntos almacenados en \$BUF, causa que el contador \$IB se actualice con valor cero.

## \$MEMO

Este arreglo es de 8 renglones por 10 columnas, que puede contener hasta 8 elementos generados por las siguientes mediciones:

POINT  
SHOULD  
HOLE  
BOSS

y por todas las funciones para el cálculo de elementos.

Cada elemento está definido mediante 10 parámetros, como se describe a continuación para el N-ésimo elemento:

\$MEMO(1, N)	\$XM	coordenada X
\$MEMO(2, N)	\$YM	coordenada Y
\$MEMO(3, N)	\$ZM	coordenada Z
\$MEMO(4, N)		componente U de una dirección
\$MEMO(5, N)		componente V de una dirección
\$MEMO(6, N)		componente W de una dirección
\$MEMO(7, N)	\$DM	diámetro o distancia medida
\$MEMO(8, N)	\$KM	segundo diámetro o ángulo
\$MEMO(9, N)	L	etiqueta del elemento
\$MEMO(10,N)	Ref	Sistema de Referencia



Las coordenadas del punto aplicación (\$XM, \$YM, \$ZM) y los cosenos directores (U, V, W), son relativos al Sistema de Coordenadas que era activo cuando el cálculo del elemento se ejecutó.

\$KM= \$MEMO(7, N) contiene un ángulo (en grados) o en el caso de cilindros, contiene el segundo diámetro.

L = \$MEMO(9, N) contiene un identificador numérico asociado al tipo de elemento geométrico:

- 1 punto
- 2 elipse
- 3 círculo
- 4 esfera
- 5 línea recta
- 6 cilindro
- 8 plano

Ref. = \$MEMO(10, N) contiene un identificador numérico asociado al sistema de referencia:

- 1 NORMAL
- 4 AUXiliary
- 7 MACHINE

El resultado de cualquier cálculo se almacena siempre en la primera posición del arreglo \$MEMO.

\$MEMO(I,1) con I=1,2,...,10

y en algunos casos también el resultado puede ocupar la segunda.

### 3.17 MEDICIÓN DE ELEMENTOS

#### PICK

*FUNCION:* Efectua la medición automática de un punto (del que se conocen sus coordenadas teóricas), sin mostrar las coordenadas medidas en los periféricos de salida, no compensa la medición por el radio de la esfera del palpador, y almacena automáticamente este elemento en el arreglo \$BUF.

*FORMATO:* PICK;

### POINT

**FUNCION:** Efectua la medición automática de un punto (conocido por sus coordenadas teóricas), mostrando los valores medidos en los periféricos de salida, no compensa la medición, y almacena automáticamente este elemento en la primera posición del arreglo \$MEMO.

**FORMATO:** POINT;

**NOTAS:** A continuación se muestra como queda la primera posición del arreglo \$MEMO, después de esta medición:

\$MEMO(1,1)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
\$XM	\$YM	\$ZM	0	0	0	0	C	1	Ref.	

donde \$XM, \$YM y \$ZM son las tres coordenadas del punto medido.

### SHOULD

**FUNCION:** Realiza la medición automática de un punto compensado por el radio de la punta del palpador, mostrando los valores medidos en los dispositivos de salida, y los almacena en la primera posición del arreglo \$MEMO.

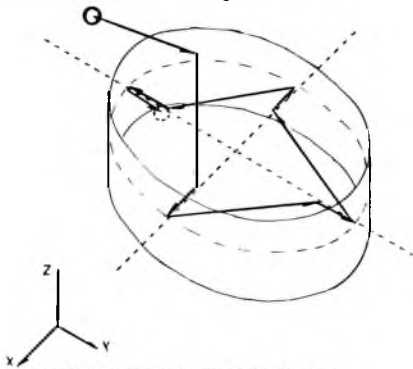
**FORMATO:** SHOULD;

### HOLE

**FUNCION:** Realiza la medición automática de un hueco, con eje paralelo a uno de los tres ejes de coordenadas del sistema de referencia activo.

**FORMATO:** HOLE;

**NOTAS:** El sistema automáticamente distribuye los puntos sobre una circunferencia en un plano perpendicular al eje del elemento, y realiza automáticamente los desplazamientos para alcanzar y palpar los puntos (como se muestra en la figura 3.1.7-1).



Recorrido automático para medir un hueco.

fig 3.1.7-1

Después de que el sistema efectúa la medición, el elemento medido es almacenado en el primer registro del arreglo \$MEMO :

\$MEMO(i,1)	i=1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	\$XM	\$YM	\$ZM	0	0	0	\$DM	0	8	Ref.

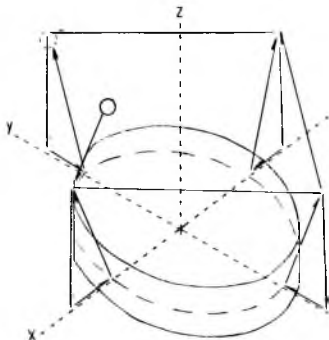
Donde \$XM, \$YM, y \$ZM son las coordenadas del centro de este hueco, \$DM es el diámetro medido, y Ref. es la etiqueta para el sistema de coordenadas en el que se efectuó la medición.

**BOSS**

**FUNCIÓN:** Mide automáticamente una protuberancia circular, cuyo eje es paralelo a uno de los ejes de coordenadas del sistema de referencia activo.

**FORMATO:** BOSS;

**NOTAS:** Esta función automáticamente distribuye los puntos en una circunferencia sobre un plano perpendicular al eje de trabajo y, automáticamente se mueve para alcanzar y palpar los puntos, como lo muestra la figura 3.1.7-2.



Recorrido automático para medir una protuberancia circular.

fig 3.1.7-2

Calcula las coordenadas del centro y el diámetro de este elemento circular y automáticamente da salida a los valores calculados. El programador debe dar como datos el número de puntos a distribuir, los valores teóricos para las coordenadas del centro y el diámetro de este elemento.

Además de dar salida a la medición, el sistema automáticamente almacena los valores medidos en el primer registro del arreglo \$MEMO, como se muestra a continuación:

\$MEMO(i,1)	1=1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	\$XM	\$YM	\$ZM	0	0	0	\$DM	0	0	Ref.

### 3.18 CÁLCULO DE ELEMENTOS

En este caso el usuario debe preparar los puntos que participarán en el cálculo, los puede preparar de dos formas:

- mediante la programación de los valores teóricos de las coordenadas de los puntos, así como la programación de los desplazamientos para que la máquina se dirija hacia los puntos, los palpe y los almacene en un arreglo, de donde la máquina los pueda manipular para calcular un elemento particular.
- conservando resultados anteriores de mediciones o cálculos en el arreglo adecuado para que el sistema los manipule.

A continuación se presenta un grupo de cálculos, que se caracterizan porque, los puntos que participan en éstos deben estar previamente almacenados en el arreglo \$BUF.

#### PLANE

**FUNCION:** Calcula los cosenos directores del vector normal a la superficie definida por tres puntos almacenados en el arreglo \$BUF

**FORMATO:** PLANE;

**NOTAS:** Automáticamente da salida al cálculo y lo almacena en el primer registro de \$MEMO, de la siguiente manera:

\$MEMO(i,1)	1=1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	\$XM	\$YM	\$ZM	U	V	W	0	0	0	Ref.

Donde \$XM, \$YM y \$ZM son las coordenadas de un punto perteneciente al plano y U,V,W son los cosenos directores del vector normal al plano.

#### HCI RCLE

**FUNCION:** Efectua el cálculo de una circunferencia interna, perteneciente a un plano paralelo al plano de trabajo elegido.

**FORMATO:** HCI RCLE;

**NOTAS:** Efectua este cálculo sobre puntos almacenados previamente en el arreglo \$BUF, el número de puntos que interviene debe ser mayor o igual a 3 y menor o igual a 20.

**BCIRCLE**

**FUNCION:** Efectua el cálculo de una circunferencia externa perteneciente a un plano paralelo a uno de los planos de coordenadas del Sistema de Referencia activo.

**FORMATO:** BCIRCLE;

**NOTAS:** el cálculo de circunferencias internas o externas automáticamente da salida a los resultados y los almacena en el primer registro del arreglo \$MEMO, como se muestra a continuación:

\$MEMO(i,1)	i=1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	\$XM	\$YM	\$ZM	0	0	0	\$DM	0	3	Ref.

donde \$XM, \$YM y \$ZM son las coordenadas del centro del elemento y \$DM es la longitud en la unidad seleccionada del diámetro.

La única diferencia entre estos dos cálculos es el signo para la compensación del diámetro: positivo en el caso interno, y negativo en el caso externo.

**HCYL**

**FUNCION:** Calcula un cilindro interno en cualquier posición.

**FORMATO:** HCYL;

**NOTAS:** Los puntos que participan en el cálculo deben ser previamente almacenados en el arreglo \$BUF, el número de puntos debe ser mayor o igual que 6 y menor o igual que 20.

**BCYL**

**FUNCION:** Calcula un cilindro externo en cualquier posición.

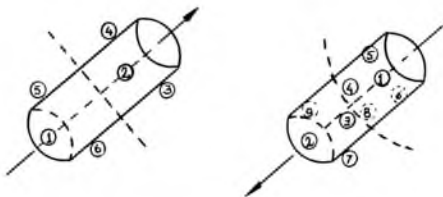
**FORMATO:** BCYL;

**NOTAS:** El cálculo de cilindros internos y externos obtiene la dirección del eje, y dos diámetros relevantes. Estas funciones automáticamente dan salida y almacenamiento a los resultados. Los parámetros del cilindro resultante se almacenan en el primer registro del arreglo \$MEMO, como se muestra a continuación:

\$MEMO(i,1)	i=1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	\$XM	\$YM	\$ZM	U	V	W	\$DM	\$KM	3	Ref.

Donde \$XM, \$YM y \$ZM son las coordenadas del punto centro de la última sección; U, V, y W son los cosenos directores del eje del cilindro; \$DM es el diámetro de la primera sección del cilindro; y \$KM es el diámetro de la segunda sección.

Los primeros dos puntos son usados para determinar el sentido del cilindro, como lo muestra la figura 3.1.8-1:



Distribución de puntos para calcular un cilindro.

fig 3.1.8-1

La única diferencia entre los cálculos de cilindros internos o externos es el signo del **TRAD** en la compensación de los dos diámetros.

#### IELLIP

**FUNCION:** Esta función calcula los parámetros que caracterizan una elipse interna.

**FORMATO:** IELLIP;

**NOTAS:** El cálculo de elipse interna o externa, actúa sobre puntos previamente almacenados en el arreglo **\$BUF**.

Obtiene la posición del centro de la elipse, así como los radios mayor y menor.

#### EELLIP

**FUNCION:** Calcula una elipse exterior sobre un plano paralelo a uno de los planos de coordenadas del sistema.

**FORMATO:** EELLIP;

**NOTAS:** El cálculo de elipses internas y externas automáticamente da salida y almacena los resultados en el primer registro del arreglo **\$MEMO**, como se muestra a continuación:

<b>\$MEMO(1,1)</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	
	<b>\$XM</b>	<b>\$YM</b>	<b>\$ZM</b>	<b>U</b>	<b>V</b>	<b>W</b>	<b>\$DM</b>	<b>\$KM</b>	<b>2</b>	<b>Ref.</b>

Donde **\$XM**, **\$YM** y **\$ZM** son coordenadas del centro de la elipse; **U**, **V**, y **W** son los cosenos directores del eje mayor; **\$DM** es el diámetro mayor y **\$KM** es el diámetro menor.

**ISPHER**

**FUNCION:** Calcula los parámetros que caracterizan a una esfera interna.

**FORMATO:** ISPHER;

**ESPHER**

**FUNCION:** Calcula los parámetros que caracterizan a una esfera externa.

**FORMATO:** ESPHER;

**NOTAS:** Los puntos que participan en el cálculo de esferas internas o externas deben ser previamente programados para que la máquina los palpe y los almacene en el arreglo \$BUF. El número de puntos debe ser mayor o igual a 4 y menor o igual a 20. Esta función almacena el resultado en el primer registro del arreglo \$MEMO, como se muestra a continuación:

\$MEMO(i,1)	i=1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	\$XM	\$YM	\$ZM	0	0	0	\$DM	0	4	Ref.

Donde \$XM, \$YM, y \$ZM son las coordenadas del punto centro de la esfera; \$DM es el diámetro compensado de la esfera.

**MLINE**

**FUNCION:** Calcula una línea.

**FORMATO:** MLINE;

**NOTAS:** Los puntos deben ser previamente programados, palpados y almacenados en el arreglo \$BUF, para que el sistema los pueda manipular, y efectuar el cálculo.

El cálculo se efectúa por el método de mínimos cuadrados y se almacenan los resultados en el primer registro del arreglo \$MEMO, como se muestra a continuación:

\$MEMO(i,1)	i=1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	\$XM	\$YM	\$ZM	U	V	W	\$DM	0	5	Ref.

Donde \$XM, \$YM y \$ZM son las coordenadas del baricentro de los puntos; U, V y W son los cosenos directores de la línea; \$DM es la distancia entre la línea y el origen actual del sistema de coordenadas.

**MPLANE**

**FUNCION:** Mediante el método de mínimos cuadrados, calcula el plano que más se aproxime a los puntos previamente palpados y almacenados en el arreglo \$BUF.

**FORMATO:** MPLANE;

**NOTAS:** El sistema automáticamente proporciona la salida a los resultados y los almacena en el primer registro del arreglo \$MEMO, como se muestra a continuación:

\$MEMO(i,1)	i=1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	\$XM	\$YM	\$ZM	U	V	W	\$DM	0	8	Ref.

Donde \$XM, \$YM y \$ZM son las coordenadas del baricentro de los puntos; U, V, y W son los cosenos directores del vector normal al plano; \$DM es la distancia entre el plano y el origen actual.

A continuación se presenta un grupo de cálculos, que son similares porque sus argumentos deben ser previamente almacenados en registros del arreglo \$MEMO.

**MIDDLE**

**FUNCION:** Calcula el punto medio entre dos elementos.

**FORMATO:** El N<sub>1</sub> EL N<sub>2</sub> MIDDLE;

Donde N<sub>1</sub> y N<sub>2</sub> son números enteros indicando cuales de los registros del arreglo \$MEMO intervienen en el cálculo.

**DIST**

**FUNCION:** Calcula la distancia entre dos elementos.

**FORMATO:** El N<sub>1</sub> EL N<sub>2</sub> DIST;

Donde N<sub>1</sub> y N<sub>2</sub> son índices de los registros que intervienen en el cálculo.

**PROJEC**

**FUNCION:** Calcula la proyección de el primer argumento sobre lo segundo.

**FORMATO:** El N<sub>1</sub> EL N<sub>2</sub> PROJEC;

Donde N<sub>1</sub> y N<sub>2</sub> son índices de los dos registros en el arreglo \$MEMO que intervienen en el cálculo.

**INTER**

**FUNCION:** Calcula la intersección entre dos elementos.

**FORMATO:** El N<sub>1</sub> EL N<sub>2</sub> MIDDLE;

Donde N<sub>1</sub> y N<sub>2</sub> son índices de los dos registros del arreglo \$MEMO que participan en el cálculo.

A continuación se muestra una tabla que resume las combinaciones permitidas para los argumentos de este último grupo de funciones y el tipo de resultados que producen.

FUNCION	comando	X	Y	Z	U	V	W	D	K	L
TIPO DE ARG		RESULTADO. EN. EL. PRIMER. REG. DE. \$MEMO								
		RESULTADO. EN. EL. SEGUNDO. REG. DE. \$MEMO								
PUNTO MEDIO	MIDDLE									
PUNTO/PUNTO		*	*	*						1
DISTANCIA	DIST									
PUNTO/PUNTO		*	*	*	*	*	*	*		5
PUNTO/LINEA		*	*	*				*		1
PUNTO/PLANO		*	*	*				*		1
LINEA/LINEA		*	*	*				*	*	1
		*	*	*						1



FUNCIÓN	comando	X	Y	Z	U	V	W	D	K	L
TIPO DE ARG		RESULTADO, EN, EL, PRIMER, REG. DE, \$MEMO								
		RESULTADO, EN, EL, SEGUNDO, REG. DE, \$MEMO								
PROYECCION	PROJEC									
PUNTO/LINEA		*	*	*				*		1
PUNTO/PLANO		*	*	*				*		1
LINEA/PLANO		*	*	*	*	*	*	*		5
INTERSECCION	INTER									
CIRC-CIRC		*	*	*				*	*	1
		*	*	*				*	*	1
CIRC-LINEA		*	*	*				*	*	1
		*	*	*				*	*	1
CIRC-ESFERA		*	*	*				*	*	1
		*	*	*				*	*	1
ESFERA-ESFERA		*	*	*				*	*	1
		*	*	*				*	*	1
ESFERA-LINEA		*	*	*				*	*	1
		*	*	*				*	*	1
LINEA-LINEA		*	*	*				*	*	1
		*	*	*				*	*	1
LINEA-PLANO		*	*	*				*	*	1
		*	*	*				*	*	1
PLANO-PLANO		*	*	*	*	*	*	*	*	5

Possible arguments for calculations

fig. 3.8.1-1

### 3.1.9 MANEJO DE COORDENADAS

#### MEMO

**FUNCIÓN:** Intercambia la posición de dos elementos almacenados en el arreglo \$MEMO.

**FORMATO:** EL n1 EL n2 MEMO;

Donde n1 y n2 son las localidades de los elementos que intervienen en el intercambio.

#### CONVERT

**FUNCIÓN:** Efectúa la conversión de los resultados almacenados en algún registro de \$MEMO al sistema de referencia activo, sin importar el sistema de coordenadas en el que estaba almacenado.

**FORMATO:** EL n CONVERT;

Donde n es el índice del registro que se quiere convertir.

### **PKME**

**FUNCION:** Transfiere las coordenadas de un elemento contenido en \$MEMO a puntos medidos sin salida en el arreglo \$BUF.

**FORMATO:** EL n1 EL n2 PKME;

Transfiere los elementos X, Y, y Z del arreglo \$MEMO indicados por n1 a la posición n2 del arreglo \$BUF.

## **3.1.10 DEFINICIÓN DE ORIGEN**

### **ON PRESET**

**FUNCION:** Actua en el sistema de referencia seleccionado para definir el origen de uno de sus ejes.

**FORMATO:** ON valor PRESET;

**NOTAS:** Efectua una traslación al sistema de referencia activo a lo largo del eje de trabajo. La posición del último punto medido es el 'valor' de coordenada.

### **PRESET**

**FUNCION:** Traslada el origen a lo largo del eje de trabajo seleccionado a la posición correspondiente al último punto medido.

**FORMATO:** PRESET;

### **TEMPOR**

**FUNCION:** Traslada temporalmente el origen a lo largo del eje de trabajo activo, lo cual es válido sólo para el sistema de coordenadas recientemente seleccionado. Posiciona al origen temporal en el punto resultado en la última posición.

**FORMATO:** TEMPOR;

### **ON TEMPOR**

**FUNCION:** Traslada temporalmente al origen, asignando al punto previamente medido el valor argumento como coordenada.

**FORMATO:** ON valor TEMPOR;

### **INCR**

**FUNCION:** Habilita la definición automática del origen temporal sobre los tres ejes del sistema de coordenadas activo, sobre el último punto medido.

**FORMATO:** INCR;

### **TEMKIL**

**FUNCION:** Reestablece todos los orígenes temporales, previamente establecidos en los tres ejes del sistema de coordenadas activo y reestablece el último origen no-temporal de este sistema de referencia, también deshabilita el modo incremental.

**FORMATO:** TEMKIL;

### 3.11 CALIFICACIÓN DE PALPADORES

#### QUALI

**FUNCION:** Efectua la primera calificación sobre el eje de trabajo seleccionado y almacena la coordenada axial del punto palpado de referencia.

**FORMATO:** QUALI1;            calificación sobre el punto número 1  
              QUALI2;            calificación sobre el punto número 2

**NOTAS:** Las coordenadas del punto de referencia determinadas en la primera calificación son almacenadas en las siguientes variables del sistema:

\$QX1	}	para la calificación del punto número 1
\$QY1		
\$QZ1		
\$QX2	}	para la calificación del punto número 2
\$QY2		
\$QZ2		

#### RIQUA

**FUNCION:** Compara la coordenada axial del punto palpado con la coordenada almacenada en la primera calificación, en base a la diferencia, el sistema automáticamente define el valor de compensación para el palpador.

**FORMATO:** RIQUA1;            recalificación sobre el punto 1  
              RIQUA2;            recalificación sobre el punto 2

### 3.112 ALINEACIÓN DE LOS EJES DE LA PARTE

#### SKW2D

**FUNCION:** Inicializa el procedimiento de alineación en dos dimensiones sobre los tres ejes del sistema de coordenadas previamente elegido. La elección del eje de trabajo más reciente determina el que no se altera.

**FORMATO:** SKW2D NOR;        alineación en 2D para el sistema NOR  
              SKW2D AUX;        alineación en 2D para el sistema AUX

#### SKW3D

**FUNCION:** Inicializa el procedimiento de alineación en tres dimensiones del sistema de coordenadas más recientemente activado. El eje de trabajo previamente elegido establece el eje primero en alinear.

**FORMATO:** SKW3D NOR;        para el sistema de referencia NOR  
              SKW3D AUX;        para el sistema de referencia AUX

### **\$ANG**

**FUNCION:** Define el ángulo de rotación de un plano para la alineación en dos dimensiones.

**FORMATO:** \$ANG: = valor;

**NOTAS:** el ángulo es expresado en grados y milésimas de grado con punto decimal, y es referido al primer eje del plano de trabajo.

### **MEMSKE**

**FUNCION:** adquiere un valor significativo dentro del procedimiento de alineación.

**FORMATO:** MEMSKE;

## **3.13 DESPLAZAMIENTO**

### **MOVH**

### **MOVL**

**FUNCION:** Selecciona la velocidad 'alta' o 'baja', para el desplazamiento de posición.

**FORMATO:** MOVH;       *selecciona la velocidad de 8 mtrs/minuto*

          MOVL;       *selecciona la velocidad de 2 mtrs/minuto*

### **\$P**

**FUNCION:** Define las coordenadas del punto de posicionamiento, que alcanzará la máquina de medición.

**FORMATO:** \$XP: = valor;   *coordenada X de la posición*

          \$YP: = valor;   *coordenada Y de la posición*

          \$ZP: = valor;   *coordenada Z de la posición*

          \$AP: = valor;   *ángulo polar del punto posición*

          \$PP: = valor;   *radio polar del punto posición.*

### **MPOS**

**FUNCION:** Efectua un desplazamiento automático a lo largo de una recta para alcanzar el punto posición previamente definido.

**FORMATO:** MPOS;

### 3.1.14 FUNCIONES AUXILIARES PARA EL CONTROL

**N**

**FUNCION:** Permite asociar un número de identificación a cualquier bloque de instrucciones de un programa de parte.

**FORMATO:** N n; n es un entero mayor o igual que 1 y menor o igual que 99999.

**PRINT**

**FUNCION:** Controla la salida de un mensaje

**FORMATO:** PRINTC lista de parámetros )

#0	causa la impresión del par [CR][LF]
#1	imprime [CR]
#2	imprime [LF]
#3	imprime el par [LF][LF]
#4	causa una señal sonora
#5	imprime 8 espacios en blanco
#6	imprime la cadena HELP>
#7	ordena 'alimento de hoja'
'texto'	imprime la cadena entre apóstrofes
V	imprime el valor de la variable V
A	imprime el valor de la expresión aritmética.

**FORMAT**

**FUNCION:** Define la forma en que los valores de las variables o expresiones numéricas, se mostrarán en un mensaje para el operador, originado por una instrucción PRINT o LIST.

**FORMATO:** FORMAT(enteros, decimales, 'caracter de relleno')

**STOP**

**FUNCION:** cierra la secuencia de instrucciones de un programa de parte.

**FORMATO:** STOP;



## 3.2 DESCRIPCIÓN DEL INTERPRETE DE H E L P

### 3.2.1 ESTRUCTURA DEL INTÉRPRETE DE HELP

El Intprte HELP tiene asignadas las siguientes funciones:

- Analiza los símbolos atómicos (tokens) del archivo fuente escrito en HELP.
- actualiza la tabla de símbolos incluyendo todas las variables, etiquetas, y denominaciones asignadas por el usuario.
- actualiza el área de compilación, para que contenga únicamente los procesos activos, y las variables en memoria.
- traduce y ejecuta la secuencia de instrucciones.

El intérprete procesa un grupo elemental de instrucciones contenidas en un programa de parte, ejecuta el significado de este grupo elemental y lo cancela del área de compilación.

La tabla de símbolos no se cancela del área de compilación, es decir, que los valores actuales de las variables están disponibles para los cálculos posteriores. Sin embargo, los valores de arreglos (vectores y matrices) están localizados en el área de compilación.

Un bloque es un elemento de programación formado por un conjunto de instrucciones separadas por punto y coma. HELP acepta tres tipos de bloques: dinámicos, estáticos, y de inicialización.

Los bloques dinámicos los reconoce el traductor porque sus instrucciones están enmarcadas por las palabras BLOCK y ENDBLOCK, pero lo relevante es que son tratados como cualquier otro elemento:

- analiza y traduce cada instrucción
- actualiza la tabla de símbolos
- cuando encuentra el ENDBLOCK ejecuta el significado de las instrucciones.
- y al final de la ejecución el texto es cancelado del área de compilación.
- las variables escalares son retenidas y todas las variables indexadas son eliminadas del área de compilación.

Los bloques estáticos son reconocidos por el intérprete, porque las instrucciones están incluidas entre las palabras STATIC BLOCK y ENDBLOCK, y al terminar con la ejecución del significado de sus instrucciones, no son reemplazadas del área de compilación hasta que otro bloque estático aparezca. *Esto último es importante para almacenar vectores y matrices, de las que se desea conservar sus valores.*

### 3.2.2 COMPONENTES DEL LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN HELP

Como la mayoría de los lenguajes de programación orientados para aplicaciones científicas, las componentes del lenguaje HELP se pueden clasificar en:

- Instrucciones de Asignación
- Instrucciones de Selección
- Instrucciones de Salto
- Instrucciones de Iteración
- Subrutinas

## EXPRESIONES ARITMETICAS

El tipo de variables y constantes se reduce a simple precisión con representación de punto flotante con 32 bits, dentro de un rango de valores de [10-sp, 10+se]. Estas pueden ser escalares; o bien agruparse como vectores, y matrices.

La asignación se lleva a cabo mediante la palabra `:=`.

## EXPRESIONES LOGICAS

Formadas por las siguientes clases:

Expresiones Relacionales, tales como `<`, `>`, `=`.

Operadores, tales como AND, OR, y NOT.

## INSTRUCCIONES DE SELECCION:

Básicamente el HELP cuenta con la instrucción IF:

```
IF (EXPRESION-LOGICA) THEN
    secuencia de instrucciones
END;
```

```
IF (EXPRESION-LOGICA) THEN
    secuencia de instrucciones 1
ELSE
    secuencia de instrucciones 2
END;
```

## INSTRUCCIONES DE SALTO

Para cambiar el control de la máquina a otro grupo elemental de instrucciones, el texto del bloque debe ser estático (ver sección 3.2.1), y se logra mediante la instrucción:

```
GOTO {etiqueta};
```

también se tiene un GOTO computado.

## INSTRUCCIONES DE ITERACION

Permiten repetir un conjunto de instrucciones, y son dos FOR y WHILE.

```
FOR variable escalar:=   expresión aritmética 1,
                        expresión aritmética 2,
                        *
                        *
                        *
                        expresión aritmética n DO
                        secuencia de instrucciones
```

```
REP;
```

Cuyo significado es que la secuencia de instrucciones se va a repetir n veces, para las cuales, la variable escalar tomará el valor de expresión aritmética 1, expresión aritmética 2, ..., expresión aritmética n, respectivamente.

```
WHILE expresión lógica DO
    secuencia de instrucciones
REP;
```

El intérprete evalúa la expresión lógica, si es verdad, el intérprete ejecuta la secuencia de instrucciones, evalúa la expresión lógica otra vez, y así sucesivamente hasta que la expresión lógica sea falsa.

■

### 3.3 PROCEDIMIENTOS BÁSICOS ESCRITOS EN HELP

En esta sección se muestra un programa de parte completo, segmentado en bloques lógicos, el código aparece con letras oscuras, y para el entendimiento del texto se usa letra tipo itálica.

La sección del programa que realiza la inicialización es la siguiente:

```
START;           inicialización del sistema
INCH;            la pulgada como unidad de medición
MOVL;           velocidad baja para posicionamiento
MEAL;           velocidad baja para medición
```

En seguida se pide colocar la herramienta:

```
OUOPER VDT;     Define al Video como periférico de
                salida.
DISOUT;         desactiva la salida para mediciones.
PRINT(10, *INSTALAR HERRAMIENTA 1 EN EL ORIFICIO -Z", 10);
TDEF 1;         Definición de la herramienta 1
TLENX 0;        desplazamiento 0 en X y Y,
TLENY 0;        y desplazamiento negativo en Z
TLENZ -100;     con respecto al centro de la cabeza
TRAD 0.781011; declaración del radio de la punta.
TOOL 1;         Define como activa la herramienta 1
                y hace una pausa para que se monte
                dicha herramienta.
```



Reconocimiento de esfera de referencia y calificación del primer palpador:

```
PRINT(#0, 'MIDA ESFERA DE REFERENCIA');
PRINT(#0, 'con la herramienta instalada');
$PTN: = 4;           definición del número de puntos
FOR I:= 1 TO 4 DO PICK REP; palpado de 4 puntos sobre la esfera
                        CONTROLADO MANUALMENTE,
                        cálculo de la esfera
ESPHERE;
XY; QUALI1;         calificación del desplazamiento en X
YZ; QUALI1;         calificación del desplazamiento en Y
ZX; QUALI1;         calificación del desplazamiento en Z
```

Después se procede a pedir que el operador coloque la pieza, de manera que sea accesible para la cabeza de medición.

```
PRINT(#0, 'COLOCACION DE LA PARTE', #0);
PRINT(#0, 'En el centro de la mesa a una altura de 10 cm. ');
PRINT(#0, 'alineado el largo al eje X', #0);
PRINT(#0, 'ACCESIBILIDAD DE LA PIEZA', #0);
PRINT(#0, 'Coloque la base de la corona sobre el plano metálico');
```

El bloque del programa que reconoce la ubicación de la pieza es el siguiente:

```
PRINT(#0, 'RECONOCIMIENTO DE LA PIEZA');
PRINT(#0, 'mida el diametro externo');
XY;           se localiza la pieza en el plano XY,
$PTN: =4;     midiendo 4 puntos manualmente
BOSS;         de una protuberancia circular
ON 0 PRESET; definición del origen para X
              en el centro de elemento circular
YZ;           elección del eje Y, para definir
ON 0 PRESET; su origen en el centro del elemento
              circular previamente medido.
PRINT(#0, 'mida la altura extrema de la pieza');
ZX;           Luego se determina la altura
SHOULD;      midiendo una cara paralela a XY
ON 0 PRESET; para definir el origen en el eje Z.
PRINT(#4, 'palpe el extremo del lobulo en X y Y positivos', #0);
$PTN: =1;    se almacena este punto para
POINT;       auxiliar en la alineación
EL 1 EL 0 MEMO;
```

En el bloque anterior además de reconocer la ubicación de la pieza se redefinió el origen del Sistema de Referencia de la Máquina. La sección que se muestra a continuación efectúa la alineación del Sistema de Referencia NORMAL a la pieza con un modo de operación controlada numéricamente.

PRINT(#0,'HABILITE EL CONTROL NUMERICO EN EL UNIBOX');	
PRINT(#0,'DESPUES DE QUE ESCUCHE LA SENAL');	
MCMOV;	inicio del movimiento automático
ZX;	Z es el primer eje que se alinea
SKW3D; NOR;	alineación en tres dimensiones
\$XP:=6; \$YP:=0; \$ZP:=0.5; MPOS;	del sistema de referencia NORmal
\$DIRX:=0; \$DIRY:=0; \$DIRZ:=-1;	cambio de posición del palpador
	definición de la dirección de
	movimiento.
\$XT:=6.0; \$YT:=0; \$ZT:=-2.43;	PRIMER punto teórico.
PICK;	medición del teórico anterior.
MPOS;	recuperación de la posición
\$XP:=-6; \$YP:=5.5; MPOS;	cambio de posición, a la misma
	altura,
\$DIRX:=0; \$DIRY:=0; \$DIRZ:=-1;	definición de la dirección de
	movimiento.
\$XT:=-6.0; \$YT:=5.5;	SEGUNDO punto teórico con la
	misma coordenada Z,
PICK;	medición del teórico,
MPOS;	recuperación de la posición
	previa.
\$YP:=5.5; MPOS;	cambio de posición, con los
	mismos valores X y Z.
\$DIRX:=0; \$DIRY:=0; \$DIRZ:=-1;	definición de la dirección de
	movimiento.
\$YT:=-5.5;	TERCER punto teórico, con las
	mismas coordenadas X y Z,
PICK;	medición del teórico anterior.
MPOS;	recuperación de la posición
	previa.
PLANE;	cálculo de un PLANO con los
	tres puntos medidos,
MEMSKE;	PRIMER EJE ALINEADO.
XY;	Elección del eje X, como
	segundo eje para alinear,
\$XT:=0; \$YT:=0; \$ZT:=-0.3;	valores teóricos para el centro
\$DT:= 8.972;	y diámetro de una protuberancia
	circular,
\$PTN:=4; BOSS;	para medirla con 4 puntos bajo
	control numérico.
\$XT:=0; \$YT:=0; \$ZT:=-0.3;	el centro del elemento circular
MEMSKE;	medido, se toma como PRIMER
	punto para alinear el segundo
	eje.

```

$XP:=0; $YP:=0; $ZP:=2;
$XT:=$MEMO(1,8); $YT:=$MEMO(2,8); $ZT:=$MEMO(3,8);
$DIRX:=$YT / SQRT($XT*$XT + $YT*$YT);
$DIRY:= (-1) * $XT / SQRT($XT*$XT + $YT*$YT);
$DIRZ:= 0;
SHOULD;

```

EL 1 EL 7 MEMO;

*Se palpa automáticamente el punto del lóbulo en X y Y positivos, se almacena esta medición en el registro 7 de \$MEMO*

```

$DIRX:= (-1) * $YT / SQRT($XT*$XT + $YT*$YT);
$DIRY:= $XT / SQRT($XT*$XT + $YT*$YT);
$DIRZ:=0;
$XT:=$MEMO(1,8) * 0.809017 - $MEMO(2,8) * 0.5877853;
$YT:=$MEMO(1,8) * 0.5877853 - $MEMO(2,8) * 0.809017;
SHOULD;

```

En el bloque de instrucciones anterior (sin comentarios) se mide otro de los 4 lóbulos de la pieza, para que con el calculo del punto medio entre estos y, el centro de la protuberancia anterior se defina la dirección del segundo eje para alinear.

```

EL 1 EL 7 MIDDLE;
$XT:= 0.7071068;
$YT:= 0.7071068;
$ZT:= 0;
MEMSKE;

```

*calculo del punto medio dirección teórica del segundo eje para alinear. Fin de la alineación.*

El siguiente bloque define el origen sobre el sistema de referencia NORMAL a la pieza.

```

XY;
$ZP:= 0.3;
$XT:=0; $YT:=0; $ZT:=-0.3; $DT:= 8.972;
BOSS;

```

*XY como plano de trabajo se mide una protuberancia circular, y el centro de esta se toma como origen en X y Y.*

```

ON 0 PRESET;
YZ;
ON 0 PRESET;

```

```

ZX;
$XT:=-6; $YT:=-5.5; $ZT:=-2.43;
$DIRX:=0; $DIRY:=0; $DIRZ:=-1;
SHOULD;
$XP:= -6; $YT:=-5.5; $ZT:= 0.3; MPOS;
ON 0 PRESET;

```

*Define la dirección de mov. a lo largo de Z negativo, para palpar una altura y, definirla como origen Z.*

Los programas generalmente contiene medición de regiones y cambios de herramienta, aquí por cuestión de completar este ejemplo sólo se mostrara una medición.

```
*
*
*
OUTPER VDT TTY;                               Define como periféricos de
*                                               salida al Video y al Impresor
*
*
$XP:=0; $YP:=0; $ZP:=3; MPOS;                Se posiciona sobre la pieza,
$XT:=0; $YT:=0; $ZT:=-0.47; $DT:= 5.5;      da valores teóricos para medir
$ARC1:=66; $ARC2:=114;                       una protuberancia circular, sin
DISOUT;                                       mostrar los resultados;
BOSS;                                         se imprimen los resultados
ENOUT;
$GEOOUT(#0,'RADIO DEL DOMO: ', $MEMHC(7,1)/2);
$GEOOUT('ERROR DE REDONDEZ: ', $EZ);        con formato especial.

ZX;
MPOS;                                         Recupera la posición previa.
$XT:=0; $YT:=0; $ZT:= -0.47; $DT:= 5.5;
$ARC1:= -24; $ARC2:=24;                     define parámetros para medir
DISOUT;                                       sólo una arco.
BOSS;
ENOUT;
$GEOOUT(#0,'RADIO DEL DOMO: ', $MEMOC(7,1)/2);
$GEOOUT('ERROR DE REDONDEZ: ', $EZ);
*
*
*
STOP;
```

## DESCRIPCION GENERAL DEL GENERADOR DE PROGRAMAS DE MEDICION

En este capítulo se muestran los módulos del sistema **Generador de Programas de Medición (GPM)**, y su descripción general, en términos de actividades, e interacción con el usuario.

En la figura 4-1 se muestra la interacción entre el Operador y la **Máquina de Medición en Coordenadas (MMC)** sin la intervención del **GPM**.

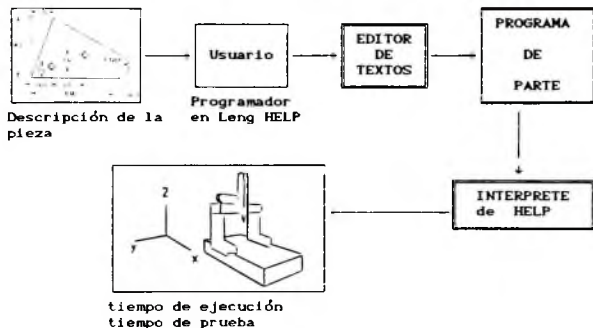


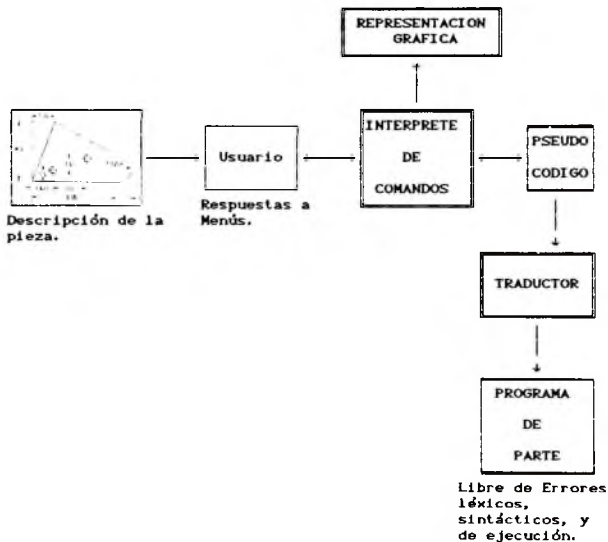
Diagrama en bloques del modo de operación de la MMC.  
El usuario a partir de un dibujo detallado de la pieza, crea un **PROGRAMA DE PARTE** escrito en **HELP**, que se almacena en un archivo, y el **INTERPRETE de HELP** lo ejecuta instrucción por instrucción.

fig 4 - 1

En la figura 4-1 se puede notar una gran desventaja, pues, es hasta el tiempo de ejecución donde el operador encuentra errores léxicos, sintácticos y de ejecución. En la mayoría de las veces, por un simple error léxico, el operador tiene que instalar nuevamente el Sistema Operativo, cargar el Editor y corregir el programa de parte, lo que prácticamente cierra un ciclo en la figura anterior

Como un requisito para el GPM se considera, que el usuario no debe ser un programador de computadoras experimentado en aprender fácilmente lenguajes de programación.

Más bien el GPM debe ser capaz de guiar al usuario para completar una sesión de medición. La figura 4-2 muestra los bloques que forman el GPM, la intervención del usuario, y sus enlaces.



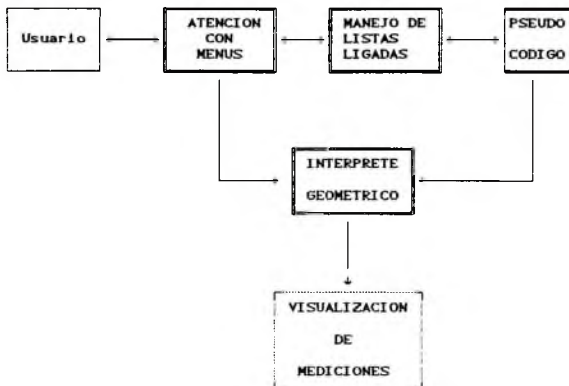
El Sistema básicamente esta constituido por un INTERPRETE DE COMANDOS, un MODULO GEOMETRICO, y un TRADUCTOR.

fig 4 - 2

El GPM es un sistema interactivo, que se comporta como un editor de comandos constituidos por los definidos en HELP, más los agregados por el GPM para la MMC, y en el momento que lo decida el usuario, el GPM despliega el efecto que producen los comandos sobre la pieza en la pantalla (modo gráfico).

#### 4.1 EL INTÉRPRETE DE COMANDOS

Este bloque es el encargado de la comunicación con el usuario. Las actividades del intérprete se pueden agrupar en tres: Atención al Usuario, Manejo de Listas, e Interpretación Geométrica. En la fig 4.1-1, se muestran las secciones que forman al intérprete y sus relaciones.



El INTERPRETE via menús atiende al usuario, actualiza el archivo de PSEUDO-CODIGO, y visualiza la medición sobre la pieza.

fig. 4.1 - 1

## Atención al Usuario

Esta sección cumple con las siguientes actividades:

- despliegue de menús
- control del flujo de comandos para que las instrucciones que se almacenan, queden libres de errores léxicos y sintácticos
- captura con edición de mensajes para el operador de la máquina de medición
- captura con edición de números enteros y reales para completar los valores teóricos de elementos geométricos a medir
- respaldo periódico de la sesión actual de trabajo
- facilita el acceso al módulo geométrico.

## Manejo de Listas

Se tiene una estructura de Lista doblemente encadenada para almacenar todas las instrucciones que ha dado el usuario. La lista se graba en el archivo de Pseudo-Código y es manipulada por los siguientes procedimientos:

- manejo de lista de basura
- agregar un nodo al final de la lista
- insertar un nodo en la posición anterior de otro nodo conocido
- modificar un nodo
- eliminar un nodo

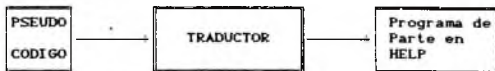
## Intérprete Geométrico.

Las instrucciones que han sido almacenadas en el archivo de trabajo pueden clasificarse en dos tipos: Aquellas que poseen una interpretación visual y aquellas que son comandos auxiliares (como definición de cantidades de salida).

La sección de interpretación geométrica, selecciona de entre las instrucciones y despliega en la pantalla sólo aquellas que se relacionan con movimientos (mediciones y desplazamientos) de la MMC, para poder detectar posibles colisiones de la MMC contra la pieza a medir.

## 4.2 EL TRADUCTOR

Es el bloque más importante del GPM, pues es el que produce el Programa de Parte codificado en HELP. Su tarea consiste en recorrer la lista de instrucciones que le ha preparado el Intérprete, y asignar código en HELP a cada instrucción, almacenándolas en otro archivo, como lo muestra la figura 4.2-1.



El TRADUCTOR opera con dos archivos: lee la secuencia de instrucciones de uno, y graba código HELP en otro.

fig 4.2 - 1

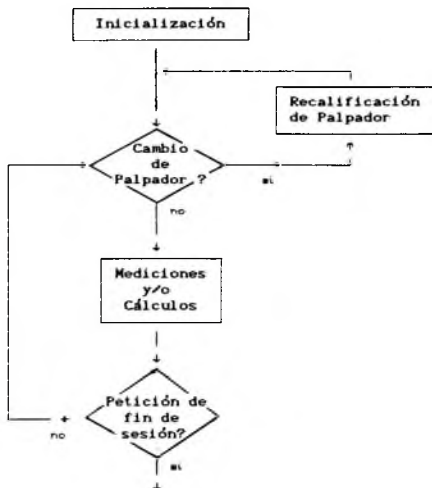


Entre los procedimientos escritos en HELP que genera el traductor, se destacan los recorridos libres de colisiones para medir cilindros (internos y externos), y esferas (internas y externas) explotando el Control Numérico, para que la MMC automáticamente se desplace y palpe los puntos, sin intervención del operador, estas mediciones automáticas no están incluidas en HELP.

#### 4.3 CONTENIDO DE UN PROGRAMA DE PARTE

El producto de el GPM, es un Programa de Parte escrito en el lenguaje de programación HELP de la MMC.

El esqueleto de un programa de parte es el que se muestra en la figura 4.3-1.



Estructura de un PROGRAMA DE PARTE.

### 4.3.1 INICIALIZACIÓN

Este bloque de instrucciones existe en todos los programas de parte, y se divide en los siguientes módulos:

- 1.- Colocación de la Pieza
- 2.- Sujeción de la Pieza
- 3.- Definición de Herramienta
- 4.- Primera Calificación
- 5.- Reconocimiento de la Pieza
- 6.- Alineación de la Pieza

#### Colocación de la Pieza

El programa de parte debe explicitar al operador de la MMC, el lugar sobre la mesa de la MMC donde debe colocar la pieza que se va a medir, mediante el despliegue de mensajes.

El GPM permite la entrada a esos textos, para que el traductor genere las instrucciones en HELP correspondientes a despliegue de mensajes.

#### Sujeción de la Pieza

El programa de parte debe contener la explicación para el operador de como sujetar la pieza, para impedir posibles desplazamientos en el momento de la inspección.

El GPM guía al usuario para que no olvide introducir estos textos, que son mensajes para el operador de la MMC.

#### Definición de Herramienta

El usuario del GPM, debe preparar la lista que describa las herramientas que se usarán en la sesión de medición. Para cada palpador, debe definir los desplazamientos en las direcciones X, Y, y Z de su punta con respecto al centro de la montura de la cabeza, y el radio de la punta (que normalmente es una esfera).

## Primera Calificación

La descripción del palpador (desplazamientos de su punta con respecto al centro de la montura de la cabeza, y el radio de la punta) no basta para definir un palpador, porque en el instante de montarlo sobre la cabeza de medición puede quedar desplazado o girado, entonces se debe efectuar la medición de un punto fijo en el espacio, que puede ser el vértice de un cubo o el centro de una esfera, para que la máquina automáticamente calcule las diferencias causadas por los valores no exactos de la descripción del palpador.

## Reconocimiento de la Pieza

De la pieza que se va a medir, el usuario del GPM, debe elegir algunas regiones (normalmente: huecos o protuberancias circulares, o esféricas) para que la MMC localice la pieza.

La MMC todavía no posee visión, entonces hay que ayudarla a reconocer la posición de la pieza mediante la medición manual realizada por el operador de la MMC. Por ejemplo: *Primero hay que localizarla sobre la mesa (en el plano XY); midiendo un hueco con movimiento dirigido a lo largo de Z, y luego determinar a que altura se despega de la mesa de medición; mediante la medición de una cara (should) paralela a la mesa.*

## Alineación de la Pieza

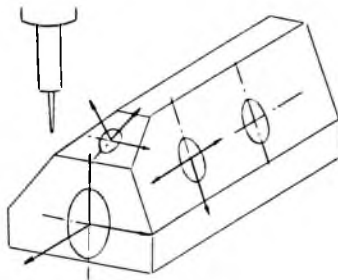
Todas las posiciones de elementos geométricos sobre la pieza que se va a medir, son relativas al Sistema de Coordenadas de la Pieza. Después de colocar y sujetar manualmente la pieza, el Sistema de la pieza queda desplazado o girado con respecto del Sistema de Coordenadas de la Máquina (definido por las escalas de la MMC).

Para cuantificar la desalineación se requiere de una secuencia de mediciones sobre la pieza, que básicamente se describen a continuación:

- 1.- Elección del Sistema de coordenadas que se va a alinear.
- 2.- Elección del Primer eje a alinear.
- 3.- Palpado de mínimo tres puntos sobre un plano en la pieza, para calcular su vector normal que define el sentido del primer eje.
- 4.- Elección del segundo eje de coordenadas.
- 5.- Cálculo del sentido de una línea recta después de la medición de dos elementos tipo punto, para determinar la dirección del segundo eje.
- 6.- Posicionamiento del origen de este Sistema de Coordenadas.

### 4.3.2 CAMBIO DE PALPADOR

En el transcurso de la medición de la pieza, el palpador activo, puede no ser el adecuado para acceder ciertas regiones, como lo muestra la fig 4.3.2-1, entonces es conveniente desmontarlo de la cabeza de medición, y reemplazarlo por otro; ó tal vez usar esta misma punta pero montarla en otro de los orificios de la cabeza.



Pieza a medir, con varios orificios que no son accesibles con un mismo palpador.

fig. 4.3.2-1

El GPM debe generar el procedimiento en HELP, que despliegue un mensaje para el operador de la máquina de medición, indicando que debe reemplazar la herramienta. Ese procedimiento debe esperar la respuesta del operador para proseguir la medición, no sin antes recalificar el palpador recién instalado.

### 4.3.3 MEDICIONES Y CÁLCULOS

En HELP están predefinidas las rutinas para medir huecos y protuberancias circulares bajo Control Numérico, es decir, que de manera automática el palpador se desplaza para recorrer este elemento circular y obtiene resultados. Pero con la condición, de que la circunferencia en la que se distribuyen los puntos teóricos pertenezca a un plano paralelo al plano de trabajo: cualquiera entre XY, YZ, y ZX.

El GPM genera código HELP para que automáticamente se midan esferas, elipses y cilindros (ya sean internos o externos). Pues, HELP sólo tiene definidas las funciones de cálculo para estos elementos.

El GPM para cada una de estas mediciones crea los siguientes procedimientos escritos en HELP:

- 1.- cálculo de la distribución de cada punto teórico
- 2.- cálculo de la trayectoria, para que el palpador se desplace libre de colisiones al medir un elemento
- 3.- control para que el palpador 'toque' los puntos y los almacene en un arreglo preestablecido por HELP, y
- 4.- haga uso de los cálculos de HELP, para determinar el elemento medido, y compararlo contra el elemento teórico.

En otras palabras el GPM aumenta el conjunto de mediciones bajo control numérico, de esta manera, las mediciones que puede realizar el GPM son:

cilindros internos  
cilindros externos  
esferas internas  
esferas externas

#### 4.3.4 RECALIFICACIÓN DE PALPADORES

Dentro de los procedimientos que lleva a cabo la Inicialización, está la calificación del primer palpador instalado, el intérprete HELP automáticamente almacena en variables privilegiadas las compensaciones de la descripción del palpador, y en cada cambio de palpador operativo recientemente instalado, éste se debe recalificar, para que el intérprete automáticamente ajuste dichas compensaciones.

## DESCRIPCIÓN DEL INTERPRETE DE COMANDOS

Uno de los objetivos del sistema es permitir que el usuario ignore la programación en HELP (que es el lenguaje de programación de la MMC), y que no exista la necesidad de aprender otro lenguaje aunque sea más simple. En otras palabras, el sistema no tiene como entrada un 'programa' (lista de instrucciones: ordenadas y codificadas bajo estrictas reglas gramaticales).

Para tal efecto, la operación del GPM se ve como una secuencia de menús, facilitando al usuario la creación de recorridos para el palpador de la MMC.

En este capítulo se describe el intérprete de comandos: en la sección 5.1 características de la gramática, en la sección 5.2 la gramática que define el lenguaje de comandos y, en la 5.3 el código intermedio que genera el intérprete.

## 5.1 CARACTERÍSTICAS DE LA GRAMÁTICA DEL INTERPRETE DE COMANDOS

Los requisitos que cumple el Intérprete de comandos son dos:

- ser interactivo con el usuario
- evitar retroceder en el análisis sintáctico, porque es 'caro' deshacer el pseudo código generado.

Es por eso que las producciones que definen el lenguaje de comandos tienen las siguientes características:

- evitan la recursión izquierda,

' Si tenemos un par de producciones con recursión izquierda  $A \rightarrow A\alpha \mid \beta$ , donde  $\beta$  no inicie con  $A$ , podemos eliminar la recursión-izquierda por reemplazar el par de producciones por:

$$\begin{array}{l} A \rightarrow \beta A' \\ A' \rightarrow \alpha A' \mid \epsilon \end{array} \quad [\text{Aho}]$$

- tienen factorización izquierda

' Si  $A \rightarrow \alpha\beta \mid \alpha\gamma$  son dos producciones, y la entrada inicia con una cadena no vacía  $\alpha$ , reemplazar las producciones por:

$$\begin{array}{l} A \rightarrow \alpha A' \\ A' \rightarrow \beta \mid \gamma \end{array} \quad [\text{Aho}]$$

■ evitan el retroceso en el análisis.

Para evitar el retroceso, es necesario conocer (dado el símbolo  $a$  de entrada y el No-Terminal  $A$  a expandirse como:

$$A \rightarrow \{a_1 \mid a_2 \mid \dots \mid a_n\}$$

la única alternativa que deriva una cadena cuyo primer símbolo terminal es  $a$ . Es decir, la alternativa adecuada se detecta por ver solamente el primer Terminal que deriva  $A$  [Aho].

Con las características anteriores se implementó el control del flujo de menús mediante el concepto de Reconocedor con Descenso Recursivo [Aho], que consiste en hacer un Procedimiento de análisis sintáctico por cada No-Terminal de la gramática.

En el caso del Intérprete de Comandos, el símbolo  $a$  es la respuesta del usuario, y el No-Terminal  $A$  es el procedimiento que ha desplegado el menú de posibles alternativas, y dependiendo del valor de  $a$  se llama al procedimiento adecuado para continuar con el análisis del resto de la derivación.

Los procedimientos que atienden a cada uno de los No-Terminales consisten básicamente de:

- un despliegue de menú.
- validación de la entrada permitida para conservar la Sintaxis del lenguaje.
- y ceder el control a otro procedimiento para continuar con el análisis.

El analizador léxico resulta ser muy sencillo y pequeño, pues existen pocos 'tokens' (un token es la unidad de reconocimiento léxico, secuencia de caracteres de entrada identificadas por una categoría) a identificar.

■

## 5.2 DEFINICIÓN DEL LENGUAJE DE COMANDOS

A continuación se muestra la lista de producciones que definen el Lenguaje de Comandos, indicando con mayúsculas entre paréntesis angulares los símbolos <NO-TERMINALES>, con la barra vertical | las distintas alternativas, con paréntesis redondos () la factorización, entre llaves {} los módulos que pueden aparecer varias veces e incluso no aparecer, entre corchetes [] los módulos que pueden aparecer varias veces pero una vez como mínimo, y con minúsculas entre paréntesis angulares los identificadores de <tokens>.

Del esqueleto de los programas de parte (visto en la sección 3.2, fig. 3.2-1) podemos presentar la primera producción:

<P.P> → <INICIALIZACION><SESION>

Donde <P.P> es el símbolo inicial de la gramática. La producción anterior indica que un Programa de Parte <P.P> debe contener siempre una Inicialización <INICIALIZACION> seguida de una sesión de trabajo <SESION>.

<INICIALIZACION> → <COLO><SUJE><D.PALP><CALI><RECO><ALI>

La <INICIALIZACION> siempre debe contener los siguientes módulos:

- cómo <COLO>-car la pieza
- cómo <SUJE>-tar la pieza
- la definición del primer palpador <D.PALP>
- y los procedimientos de:
  - <CALI>-ficación para el primer palpador,
  - y de <RECO>-nocimiento y de <ALI>-neación para la pieza.

<COLO> → <textos>

<SUJE> → <textos>

Las indicaciones de como <COLO>-car y <SUJE>-tar la pieza, básicamente son <textos>.

<CALI> → <ESFERA-E> | <CUBO>

La primera <CALI>-ficación de la herramienta puede lograrse mediante la elección de una de las siguientes dos mediciones: de una <ESFERA-E>terna, ó de un <CUBO>.

<RECO> → <PUNTO-XY><ALTURA>

<PUNTO-XY> → <XY> ( <HOLE> | <BOSS> )

<ALTURA> → <ZX> <SHOULD>

Para <RECO>-nocer la pieza, se medirá un elemento de tipo punto en el plano XY <PUNTO-XY> y una <ALTURA>.

Para medir el elemento tipo punto, primero se debe elegir el plano de trabajo <XY>, y posteriormente determinar el tipo de elemento a medir: un hueco <HOLE>, o una protuberancia <BOSS> circular.



Para medir la <ALTURA> a la que se encuentra la pieza, se elige Z <ZX> como dirección de movimiento y posteriormente se mide una cara <SHOULD> paralela al plano XY.

<ALI> + <SIST-REF> <EJE><PLANO> <2oEJE>  
<2oEJE> + <EJE> <2-PTOS>

Para <ALI>-near el Sistema de Referencia de la pieza con respecto al Sistema de Referencia de la Máquina, el usuario debe ejecutar los siguientes pasos:

1. elegir el Sistema de Referencia NORMAL ó AUXiliar.
2. elegir el primer <EJE> que se alinea perpendicular al <PLANO> que será calculado, y
3. elegir el segundo eje <2oEJE> que se alineará con respecto a dos puntos.

<SIST-REF> + NOR | AUX  
El <SIST-REF> de la pieza es el NORMAL o AUXiliar.

<EJE> + xy | yz | zx

El <EJE> de trabajo sólo puede ser uno de los siguientes tres: XY, YZ, y ZX.

<2-PTOS> + <PTO> <PTO>  
<PTO> + <HOLE> | <BOSS>

<2-PTOS> es la medición consecutiva de dos elementos que proporcionen como resultado uno de tipo punto, y para el caso de alineación se requieren huecos <HOLE> y protuberancias <BOSS> circulares.

<SESION> + <ACTIVIDAD> | <ACTIVIDADES>  
<ACTIVIDADES> + <ACTIVIDAD> <ACTIVIDADES> | e

La <SESION> de medición es por lo menos una actividad, a continuación se describen las alternativas para actividad.

<ACTIVIDAD> → <CAMBIO-DE-PALPADOR> |  
                  <NUEVA-POSICION> |  
                  <RETENER-EN-AUXILIAR> |  
                  <LIBERAR-DE-AUXILIAR> |  
                  <MEDICIONES> |  
                  <CALCULOS> |  
                  <EJE>

Una <ACTIVIDAD> es una de las siguientes alternativas:

- cambio de herramienta de medición <CAMBIO-DE-PALPADOR>
- cambio de la posición de la cabeza de medición <NUEVA-POSICION>
- grabar en el arreglo AUXILIAR, si hay espacio disponible, uno de los resultados de actividades anteriores <RETENER-EN-AUXILIAR>
- liberar uno de los registros del arreglo AUXILIAR <LIBERAR-DE-AUXILIAR>
- efectuar una de las <MEDICIONES>
- efectuar uno de los <CALCULOS>
- cambio del <EJE> de trabajo.

<CAMBIO-DE-PALPADOR> → <D.PALP>

El cambio de palpador se logra mediante la descripción <D.PALP> del nuevo palpador que se va a instalar.

<D.PALP> → <TLENX> <TLENY> <TLENZ> <TRAD>

Para describir un palpador <D.PALP> se asignan valores a los desplazamientos de la punta del palpador con respecto al centro de la montura en las tres direcciones X, Y, y Z; y la dimensión del radio de la punta.

<NUEVA-POSICION> → <X> <Y> <Z>

Para lograr un desplazamiento de la cabeza de medición, el usuario debe introducir al sistema las tres coordenadas del nuevo punto de posición.

<MEDICIONES> + ( <M1> | <M2> ) <V\_TEORICOS>

El SISTEMA agrega mediciones (explotando el Control Numérico de HELP), éstas requieren un tratamiento diferente, es por eso que esta producción muestra dos tipos de medición: <M1> y <M2>, seguida de los correspondientes valores teóricos <V\_TEORICOS>.

```
<M1> + <should> |
      <hole> |
      <boss> |
      <point>
```

Este grupo de mediciones <M1> es con el que cuenta HELP, y consiste de la medición de: caras, huecos y protuberancias circulares, y puntos. Este grupo también se distingue porque el resultado es automáticamente almacenado en el primer registro del arreglo \$MEMO.

```
<M2> + <esfera-i> |
      <esfera-e> |
      <cilindro-i> |
      <cilindro-e>
```

Este grupo es el aumentado por el GPM, para que el sistema HELP automáticamente seleccione los puntos, se desplace, palpe los puntos.

<V\_TEORICOS> + <XT> <YT> <ZT> <DT> <KT> <UT> <VT> <WT> <A1> <A2>  
<LT>

Dependiendo de la medición que llame a este procedimiento, se efectúa la captura de valores para los siguientes datos de entrada:

- <XT>, <YT> y <ZT> coordenadas del centro de una esfera, o del centro de un elemento circular, o del centro de la base del cilindro, o de un punto en el espacio.
- <DT> y <KT> dimensión del diámetro de elementos circulares y esféricos, dimensión del diámetro de la base de un cilindro.
- <UT>, <VT> y <WT> coordenadas que definen la orientación de un cilindro.
- <A1> y <A2> arco inicial y final para la medición de huecos y protuberancias circulares.
- <LT> longitud de la sección a medir de un cilindro.

<CALCULOS> + ( <C1> | <C2> ) <ARG>

El usuario puede elegir entre dos grupos diferentes de cálculos <C1> y <C2>, seguidos de sus correspondientes <ARG>-mentos.

<C1> + <punto-medio> |  
      <distancia> |  
      <proyección> |  
      <intersección>

Este grupo de cálculos contiene al: punto medio, distancia, proyección e intersección.

<C2> + <elipse> |  
      <esfera> |  
      <línea> |  
      <plano> |  
      <cilindro> |  
      <circulo>

Este segundo grupo de cálculos esta formado por: elipse, esfera, línea, plano, cilindro y circulo; de estos hace uso GPM para aumentar el conjunto de mediciones.

<ARG> + <Ultimo\_Resultado> | <De\_Retenidos> | <Palpar>

De entre el tipo de argumentos que puede elegir el usuario para los <CALCULOS>, están:

- el último resultado previamente generado,
- uno de los resultados anteriores, dictados en la sesión actual de trabajo, almacenado previamente en el arreglo AUXiliar;
- o palpar un punto previamente.

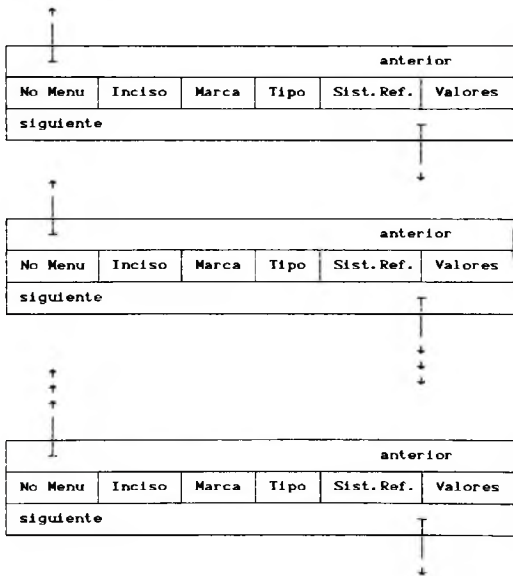
### 5.3 PSEUDO-CÓDIGO GENERADO POR EL INTÉRPRETE DE COMANDOS.

Todas las instrucciones que ordene el usuario son retenidas por el sistema, en una estructura de datos conocida como lista doblemente encadenada, almacenada en un archivo.

El primer registro del archivo se utiliza como de control, sirve para almacenar la siguiente información:

- El identificador para los archivos del sistema.
- El apuntador al primero de la lista de instrucciones.
- El apuntador al último de la lista de instrucciones.
- El apuntador al primero de la lista de 'basura'
- El apuntador al último de la lista de 'basura'
- El apuntador al registro disponible en el archivo.

Los nodos de esta lista doblemente encadenada tienen el siguiente formato:



De los cuales, cada ítem significa lo siguiente:  
No Menu es el identificador entero para cada actividad, las actividades pueden ser:

- Mediciones.
- Cálculos.
- Inicialización.
- Miscelanea.

Inciso: es el número de opción dentro de un menú.

Marca: contiene el valor cero si este elemento no ha sido retenido en el arreglo AUXiliar, en otro caso contiene el índice para el arreglo AUXiliar donde se almacena este elemento.

Tipo: es un identificador entero para cada tipo de elemento:

- Punto 1.
- Elipse 2.
- Círculo 3.
- Esfera 4.
- Línea Recta 5.
- Cilindro 6.
- Plano 8.

Sist.Ref.: Contiene un identificador para el Sistema de Coordenadas donde se realizó el cálculo o medición de este elemento.

- Sistema de referencia de la máquina MAC 7.
- Sistema de referencia normal a la pieza NOR 1.
- Sistema de referencia auxiliar a la pieza AUX 4.

Valores: Puede ser de dos tipos:

- tipo texto, donde se almacenan los mensajes para el operador.
- o un arreglo de doce números reales, que almacenan los valores teóricos para los elementos.

anterior y siguiente: son apuntadores a los nodos predecesor y sucesor respectivamente, estos apuntadores son muy útiles en el recorrido en ambos sentidos de la lista de instrucciones para elegir el resultado previo que se ha de almacenar en el arreglo AUXiliar.

A continuación se detalla el contenido del arreglo valores, para los elementos a medir:

■ Si se trata de huecos y protuberancias circulares (el Inciso hace la diferencia):

- (0) Número de puntos.
- (1) Coordenada X.
- (2) Coordenada Y.
- (3) Coordenada Z.
- (4) Diámetro.
- (5) Arco Inicial.
- (6) Arco Final.

■ En el caso de puntos:

- (0) Coordenada X.
- (1) Coordenada Y.
- (2) Coordenada Z.

■ En el caso de Elipses internas o Externas (Inciso es la diferencia).

- (0) Número de puntos.
- (1) Coordenada X.
- (2) Coordenada Y.
- (3) Coordenada Z.
- (4) Diámetro mayor.
- (5) Diámetro menor.
- (6) Coordenada X del vector normal al plano de la elipse.
- (7) Coordenada Y del vector normal al plano de la elipse.
- (8) Coordenada Z.
- (9) Arco inicial.
- (10) Arco final.

■ Para esferas internas o externas.

- (0) Número de puntos.
- (1) Coordenada X del centro de la esfera.
- (2) Coordenada Y del centro de la esfera.
- (3) Coordenada Z del centro de la esfera.
- (4) Diámetro.

■ Para cilindros:

- (0) Número de puntos.
- (1) Coordenada X del centro de la base.
- (2) Coordenada Y del centro de la base.
- (3) Coordenada Z.
- (4) Longitud de la sección del cilindro.
- (5) Diámetro del cilindro.
- (6) Coordenada X de la orientación del cilindro.
- (7) Coordenada Y de la orientación del cilindro.
- (8) Coordenada Z de la orientación del cilindro.

Si No Menu es la variante 'Miscelánea', y el número de Inciso corresponde a la petición de almacenar un resultado en el arreglo AUXiliar:

- (0) Tiene el índice al arreglo AUXiliar.
- (1) El número de registro en el archivo, que será almacenado.

Si No Menu es 'Miscelánea', y el número de Inciso corresponde a la instalación de un nuevo palpador:

- (0) Identificador para este palpador.
- (1) Desplazamiento de la punta del palpador, con respecto al centro de la montura de la columna de la máquina de medición, en la dirección X.
- (2) Desplazamiento de la punta en la dirección Y.
- (3) Desplazamiento de la punta en la dirección Z.
- (4) Radio de la punta del palpador.

Si el No Menu es el correspondiente a 'Cálculos', el arreglo valores tiene la siguiente configuración:

- (1) Tiene un identificador para el tipo del primer argumento:
  - 1 Si se trata del último resultado
  - 2 Si es un resultado almacenado en AUXiliar.
  - 3 Si se tiene que palpar un punto.
- (2) Contiene el índice de AUXiliar.
- (3) Tiene un código para el tipo del segundo argumento:
  - 2 Si el argumento es uno almacenado en AUXiliar.
  - 3 Si se trata de palpar un punto.
- (4) Contiene el índice de AUXiliar para el segundo argumento.
- (5),(6) y (7) Coordenadas del primer punto argumento.
- (8),(9) y (10) Coordenadas del segundo punto argumento.

Como puede notarse, el pseudo-código generado por el intérprete de comandos es básicamente parecido al concepto de triples (Operador, Primer Operando, y Segundo Operando).



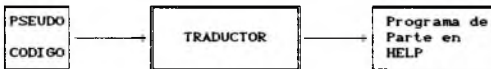


## DESCRIPCION DEL TRADUCTOR

En el capítulo III se mostró el lenguaje HELP y en el capítulo V el código intermedio generado por el intérprete de comandos, en este capítulo se muestra, como el GPM crea programas escritos en HELP. En la sección 6.1 se muestra la estructura del traductor y en la sección 6.2 se describe como genera programas para la medición automática de regiones sobre la pieza.

## 6.1 ESTRUCTURA DEL TRADUCTOR

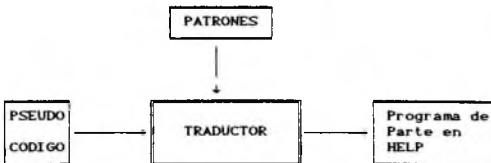
El traductor es un programa que toma como código fuente el pseudo-código generado por el intérprete de comandos, y produce como código objeto HELP.



El Traductor recorre la lista de comandos que ha sido almacenada en el archivo de PSEUDO-CODIGO y, construye el archivo que contiene el Programa de Parte.

fig 6-1

El traductor hace uso de otro archivo auxiliar que contiene patrones de segmentos de programas de parte escritos en HELP.



El traductor se auxilia de un archivo de PATRONES.

fig 6-2

Los patrones son unidades lógicas de programación indivisibles, constituidas por una o más líneas de código HELP, con 'secuencias de escape', como puede verse en los siguientes ejemplos:

*Patrón para definir un nuevo punto de posición:*

\$XP: = @1@ ;  
\$YP: = @2@ ;  
\$ZP: = @3@ ;  
MPOS;

*Patrón para definir una nueva herramienta:*

TDEF @4@ ;  
TLENX @5@ ;  
TLENY @6@ ;  
TLENZ @7@ ;  
TRAD @8@ ;

*Definición de un punto teórico:*

\$XT: = @9@ ;  
\$YT: = @10@ ;  
\$ZT: = @11@ ;

*Orden para medir un punto, y almacenar la medición en \$MEMO:*  
POINT;

*Orden para medir un punto, y almacenar la medición en \$BUF:*  
PICK;

*Definición del número de puntos, en una medición automática:*  
\$PTN: = @12@ ;

*Definición del diámetro teórico:*  
\$DT: = @13@ ;

*Definición del arco inicial y final para la medición de huecos y protuberancias circulares:*

\$ARC1: = @14@ ;  
\$ARC2: = @15@ ;

*Orden para medir un hueco circular:*  
HOLE;

*Orden para medir una protuberancia circular:*  
BOSS;

*Orden para el cálculo de una esfera interna:*  
ISPHER;

Orden para el cálculo de una esfera externa:  
ESPHER;

Orden para el cálculo de un cilindro interno:  
HCYL;

Orden para el cálculo de un cilindro externo:  
BCYL;

Definición de la dirección de movimiento para medir un punto:  
\$DIRX: = @16@ ;  
\$DIRY: = @17@ ;  
\$DIRZ: = @18@ ;

Orden para intercambiar el contenido de dos registros de \$MEMO:  
EL @21@ EL @22@ MEMO;

Ciclo para copiar un registro del arreglo AUXiliar a \$MEMO:  
FOR I: = 1 TO 10 DO  
\$MEMOXI, @20@ ) = AUXI(I, @19@ );  
REP;

Definición de parámetros para cálculos con argumentos en \$MEMO:  
EL 2 EL 3

Orden para el cálculo de un punto medio:  
MIDDLE;

Orden para el cálculo de distancia:  
DIST;

Orden para el cálculo de una proyección:  
PROJECT;

Orden para el cálculo de una intersección:  
INTER;

Ciclo para copiar la información del primer registro de \$MEMO a uno del arreglo AUXiliar:  
FOR I: =1 TO 10 DO  
AUXI(I, @19@ ) = \$MEMOXI,1);  
REP;

Declaración para el arreglo AUXiliar:  
STATIC BLOCK;  
DEFINE AUXI(10,15);  
ENDBLOCK;

\*  
\*  
\*

El traductor también hace uso de un arreglo bidimensional que almacena la lista de acciones semánticas, como se muestra en la figura 6-3.



fig 6 - 3

Entonces, cada rutina de traducción, prepara el ambiente y genera código proporcionando el Apuntador de Acción Semántica  $i_1$ , que es el número de renglón de la Tabla de Acciones Semánticas.

El procedimiento genera código: recorre el renglón de apuntadores ( $i_1, i_2, \dots, i_n$ ) al diccionario de patrones, almacenado en la Tabla de Acciones S. hasta que la entrada sea 0 y, para cada entrada ordena 'Emitir significado' en el archivo del programa de parte.

El procedimiento 'Emitir significado' lee el código HELP (almacenado en el Diccionario de Patrones), y decodifica las secuencias de escape.

Las secuencias de escape representan valores, cuyo tipo puede ser uno de los siguientes tres: reales, enteros, y textos. Estas secuencias de escape se deben traducir, para asignar al código valores absolutos.

Las secuencias de escape tienen la forma:

... @k@ ...

donde  $k$  es el índice para el arreglo de valores. Este arreglo de valores es una estructura con dos entradas:

valor y tipo

el tipo del valor asigna el formato para grabarlo en el archivo de código HELP.

A continuación se muestra la lista de variables que almacenan su valor en esta estructura (se supone que el tipo por ausencia es el 'real'):

Indice	Variable	Tipo
1	\$XP	
2	\$YP	
3	\$ZP	
4	TDEF	entero
5	TLENX	
6	TLENY	
7	TLENZ	
8	TRAD	
9	\$XT	
10	\$YT	
11	\$ZT	
12	\$PTN	entero
13	\$DT	
14	\$ARC1	
15	\$ARC2	
16	\$DIRX	
17	\$DIRY	
18	\$DIRZ	
19	IndAUXI	entero
20	IndMEMO	entero
21	M1	entero
22	M2	entero
-	-	+
+	-	+
-	-	+

fig 6 - 4

## 6.2 PROGRAMAS PARA MEDICIÓN AUTOMÁTICA

Para generar el programa que mide cilindros y esferas bajo Control Numérico, este sistema calcula la trayectoria que debe seguir el palpador a partir de los siguientes datos:

- Parámetros que definen el elemento a medir.
- Vector descripción del palpador.
- Vector posición del palpador.
- Número de puntos a palpar.

Para cada punto que el sistema mide, se debe efectuar el siguiente procedimiento:



El traductor calcula los puntos teóricos y de posicionamiento para cada medición, los asigna en las posiciones correspondientes del arreglo mostrado en la figura 6-4, y genera el siguiente código HELP para cada bloque:

```
$XP: = @1@ ;  
$YP: = @2@ ;  
$ZP: = @3@ ;  
MPOS;
```

↓

```
$XT: = @0@ ;  
$YT: = @10@ ;  
$ZT: = @11@ ;
```

↓

```
$DIRX: = @16@ ;  
$DIRY: = @17@ ;  
$DIRZ: = @18@ ;
```

↓

```
PICK;
```

↓

```
MPOS;
```

↓

```
$XP: = @1@ ;  
$YP: = @2@ ;  
$ZP: = @3@ ;  
MPOS;  
*  
*  
$XP: = @1@ ;  
$YP: = @2@ ;  
$ZP: = @3@ ;  
MPOS;
```

■

## CAPITULO VII

### LA GEOMETRIA USADA EN EL GPM.

Desde el punto de vista Usuario, el GPM se ve como un editor de comandos para la máquina de medición, con la oportunidad de ver el efecto de dichos comandos en una representación gráfica.

Estos dibujos aproximan la realidad. Primero aparece la máquina de medición, mostrando la mesa y el espacio que tiene el palpador para moverse, después el último elemento que el usuario ordenó medir, seguido por los otros tres anteriores y finalmente aparece la trayectoria que sigue el palpador para medir el último elemento.

Además se le permite al usuario cambiar esa vista, moviéndose alrededor de la máquina de medición, y acercarse o alejarse del último elemento. Estos servicios permiten aprobar la medición simulada.

Para lograr esta aproximación a la realidad, se uso el método más sencillo, el conocido como wire frame, que consiste en representar los cuerpos mediante marcos de alambre, vistos en perspectiva.

Parte de los algoritmos de visualización son usados también para el cálculo de valores teóricos y puntos de posicionamiento en la generación de Programas de Parte.

### 7.1 PROYECCION PERSPECTIVA.

El espectador de la medición se coloca en un lugar adecuado y dirige su mirada al elemento que esta siendo medido, ve además las cosas que rodean a ese elemento, sin ver por supuesto las cosas que están detrás de él. Al observar, se da cuenta de que ciertos objetos están más lejos que otros porque los ve más pequeños, esto último es sólo desde su punto de vista.

En esta sección se muestra el método usado en el Sistema, que es uno, entre varios, que modelan la realidad.

Este método consiste de localizar la posición del ojo del observador, para referenciar todas las cosas desde ahí (sección 7.1.3), después elige el punto de interés (sección 7.1.5), posteriormente produce el efecto de realismo mediante la aplicación de la perspectiva (sección 7.1.4); y finalmente recorta los objetos fuera de su alcance (sección 7.1.6).



## 7.11 PUNTO DE VISTA DEL SUPERVISOR DE LA MEDICIÓN.

En el momento de supervisar la medición, al observar como el portal de la máquina se desplaza, y el palpador alcanza los puntos y los toca, el supervisor se mantiene fuera del alcance de la cabeza de medición y procura no ser un obstáculo para el avance de ésta sobre los rieles, en otras palabras mantiene su punto de vista fuera de la caja que guarda el espacio de medición (esta caja esta definida por el largo, ancho y altura de los avances máximos).

Esta ayuda gráfica representa la caja de medición mediante el trazo de sus aristas, vistas desde un punto fuera de la caja. El usuario puede cambiar el punto de vista, posicionando el ojo en cualquiera de los vértices, o bien en el punto medio de las aristas, o en el punto central de las tapas laterales, pero no se puede mirar desde el centro de la tapa de arriba ó desde el centro de la tapa de abajo, porque estas vistas sobre la máquina de medición no son posibles.

El supervisor de la medición, usualmente observa la punta del palpador, vigilando de su buen comportamiento. Así que el centro de la vista o el objetivo a representar gráficamente en el video es la posición actual del palpador.

La mayoría de las veces es necesario medir elementos pequeños, que resultan muy lejanos al punto de vista. La ayuda gráfica provee una manera de lograr acercamientos o alejamientos a los puntos de interés.

## 7.12 QUE ES UNA PROYECCIÓN PERSPECTIVA?

Es una representación de los cuerpos (en tres dimensiones) sobre un plano (en este caso, sobre la pantalla), que hace uso de las distancias entre la posición del ojo y los puntos de los cuerpos, para visualizar los objetos lejanos como pequeños. De esta manera se intenta aproximar la realidad, porque las imágenes formadas en nuestros ojos y por una lente fotográfica, son proyecciones perspectivas.

Para lograr una vista perspectiva, se procederá de la siguiente manera [Sproull]:

1. Se transforman los puntos del Sistema de Coordenadas del Mundo Real ( $X_w, Y_w, Z_w$ ) para que sean referenciados desde el Sistema de Coordenadas del Ojo ( $X_e, Y_e, Z_e$ ), de manera que el eje  $Z_e$  apunte en la dirección de la vista. Sea  $V$  la matriz asociada a esta transformación:

$$[X_e, Y_e, Z_e, 1] = [X_w, Y_w, Z_w, 1]V$$

2. La vista se ajusta al tamaño de la pantalla  $S$ , y a la distancia  $D$  entre la posición del ojo y la pantalla, mediante una matriz de escalamiento  $N$ .

3. Se recorta la imagen en tres dimensiones, para proyectar en la pantalla sólo el alcance de la vista.

### 7.1.3 TRANSFORMACIONES PARA POSICIONAR LA VISTA

La posición del elemento a medir, la posición del palpador y la posición del ojo, están referidos en el Sistema de Coordenadas del Mundo Real, estos puntos deben ser referidos en un nuevo Sistema de Coordenadas, que tenga como origen la posición del ojo, el eje Z apuntando hacia el centro de la vista, el eje Y hacia arriba y, el eje X a la derecha.

Para lograr esta transformación se aplica una matriz  $V$  a los puntos referidos en el Sistema de Coordenadas del Mundo Real, y se obtienen puntos referidos en el Sistema de Coordenadas del Ojo. Esa matriz  $V$  se genera mediante el producto de varias matrices, asociadas a una Traslación y varias Rotaciones, determinadas por los siguientes parámetros de la Vista Perspectiva: las coordenadas del Punto de Vista y las coordenadas del Centro de Vista. (En lo que sigue, no hay diferencia entre el Punto de Vista y el Punto Posición del Ojo).

Considere el origen del mundo real y sus tres ejes: el Z apuntando hacia arriba, el Y a la derecha del espectador y el X hacia el espectador. En el punto posición del ojo, imagine otro origen coordenado, con sus ejes  $X'$   $Y'$   $Z'$  alineados al sistema anterior. El juego de matrices para transformar los puntos del Sistema Coordinado del Mundo Real en puntos referenciados desde el Sistema de Coordenadas del Ojo, se muestra a continuación:

a. - una Traslación, que mueva el origen a la posición del ojo (fig 7.1.3-1 inciso a).

$$T_{\text{ojo}} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ -\text{Ojo}.x & -\text{Ojo}.y & -\text{Ojo}.z & 1 \end{bmatrix}$$

b. - una Rotación alrededor de  $X'$  en sentido contrario a las manecillas del reloj, de manera que el eje  $Y'$  del nuevo sistema quede paralelo con el eje Z del anterior y el nuevo eje  $Z'$  en el sentido negativo del Y original (fig 7.1.3-1 inciso b).

$$R_x(\alpha) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & -\sin \alpha & 0 \\ 0 & \sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

c.- una Rotación alrededor de Y', en sentido que siguen las manecillas del reloj, de tal manera que el eje Z' de éste nuevo Sistema de Referencia se dirija al eje Z del sistema original pero con sentido opuesto (fig 7.1.3-1 inciso c).

$$R_y(\beta) = \begin{bmatrix} \cos \beta & 0 & -\sin \beta & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \sin \beta & 0 & \cos \beta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

d.- una Rotación alrededor de X', en el sentido de las manecillas del reloj, tal que Z' del nuevo sistema de referencia se dirija al origen del sistema anterior pero con sentido opuesto (fig 7.1.3-1 inciso d).

$$R_x(\gamma) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \gamma & \sin \gamma & 0 \\ 0 & -\sin \gamma & \cos \gamma & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

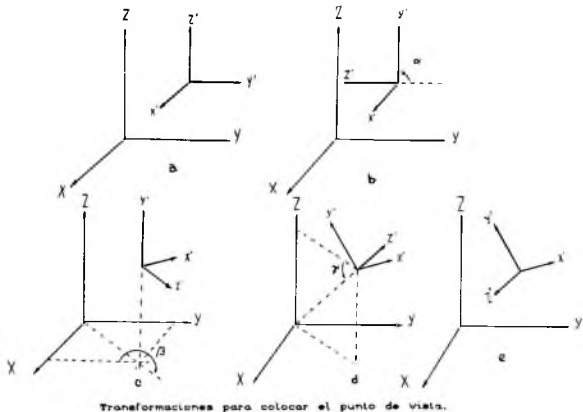
e.- la última, Inversión del eje Z' (fig 7.1.3-1 inciso e).

$$I_z = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Y Se calcula mediante el producto de las cinco matrices anteriores, sin olvidar que la matriz que transforma al origen es la inversa de la matriz correspondiente a la transformación de los puntos.

$$V = T_{ojo} R_x(\alpha) R_y(\beta) R_x(\gamma) I_z$$

La transformación asociada a la matriz V, logra que el ojo tenga como objetivo o centro vista, el origen del Sistema de Coordenadas del Mundo Real.

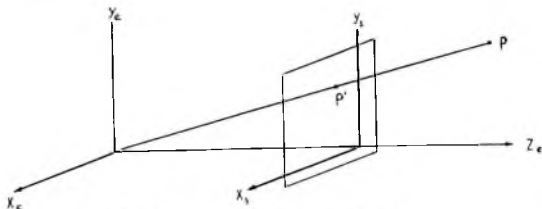


Transformaciones para colocar el punto de vista.

fig 7.1.3-1

#### 7.14 PROYECCIÓN PERSPECTIVA.

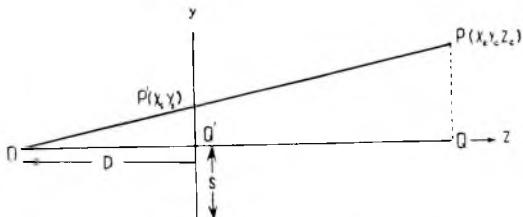
Un despliegue perspectivo puede lograrse simplemente por proyectar cada punto de un objeto en un punto de la pantalla. Las coordenadas  $(X_s, Y_s)$  (especificadas en píxeles) del punto P proyectado en la pantalla se calculan de la siguiente manera: Considere que el plano de Proyección Perspectiva está ubicado entre el ojo y los objetos, este plano no es más que la pantalla, como se muestra la fig 7.1.4-1



Punto P proyectado en la pantalla, visto desde la Posición del Ojo.

fig 7.1.4-1

En la fig 7.1.4-2 considere el plano YZ del Sistema de Coordenadas del Ojo, los triángulos OQP y OQ'P' son similares, entonces:  $Y_s/D = Y_e/Z_e$  (donde  $Y_e$  y  $Z_e$  son las coordenadas del punto P en el Sistema de Referencia del Ojo). Haciendo un razonamiento similar se cumple que:  $X_s/D = X_e/Z_e$ .



Para cálculo de coordenadas en la pantalla, los triángulos OQP y OQ'P' son similares

fig 7.1.4-2

Entonces se puede concluir que para generar una imagen perspectiva se requiere dividir por la profundidad de cada punto, que corresponde a la coordenada  $Z_e$ . Los números  $X_s$  y  $Y_s$  pueden ser convertidos como fracciones sin unidad (de medición), por la división entre  $S$  (el tamaño de la pantalla).

$$X_s = \frac{D X_e}{S Z_e}$$

$$Y_s = \frac{D Y_e}{S Z_e}$$

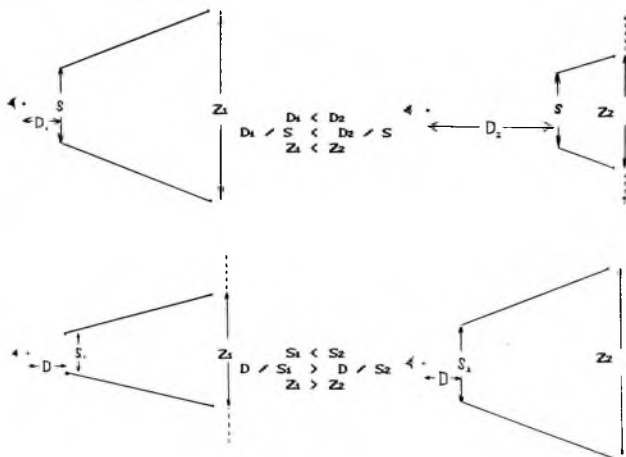
Los números  $X_s$  y  $Y_s$ , deben ser convertidos a coordenadas de la pantalla, dependiendo de la localización del recuadro en el cual la imagen será desplegada.

En notación centro-tamaño, sean  $V_{cx}$  y  $V_{cy}$  las coordenadas en la pantalla del centro del recuadro, que tiene  $2 V_{sx}$  pixeles de largo y  $2 V_{sy}$  pixeles de alto (un pixel es el punto más fino que se puede dibujar en un video con capacidad gráfica, su fineza depende de la densidad del video). Entonces se puede ver fácilmente que:

$$X_s = \frac{D X_e}{S Z_e} V_{sx} + V_{cx}$$

$$Y_s = \frac{D Y_e}{S Z_e} V_{sy} + V_{cy}$$

En la figura 7.1.4-2 se muestra que  $D$  es la distancia entre el espectador y la pantalla, y  $S$  el tamaño de la pantalla. Sea  $\text{Zoom}$  el cociente  $D/S$ , sin unidad de medición, e independiente de la posición del ojo. Si  $\text{Zoom}$  es pequeño se produce un efecto de que el objetivo está lejos del observador, y si es grande produce un efecto de cercanía.



Ajustes en la Vista: Si  $\text{Zoom}$  es grande la imagen parece como si estuviera cerca, si  $\text{Zoom}$  es pequeño da efecto de lejanía.

fig 7.1.4-3

Todos los dibujos que se muestran mediante esta perspectiva, se ejecutan trazando segmentos de rectas, así que basta con aplicar la transformación perspectiva a los puntos extremos de dichos segmentos, y después pintar los segmentos en la pantalla.

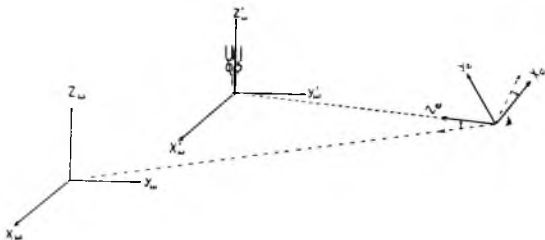
## 7.15 EL CENTRO DE ATRACCIÓN.

En lugar de que se proceda a ver el origen del Sistema de Coordenadas del Mundo Real (como se hace en la referencia bibliográfica [Sproull]), se dirigirá la mirada a la posición actual del palpador, entonces el vector dirección de la vista, que define el sentido del eje Z del Sistema Coordenado del Ojo, no está anclado al origen, sino al punto Centro de la Vista.

Esto se logra mediante el cálculo de un vector diferencia. Sea Dif la diferencia PtoVista - CentroVista, Dif será la nueva posición del Ojo en un nuevo sistema de referencia, que tiene como origen el CentroVista referido en el Sistema de Coordenadas del Mundo Real.

Este cambio de origen, como ya sabemos, se obtiene con una Traslación a la posición del centro de la vista. La traslación es una aplicación que tiene asociada una matriz, que para hacerla participar en la perspectiva basta multiplicarla a las matrices anteriores, en consecuencia, la posición del ojo que entra como parámetro a la perspectiva es el vector Dif.

$$T_{\text{CentroVista}} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ -\text{CentroVista.x} & -\text{CentroVista.y} & -\text{CentroVista.z} & 1 \end{bmatrix}$$



Cambio del centro de atracción, del origen de las coordenadas del mundo real a la posición actual del palpador.

fig 7.1.5-1

## 7.1.6 ALCANCE DE LA VISTA.

La aplicación de las transformaciones e igualdades anteriores producen una imagen perspectiva con dos defectos. Los objetos que están detrás del punto de vista aparecen en la pantalla, y los objetos pueden sobrepasar los límites del recuadro.

Estos defectos pueden ser eliminados probando que cada punto referido en el Sistema de Coordenadas del Ojo, esté dentro de la pirámide de visibilidad, la cual es la región del Espacio de Coordenadas del Ojo a la que el Supervisor tiene acceso

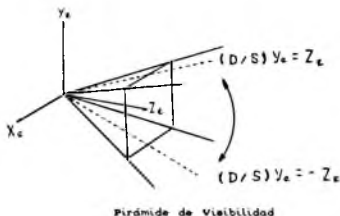


fig 7.1.6-1

En la fig 7.1.6-1 las rectas  $(D/S)Ye = Ze$  y  $(D/S)Ye = -Ze$ , están sobre las caras superior e inferior de la pirámide respectivamente, vistas desde la posición del ojo (valga la redundancia), recordando que D es la distancia entre el ojo y la pantalla y S es el tamaño de la pantalla, es claro que:

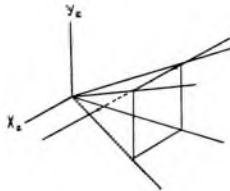
$$-Ze \leq (D/S) Xe \leq Ze \quad \text{y que} \quad -Ze \leq (D/S) Ye \leq Ze$$

Las desigualdades anteriores se deben cumplir para cada terna  $(Xe, Ye, Ze)$ . Si un punto falla la prueba, no se despliega.

Los segmentos de recta cuyos puntos extremos estén fuera de la pirámide de visibilidad, deben ser tratados de otra manera.

Las partes del segmento de recta que no intersectan con dicha pirámide serán rechazadas. Es decir que en el espacio referenciado por el Sistema de Coordenadas del ojo, deben ser calculados los puntos finales de la porción visible.





Recorte de la Imagen

fig 7.1.6-2

Para tal efecto, primero definamos a  $N$  como la siguiente matriz:

$$N = \begin{bmatrix} D/S & 0 & 0 & 0 \\ 0 & D/S & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Sea  $(X_c, Y_c, Z_c)$ , el punto recortado:

$$\begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_e \\ Y_e \\ Z_e \\ 1 \end{bmatrix} N$$

Entonces la condición que deben cumplir los puntos para ser desplegados se convierte en la siguiente:

$$-Z_c \leq X_c \leq +Z_c \quad \text{y} \quad -Z_c \leq Y_c \leq +Z_c$$

Pero, en el caso de que los puntos no cumplan dicha condición, se calculará el punto intersección de la recta y plano involucrados.

Sean *Superior*, *Inferior*, *Izquierdo* y *Derecho* identificadores de los planos que limitan la pirámide de visibilidad, la elección del plano para calcular la intersección depende de la prueba que falló:

- Si  $X_c < -Z_c$ , la recta cruza el plano *Izquierdo*
- Si  $X_c > +Z_c$ , la recta cruza el plano *Derecho*
- Si  $Y_c < -Z_c$ , la recta cruza el plano *Inferior*
- Si  $Y_c > +Z_c$ , la recta cruza el plano *Superior*

Sean  $(X_1, Y_1, Z_1)$  y  $(X_2, Y_2, Z_2)$  los puntos extremos de un segmento de recta referenciados en el Sistema Coordinado del Ojo. El punto intersección de la línea y el plano se puede calcular mediante la siguiente ecuación paramétrica:

$$((1-t)[X_1 \ Y_1 \ Z_1] + t[X_2 \ Y_2 \ Z_2]) \begin{bmatrix} a \\ b \\ 1 \end{bmatrix} = 0$$

Donde  $a$  y  $b$  tienen valores diferentes, dependiendo del plano intersectado. Y  $t$  es el valor que se busca.

Si se trata del plano *Izquierdo*, cuando  $Z = -X$ , entonces  $a = -1$  y  $b = 0$ .

Si se trata del plano *Derecho*, cuando  $Z = X$ , entonces  $a = 1$  y  $b = 0$ .

Si se trata del plano *Superior*, cuando  $Z = Y$ , entonces  $a = 0$  y  $b = 1$ .

Si se trata del plano *Inferior*, cuando  $Z = -Y$ , entonces  $a = 0$  y  $b = -1$ .

Para terminar con la sección 7.1, la matriz que efectúa la vista perspectiva es el producto siguiente:

$$V(Dif) N T CentroVista$$

El producto anterior, es el que se le aplica a los puntos del Sistema de Coordenadas del Mundo real, y los puntos así obtenidos se pasan por el procedimiento de Recorte.



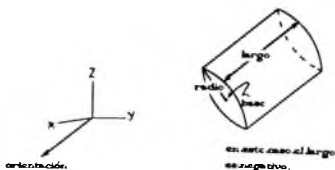
## 7.2 CILINDROS

### 7.2.1 GENERACIÓN DE LOS PUNTOS DE UN CILINDRO.

En las piezas mecánicas es común encontrar cilindros, como elementos básicos que se han de medir o calcular, de ahí la necesidad de generar los puntos pertenecientes a la superficie de un cilindro para dibujarlo y para recorrerlo.

Un cilindro queda determinado mediante los siguientes parámetros, como lo muestra la figura 7.2.1-1:

- base un punto en el espacio de tres dimensiones que define el centro de la base.
- orientación un vector en 3D, que define la dirección del eje del cilindro.
- largo un valor diferente de cero, que define la longitud de la sección del cilindro. El signo de este valor, indica el sentido sobre la dirección anterior, respecto del centro de la base donde se localiza el tramo de cilindro.
- radio la longitud del radio de la base del cilindro.



Parámetros que definen un cilindro

fig 7.2.1-1

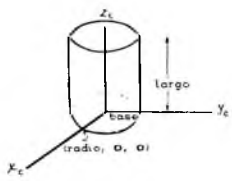
Si se resuelve el problema de *dibujar un cilindro*, está casi resuelto el problema de *recorrer un cilindro*. Como el dibujo del esquema de un cilindro se basa en la técnica wire frame, no existe la dificultad de ocultar puntos no visibles desde la posición del ojo, así que para la visualización de éste en la pantalla, el problema se reduce a dibujar dos arcos; que representan las tapas de la sección del cilindro, y dibujar tres rectas paralelas al eje del cilindro; separadas del eje una distancia igual a radio, representando el cuerpo del cilindro.

Un problema más fácil de resolver, es dibujar un cilindro sencillo, como el que se muestra en la fig 7.2.1-2, cuyo vector orientación coincida con el eje Z del Sistema de Coordenadas del Mundo Real; y punto base, con el origen; trazando los dos arcos y las tres rectas laterales. En efecto, para dibujar el arco base se toma un punto sobre el sentido positivo del eje X, precisamente el punto (radio, 0, 0), y se mueve sobre una circunferencia en el plano XY, con centro en el origen; este movimiento se logra con la rotación de dicho punto alrededor del eje Z.

La rotación de un punto por un ángulo  $\theta$  alrededor del eje Z, es una transformación en el espacio, que tiene una matriz de aplicación asociada, en este caso la matriz homogénea es la siguiente:

$$R_z(\theta) = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Se puede crear un cilindro orientado hacia Z positivo, con centro de base en el origen del Sistema de Coordenadas del Mundo Real, y a cada punto de éste se le transforma, para que: se le traslade al punto base; se le gire, inclinándolo según el vector orientación; y pueda ser referenciado desde el mismo Sistema de Coordenadas.



Cilindro con base en el origen, es sencillo de generar

fig 7.2.1-2

A continuación se muestran las transformaciones por las que va pasando el cilindro sencillo, para convertirse en el cilindro que pidió el usuario del sistema.

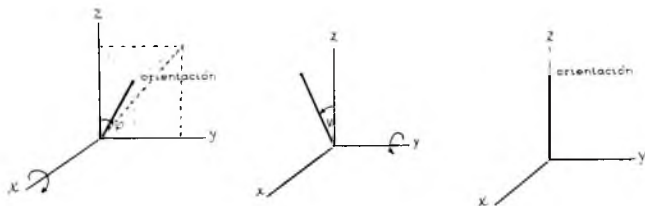
La aplicación que traslada los puntos del cilindro sencillo al punto base, tiene la siguiente matriz asociada:

$$T(\text{base}) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ \text{base}_x & \text{base}_y & \text{base}_z & 1 \end{bmatrix}$$

La aplicación que inclina al cilindro en dirección del vector orientación se determina con dos rotaciones como lo muestra la fig 7.2.1-3:

1. Se gira el eje Z en sentido de las manecillas del reloj un ángulo  $\phi$  alrededor de X, para que el vector orientación pertenezca al plano XZ.

2. El eje Z se gira nuevamente, pero ahora alrededor de Y, en sentido contrario a las manecillas del reloj, un ángulo  $\psi$ ; la orientación queda alineada con el eje Z.



Inclinación del eje Z según orientación

fig 7.2.1-3

Considérese como rotación positiva, aquella de sentido igual al que siguen las manecillas del reloj. La rotación positiva alrededor de X un ángulo  $\phi$ , se logra mediante la siguiente aplicación:

$$R_x(\phi) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \phi & -\sin \phi & 0 \\ 0 & \sin \phi & \cos \phi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

La rotación en sentido contrario a las manecillas del reloj, un ángulo  $\psi$  alrededor de Y, se obtiene cambiando el signo a  $\psi$ , y considerando las igualdades:

$$\cos(-\psi) = \cos(\psi) \quad \text{y} \quad \sin(-\psi) = -\sin(\psi)$$

La aplicación para el giro alrededor de Y, un ángulo  $-\psi$  es:

$$R_y(-\psi) = \begin{bmatrix} \cos \psi & 0 & -\sin \psi & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \sin \psi & 0 & \cos \psi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

El punto (radio, 0, 0) es igual al producto: radio (1, 0, 0). para girarlo alrededor de Z, se puede mover únicamente al vector unitario (1, 0, 0) y a cada punto así obtenido se le multiplica por el escalar radio. En términos de matrices de transformación, se puede lograr un escalamiento aplicando la siguiente matriz:

$$E(\text{radio}) = \begin{bmatrix} \text{radio} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \text{radio} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \text{radio} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Para obtener los puntos de la segunda tapa (que limita junto con la base la sección del cilindro), lo que se hace es desplazar los puntos de la base en dirección de orientación una distancia igual a largo.

Sea orientación' un vector unitario alineado con el vector parámetro orientación. La matriz  $D[\text{largo} * \text{orientación}'$  que logra el desplazamiento sobre el punto donde se aplique, en dirección de orientación' y a una distancia largo es:

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ \text{largo} * \text{orientación}'_x & \text{largo} * \text{orientación}'_y & \text{largo} * \text{orientación}'_z & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

El signo está implícito en el valor largo, y la aplicación anterior efectúa un desplazamiento algebraico.

Para concretar, el producto de matrices para obtener la base del cilindro es el siguiente:

$$R_x(\phi) R_y(-\psi) E(\text{radio}) T(\text{base})$$

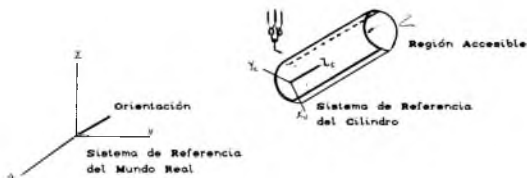
El producto de matrices que obtiene los puntos para la segunda tapa es:

$$R_x(\phi) R_y(-\psi) E(\text{radio}) T(\text{base}) D[\text{largo} * \text{orientación}'$$

Para trazar las rectas laterales, se generan dos puntos alineados, uno de la base y otro de la segunda tapa utilizando las matrices anteriores correspondientes.

## 7.2.2 LA REGIÓN ACCESIBLE DE UN CILINDRO EXTERNO.

Las piezas a medir son un ensamble de elementos básicos, los elementos básicos pueden ser cuerpos, tales como: esferas y cilindros; pero no todos los puntos en la superficie de estos cuerpos son accesibles para la cabeza de la máquina de medición, es decir, para cada cuerpo existe una región oculta que depende de la descripción de la instalación del palpador con el que se va a medir. En el caso de un cilindro, la región visible es una mitad longitudinal de la superficie de la sección de cilindro.



Región Accesible: depende de la Descripción del palpador.

fig 7.2.2-1

Sean  $X_c$ ,  $Y_c$  y  $Z_c$  los ejes del Sistema de Coordenadas del Cilindro con origen en el centro de la base de éste, la serie de transformaciones que se mostraron en la sección 7.2.1 mueven los puntos de un cilindro sencillo construido en el Sistema de Coordenadas del Mundo Real hacia el Sistema de Coordenadas del Cilindro.

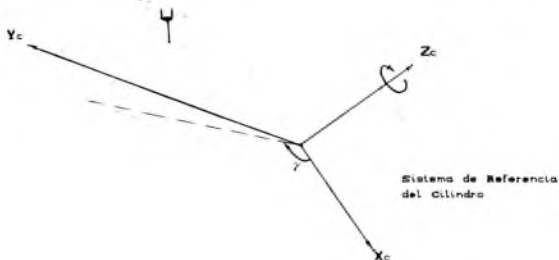
Para determinar la región accesible desde el palpador, hay que elegir una mitad adecuada. Esa mitad puede ser dirigida, si el eje  $X_c$  del Sistema de Coordenadas del Cilindro está apuntando hacia el sentido inverso del vector descripción del palpador.

Entre las transformaciones para cambiar de sistema de referencia, con el fin de dibujar un cilindro, se efectúan dos rotaciones: una alrededor del eje X un ángulo  $\phi$ , y otra alrededor del eje Y un ángulo  $-\psi$ , para que el eje Zc tenga el mismo sentido que orientación. En este cálculo no interfirieron Xc ni Yc, por lo tanto no se tienen definidas sus direcciones.

El vector descripción del palpador se conoce en términos del Sistema de Coordenadas del Mundo Real, si a éste punto se le suman las coordenadas de la base y se le aplican las transformaciones inversas, se le puede localizar desde el Sistema de Coordenadas del Cilindro, el producto de matrices que se aplica a dicho punto se muestra a continuación:

$$R_x(-\phi) R_y(\psi) T(-base)$$

En la figura 7.2.2-2 se puede ver que con las componentes X y Y de la descripción del palpador en el Sistema de Coordenadas del Cilindro, se puede calcular una rotación del plano XcYc alrededor del eje Zc para que Xc apunte hacia el acceso del palpador.



El eje Xc debe apuntar hacia la punta del palpador.

fig 7.2.2-2

Para orientar al eje Xc del sistema de referencia del cilindro, además de la transformación para dibujo, se aplica la siguiente rotación positiva  $\gamma$  alrededor de Zc:

$$R_{Zc}(\gamma) = \begin{bmatrix} \cos \gamma & -\sin \gamma & 0 & 0 \\ \sin \gamma & \cos \gamma & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$



En conclusión, para generar sólo los puntos accesibles según la descripción del palpador, al vector unitario (1, 0, 0) del sistema de referencia del cilindro se le rota alrededor de Z un ángulo  $\theta$  con valor inicial  $-\pi/2$  hasta  $\pi/2$ , y a cada punto se le aplica el siguiente producto de matrices, para cambiar de sistema de referencia:

$$RZ_c(\gamma) \quad RX(\rho) \quad RY(-\psi) \quad E(\text{radio}) \quad T(\text{base})$$

El producto anterior para la base, y para la tapa que limita la sección del cilindro, el producto es el siguiente:

$$RZ_c(\gamma) \quad RX(\rho) \quad RY(-\psi) \quad E(\text{radio}) \quad T(\text{base}) \quad D(\text{largo} \cdot \text{orientación})$$

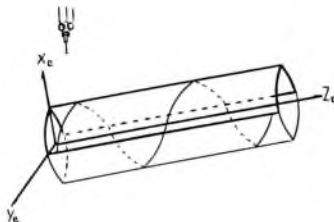
### 7.2.3 DISTRIBUCIÓN DE LOS PUNTOS PALPABLES:

El usuario elige el número de puntos que se han de palpar sobre la superficie del cilindro, para efectuar la medición; al menos 6 puntos y a lo más 20 puntos. Los dos primeros se usarán para determinar la orientación del cilindro (porque así lo pide HELP para calcular un cilindro), y el resto se distribuirán uniformemente sobre su pared.

Los pocos puntos palpables son colocados sobre una hélice, a lo largo de la sección del cilindro, tomando solo los valores positivos para la coordenada  $X_c$ . Esto se logra dando dos vueltas sobre la circunferencia en el plano  $X_c Y_c$ , e incrementando adecuadamente la tercer coordenada  $Z_c$ .

La longitud del segmento de cilindro se puede dividir entre el número de puntos, para tener un incremento uniforme en Z; se divide  $4\pi$  (correspondiente a dos vueltas) también entre el número de puntos para generar la hélice.

Los puntos generados por éste procedimiento se consideran como los teóricos, para que la máquina de medición los pueda sentir, y son estos puntos los que se dibujan en la pantalla en el recorrido del palpador, y son estos los valores que se pasan a código HELP.



Los puntos teóricos se distribuyen sobre una hélice.

## 7.2.4 TRAYECTO LIBRE DE COLISIONES. PARA MEDIR CILINDROS EXTERNOS.

La máquina de medición, bajo control numérico, se desplaza sobre una recta para moverse de un punto a otro, al recorrer un cilindro para alcanzar los puntos teóricos, se debe generar una trayectoria libre de colisiones, es decir, que además de definir los puntos teóricos, se definirán puntos precavidos, que marcan la trayectoria.

Los puntos precavidos estarán en un cilindro imaginario con un diámetro mayor que el dado por el usuario. Aquí el problema es el siguiente: *Cuál es el radio del cilindro imaginario donde se posiciona el palpador como un lugar seguro, para dirigirse radialmente hacia el punto teórico, retomar esa posición y dirigirse al siguiente, sin chocar#.*

Si se proyecta el cilindro en el plano  $X_cY_c$  (fig. 7.2.4-1), y además la recta que une los puntos teóricos  $P_1$  y  $P_2$  (a palpar), podemos calcular la distancia (más grande) entre esta recta y la curva, esta distancia es la que debe librar la cabeza de la máquina de medición para que no choque con la pared del cilindro.

Esta distancia, se calcula entre el punto medio de los dos involucrados y el punto sobre la superficie del cilindro, justo a la mitad del paso ó incremento.

Sea  $r$  el radio teórico del cilindro; sean  $P_1$  y  $P_2$  los puntos teóricos generados por el sistema sobre la superficie del cilindro; sea  $O$  el origen; sea  $M$  el punto medio entre  $P_1$  y  $P_2$ , y sea  $P$  el punto sobre la superficie del cilindro entre los puntos  $P_1$  y  $P_2$ .  $O$ ,  $M$ , y  $P_1$  definen un triángulo rectángulo, sea  $\phi$  el ángulo  $MOP_1$ , entonces:

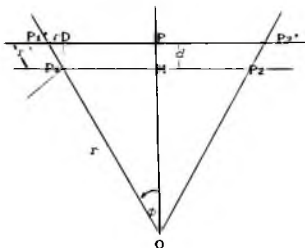
$$\cos\phi = \text{dist}(O, M) / r$$

Note que  $P$ ,  $M$  y  $O$  están alineados. Sea  $d$  la distancia entre  $P$  y  $M$ . Sean  $P_1'$  y  $P_2'$ , prolongaciones radiales de los vectores  $P_1$  y  $P_2$  respectivamente, de manera que definan una recta paralela, a la que definen  $P_1$  y  $P_2$ , separada de ésta por una distancia  $d$ .

Sea  $r'$  el incremento del radio teórico  $r$  para otra circunferencia, que pase por los puntos  $P_1'$  y  $P_2'$ , sea  $D$  la componente anclada en  $P_1'$ , del vector anclado  $P_1' \rightarrow P_1$  sobre la recta  $P_1'P_2'$ . Entonces el triángulo rectángulo  $P_1'DP_1'$  es semejante al triángulo  $OMP_1$ , por lo tanto:

$$r' = d / \cos(\phi)$$

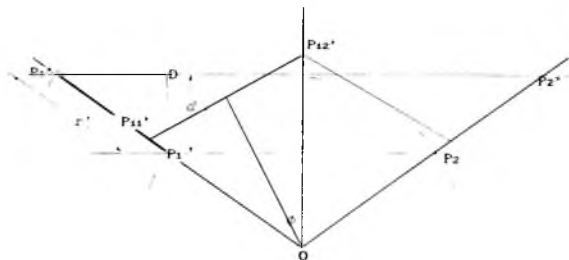
Entonces, si generamos los puntos sobre un cilindro con los mismos datos: base, orientación y, largo; pero con radio  $r+r'$  tenemos las posiciones precavidas.



Cálculo del diámetro para el cilindro de puntos precavidos

fig 7.2.4-1

En la distribución de los puntos a palpar, para calcular un cilindro externo, puede ser que dos puntos consecutivos estén separados en más de  $\pi/2$  radianes, lo que agranda a  $r'$ . Entonces si después de calcular  $r'$ , resulta grande, sería conveniente dividir el paso entre dos, para que el palpador alcance el siguiente punto, haciendo varios desplazamientos intermedios como lo muestra la figura 7.2.4-2.



Cálculo de Puntos Precavidos Intermedios

fig. 7.2.4-2

En este trabajo de tesis se considera grande, a aquel  $r'$  mayor que 25 mm., donde este último valor es arbitrario, pues podría ser calculado elegantemente de tal forma que resolviera la decisión de, que conviene más: hacer un solo desplazamiento aunque muy largo para alcanzar el siguiente punto, ó dividir el desplazamiento en secciones, para que el tiempo entre el palpado de dos puntos sobre el cilindro sea mínimo.

La trayectoria que sigue el palpador para medir externamente un cilindro esta compuesta por el recorrido de la secuencia de los siguientes puntos: posicionamiento precavido, palpado teórico, posicionamiento precavido, posicionamientos precavidos intermedios (si son necesarios), y siguiente posicionamiento precavido; y este recorrido para cada punto teórico.

Considere el plano  $X_c Y_c$  de la fig 7.2.4-2, los puntos  $P_1$  y  $P_2$  definen un segmento de recta, si el punto  $X$  pertenece al segmento, entonces, los vectores anclados  $P_1 \rightarrow P_2$  y  $P_1 \rightarrow X$  tienen la misma dirección o son paralelos, es decir que difieren por un escalar  $t$ , como se muestra a continuación:

$$t (P_2 - P_1) = (X - P_1)$$

lo que equivale a:

$$tP_2 - tP_1 + P_1 = X$$

es decir, que:

$$X = P_1 (1 - t) + tP_2$$

si  $t = 0$ , entonces  $X = P_1$ ; y si  $t = 1$ , entonces  $X = P_2$ , y lo más importante para el caso es que si  $t = 0.5$  entonces  $X = M$ :

$$M = 0.5 P_1 + 0.5 P_2$$

También, es necesario calcular  $dist(O, M)$ , que no es otra cosa más que  $\|M\|$ , para que  $\cos(\phi) = \|M\| / r$ . Para calcular  $d$  se tiene que calcular la distancia entre  $M$  y  $P$ , siendo  $d = dist(M, P)$  igual a la raíz cuadrada del producto escalar  $(P - M) \cdot (P - M)$ . Y así finalmente calcular  $r' = d / \cos(\phi)$ .

## 7.25 EL CASO DE CILINDROS INTERNOS.

El procedimiento de dibujar cilindros no distingue entre cilindros Internos o Externos.

Para recorrerlos internamente, se supone que el espacio encerrado en el cilindro esta libre de colisiones, así que se puede usar este espacio para que contenga la trayectoria que seguirá el palpador.

La región accesible por un palpador asociado a un vector descripción del palpador, se calcula de la misma manera que en los externos (ver sección 7.2.2), solo que se invierte el sentido a la descripción del palpador.

Los puntos teóricos se localizan en una hélice sobre la superficie del cilindro, como en el caso de los externos (ver la sección 7.2.3).

Para medir cilindros internos no es necesario calcular posiciones precavidas intermedias para evitar colisiones, pero, sí se tiene que colocar el palpador en una posición precavida antes de alcanzar cada punto teórico, para que dicho movimiento resulte radial, como en el caso de cilindros externos.

La trayectoria para medir internamente un cilindro esta compuesta por ciclos de la forma: posición precavida, palpado teórico, posición precavida y siguiente posición precavida. Las posiciones precavidas se colocan a lo largo del eje del cilindro, a la misma altura que el punto teórico correspondiente.

En el caso de círculos (medirlos como HOLE y BOSS, porque HELP cuenta con esta medición automática) y elipses pertenecientes a cualquier plano, para distribuir puntos sobre dichos elementos que pueden ser internos o externos, se puede proceder muy parecido al caso de cilindros, porque para definir éstos, se debe incluir en los datos el vector perpendicular al plano al que pertenecen, este vector perpendicular toma el lugar del vector orientación.

Además se tiene que introducir como dato, el punto en el espacio donde está localizado el centro, que es el punto base para el caso de cilindros. Así como el radio para los círculos, y como se trabaja paramétricamente en el caso de elipses se puede manipular facilmente el segundo radio.

Como los círculos y elipses pueden verse como la tapa base los cilindros, en este trabajo no se presenta la descripción para generar, distribuir palpados teóricos, y precavidos que marquen la trayectoria que sigue el palpador para medirlos.

■

## 7.3 ESFERAS

### 7.3.1 DIBUJANDO ESFERAS

Las esferas quedan determinadas mediante los siguientes parámetros:

- centro, un punto en el espacio de tres dimensiones, que define la posición del centro de la esfera.
- radio, un número mayor que cero.

Las esferas son elementos muy sencillos para dibujar, en especial si se usa la técnica de marcos de alambre, en el GPM las esferas se dibujan trazando segmentos de rectas, limitadas con puntos que están sobre meridianos y paralelos. Se dibuja esferas recorriendo solo dos meridianos y el ecuador.

Se generan puntos paramétricamente sobre una esfera, con centro en el punto origen del Sistema de Coordenadas del Mundo Real y el radio especificado por el usuario, y posteriormente se traslada cada punto para que la esfera tome la posición adecuada según el centro dado por el usuario.

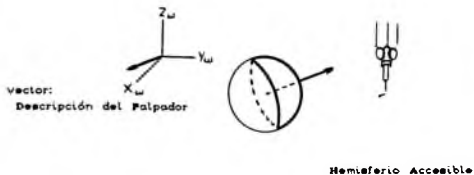
Para implementar el dibujo de esferas no se utiliza la matriz asociada a la traslación, sino que a cada punto se le suman las coordenadas del punto centro, porque así se ahorra espacio y tiempo.

### 7.3.2 REGION ACCESIBLE DE UNA ESFERA EXTERNA.

No todos los puntos de una esfera son accesibles para el palpador actualmente instalado. Eso depende de la descripción del palpador.

Por sencillez, vamos a considerar como región accesible solo un hemisferio por esfera, pero, se tiene infinidad de hemisferios para una esfera, y en este caso debemos elegir uno que no presente dificultad para recorrerlo.

El vector descripción del palpador está referenciado en el Sistema de Coordenadas del Mundo Real, y está apuntado al hemisferio accesible, ver la siguiente figura:



Hemisferio Accesible desde el palpador

fig 7.3.2-1

El hemisferio accesible, es aquel que tiene la misma orientación del vector descripción del palpador, pero, sentido opuesto.

Para tal efecto, se procede de la siguiente manera: se generan puntos del hemisferio positivo de una esfera con centro en el origen, de radio especificado por el usuario, y estos puntos se transforman, girándolos para que el hemisferio apunte en la dirección adecuada (y posteriormente se trasladan al centro teórico).

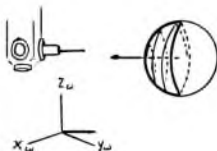
El problema se reduce al siguiente: *Dado el vector descripción del palpador anclado en el origen, se quiere que el eje Z del sistema apunte en la misma dirección del vector dado.*

En realidad, un problema parecido a éste, fue resuelto en la sección 7.2.1, para encontrar la transformación que genera cilindros orientados en una dirección arbitraria.

### 7.3.3 DISTRIBUCIÓN DE PUNTOS SOBRE ESFERAS.

Para determinar el espacio ocupado por una esfera basta con proporcionar 4 puntos, así que para medir esferas se pide como mínimo 4 y como máximo 20 puntos (por las limitaciones de HELP).

Estos puntos deben ser distribuidos sobre el hemisferio seleccionado previamente, como región accesible. La distribución de los puntos se hace sobre una espiral trazada en dicho hemisferio, con centro en el punto donde pasaría el eje imaginario determinado por el vector descripción del palpador.



Distribución de Puntos sobre una esfera.

fig 7.3.3-1

La generación de estos puntos, es muy sencilla, se mueve un punto sobre una circunferencia que va cambiando de radio (disminuyendo) en el plano XY, y para el efecto tridimensional, la coordenada Z recorre solo un cuarto de circunferencia.

#### 7.3.4 TRAYECTO LIBRE DE COLISIONES PARA MEDIR ESFERAS EXTERNAS.

Es posible, que en la distribución de los puntos teóricos, que se han de palpar para comparar la esfera recorrida con la esfera teórica, queden separados de tal forma que si el palpador se desplaza linealmente para moverse de un punto a otro, choque con la superficie curva de la esfera.

Entonces, se procede a construir un trayecto precavido, que consiste en localizar puntos radiales a los teóricos, sobre una esfera que posea el mismo centro, pero con radio mayor.

El trayecto, para medir una esfera externa esta compuesto por una secuencia de ciclos. Cada ciclo esta formado por el recorrido de los siguientes puntos: punto precavido, palpado teórico, punto precavido, puntos precavidos intermedios (si son necesarios) y siguiente punto precavido.

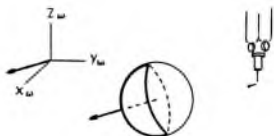
El radio de la esfera imaginaria sobre la cual estarán los puntos precavidos, se calcula de tal forma, que la trayectoria recta de un punto a otro libre la curvatura, pero que el incremento del radio teórico sea menor de 25 milímetros.

Para cumplir las dos condiciones anteriores, posiblemente se deba seccionar el trayecto desde un punto teórico hacia el siguiente teórico, dividiendo el primer trayecto en dos, y si esto no es suficiente estos subtrayectos se dividen nuevamente entre dos, y así sucesivamente hasta que se cumplan las condiciones.



### 7.3.5 TRAYECTORIA LIBRE DE COLISIONES PARA ESFERAS INTERNAS.

En el caso de esferas internas, el hemisferio accesible tiene la misma dirección que el vector descripción del palpador, y el mismo sentido.



Región accesible de una esfera interna.

fig 7.3.5-1

Se supone que el espacio encerrado en la esfera, que se va a medir esta libre de obstáculos. Así que el punto de posicionamiento para alcanzar radialmente cada punto teórico sobre la superficie interna de la esfera, es el centro.

La descripción de la implementación de la ayuda gráfica se muestra en los apéndices A y B. Los módulos de programación correspondientes son PERS.C y VISTA.C.

## CONCLUSIONES

El ISMAG permite una experimentación controlada. Un experimento de la simulación puede efectuarse varias veces, cambiando los parámetros para probar el comportamiento bajo diferentes situaciones.

Comprime el tiempo. La programación de la MMC puede llevar horas para lograr un programa libre de errores, lo que en la simulación se logra en minutos.

No interrumpe el sistema Real, la prueba de la medición se realiza fuera de línea.

Esta simulación gráfica, puede ser explotada para el entrenamiento y, capacitación del personal que opera la MMC, sin interrumpir el aprovechamiento de esta, utilizando equipo auxiliar, de costo mucho menor y, sin riesgo.

El sistema permite observar la manera en la cual se desarrolla la medición, desde diferentes puntos de vista y realiza acercamientos, los cuales en condiciones normales de operación, en la MMC son posibles, pero no resultan sencillos.

Las técnicas de graficado, dadas en la bibliografía y adecuadas a la aplicación en particular, son satisfactorios y, son una primera versión para próximos trabajos.

El sistema esta en condición de generar código, esto se refleja en la visualización gráfica.

La selección automática que realiza ISMAG para determinar la región accesible de elementos a medir, que depende de la descripción del palpador, es de gran ayuda, pues al usuario le evita el cálculo manual.

El usuario no se preocupa de distribuir puntos teóricos y precavidos para marcar la trayectoria en una medición.

La distribución de puntos intermedios para alcanzar el siguiente punto teórico, produce recorridos seguros y libres de colisiones.

La vista generada con perspectiva y 'marcos de alambre' no es tan real, como si se hiciera la representación ocultando líneas y, caras que no se deben ver, pero, para el efecto de ver como es la trayectoria que sigue el palpador, es suficiente y, de respuesta rápida.

El tiempo de respuesta del sistema es muy bueno, si se instala en una computadora AT equipada con coprocesador aritmético.

El cálculo de los elementos tales como esferas, cilindros y, elipses; para dibujarlos y, para recorrerlos, es un factor que retarda la respuesta del sistema, porque en el archivo de pseudo código no se almacenan los puntos en la superficie de tales elementos, sino solamente los valores que parametrizan a cada elemento.

El color en la ayuda gráfica es importante, pues un exceso de líneas monocromáticas puede confundir al espectador.

Este generador de programas, puede proporcionar como salida otro lenguaje, sólo hay que cambiar el archivo de patrones y el contenido de la tabla de acciones semánticas.

No debe verse el Intérprete de comandos, como simples menús, porque es la implementación de una análisis predictivo de la sintaxis de una gramática.

## PERSPECTIVAS:

Otro trabajo sería hacer el editor de cuerpos de una manera más directa, que incluya los efectos de líneas y caras ocultas, así como los de sombreados por la aparición controlada de una fuente luminosa.

## BIBLIOGRAFIA:

### ['M' and 'P']

M and P Line Systems HELP/PPL  
Part Programing Manual M30140141  
DEA - Moncalieri, Oct 1980, DRS/USD

### [Operator Manual]

Operator Manual Revision 2 M20140130  
DEA - Moncalieri, Jun 1980, DRS/USD

### [Guide to HELP]

Guide to the HELP Languaje M60140011  
DEA - Moncalieri, March 1980

### [Adkins]

COMPUTER SIMULATION: A TUTORIAL  
Adkins Gerald, and Pooch Udo W.  
Computer 10, no 4 (April 1977): 12 - 17

### [Aho]

PRINCIPLES OF COMPILER DESIGN  
Alfred V. Aho and Jeffrey D. Ullman  
Addison Wesley

### [Holman]

METODOS EXPERIMENTALES PARA INGENIEROS  
J. P. Holman (Profesor de Ingeniería Mecánica  
Southern Methodist University)  
Mc Graw Hill

### [Lewis]

COMPUTER PRINCIPLES OF MODELING AND SIMULATION  
T. G. Lewis Oregon State University  
B. J. Smith IBM Corporation.  
Houghton Mifflin Co.

### [Mikell P]

CAD/CAM COMPUTER-AIDED DESING AND MANUFACTURING  
Mikell P. Groover and Emory W. Zimmers, Jr  
Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey 1984

### [Rogers S]

NC COMPUTER AIDED MANUFACTURING  
Rogers s. Pressman and John E. William  
John Wiley and Sons, Inc. 1977

### [Shannon]

SIMULATION: A SURVEY WITH RESEARCH SUGGESTION  
Shannon Robert E.  
AIIE Transactions 7, no 3 (Sep 1975): 289 - 301

[Sproull]

PRINCIPLES OF INTERACTIVE COMPUTER GRAPHICS

William Newman and Robert F. Sproull

International Student Edition

[Youden]

EXPERIMENTATION AND MEASUREMENT

W. J. Youden

Statistical Consultant (1948-1965)

National Bureau of Standards

Washington, DC 20234

MANUAL DE USUARIO

Asegúrese de que en el directorio actual estén los siguientes archivos:

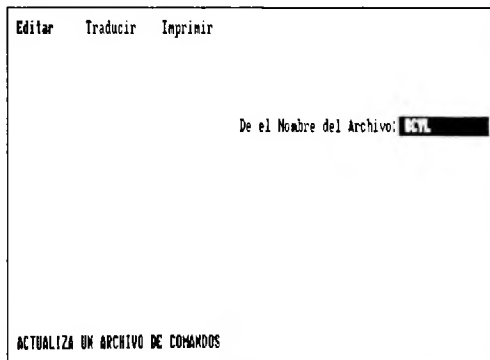
GPM.EXE  
CGA.BGI  
EGAVGA.BGI

Supongamos que se desea medir un cilindro por su parte exterior, con una herramienta o palpador orientado hacia el sentido negativo del eje X.

Ordene al Sistema Operativo ejecutar al GPM, como se muestra en la siguiente línea:

A>GPM [ENTER]

Introduzca el nombre del archivo, para esta nueva sesión de trabajo, BCYL por ejemplo, en el espacio que GPM tiene destinado, como se muestra en la figura que sigue:



Después de oprimir la tecla [ENTER] al dar el nombre del archivo, aparece un menu con dos secciones, posicione mediante las flechas el cursor en la opción **Palpador\_Nuevo**, para definir la herramienta de medición y, oprima [ENTER], como se muestra a continuación:

Editar	Traducir	Imprimir
Mediciones Cálculos Tolerancias Inicializar Retiene_en_A Libera_de_Au		
Avisos_al_Ope Graficar <b>Palpador_Nue</b> Nueva_Pos Estado_Gral		
ORDEN PARA INSTALAR UNA NUEVA HERRAMIENTA DE MEDICION		

El GPM muestra una ventana de recepción para el identificador y la descripción del palpador, introduzca los datos.

Editar	Traducir	Imprimir														
Mediciones Cálculos Tolerancias Inicializar Retiene_en_A Libera_de_Au																
<table border="1"> <tr> <td>V.Theoricos:</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Identificador:</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Coordenada X :</td> <td>-125.000000</td> </tr> <tr> <td>Coordenada Y :</td> <td>0.000000</td> </tr> <tr> <td>Coordenada Z :</td> <td>0.000000</td> </tr> <tr> <td>Radio Punta :</td> <td>0.078101</td> </tr> <tr> <td>F1 W_Result.</td> <td>F2 Retenido</td> </tr> </table>			V.Theoricos:		Identificador:		Coordenada X :	-125.000000	Coordenada Y :	0.000000	Coordenada Z :	0.000000	Radio Punta :	0.078101	F1 W_Result.	F2 Retenido
V.Theoricos:																
Identificador:																
Coordenada X :	-125.000000															
Coordenada Y :	0.000000															
Coordenada Z :	0.000000															
Radio Punta :	0.078101															
F1 W_Result.	F2 Retenido															
Avisos_al_Ope Graficar <b>Palpador_Nue</b> Nueva_Pos Estado_Gral																
DESPLAZAMIENTO EN Y, DE LA PUNTA DEL PALPADOR																

Haga uso de las flechas para corregir el dígito de la entrada que desee, pero si todo esta bien oprima la tecla de función [F10] para grabar esta orden en el archivo de trabajo.





Editar	Traducir	Imprimir
<b>Mediciones</b>	Cálculos	Tolerancias Inicializar Retiene_en_A Libera_de_Au
Avisos_al_Ope Graficar Palpador_Nue Nueva_Pos Estado_Gral		
<b>HUECOS, CILINDROS, ESFERAS, ELIPSES, . . .</b>		

Ya descrita la herramienta de medición y su posición actual, se puede medir el cilindro externo, para tal efecto seleccione Mediciones, manipulando las flechas y [ENTER] o, simplemente por oprimir la tecla [M].

El sistema responde presentando la lista de posibles mediciones, oprima flecha hacia arriba si esta en 'Cara', y el cursor se coloca sobre 'Cilindro Exter.', luego oprima [ENTER].

Editar	Traducir	Imprimir									
<b>Mediciones</b>	Cálculos	Tolerancias Inicializar Retiene_en_A Libera_de_Au									
<table border="1"> <tr><td>Cara</td></tr> <tr><td>Hueco</td></tr> <tr><td>Tambor</td></tr> <tr><td>Elipse Interna</td></tr> <tr><td>Elipse Externa</td></tr> <tr><td>Esfera Interna</td></tr> <tr><td>Esfera Externa</td></tr> <tr><td>Cilindro Inter.</td></tr> <tr><td><b>Cilindro Exter.</b></td></tr> </table>			Cara	Hueco	Tambor	Elipse Interna	Elipse Externa	Esfera Interna	Esfera Externa	Cilindro Inter.	<b>Cilindro Exter.</b>
Cara											
Hueco											
Tambor											
Elipse Interna											
Elipse Externa											
Esfera Interna											
Esfera Externa											
Cilindro Inter.											
<b>Cilindro Exter.</b>											
Avisos_al_Ope Graficar Palpador_Nue Nueva_Pos Estado_Gral											
<b>PROPORCIONANDO DE 6 A 20 PUNTOS</b>											

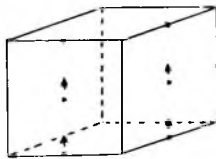
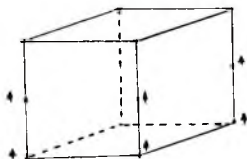
Proporcione al sistema los datos que parametrizan un cilindro, en el renglón inferior se hace una breve descripción del ítem para ayudarlo.

Editar    Traducir    Imprimir	
Mediciones    Cálculos    Tolerancias    Inicializar    Retiene_en_A    Libera_de_Au	
V. Teóricos:	
Cara	Num de Puntos: 10
Hueco	Coordenada X : 250.000000
Tanbor	Coordenada Y : 300.000000
Elipse Interna	Coordenada Z : 50.000000
Elipse Externa	Long Seccion : 100.000000
Esfera Interna	Diametro : 100.000000
Esfera Externa	Coordenada X : 0.000000
Cilindro Inter.	Coordenada Y : 100.000000
Cilindro Exter.	Coordenada Z : 0.000000
F1 0_Result. — F2 Retenido	
Avisos_al_Ope    Graficar    Palpador_Nue    Nueva_Pos    Estado_Gral	
<b>DEL VECTOR ORIENTACION DEL CILINDRO</b>	

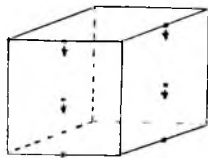
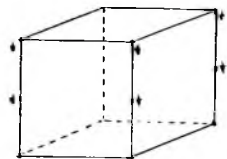
Si los datos son correctos, oprima [F10], con [ESC] indique su deseo de no hacer más mediciones y oprima [G], para ver la simulación de medición:

Editar    Traducir    Imprimir	
Mediciones    Cálculos    Tolerancias    Inicializar    Retiene_en_A    Libera_de_Au	
Avisos_al_Ope <b>Gráfico</b> Palpador_Nue    Nueva_Pos    Estado_Gral	
<b>MUESTRA UN DIBUJO REPRESENTATIVO DE LA ULTIMA ACCION</b>	

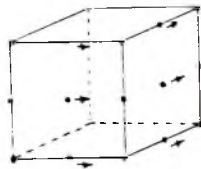
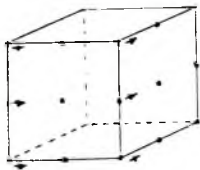
Estando en el modo Gráfico, inicialmente el sistema coloca el Punto de Vista en el frente de la máquina de medición, en la esquina superior derecha. Si usted quiere cambiar el punto de vista, use las flechas teniendo las posiciones que se muestran a continuación:



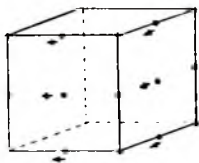
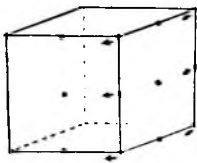
[ARRIBA]



[ABAJO]

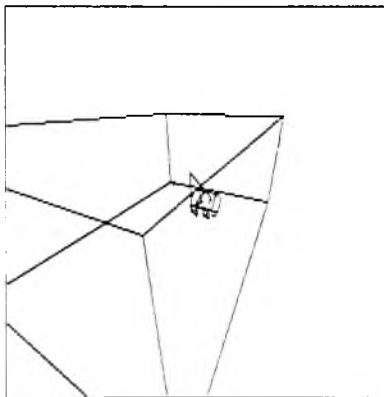


[DERECHA]

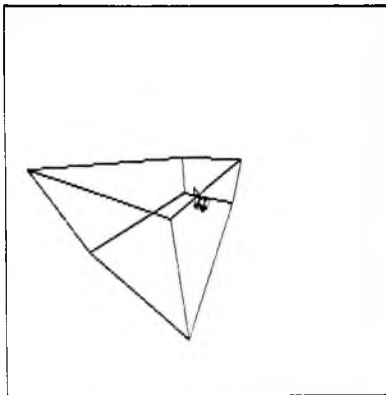


(IZQUIERDA)

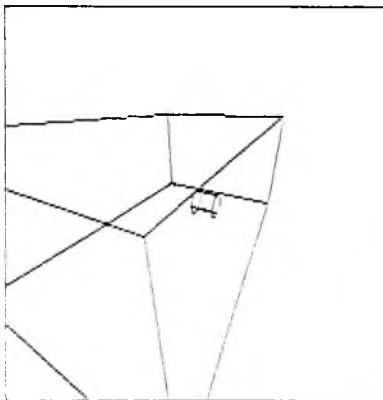
La primera imagen que el GPM muestra es la siguiente, si oprime varias veces [ENTER] se efectua el recorrido del cilindro para medirlo.



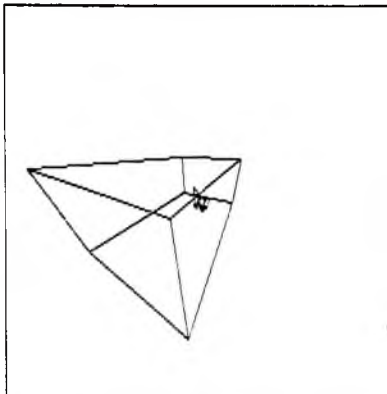
Si desea obtener acercamientos oprima [HOME], pero si lo que desea es alejarse, oprima [END]. La siguiente figura muestra un alejamiento. Oprima varias veces [ENTER] para ver el recorrido paso a paso.



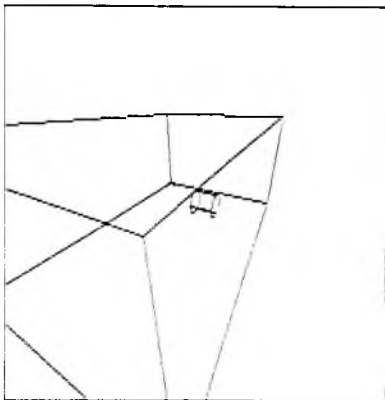
Si quiere tener la siguiente vista ordene 2 acercamientos, con la secuencia de teclas [HOME].



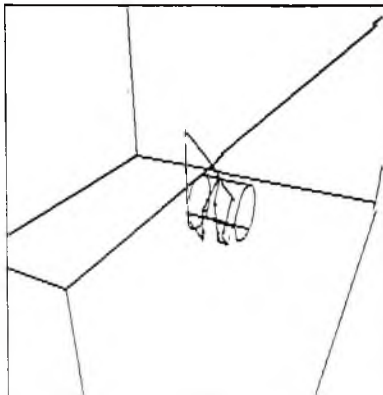
Si desea obtener acercamientos oprima [HOME], pero si lo que desea es alejarse, oprima [END]. La siguiente figura muestra un alejamiento. Oprima varias veces [ENTER] para ver el recorrido paso a paso.



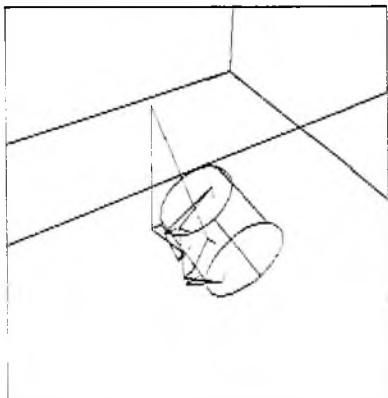
Si quiere tener la siguiente vista ordene 2 acercamientos, con la secuencia de teclas [HOME].



Si quiere mayor cercanía oprima nuevamente [HOME].

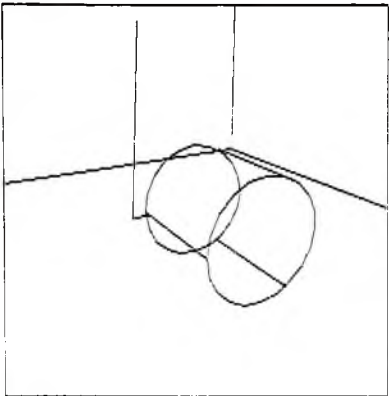


Para lograr la siguiente vista, después de completar el recorrido oprima flecha [DERECHA].

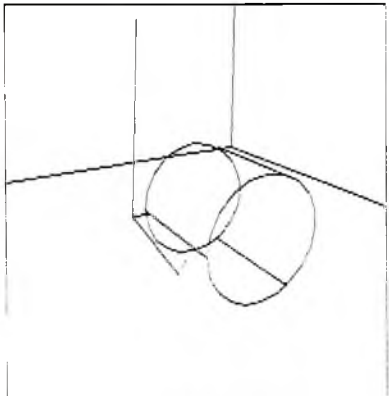


Si desea las siguientes vistas, oprima flecha [ABAJO]. Como documento aquí se presenta el paso por paso de una medición completa, con 10 puntos.

Primer punto:

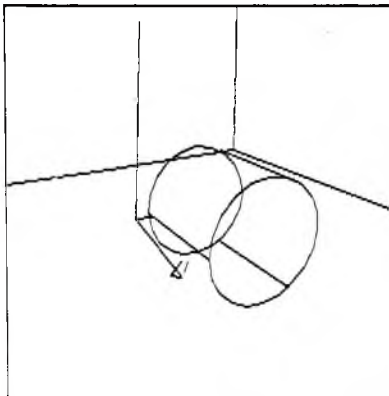


Segundo punto:

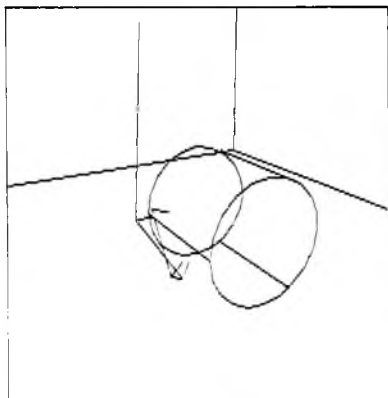




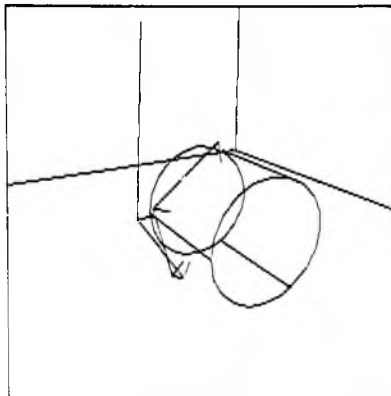
Tercer punto:



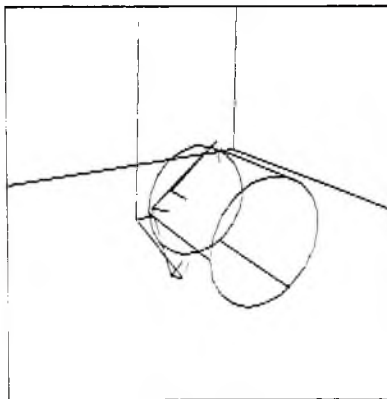
Cuarto punto:



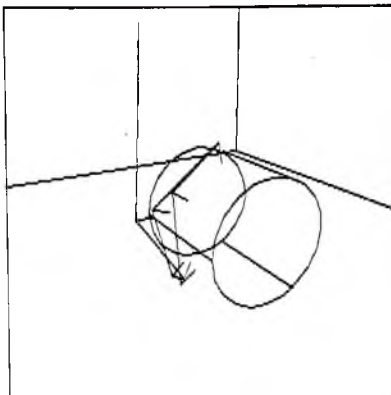
Quinto punto:



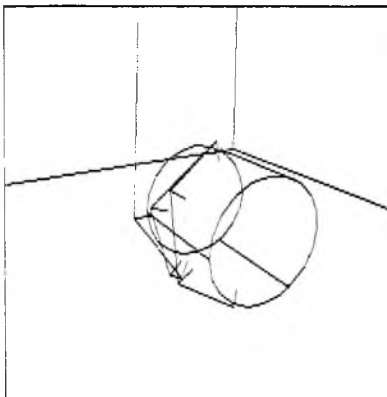
Sexto punto:



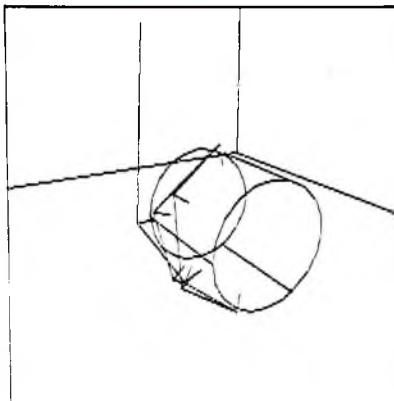
Septimo punto:



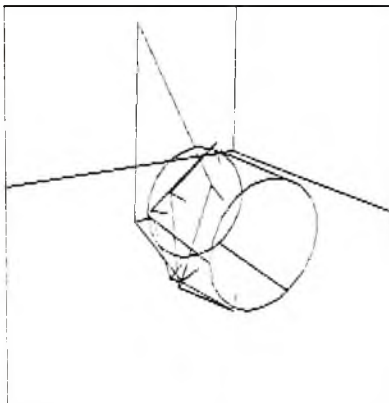
Octavo punto:



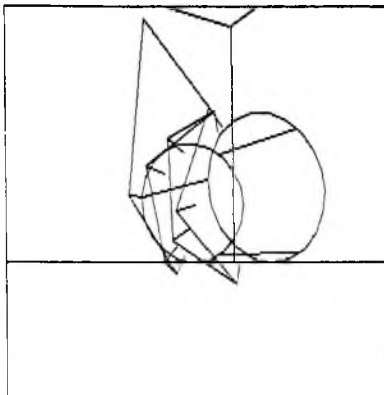
Noveno punto:



Décimo y último punto del recorrido, note el regreso al punto inicial.



Por último si desea la siguiente vista, de la posición anterior oprima flecha [ABAJO].



Para salir de este modo gráfico oprima [ESC], use también [ESC] ó [F10] para salir de los menús, y llamar al Sistema Operativo.

Un resumen de los comandos se muestra a continuación:

- [F10] Dentro de captura de parametros graba el comando actual al archivo trabajo.  
En menús, funciona igual que [ESC].
- [ARRIBA] Dentro de captura de parámetros elige el item de arriba.  
Dentro de Menú posiciona el cursor en la opción de arriba.  
En modo gráfico selecciona un punto de vista más elevado que el actual.
- [ABAJO] En la captura de datos elige el item de abajo.  
Dentro de Menú, posiciona el cursor en la opción inferior.  
En el modo gráfico selecciona el punto de vista con menos elevación que el actual.

- [DERECHA] En la captura de datos elige el caracter siguiente.  
En Menú, posiciona el cursor en la opción siguiente derecha.  
En modo gráfico, coloca el punto de vista a la misma altura, pero desplazado hacia la derecha.
- [IZQUIERDA] En la captura de datos elige el caracter predecesor al actual.  
En Menú coloca el cursor en la opción previa a la actual.  
En el modo gráfico, coloca el punto de vista con la misma altura pero desplazado hacia la izquierda, siguiendo el contorno de la mesa de la máquina de medición.
- [ESC] En la captura de datos aborta el comando.  
Dentro de Menú, provoca la salida a un nivel anterior, puede llamar al Sistema Operativo.  
Provoca la salida del modo gráfico.
- [INICIAL] Del primer Menú, pasa el contro a la opción invocada.
- [ENTER] En el primer menú pasa el control a la opción indicada por el cursor.  
En la captura, corta la entrada donde esta el cursor, sin incluir el dígito actual.  
Como cualquier otra tecla ocasiona la medición, punto a punto.

A continuación se muestra un segundo ejemplo del modo de operación. Suponga que se desea medir dos esferas por su parte exterior y, que se quiere calcular el punto medio entre los centros de éstas. Suponga además que el orden en que se dieron los comandos fué el siguiente:

Palpador Nuevo (0, 0, -125)  
Nueva Posición (300, 300, 400)  
Esfera Externa (4, 400, 300, 60, 100)  
Esfera Externa (5, 200, 100, 60, 80)  
Retiene en Auxiliar la primer esfera.  
Calcula el punto medio entre el último elemento generado y la primer esfera retenida.

El programa de parte que se genera, es el siguiente:

```
Para definir el palpador
TDEF      1 ;
TLENX    0.000000 ;
TLENY    0.000000 ;
TLENZ    -125.000000 ;
TRAD     0.000000 ;

Para definir el primer posicionamiento
$XP: = 300.000000 ;
$YP: = 300.000000 ;
$ZP: = 400.000000 ;
MPOS;

Para medir la primer Esfera Externa (4, 400, 300, 60, 100)
$PTN: =      4 ;                               Definición del Número de Ptos.
$XP: = 400.000000 ;
$YP: = 367.803399 ;
$ZP: = 60.000000 ;
MPOS;                                           Primer punto precavido.
$DIRX: = 0.000000 ;
$DIRY: = -17.803399 ;
$DIRZ: = 0.000000 ;                               Dirección de Palpado.
$XT: = 400.000000 ;
$YT: = 350.000000 ;
$ZT: = 60.000000 ;
PICK;                                           Primer punto Teórico.
MPOS;                                           Retorno al primer Pto precavido
$XP: = 466.500576 ;
$YP: = 300.000000 ;
$ZP: = 73.227787 ;
MPOS;                                           posicionamiento intermedio
$XP: = 400.000000 ;
$YP: = 237.357828 ;
$ZP: = 85.947237 ;
MPOS;                                           Segundo punto precavido.
$DIRX: = 0.000000 ;
$DIRY: = 16.448196 ;
$DIRZ: = -6.813066 ;                               Dirección para el segundo Pto.
$XT: = 400.000000 ;
$YT: = 253.806023 ;
$ZT: = 79.134172 ;
PICK;                                           Paldado del segundo punto.
```

MPOS;	Retorno al Zo Pto. precavido.
\$XP: = 343.623534 ;	
\$YP: = 300.000000 ;	
\$ZP: = 97.669550 ;	
MPOS;	posicionamiento intermedio
\$XP: = 400.000000 ;	
\$YP: = 347.944243 ;	
\$ZP: = 107.944243 ;	
MPOS;	tercer punto precavido.
\$DIRX: = 0.000000 ;	
\$DIRY: = -12.588904 ;	
\$DIRZ: = -12.588904 ;	Dirección para el Ser. punto.
\$XT: = 400.000000 ;	
\$YT: = 335.355339 ;	
\$ZT: = 95.355339 ;	
PICK;	Palpado del tercer punto
MPOS;	Retorno al posicionamiento precavido.
\$XP: = 437.669550 ;	
\$YP: = 300.000000 ;	
\$ZP: = 116.376466 ;	
MPOS;	posicionamiento intermedio
\$XP: = 400.000000 ;	
\$YP: = 274.052763 ;	
\$ZP: = 122.642172 ;	
MPOS;	posicionamiento precavido.
\$DIRX: = 0.000000 ;	
\$DIRY: = 6.813066 ;	
\$DIRZ: = -16.448196 ;	Dirección de Desplazamiento
\$XT: = 400.000000 ;	
\$YT: = 280.865828 ;	
\$ZT: = 106.193977 ;	Cuarto punto teórico
PICK;	palpado del 4o y último punto
MPOS;	recupera posición precavida.
\$XP: = 300.000000 ;	
\$YP: = 300.000000 ;	
\$ZP: = 400.000000 ;	
MPOS;	Recupera posición inicial
ESPHER;	Efectua el cálculo de la esfera.

Define el arreglo AUXiliar.

```

STATIC BLOCK;
DEFINE AUXI(10,15);
ENDBLOCK;

```

Retiene la primer esfera en AUXiliar.

```

FOR I:=1 TO 10 DO
AUXI(I, 1)=$MEMOXI,1);
REP;

```

Efectua la medición de la segunda esfera, con cinco puntas.

```

$PTN: = 5 ;
$XP: = 200.000000 ;
$YP: = 152.188022 ;
$ZP: = 60.000000 ;
MPOS;

```

Primer punto precavido.



\$DIRX: = 0.000000 ;  
\$DIRY: = -12.188022 ;  
\$DIRZ: = 0.000000 ;  
\$XT: = 200.000000 ;  
\$YT: = 140.000000 ;  
\$ZT: = 80.000000 ;  
PICK;  
MPOS;  
\$XP: = 249.022684 ;  
\$YP: = 115.928436 ;  
\$ZP: = 68.164005 ;  
MPOS;  
\$XP: = 229.173991 ;  
\$YP: = 59.845446 ;  
\$ZP: = 76.126986 ;  
MPOS;  
\$DIRX: = -6.813311 ;  
\$DIRY: = 9.377718 ;  
\$DIRZ: = -3.766306 ;  
\$XT: = 222.360680 ;  
\$YT: = 69.223165 ;  
\$ZT: = 72.360680 ;  
PICK;

Dirección de movimiento.

Palpado del primer teórico.

Punto intermedio.

segundo punto teórico

MPOS;  
\$XP: = 172.668064 ;  
\$YP: = 62.380817 ;  
\$ZP: = 83.692866 ;  
MPOS;  
\$XP: = 159.845446 ;  
\$YP: = 113.047005 ;  
\$ZP: = 90.675349 ;  
MPOS;  
\$DIRX: = 9.377718 ;  
\$DIRY: = -3.047005 ;  
\$DIRZ: = -7.153939 ;  
\$XT: = 169.223165 ;  
\$YT: = 110.000000 ;  
\$ZT: = 83.511410 ;  
PICK;

tercer punto teórico

MPOS;  
\$XP: = 200.000000 ;  
\$YP: = 136.902504 ;  
\$ZP: = 96.902504 ;  
MPOS;  
\$XP: = 229.173991 ;  
\$YP: = 109.479204 ;  
\$ZP: = 102.220996 ;  
MPOS;  
\$DIRX: = -6.813311 ;  
\$DIRY: = -2.213779 ;  
\$DIRZ: = -9.860317 ;  
\$XT: = 222.360680 ;  
\$YT: = 107.265425 ;  
\$ZT: = 92.360680 ;  
PICK;

cuarto punto teórico

```
MPOS;
$XP: = 213.926317 ;
$YP: = 80.832069 ;
$ZP: = 106.499888 ;
MPOS;
$XP: = 190.520796 ;
$YP: = 86.952995 ;
$ZP: = 109.633758 ;
MPOS;
$DIRX: = 2.213779 ;
$DIRY: = 3.047005 ;
$DIRZ: = -11.591497 ;
$XT: = 192.734575 ;
$YT: = 90.000000 ;
$ZT: = 98.042261 ;
PICK;
```

Quinto punto teórico

```
MPOS;
$XP: = 300.000000 ;
$YP: = 300.000000 ;
$ZP: = 400.000000 ;
MPOS;
ESPHER;
```

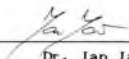
Retorne a la posición inicial.  
Cálculo de la Esfera Externa

Transfiere el último resultado, que está almacenado en el primer registro de \$MEMO a la segunda posición.  
EL 1 EL 2 MEMO;

Transfiere el resultado retenido en AUXILIAR a \$MEMO.  
FOR I: = 1 TO 10 DO  
\$MEMOXI, 3 ) = AUXICI, 1 ) ;  
REP;

Calcula el punto medio.  
EL 2 EL 3 MIDDLE;

El jurado designado por la sección de Computación del Departamento de Ingeniería Eléctrica del Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, aprobó esta tesis el 13 de Diciembre de 1989.



Dr. Jan Janecek



M.C. Feliú Sagols T.



M.C. Walter Louis



