

2.4 Estructuración

La estructura, consta de tres componentes fundamentales o macroelementos: el tubo, la armadura de soporte, y la fundación (Figs. #6 y #7). El tubo, puede girar altitudinalmente, y la armadura de soporte azimutalmente. Esto da lugar, a un montaje conocido como altitud-azimut. A diferencia del montaje ecuatorial (comunmente utilizado en los grandes telescopios ópticos), el montaje altitud-azimut reduce una serie de problemas mecánicos, y permite una geometría estructural simétrica, y relativamente simple. Medwadowski, estuvo a cargo del diseño estructural (Ref.3).

2.4.1 Tubo

El tubo, está a su vez formado por un conjunto de sub-estructuras: el módulo superior de instrumentos, la "araña", la estructura superior, el anillo central, la estructura inferior y por último, la malla espacial, que sirve de apoyo al espejo principal (Figs.#6 y #7).

Módulo superior de instrumentos: de forma hexagonal, sirve para introducir y conectar instrumentos y espejos.

Araña: consiste en 12 elementos de platina. Están dispuestos en forma de estrella, y soportan el módulo de instrumentos. Este arreglo, coincide con el arreglo de los segmentos del espejo principal. Se minimiza así, el área de interferencia con la luz incidente. Los elementos se preesfuerzan para lograr dos objetivos: 1-) que las platinas siempre estén en tensión, y 2-) que el módulo de instrumentos tenga suficiente rigidez torsional. Se cuenta también, con un anillo hexagonal superior, que actúa fundamentalmente en compresión, y funciona como elemento rigidizador y equilibrante de las fuerzas de preesfuerzo.

Estructura superior: sirve de enlace entre el anillo central y la araña. Es una armadura tridimensional, con elementos dispuestos en forma de tridente. Constituye un elemento clave en la respuesta óptica de la estructura.

Anillo central: se caracteriza por tener una sección transversal en forma de cajón rectangular, y una proyección hexagonal en planta. Está formado por placas de acero y rigidizadores. Recibe los elementos de la estructura superior e inferior, y se encarga de transmitir las fuerzas hasta los puntos de apoyo con la armadura soportante. El ancho es de 75 cm, y el peralte varía de 200 cm a 400 cm en las regiones de apoyo (Refs.3 y 4). La variación de la sección transversal se hace necesaria, para dar cabida al orificio por donde pasan

los rayos hacia el foco Nasmyth. Se requiere que el anillo tenga gran rigidez tanto a flexión, como a torsión, y de allí su diseño.

Estructura inferior: al igual que la estructura superior, es un elemento de enlace. Conecta la armadura espacial de soporte de espejo con el anillo central.

Malla espacial: es una armadura tridimensional, formada por elementos de tubo estructural de acero (Fig. #8). Consta de cinco agrupaciones de elementos :

a-) Una rejilla superior curva, cuya geometría se forma a partir de 36 triángulos isósceles. Existe un triángulo bajo cada segmento de espejo (Fig.#5). La sub-estructura de precisión , que contiene los soportes activo y pasivo, se conecta a los vértices de estos triángulos.

b-) Una rejilla intermedia, formada por hexágonos. Es de superficie plana, para que pueda servir como plataforma de servicio (tanto para los segmentos, como para los componentes electrónicos y mecánicos del sistema activo).

c-) Una rejilla inferior curva, que provee a la malla de un peralte máximo, de aproximadamente 3.8 m en el centro (Ref.4).

d-) Un conjunto de diagonales superiores que une las rejillas intermedia y superior.

e-) Un conjunto de diagonales inferiores que une las rejillas inferior e intermedia

La malla espacial, también consta de una torre centrada en el eje óptico. Esta torre permite la conexión de espejos e instrumentos.

2.4.2 Armadura de soporte

La armadura de soporte, además de cargar con el peso del tubo, debe; 1-) permitir la instalación de equipo en la plataforma Nasmyth. 2-) Facilitar un camino óptico sin obstrucciones para el esquema Coudé. 3-) Proveer de gran rigidez y estabilidad al telescopio. Esta armadura, descansa sobre cuatro apoyos hidrostáticos, y puede girar en forma azimutal mediante un mecanismo guía anclado a la fundación.

2.4.3 Fundación

Las dimensiones exactas de la fundación, no se proyectarían sino hasta la etapa final de diseño, y no son del conocimiento del autor. Sin embargo la idea fundamental es la de construir una losa superficial de concreto armado, de aproximadamente 9 m de radio y 1.5 m de espesor (Ref.4). Tendrá una cavidad central para permitir las observaciones en el foco Coudé.

Esta gran masa de concreto, sirve de estabilizador, y con su inercia, contrarresta los efectos de las aceleraciones producidas durante los movimientos del telescopio.

3. CRITERIOS DE DISEÑO

Los criterios de diseño, fueron desarrollados por el comité científico del proyecto. Este comité, está formado por ingenieros, físicos, astrónomos y otros especialistas. Durante el avance del proyecto, algunos criterios han sufrido redefiniciones. Los cambios, son consecuencia de los resultados obtenidos en diferentes trabajos, a lo largo de diez años de investigación.

3.1 Criterios ópticos

El telescopio, debe recavar la mejor, y la mayor cantidad de información posible durante los períodos de observación. Consecuentemente, su estructura debe ser altamente confiable en situaciones de servicio.

Aquellas solicitaciones que estén presentes continuamente muy frecuentemente durante el tiempo de observación, requieren de especial atención. Las fuerzas de gravedad, viento y cambios de temperatura, son potencialmente las más perjudiciales.

Dentro de las posibles "fallas" ópticas, se encuentran: el desalineamiento neto, la inclinación neta, el desenfoque, y los movimientos de imagen. Todas, de una u otra manera, son el producto de desplazamientos y rotaciones relativas, o absolutas, de los componentes estructurales. Resulta claro entonces, que una de las características primordiales de la estructura, debe ser la rigidez.

Desalineamiento e Inclinación neta. El desalineamiento neto del espejo secundario, es el desplazamiento relativo entre el vértice del espejo secundario, y el eje óptico, después de ocurridas las deformaciones en la estructura. El máximo permisible es de 0.1 mm (Ref.4). A su vez, la

inclinación neta del espejo secundario, se define como la rotación que se produce entre el eje óptico y el espejo secundario, después de ocurridas las deformaciones. La máxima inclinación neta permisible, se establece en 20 arcosegundos (Ref.4), (Fig. #9). Estos errores, dependen fundamentalmente de las estructuras superior e inferior. Las propiedades geométricas y físicas de estas estructuras, deben "calibrarse".

Desenfoque. Es la componente paralela al eje óptico, del desplazamiento relativo entre el vértice del espejo principal, y el punto de interés. Este punto, puede ser el foco principal, o el vértice del espejo secundario. El desenfoque, no debe exceder de: 1-) 0.2 mm en foco principal, bajo cargas gravitacionales. 2-) 0.05 mm en espejo secundario, bajo una carga de viento de 50 kgf paralela al eje óptico (Ref.3). Esta última fuerza, resulta de un viento con velocidades de 14 m/seg, y de un factor de reducción de velocidad de 2 (debido a la presencia del domo). En el sitio de Mauna Kea, la velocidad del viento es menor o igual a 14 m/seg, un 95% del tiempo (Ref.4).

Movimiento de Imagen. El movimiento de imagen de un cuerpo que está siendo captado por el telescopio, puede dar al traste con el propósito de la observación. Es una de las "fallas" ópticas de mayor relevancia. Generalmente se expresa en términos angulares. El criterio, es el de limitar el movimiento de imagen a 0.25 arcosegundos, bajo la acción de una carga de viento de 50 kgf en la parte superior del telescopio. Es claro que en este caso, tanto el tubo, como la armadura de soporte y la fundación, contribuyen con sus respectivas rigideces, a minimizar este movimiento.

3.2 Otros Criterios

Frecuencias de vibración. Las frecuencias de vibración de la estructura, son parámetros importantes de diseño. Para lograr eficiencia en el manejo del mecanismo activo, y maximizar su ancho de banda, es necesario limitar el acoplamiento dinámico entre el mecanismo, y la estructura soportante. Resulta ventajoso contar con una estructura, y en particular con una armadura de soporte de espejo, que posea la más alta frecuencia natural posible. Se espera, que para la malla espacial, este valor alcance los 20 HZ (Ref.3 y 4).

El viento como factor dinámico, puede producir vibraciones resonantes. Este es un fenómeno que debe controlarse. De acuerdo a la experiencia obtenida en otros telescopios, se ha estimado conveniente lograr una frecuencia natural de por lo menos 5 Hz para la estructura completa (Ref.3 y 4).

Desplazamiento y Rotación de Segmentos. Al existir un sistema activo de control, se pensó en la posibilidad de disminuir los requisitos de rigidez en la estructura pasiva de soporte. Pero, el ahorro resultaba pequeño, y en cambio, la utilización de una estructura más flexible, complicaba el funcionamiento del sistema activo. Se decidió proseguir con la línea "conservadora". Los desplazamientos de los segmentos por efecto de la gravedad, se limitaron a 1 mm . Sus rotaciones a 0.0003 radianes (Ref.4). Esto debe cumplirse para cualquier posición de observación: desde el cenit, hasta el horizonte. La limitación en los desplazamientos y rotaciones, permite reducir el rango de movimiento de los gatos mecánicos.

Movilidad y Versatilidad. El telescopio, debe poder apuntar hacia cualquier blanco en el cielo, y debe ser capaz de moverse de un punto a otro en menos de 2 minutos. El cambio de instrumentos y de esquema focal, no debe sobrepasar los 20 minutos de duración.

Diseño Balanceado. La estructura debe proyectarse, para que el centro de gravedad del tubo, esté localizado sobre el eje de rotación de altitud. Este tipo de diseño, limita la demanda en los sistemas mecánicos, y evita el uso de grandes masas de contrapeso.

Aspectos Térmicos. Los fenómenos térmicos, pueden incidir negativamente en el comportamiento del telescopio. En general, se busca minimizar el gradiente de temperatura entre el aire exterior, el aire dentro del domo, la estructura, y los espejos e instrumentos.

Sismo. El observatorio se edificará en una región sísmicamente activa, la isla de Hawaii. Desde el punto de vista operacional, el telescopio no deberá realizar observaciones durante movimientos sísmicos. Por lo tanto en la eventualidad de un movimiento del terreno, no será necesario que cumpla con los criterios de servicio. Sin embargo la estructura debe sobrevivir eventos de gran magnitud para la zona.

Los elementos del telescopio, se proyectan para que cumplan con los estrictos requisitos ópticos de rigidez. En situaciones de servicio, los elementos estarán sometidos, a estados de esfuerzo muy inferiores a los niveles permisibles en el diseño de acero (excepción hecha de la araña, y el anillo superior de compresión). Por lo tanto, desde el punto de vista de resistencia, la estructura tendrá un gran

potencial de capacidad. En cuanto a la estabilidad, deberán evitarse los desplazamientos de cuerpo rígido, volcamiento, y la pérdida de contacto entre el tubo y la armadura de soporte, y, entre la estructura completa y la fundación. Para ello, los apoyos altitudinales y azimutales tendrán previstos topes.

4. ANALISIS ESTRUCTURAL

Durante el proceso de concepción estructural, se desarrollaron una serie de modelos simplificados. Los modelos de componentes y macrocomponentes del telescopio, fueron analizados en diferentes niveles de detalle, según el avance en la definición del proyecto. La información producida por este conjunto de análisis preliminares, sirvió de base para establecer geometría, y propiedades tentativas de elementos.

Se hizo necesario, realizar un análisis tridimensional completo de la estructura. Este se llevó a cabo, antes de ingresar en la etapa de diseño final y de confección de planos constructivos. El desarrollo del modelo analítico, estuvo a cargo del autor.

La complejidad de la geometría y la gran cantidad de elementos, requerían de un poderoso programa de análisis, que contara con rutinas de pre y pos-procesamiento de datos. Se escogió un paquete, que analiza estática y dinámicamente estructuras tridimensionales lineales.

Este programa, retoma todos los conceptos del SAP IV (Ref.2). Incorpora además; a-) métodos interactivos para la creación de archivos. b-) Una versátil subrutina de gráficos, que permite revisar fácilmente las deformaciones, e identificar claramente los modos de vibración. c-) Una estructura de datos, que maneja eficientemente los resultados.

Existe también la opción, de unir una serie de archivos (que contienen subestructuras), en un archivo madre (que contiene la estructura completa). Cada una de las subestructuras, se define con respecto a ejes arbitrarios de referencia, y luego, puede ser trasladada o rotada según la necesidad.

La estructura, se modeló utilizando elementos prismáticos tridimensionales, y elementos finitos de placa. El telescopio se dividió en subestructuras, cuyos archivos fueron creados y revisados en un computador IBM-AT. Mediante un enlace telefónico, los archivos fueron enviados a un minicomputador DIGITAL-VAX. Allí, las subestructuras se rotaban, se trasladaban, y se unían hasta lograr la geometría deseada (i.e, telescopio apuntando hacia el cenit, o hacia el horizonte), (Fig.#10).

5. CONCLUSIONES

El telescopio es ante todo, un preciso instrumento de observación. Una concepción óptica innovadora, requirió de una original estructuración. La utilización de un esquema espacial de transferencia de fuerzas, permitió obtener una estructura de gran rigidez.

La gran mayoría de los elementos, están sometidos primordialmente a fuerzas axiales, ya sea de tensión o de compresión. Esto hace que los materiales trabajen muy eficientemente. El peso móvil fué minimizado a tan sólo 160 toneladas aproximadamente (contra alrededor de 550 toneladas para el Monte Palomar). Se optimizaron las razones Rigidez/Peso Móvil y Area Colectora/Peso Móvil.

Finalmente, se obtuvo una estructura que, dentro de su novedad, sigue siendo simple y económica.

AGRADECIMIENTOS

A Stefan J. Medwadowski, por la oportunidad de poder trabajar en este proyecto. A Javier F. Cartín, por sus valiosos comentarios, y a Oscar Fernández por el trabajo de ilustración.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Baker, R.H., Fredrick, L.W., "Astronomy", Novena edición, Van Nostrand Reinhold Company, Nueva York, 1971.
2. Bathe, K.J., et.al, " SAP IV , A Structural Analysis Program for Static and Dynamic Response of Linear Systems", Report No. EERC 73-11, Universidad de California, Berkeley, 1973.
3. Medwadowski, S.J., "Conceptual Design of the Structure of the UC Ten Meter Telescope", UC TMT Report No. 59, Lawrence Berkeley Laboratory, Berkeley, California, 1981.
4. Nelson, J.E., et.al, editores, "The Design of the Keck Observatory and Telescope (Ten Meter Telescope)", Keck Observatory Report No. 90, Lawrence Berkeley Laboratory, Berkeley, California, 1985.

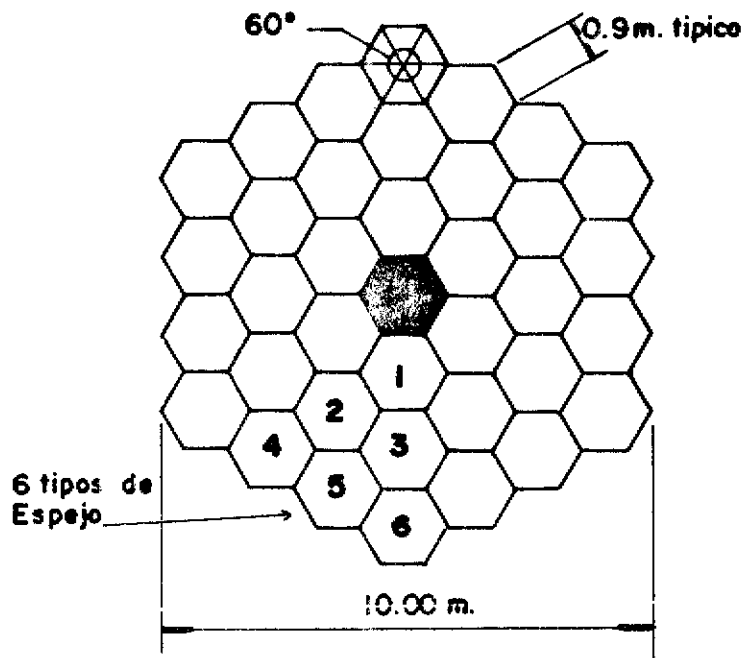
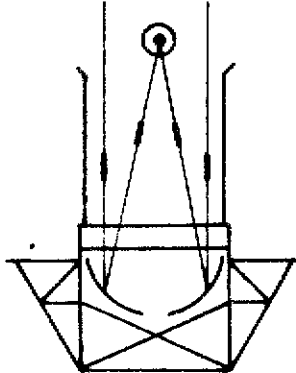
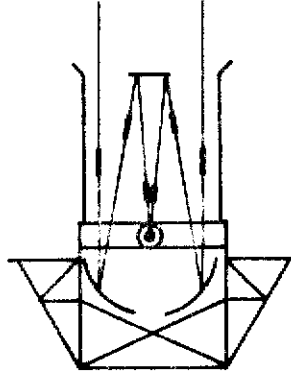


FIG.1 ESPEJO PRINCIPAL
(Ref.4)

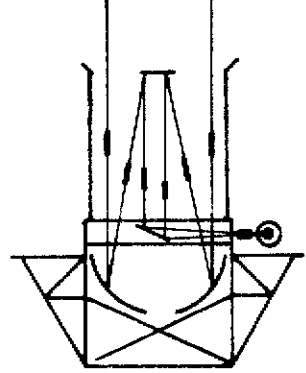
FOCO PRINCIPAL



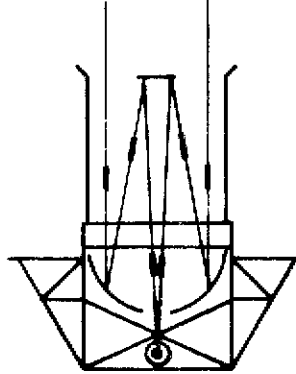
FOCO INFRARROJO



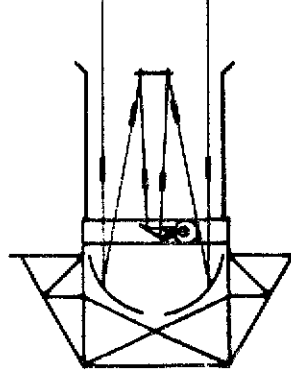
FOCO NASMYTH



FOCO CASSEGRAIN



FOCO CASSEGRAIN EN DOBLEZ



FOCO COUDÉ

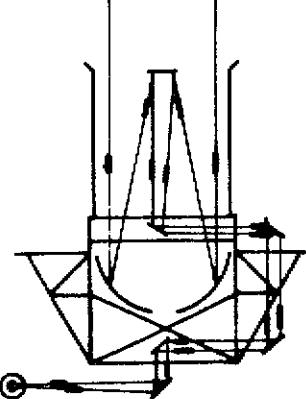


FIG.2 ESQUEMAS FOCALES

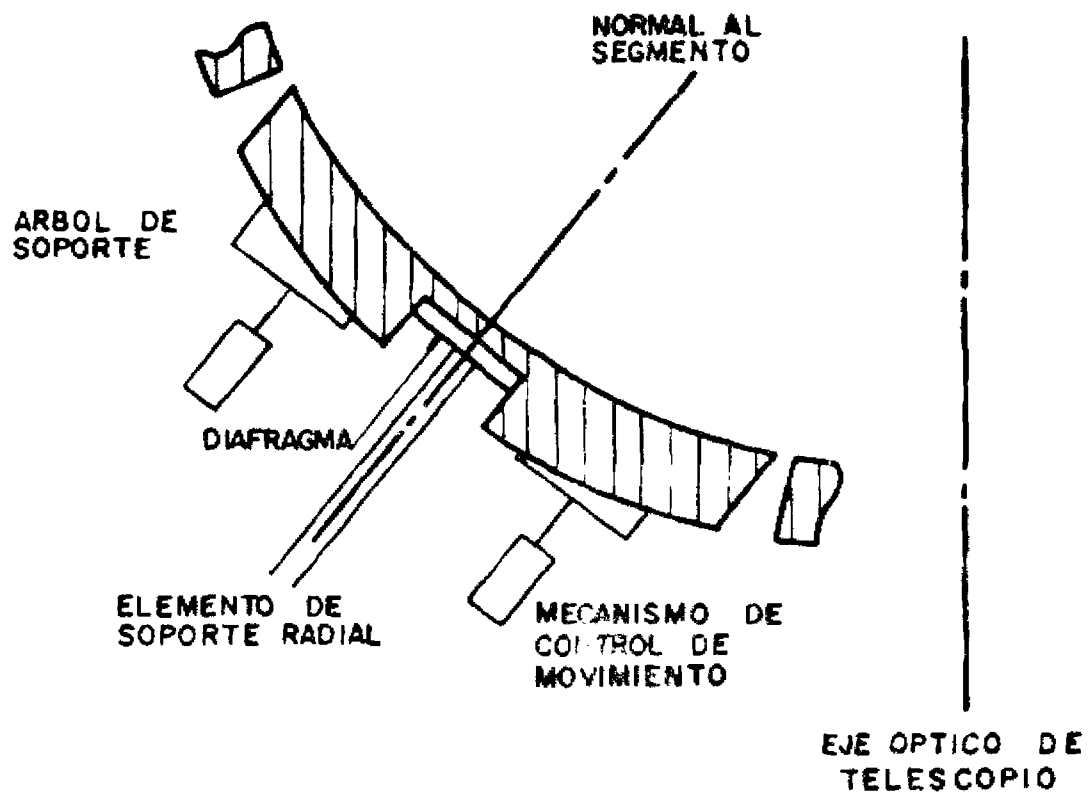


FIG.3 ESQUEMA DE SOPORTE DE ESPEJOS
(Ref.4)

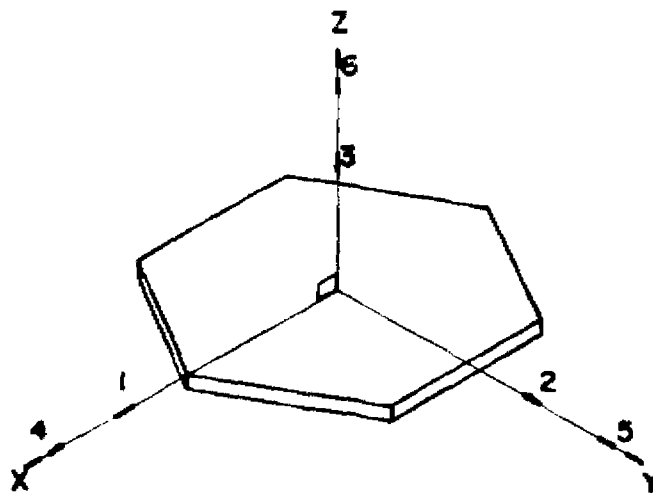


FIG.4 GRADOS DE LIBERTAD DEL ESPEJO

36 Puntos de soporte Axial
(Ref.4)

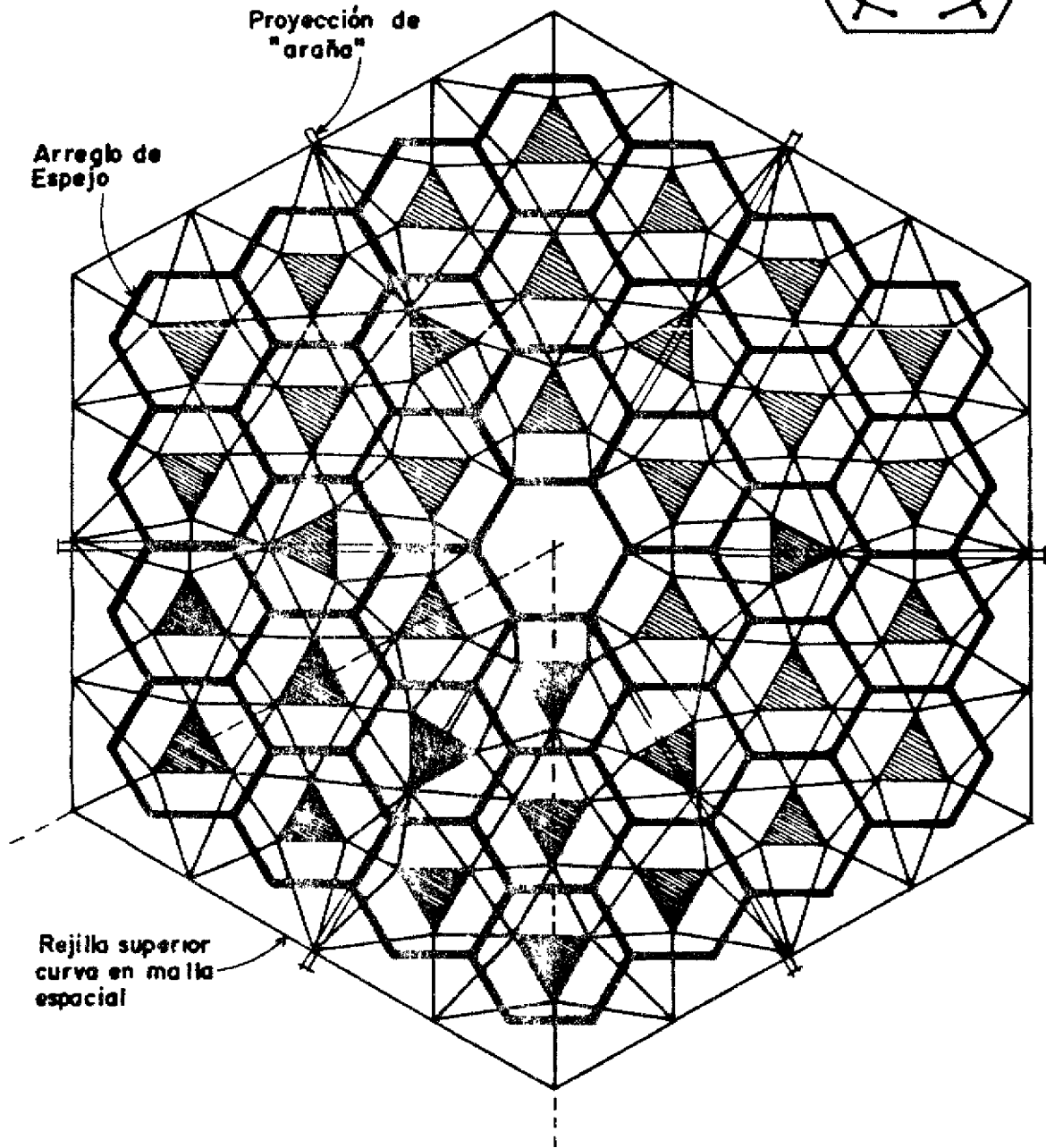
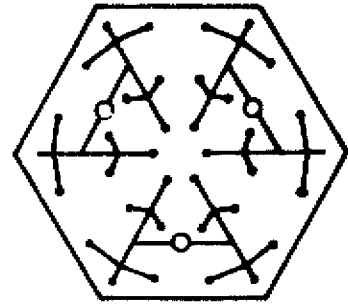


FIG.5 ESPEJO PRINCIPAL Y SUS APOYOS

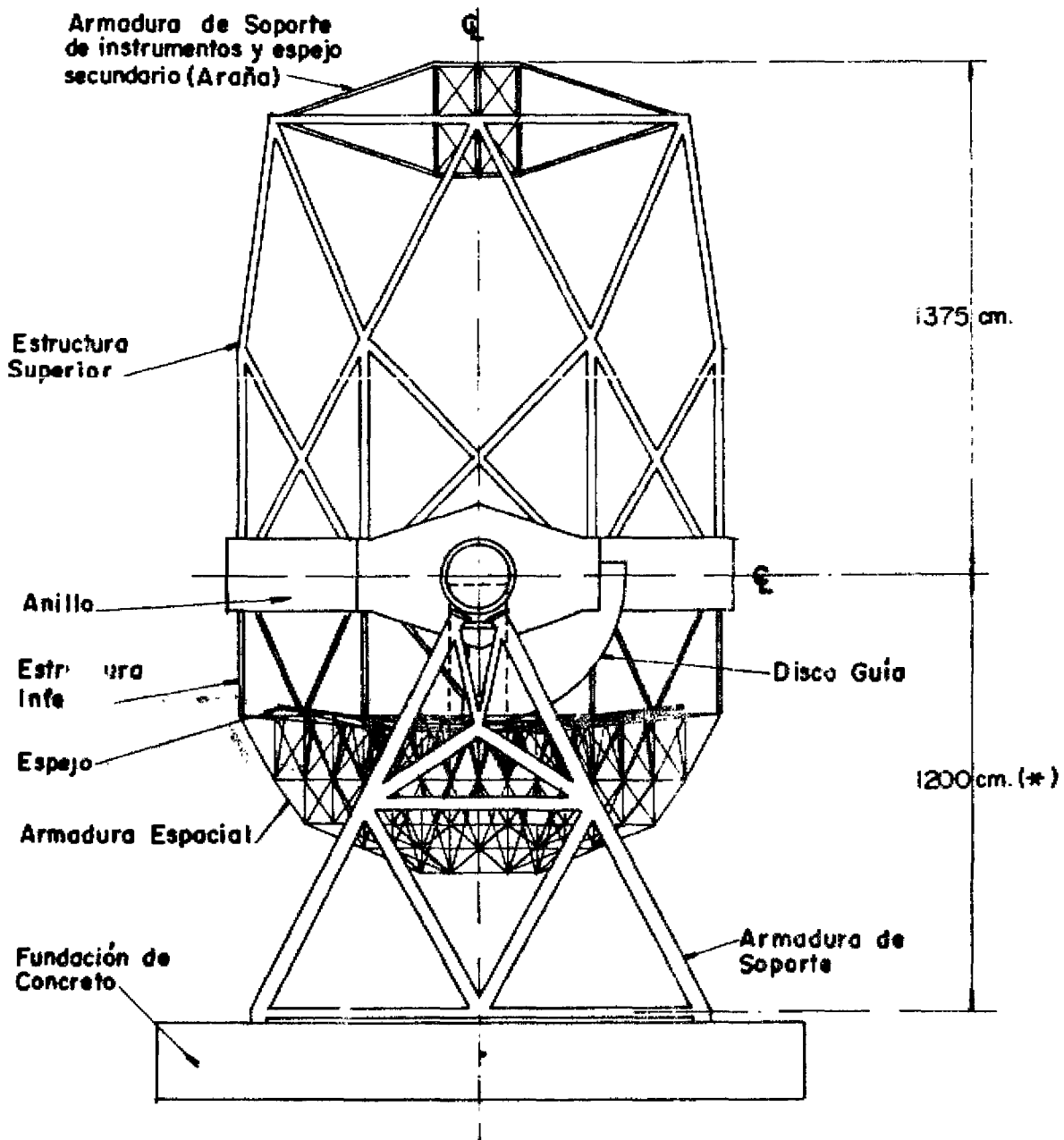
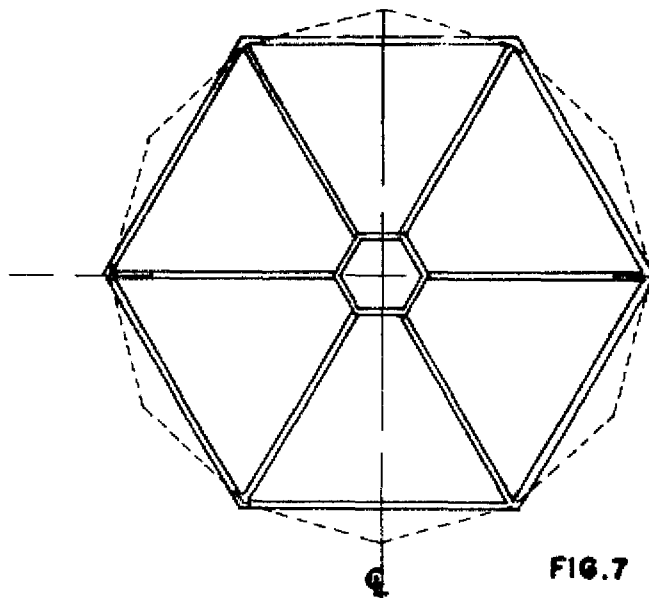


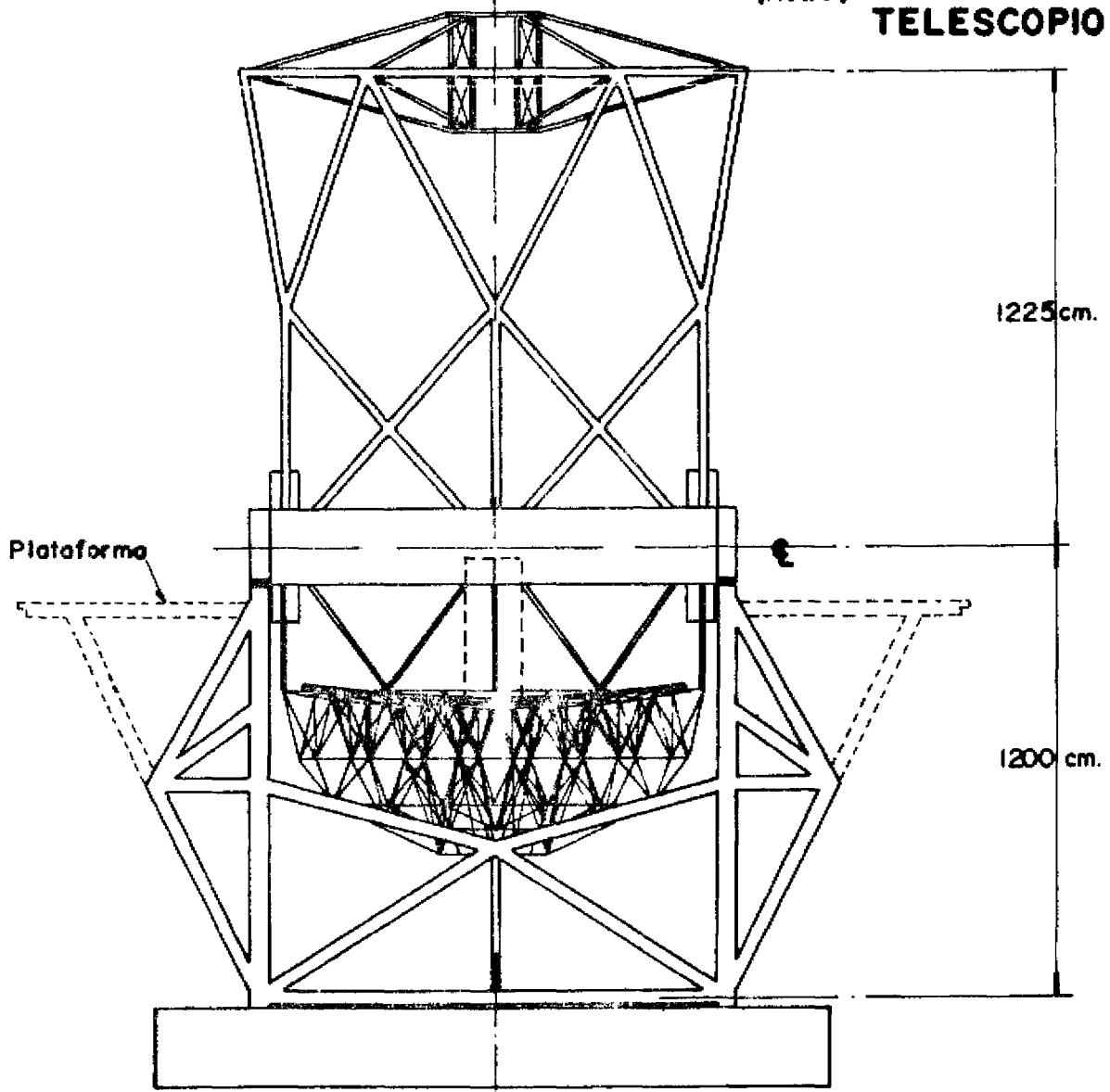
FIG.6 VISTA LATERAL TELESCOPIO
(Ref.4)

(*) Las dimensiones son tentativas y están sujetas a cambios en la fase final de diseño



ARMADURA DE
SOPORTE DE
INSTRUMENTOS
Y ESPEJO
SECUNDARIO

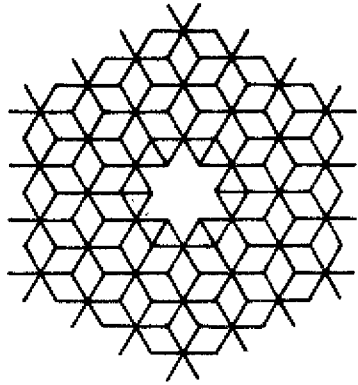
FIG.7 VISTA LATERAL
(Ref.4) TELESCOPIO



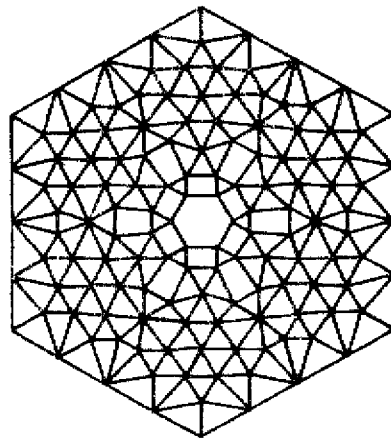
Plataforma

1225cm.

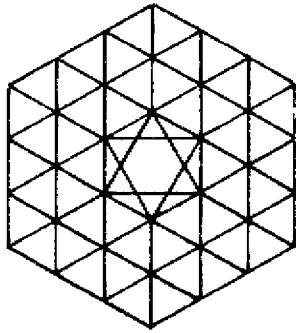
1200 cm.



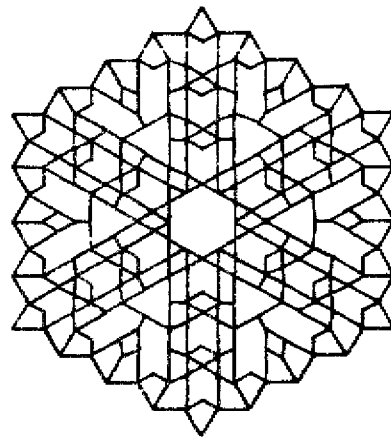
DIAGONALES INFERIORES



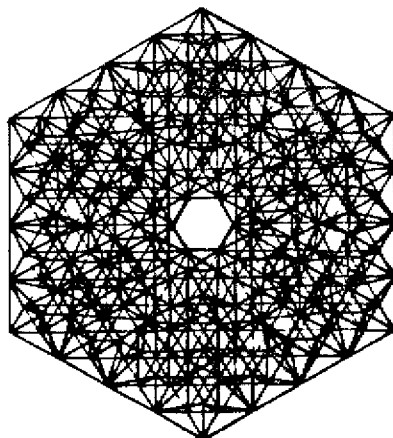
REJILLA SUPERIOR



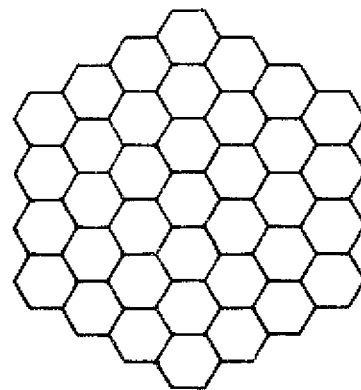
REJILLA INFERIOR



DIAGONALES SUPERIORES

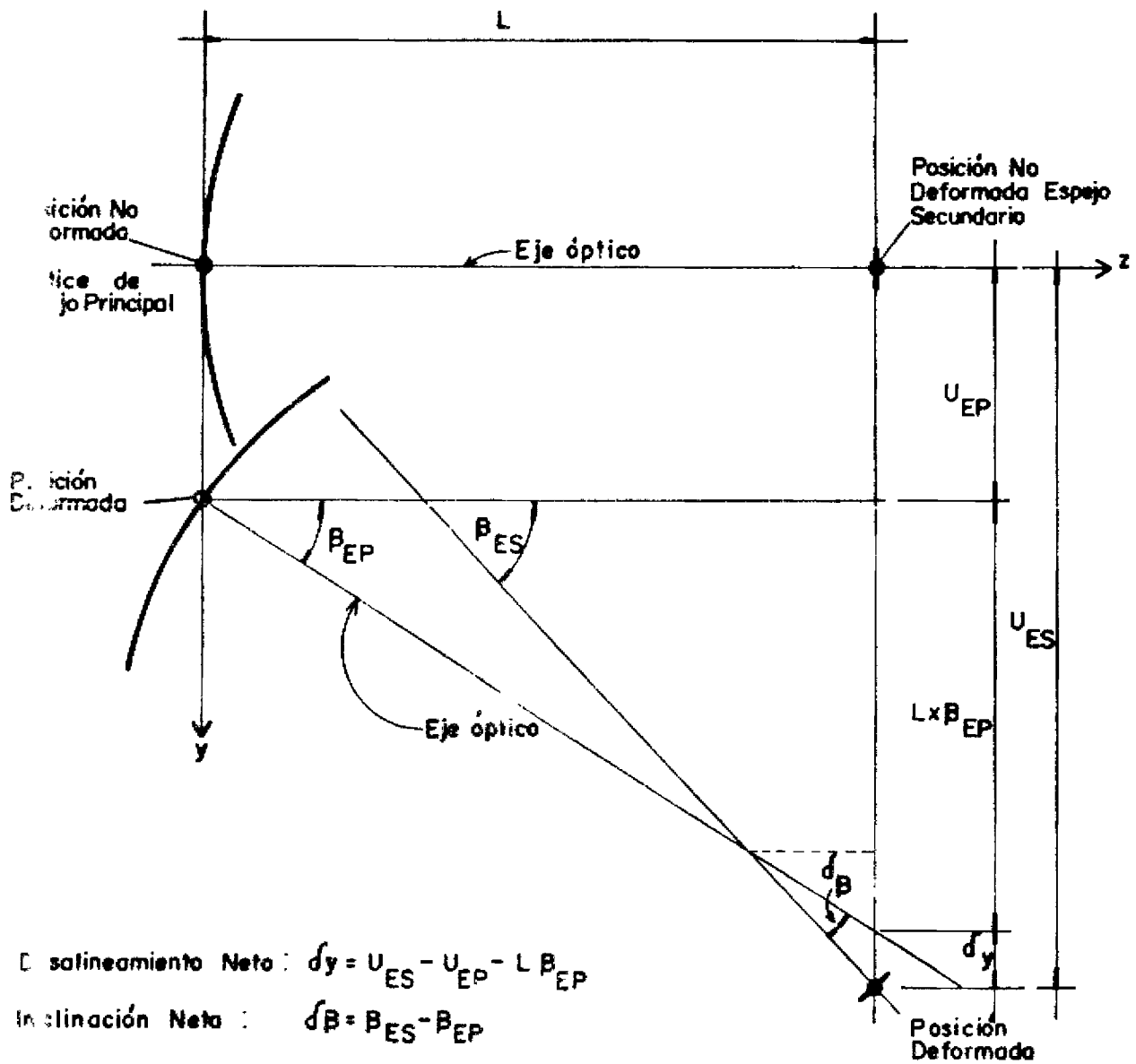


PLANTA COMPLETA



REJILLA INTERMEDIA

FIG. 9 ARMADURA ESPACIAL - SOPORTE DE ESPEJO
(Ref. 4)



DESALINEAMIENTO E INCLINACION NETA

**MICROCOMPUTADOR
IBM - AT**

**MINICOMPUTADOR
DIGITAL - VAX**

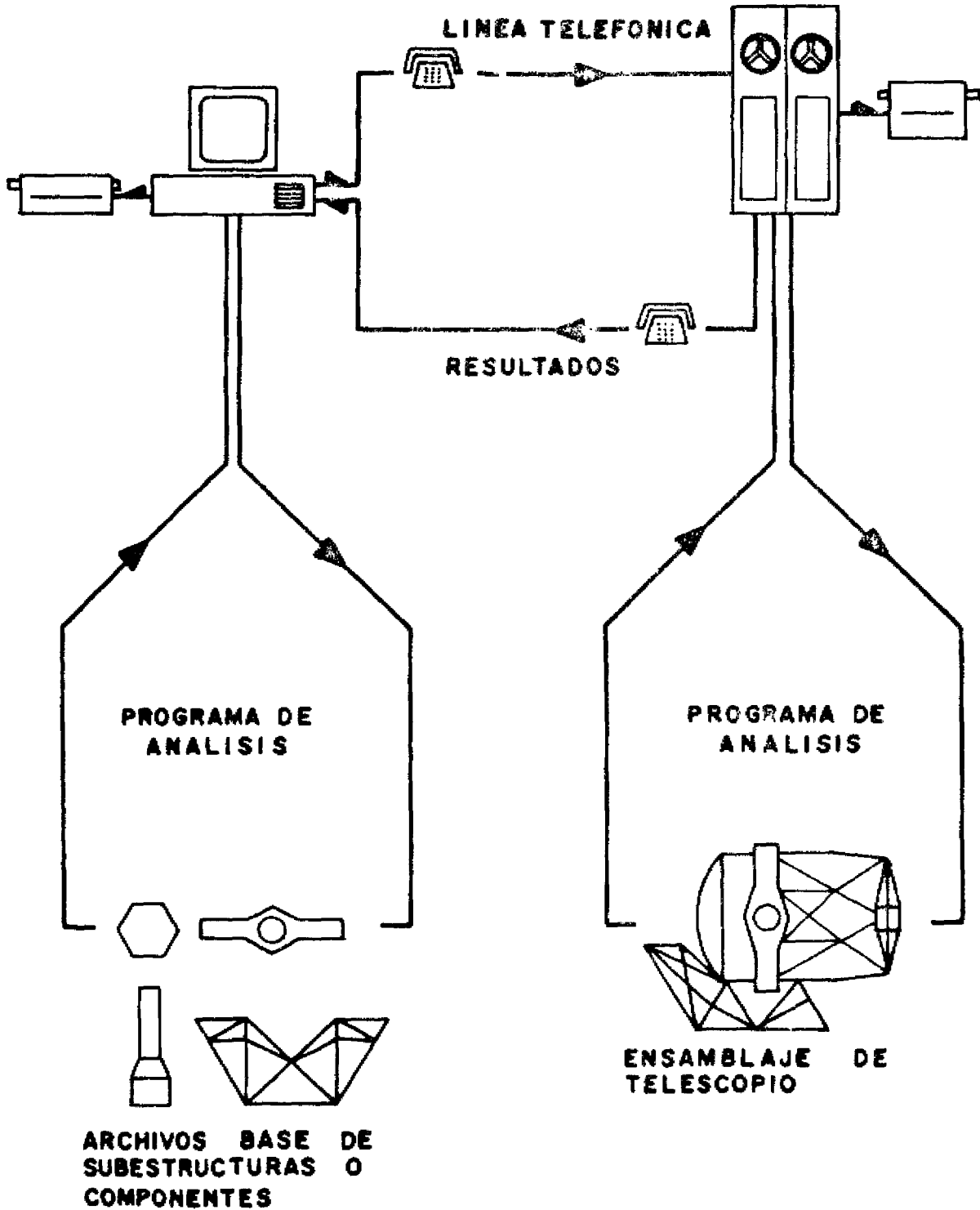


FIG.10 METODO DE ANALISIS