

# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Petróleo

Programa para el Diseño de Sartas Combinadas de Casing  
Computadora IBM 1620

TESIS DE GRADO

RAFAEL DAÑINO INCHAUSTEGUI

LIMA - PERU  
1966



## I N D I C E

	<u>P I G I N A</u>
<u>INTRODUCCION.-</u>	
<u>CAPITULO I.- GENERALIDADES.</u>	1 - 9
-Casing.- Sus características API. -Esfuerzos actuantes sobre una sar <u>ta</u> de casing. Efecto de la Presión Colapso. -Efecto de la Presión Interna. -Efecto de la carga axial. -Factores de diseño.	
<u>CAPITULO II.- PROCESO DEL DISEÑO EN UNA <u>SARTA</u> DE   <u>CASING.-</u></u>	10 - 13
Proceso.	
<u>CAPITULO III.-ESTUDIO ANALITICO.-</u>	14 - 18
<u>CAPITULO IV.- DE LA COMPUTADORA.-</u>	19 - 21
<u>CAPITULO V .- FORTRAN.- GENERALIDADES.-</u>	22 - 28
-Dimensión -Read, Print, Punch. -If. -Go To N. -Diagrama de Flujo. -La codificación. -Perforación.	
<u>CAPITULO VI.- EL PROGRAMA.- GENERALIDADES.-</u>	29 - 40
-Diagrama de Flujo descriptivo.- Primera Sección.- Lectura de datos. Segunda Sección.- Limitación respec <u>to</u> a la Presión Interna. Tercera Sección.- Limitación respec <u>to</u> al colapso. Cuarta Sección.- Cálculo de X. Quinta Sección.- Otros resultados. Sexta Sección.- Sétima Sección.- Transferencia de - datos.	

-Octava Sección.- Cálculos para tramos en tensión.

CAPITULO VII.- ANALISIS DEL COSTO DEL PROGRAMA.- 41 - 43

-Costo de Tarjetas.  
-Costo de máquina.  
-Costo total del Programa.

CAPITULO VIII.-EJEMPLO DE APLICACION DEL PROGRAMA.- 44 - 53

-Datos.  
-Descripción de los datos.  
-Procedimiento.  
-Procedimiento de Operación de la -  
Computadora.- Entrada del Programa  
Fuente.  
-Operación.

CAPITULO IX.- CONCLUSIONES DEL TEMA.- 54 - 57

BIBLIOGRAFIA.-

TABLAS Y GRAFICOS

\*\*\*\*\*

## INTRODUCCION

La necesidad de la reducción máxima de costos, sobre todo en trabajos que tienen vital importancia en el monto de estos, así como el deseo de brindar una herramienta útil para el hombre de campo, desarrollada con bases prácticas y científicas, poniendola al servicio del país y de la industria petrolera en general, por intermedio de la Facultad, me ha llevado a desarrollar el presente tema.

El uso común de tuberías revestidoras incide en considerable proporción sobre los costos de explotación, siendo su diseño un problema económico de Ingeniería, de gran importancia.

Actualmente para el cálculo de una sarta de casing - se cuenta con dos caminos:

El primero, diseñar la sarta manualmente, paso por paso, auxiliado quizá por calculadoras mecánicas, según un método y asumpciones determinadas con anterioridad.

Dicho cálculo estará afecto de posibilidades de error limitaciones de número de sartas calculadas y/o disponibilidad de tiempo y personal capacitado.

El segundo camino es el empleo de tablas derápido di seño, elaboradas y distribuídas por Compañías Americanas.

Este es el más lógico camino; pero presenta un inconveniente; la limitación en cuanto a la intervención de las variables que determinarán el diseño en sí de la sarta revestidora.

Deberíamos pues; de seguir este camino, aceptar las condiciones rígidas que ofrecen dichas cartas. Condiciones que la mayoría de veces no son para nuestros campos, y que si deseáramos cambiarlas, estaríamos nuevamente recalculando una sarta, lo cual no es nada práctico para nuestros efectos.

El presente trabajo es un programa completamente general para el diseño de sartas combinadas de casing; carente en su totalidad de restricciones, mediante el cual se podrá obtener el o los diseños para sartas sean cualesquiera las condiciones de trabajo.

Es empleada la Computadora Digital IBM 1620 con lectora de discos, al servicio de la Universidad y por ende de la Facultad.

Escrito en lenguaje Fortran, de fácil interpretación, producto de una variación del método presentado por Craft, Holden y Graves en su texto de Producción, en el que se atienden las normas API.

Consta también de un estudio analítico para evitar solución de tramos por tanteo, mediante una ecuación de segundo grado.

Presento también un ejemplo práctico de empleo, mediante el cual elaboro una carta con los factores de diseño más comunes y características del Nor Oeste Peruano.

El presente programa ha sido comparado con completo éxito, en cuanto a exactitud, diseño y sobre todo aspecto económico.

Creo pues, poner en manos de la Facultad un instrumento mediante el cual se podrá prestar servicio desde nuestras aulas a las compañías que lo soliciten, y llegar a ellas cumpliendo uno de los fines primordiales, sea en este caso el de asistencia técnico-científica.

RAFAEL DAÑINO INCHAUSTEGUI

## CAPITULO I

### GENERALIDADES

El presente capítulo no es tratado con mucha extensión, dado que son temas generalmente conocidos en nuestro medio; y que es desarrollado más bien en forma panorámica a guisa de información, tocando sólo los puntos que se encuentran directa o indirectamente relacionados con el contenido del tema que desarrollo.

Conforme la perforación progresa, se hace necesario el revestir las paredes del hueco, con tubería de acero de poco peso y características más o menos especiales, denominada casing.

Una sarta combinada de casing es el conjunto de tuberías de distinta características de construcción respecto a material de fabricación, uniones, peso, etc., pero que presentan un mismo diámetro; siendo la de menor costo y que cumpla satisfactoriamente y con cierto margen de seguridad, las funciones para las que ha sido diseñada, sean estas la prevención de derrumbes en el hueco, evitar la contaminación con agua fresca superficial, exclusión de agua de formación, evitar las pérdid<sup>a</sup>s en la producción de aceite o gas, control de presiones y facilidad para posteriores instalaciones de equipo subsuperficial.



Es en nuestro medio casi práctica común, el "sentar" dos tipos de sartas, la superficial y la de producción, siendo la segunda de éstas la que presenta mayor importancia en lo que respecta a su cálculo, debido a su longitud y a los ahorros o pérdidas que arrojará un buen o mal diseño.

### CASING SUS CARACTERISTICAS API

Todas las tablas y referencias son las normadas por el American Petroleum Institute (API) además de algunas que he realizado cálculos extras ad-hoc.

**DIAMETRO.-** Es la medida, respecto del eje del cilindro hueco a la pared exterior o interior de la tubería.

El diámetro exterior del casing es reconocido en forma nominal y su selección está en función del tipo de broca utilizada.

**GRADO.-** O calidad del acero, basado según su mínima resistencia al límite elástico (Minimum Yield Strength), existiendo cinco grados API, siendo uno de ellos tentativo, Ver tabla 1.

En función de esta propiedad juegan importantes factores, los que son desarrollados líneas más adelante.

**RANGO.-** O longitud de la tubería, son mostrados conjuntamente de sus variaciones permisibles en la tabla 2.

**UNIONES.-** Entre dos tubos existe el llamado cople, que les sirve de continuidad. Los coples se clasifican de acuerdo a su diámetro externo y espesor de la pared, o de acuerdo a su longitud, estando esta última, presentada en el Standard 5-A del API.

En una sarta combinada, las uniones de los tramos superiores resisten el peso de las tuberías debajo de ellas suspendidas, siendo por ello de vital importancia una debida selección de coples, evitando así, fallas por tensión axial y posibilidad de fugas a través del roscado, ya que es en los coples en donde tendremos el esfuerzo crítico por carga vertical.

La tabla 3 nos brinda las resistencias de las uniones API. Además de ellas, podemos conseguir uniones especiales para altas resistencias, y las que bien pueden ser usadas en el presente programa ya que debido a su importancia económica han sido consideradas.

**PESO.-** Para la consideración de esta propiedad, debe tenerse en cuenta el tipo de tubería usando; y si el peso requerido es de casing simplemente, considerado éste

como un cilindro perfecto; si el peso es el nominal de reconocimiento práctico; o si es el peso promedio con hilos y coples y que es usado en el presente programa para una mayor exactitud en los resultados.

Además he realizado un promedio arbitrario entre los pesos reales de coples cortos y largos, puesto que ello no infiere en absoluto en la precisión de los cálculos, y simplificando enormemente el trazado del programa.

Estos valores aparecen en la tabla 4, la que ha sido confeccionada para tuberías de 20 pies de longitud.

En caso de necesitar los pesos para otras longitudes será necesario usar la fórmula.

$$w = (20/L)(w' - w_p) + w_p$$

En donde:

L es la nueva longitud en pies

w' es el peso que aparece en la tabla 4

w<sub>p</sub> representa el peso simple o final plano; y

w el peso en libras/pie de tubería de longitud L

La columna del extremo derecho de la tabla de referencia, la he calculado para tubería de 30 pies, y para los casing más comunes en nuestro medio.

ESFUERZOS ACTUANTES SOBRE LA SARTA DE CASING.

Principalmente tres son las fuerzas que debemos de considerar.

- A.- Una fuerza externa, que propende a colapsar la tubería, - denominada Presión de Colapso.
- B.- Una fuerza interna, tendiente a romper el casing, conocida como Presión Interna.
- C.- Una fuerza longitudinal, sea de compresión debida al flotamiento o al asentamiento de la tubería; ó sea de tensión debida al peso muerto inferior. Este último es la que posee mayor influencia para los efectos de nuestro diseño , siendo la anterior despreciada.

EFEECTO DE LA PRESION COLAPSO.

La presión externa diferencial, tiende, como lo he dicho, a deformar la tubería, pudiendo esta deformación ser elástica, si vuelve a su estado original una vez cesada la presión o plástica, si es que la deformación causada es ya permanente.

La resistencia del casing a estas fallas, o resistencia al colapso está en función de tres factores:

- 1.- La relación diámetro/espesor de la tubería
- 2.- Características del material de fabricación de la tubería.

### 3.- Esfuerzo debido a cargas axiales.

Tomando en consideración tan sólo los dos primeros factores, presento a continuación, sin entrar en mayor detalle respecto a la demostración de sus fórmulas ni cálculos; la Tabla 5, en la que se consignan las resistencias al colapso para los casing API; producto de fórmulas teóricas y correlaciones con pruebas experimentales.

#### EFFECTOS DE LA PRESION INTERNA.

La presión diferencial interna se hace notar sobre todo en los tramos superiores, ya que a diferencia de los inferiores, no posee el efecto contrarrestante de la presión externa; sea esta, debida a la presión hidrostática o a la presión de formación, tal como es mostrada en la FIG. A.

Es por ello obligatorio, una debida limitación de la tubería a usar, debiendo preveer las presiones internas con las que hemos de trabajar.

La Tabla 6, presenta las resistencias a la Presión Interna, de diversos tipos de casing.

#### EFFECTO DE LA CARGA AXIAL.

Para este caso, sólo tendré en cuenta los esfuerzos - por tensión, ya que son ellos los de efecto lesivo más notorio

comparados con respecto a los esfuerzos de compresión.

El peso muerto de tubería en suspensión, se hace sentir en forma de disminución de la Resistencia al Colapso y como causante de deformación longitudinal.

Esta deformación ocurre principalmente, en la zona que presenta menor sección transversal, esto es, en el roscado, y sobre todo en el último hilo perfecto. Es por esto, que para efectos del cálculo de una sarta combinada de casing y tomando en cuenta los factores de diseño usuales, se considera sobre todo como factor de control el esfuerzo de carga axial sobre las uniones antes que limitar en base a la deformación en el cuerpo mismo de la tubería.

Para el cálculo de la disminución de la Resistencia al Colapso, debido a acción de carga axial, se emplea la siguiente ecuación:

$$P_{cc} = (P_c/K) \left( \sqrt{K^2 - 3Q^2} - Q \right)$$

En la que:

$P_{cc}$  -Presión de colapso capaz de resistir la tubería sometida a una carga longitudinal de  $Q$  libras.

$P_c$  -Presión de colapso sin corrección por efecto de peso.

$K$  -Constante determinada por las dimensiones y el

material empleado.

Luego, para un correcto cálculo de la resistencia que tiene una tubería determinada, será preciso tener en consideración el efecto de peso debajo de ésta.

Para la solución de esta ecuación, nos servimos de la Tabla 5, ya presentada y de la Tabla 7, en la que se consignan los valores de la constante K.

#### FACTORES DE DISEÑO.

Todas las características explicadas con anterioridad, sean Resistencia al Colapso, a la Presión Interna o a la Carga Axial, son afectadas en la práctica por un factor de seguridad, el que nos proporcionará un margen dentro del que podemos caer en un relativo error de imprevisión, sin que encontremos fallas en nuestro diseño.

Gracias a ello, nos alejaremos de laborar en los máximos límites permisibles, los que debido a su estimación pueden muy bien, no ser definitivamente exactos, o mejor decirlo, pueden presentar una cierta variación respecto a los datos estadísticos en los que nos basamos.

Estos factores, no son otra cosa que la relación entre el valor real del esfuerzo máximo permisible con el esfuerzo de trabajo.

Los factores de diseño, son producto de las condiciones especiales de trabajo de cada campo, y queda a amplio criterio del hombre de campo.

Transcribo a continuación, como referencia los resultados que obtuvo el API Mid Continent District Study Committee on Casing Program, el que en 1955 realizó una encuesta, a la que respondieron 38 Compañías con los resultados mostrados en la Tabla 8 y la FIG. B .

Para un determinado trabajo de Ingeniería, siempre se consideran las peores condiciones a esperar, brindando así un nuevo margen de seguridad.

Así por ejemplo, en el diseño de Casing, y en el caso específico del Colapso, se considera que la columna externa de fluido llega hasta la superficie y que la Presión Interna es nula.

Para el caso de la Presión Interna, se asume que no existe presión externa y que interiormente actúa la presión del reservorio.

Y en el caso de Esfuerzo de Tensión, tampoco es considerado el Empuje Hidrostático o de Flotación, aumentando así - aproximadamente un 10% en la carga asumida de trabajo.



## CAPITULO II

### PROCESO DEL DISEÑO EN UNA SARTA DE CASING

La búsqueda de la combinación de menor costo, y efectiva en el revestimiento, nos lleva a enfatizar las siguientes consideraciones:

Esencialmente se calcularán los constituyentes de la tubería en base a la resistencia a la Presión Interna, Presión de Colapso y Resistencia en las Uniones; todas ellas afectadas de su correspondiente factor de diseño.

Por regla general, se abandona el cálculo de la resistencia longitudinal, pues esta es superior a la considerada en las uniones tal como anteriormente lo expuse.

Se asumen las peores condiciones de trabajo.

En todo momento se buscará de usar el casing de menor grado y/o peso, buscando así la solución más económica.

Básicamente una sarta combinada consta de tres secciones:

- 1.- La inferior, cuya función primordial es su resistencia a la Presión de Colapso.
- 2.- La superior, en la que se recalcará la importancia de la Resistencia de las Uniones.
- 3.- La intermedia, que es un límite o mezcla de las dos anteriores. Ver FIG. C.

**PROCESO**

La primera limitación es dada por la Presión Interna; en ningún momento se tomará para el diseño, una tubería que **resista** menos que:

$$PI = PR (Ni)$$

Siendo:

PI -Presión Interna en libras/pulgada cuadrada.

PR -Presión del Reservorio o Presión de Ruptura de Formación.

Ni -Factor de diseño a la Presión Interna.

El cálculo comienza de los tramos inferiores.

Escojemos para ello la sarta que soporte con el mínimo exceso a

$$PC = 0.052 (D) (L) (Nc)$$

Representando:

PC -Presión de Colapso actuante a una profundidad de L pies.

D -Densidad del lodo en Libras por galón.

Nc -Factor de diseño para el colapso

0.052 Factor de conversión.

La siguiente sección, estará compuesta por el casing

que le sigue en orden decreciente respecto a su peso o grado, sección cuya longitud se calcula mediante tanteos y errores o por medio de gráficos especiales.

En el desarrollo del Capítulo III, ofrezco la demostración de una fórmula que presento para simplificar este cálculo.

El proceso continuará, calculándose para cada efecto, la longitud del tramo que se puede bajar tanto para el colapso, como para la tensión.

La secuencia del cálculo seguirá hasta que el colapso deje de ser el factor principal de control. Ver FIG. D-1.

Este cambio se detecta por comparación de la profundidad de asiento de una sección, con la longitud que resisten las uniones de dicho tramo (H (I) ) Ver FIG. D-2.

Una vez que esta longitud sea menor que la profundidad de asiento, se efectúa el control de las longitudes a bajar, ya tan sólo teniendo en cuenta la resistencia de los coples.

Para cada sección calculada es útil poseer los resultados de los nuevos o actuales factores de diseño; o mejor decir, de los factores de seguridad con los que estamos en realidad trabajando.

Vale poner en relieve la utilidad que presta las uniones especiales de alta resistencia, pues gracias a ellas es

tamos en condiciones de sentar tuberías de menor peso o grado, disminuyendo así notablemente los costos de completación.

### CAPITULO III

El presente Capítulo es un estudio analítico para la solución directa de tramos afectados por la Presión de Colapso con acción de carga axial.

He desarrollado una fórmula, en la que trabajaré hasta con tres secciones a la vez, para lo que he debido de usar subíndices, correspondientes estos a los tramos I, I-1, I-2. Ver FIG. E.

Aceptemos que:

$Q$  = Peso total hasta una determinada sección en Lbs.

$X$  - Longitud en pies del tramo a calcular.

$w$  - Peso por unidad de longitud de la tubería.

$P$  - Profundidad de asentamiento de una sección

$P_{cc}$  - Presión de Colapso afectada por carga axial, que puede resistir una determinada tubería.

$P_c$  - Presión de Colapso que resiste este mismo casing pero sin considerar efecto de carga longitudinal

$K$  - Constante anteriormente descrita.

$S$  - Factor equivalente a  $0.052 (D) (N_c)$

La indicación del tramo a que corresponde cada variable que intervenga en el cálculo, está mostrado por su afección a un definido sub-índice.

La fórmula para la presión de colapso afectada de carga axial se puede escribir como:

$$P_{cc} = P_c(I)/K(I) \left[ \sqrt{K(I)^2 - 3Q(I-1)^2 - Q(I-1)} \right] \dots (1)$$

Poniendo la ecuación (1) en función de  $X(I-1)$  tenemos:

$$P_{cc} = (S) P(I)$$

ó mejor aún:

$$P_{cc} = S \left[ P(I-1) - X(I-1) \right] \dots (2)$$

$$Q(I-1) = Q(I-2) + X(I-1) w(I-1) \dots (3)$$

Reemplazando (2) y (3) en (1) tenemos:

$$S \left| P(I-1) - X(I-1) \right| = P_c(I)/K(I) \left| \sqrt{K(I)^2 - 3 \left[ Q(I-2) + X(I-1) w(I-1) \right]^2 - \left[ Q(I-2) + X(I-1) w(I-1) \right]} \right| \dots (4)$$

Despejando (4) y agrupando apropiadamente:

$$\left[ \left\{ S K(I) P(I)/P_c(I) \right\} + Q(I-2) \right] - X(I-1) \left\{ \left[ S K(I)/P_c(I) \right] - w(I-1) \right\} \sqrt{\dots} \dots (5)$$

Para una mejor visualización llamará a

$$\{S K(I) P(I-1)/Pc(I)\} + Q(I-2) = n$$

$$\left[ S K(I)/Pc(I) \right] - w(I-1) = m$$

Elevando ambos miembros de la ecuación (5) al cuadrado para eliminar la raíz, simplificando y después de agrupar en forma conveniente obtenemos:

$$X(I-1)^2 \left[ m^2 + 3w(I-1)^2 \right] - 2X(I-1) \left[ mn - 3Q(I-2)w(I-1) \right] + \left[ n^2 + 3Q(I-2)^2 - K(I)^2 \right] = 0 \quad \dots\dots(6)$$

Como es fácil de apreciar, la ecuación (6) es de segundo grado fácil de resolver, la que podemos escribir como:

$$A X(I-1)^2 - 2BX(I-1) + C = 0 \quad \dots\dots(12)$$

En donde:

$$m = \left| S K(I) Pc(I) \right| - w(I-1) \quad \dots\dots(7)$$

$$n = \left\{ S K(I) P(I)/Pc(I) \right\} + Q(I-2) \quad \dots\dots(8)$$

Siendo:

$$A = m^2 + 3w(I-1)^2 \quad \dots\dots(9)$$

$$B = mn - 3 Q(I-2) w(I-1) \quad \dots\dots(10)$$

$$C = n^2 + 3Q(I-2)^2 - K(I)^2 \quad \dots\dots(11)$$

Una vez obtenidas las ecuaciones de la (7) a la (11) es fácil obtener

$$X(I-1) = \frac{B - \sqrt{B^2 - AC}}{A} \quad \dots\dots(13)$$

Aparentemente la solución es larga y quizá hasta complicada, sin embargo las ecuaciones están ligadas entre sí, y no requieren de mayor análisis, simplemente bastará seguir el cálculo en orden consecutivo de las ecuaciones (7) a la (13), solución que ha sido prevista para una fácil solución manual o mecánica.

Para efectos del programa, esta ecuación ha resultado ideal.

En caso de soluciones por tanteos, una respuesta puede demorar aún en una Computadora Electrónica.

Mediante el empleo de dichas ecuaciones obtengo resultados en fracciones de segundo, y manualmente hay también un gran ahorro en el tiempo de cálculo.

Además ayuda a obtener sartas combinadas más económicas.



Normalmente, como lo expliqué con anterioridad, el cambio de factor de control en el diseño, se efectúa mediante una comparación de la profundidad de asiento de una sección dada, con la longitud que resiste las uniones (FIG. D-2).

En el desarrollo del programa que presento, realizo esta comparación entre las longitudes calculadas respecto al Colapso con carga axial;  $X(I-1)$ , y respecto a la tensión en las juntas;  $H(I-1)$ . Ver FIG. D-3.

Mediante esta variación, se permite usar una tubería de menor peso en el siguiente tramo, (I), y añade la posibilidad de usar tuberías especiales pertenecientes a esta sección ; lo que no ocurriría de usar el método convencional, lográndose así una notable disminución en los costos, sin que se vean afectados los factores de seguridad.

## CAPITULO IV

### DE LA COMPUTADORA

La Universidad Nacional de Ingeniería, cuenta actualmente con los servicios de una Computadora Electrónica IBM 1620.

Esta Calculadora o Sistema de Procesamiento de Datos - IBM 1620, ha sido designada para aplicaciones de carácter científico y tecnológico.

Con una capacidad inicial de hasta 60,000 posiciones o Cores, en la Memoria, está provista además de una velocidad de cálculo, útil para la solución de problemas de envergadura, de ardua laboriosidad, o de rutina tediosa. Consta de los siguientes elementos:

1.- La Unidad Central de Procesamiento de Datos IBM 1620; con un Panel de Instrumentos o Consola, provisto además de una Máquina Eléctrica de Escribir. La Consola contiene llaves, switches y un Panel Indicador.

Las llaves y switches son usados para operación manual o automática del sistema.

El Panel brinda una indicación visual de la situación de varios registros e indicadores, tales como el Registrador de Dirección de la Memoria, Registrador de las Operaciones, Indicadores de Operaciones Manuales necesarias, Control de

**Error en el Programa, etc.**

La máquina de escribir, nos sirve para una directa entrada de instrucciones o datos en la Memoria, así como salida de resultados o detección de errores. Escribe con una máxima velocidad de 10 caracteres por segundo.

- 2.- La Lectora/Perforadora de tarjetas IBM 1622, que recibe las instrucciones por medio de tarjetas perforadas, o perfora resultados o salidas intermedias con una velocidad máxima de 125 tarjetas por minuto.
- 3.- La Unidad de Almacén IBM 1623, que aumenta la capacidad de la Memoria en 20,000 posiciones.
- 4.- La Unidad de Discos, o Almacén de Flujo en Discos 1311, que provee prácticamente una ilimitada capacidad de acceso de datos. Además de facilitar, el evitar de tener que obtener uso de salidas intermedias, uso de pre-compiladores, Compiladores, Programa Objetos y simplificar el proceso de la Computadora y del operador.

Proporciona también un ahorro en el número de tarjetas. Anteriormente al empleo de la Unidad de Discos, era necesario usar de cuatro a cinco veces el número de tarjetas que tuviera un determinado Programa Fuente. A diferencia de ello, mediante esta nueva facilidad, son tan sólo necesarias cuatro tarjetas-clave; tres antes del Programa, correspondientes al Cargador, al Indicador de Trabajo y al Fortran; ade-

más de una tarjeta que irá al final de todas, indicando Fin del Programa.

El Laboratorio de Matemáticas, que tiene a su cargo la Computadora, cuenta además con otros instrumentos tales como el Clasificador de tarjetas IBM 82, una Reproductora de tarjetas IBM 514, una Máquina de Contabilidad IBM 447, Perforadoras manuales de tarjetas y otros.

## CAPITULO V

### FORTRAN.- GENERALIDADES.-

El programa ha sido escrito en lenguaje Fortran, para aplicación en Computadoras Electrónicas.

El Fortran, es uno de los idiomas que puede disponer el Programador que ha de trabajar en la IBM 1620, y posee estas ciertas características que considero necesarias enumerar, para un mejor aprovechamiento del siguiente capítulo.

-Las instrucciones de ejecución son operaciones sencillas, ordenadas por caracteres más o menos especiales, tales como:

Suma	+	
Resta	-	
Multiplicación	*	
División	/	
Potenciación	**	
Raíz Cuadrada	SQRT	etc.

-Posee dos tipos de aritméticas:

- 1) La de Punto Fijo; en la que se consideran sólo valores enteros, con una a cuatro cifras para las constantes.
- 2) La aritmética de Pto. Flotante; que compete a las expresiones con punto decimal, con o sin representación de fracción de enteros. Valor absoluto entre  $10^{-50}$  y  $10^{49}$  para sus constantes.

Formatos .- la orden no ejecutable, sea de lectura, impresión -o perforación que deseemos que realice la Computadora, precisa de una información especial denominada Formato (Formant). Esta es la descripción del orden de la información de entrada o salida, en la que se separa un determinado espacio o campo para el valor que procesemos. Hay tres tipos de Formatos, y que son:

- 1) Especificación de campo I; corresponde a los valores enteros, no es factible su empleo con pto. decimal.

FORMAT (I2) ocupara xx espacios.

- 2) Especificación de campo F, usado para valores con punto decimal, es de la forma Fw.d; en donde w es el número total de caracteres, inclusive signo y punto, el espacio de los decimales es definido por d.

FORMAT (F5.3) ocupará ±.xxx espacios

- 2) Especificación de campo E; empleado para valores con punto decimal y valores representativos muy altos. Es de la forma Ew.d, en la que w es el número total de espacios, y d el número de las fracciones de entero.

FORMANT (E14.8) ocupará +.xxxxxxxxE+ xx

-Espacios en blanco, representados por x.

3x ocupa --- espacios

**-Caracteres alfabéticos, anunciados por H**

3H, 2x, 3H      sera    FAC    -- PET

**Variables.-** Representación literal a la que podemos afectar del valor de una constante, o puede tomar los valores - que encierre su caracter de función. Son también afectadas por los dos tipos de aritmética.

1.- Si es de punto fijo, el nombre de la variable - debe de empezar con cualquiera de las siguien--tes letras: I, J, K, L, M, N

2.- Si es de punto flotante, no debe de empezar con ninguna de las anteriormente enumeradas.

Es por ello, que no siempre podemos llamar a las variables con los caracteres que les son más comunes en la práctica. Por ejemplo, la constante K, de la Tabla 7 es representada por Z, para efectos de aceptación en el programa, dado que es una magnitud de consideración y sobrepasa el número de dígitos permisible para una constante en punto fijo, por lo cual me es necesario emplear el Formato E.

A continuación describo, las principales ins--trucciones usadas en el programa y que deben ser necesariamente conocidas por el lector.

**-COMENTARIO.** Es una proposición no ejecutable, es usada para tí

tuolos o llamadas de atención, se distingue por una C, perforada la columna 1 de la tarjeta. He usado 5 comentarios en grama, todos ellos al comienzo del mismo. el pro

-DIMENSION. Proposición que tampoco es ejecutable, pero de uso obligatorio al usar variables con subíndice. Sirve para separar espacios en la memoria, a determinada variable.

Así por ejemplo, he separado 30 posibles valores, para cada una de las que intervienen en los datos. Es decir, que pueden ir hasta 30 tipos de tubería de distinto grado, peso y tipo de coples.

-DO. Es una instrucción de operación imperativa. Responde a la forma:

DO n i - a,b,c

En donde:

n es el número de la proposición

i es una variable de punto fijo

a,b,c son variables de punto fijo.

La ejecución de esta orden, es realizarla o las operaciones hasta la instrucción, respondiendo a la constante i, desde a hasta b, incrementando en c. Cuando sólo aparecen a y b; el incremento es de la unidad. Para efectos de mi programa he usado esta última posibilidad, empleándola para lectura de tarjetas datos.



-READ, PRINT, PUNCH.- Son proposiciones de lectura, impresión y perforación respectivamente. La primera es usada en entrada de datos, y las dos últimas para salida de resultados o claves especiales, sea por la máquina de escribir o por la Lectora/Perforadora.

Por ejemplo, en el caso del programa que presento, uso Print para salida de resultados y para escritura de claves de -detección de error, así en la instrucción 36 del Programa Fuente, será escrito que no es factible el diseño, si en algún momento llegamos a una profundidad en la que se requiera tubería que no está en nuestros datos o disponibilidad.

-IF.- Es una instrucción de transferencia condicionada. Establece una comparación con respecto a cero, según tres posibilidades, menor, igual o mayor. Es de la forma:

IF(B) a,b,c

Si B es menor que cero, la instrucción siguiente será efectuada en a, si es igual o mayor; en b y c, respectivamente.

Esta instrucción es de amplio uso en mi programa. Siendo una llave clave de gran utilidad por las características mismas del tema que desarrollo.

-GO TO N.- Es una proposición de transferencia incondicionada, una vez leída, el flujo hará un puente hasta N.

Cosa igual sucede en el caso anterior, sólo que la di

rección a,b,c está condicionada por el valor de B.

### DIAGRAMA DE FLUJO.

Un determinado problema que será solucionado mediante una Computadora, es resuelto según instrucciones que nosotros hemos previamente programado. Ordenes que llevan entre sí un orden determinado, y que responde a las condiciones de cada problema y a la solución que le dé cada programador. Esta secuencia operacional, está representada gráficamente, mediante un Diagrama de Flujo, que no es otra cosa que un conjunto de figuras, previamente establecidas, conectadas entre sí mediante líneas de flujo.

La notación responde a la presentada en la FIG. I.

LA CODIFICACION es llevar las expresiones que deseamos se realicen al idioma en que trabajamos, en este caso Fortran. Después de esto nos encontramos en condiciones de realizar la PERFORACION de la tarjeta, una para cada instrucción, atendiendo a las siguientes reglas:

- Un máximo de 72 columnas a perforar
  - Las cinco primeras son para comentarios o para indicación del número de proposición.
  - La sexta columna no es utilizable
- partir de la setima columna, empiezan las instrucciones que hemos codificado.

Creo que con esta somera descripción de los principales conceptos y enunciado de las órdenes e instrucciones empleadas en el Programa, estará el lector con mayor capacidad de entender todas y cada una de las órdenes requeridas en él y descritas en el siguiente capítulo, que trata el análisis del diagrama de flujo.

## CAPITULO VI

El programa:

Generalidades:

Presento a continuación la solución de una o más **Sar-  
tas Combinadas** de Casing, independiente del tipo de tubería **dis-  
ponible**, en grado, pesos o tipo de uniones, independiente de -  
las características del fluido en el hueco del pozo, del con--  
cepto que tenga el diseñador respecto de los Factores de Dise-  
ño, sean éstos al Colapso, a la Presión Interna o al Esfuerzo  
en las uniones.

Independiente también de la profundidad deseada o de  
los tramos entre los que se desee el cálculo, libre para impo-  
siciones entre los intervalos de cálculo si se desean más de u  
na sarta combinada y con una exactitud y rapidez propia del  
sistema de cálculo empleado.

Es pues, el que presento, un Programa en el que el u-  
suario dispone de un instrumento de diseño completamente gene-  
ral, dentro de los rangos lógicos de diseño.

El proceso de cálculo que realiza la Computadora es -  
más fácil de visualizar en un Diagrama de Flujo. Voy a mostrar  
dos de ellos.

El primero es un trazado global sin entrar en mayor -

detalle, siendo el segundo una expresión en la que aparecen todas y cada una de las operaciones que se realizan o pueden realizarse en la solución de una o más Sartas Combinadas de Casing.

El proceso de cálculo es similar al mostrado en el Capítulo II, con las acotaciones expuestas en el Capítulo III, y acondicionado según todas las posibilidades que pueden aparecer en el diseño de una tubería revestidora.

El Diagrama de Flujo Global, presenta 8 secciones (Ver gráfico adjunto).

- PRIMERA SECCION.- Lectura de datos, según estos necesitan ser suministrados.
- SEGUNDA SECCION.- Limitación de la Tubería respecto a la Presión Interna.
- TERCERA SECCION.- Selección respecto al Colapso respetando el límite calculado en la sección anterior.
- CUARTA SECCION.- Calcula una (s) longitud afectada o nó, por carga axial según la fórmula demostrada en el Capítulo III.
- QUINTA SECCION.- Son calculados, impresos y/o perforados todos los elementos solicitados respecto a la sección I-1, se investiga el futuro factor de control, para la sección I, según esto volverá a la misma vía o seguirá por otro camino.

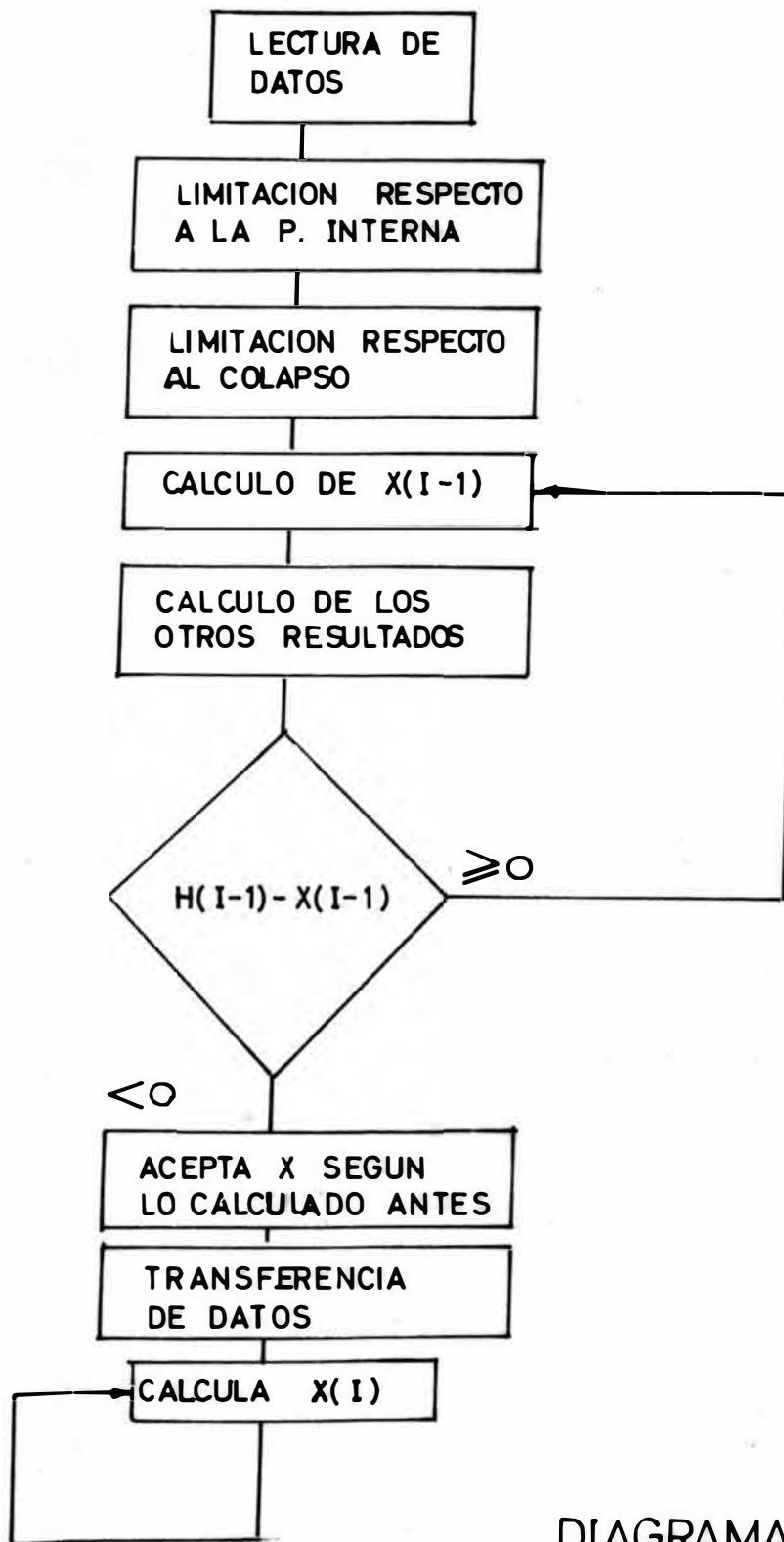


DIAGRAMA  
DE FLUJO  
GLOBAL

**-SEXTA SECCION.-** Se aceptan los cálculos anteriores resolviendo algunos otros elementos necesarios. Se pregunta la cercanía del final y si aún falta ...

**-SETIMA SECCION.-** Se cambia de dirección respecto a los datos, or denados esta vez según la resistencia a la Ten sión.

**-OCTAVA SECCION.-** Se calcula todo lo requerido en las respuestas, continuando los cálculos si aún está sobre el tramo mínimo deseado.

A continuación describo los cálculos tratados esta vez con minuciosidad, para lo que hago referencia al Diagrama de Flujo descriptivo y al Programa Fuente, H-1, H-2 y H-3.

Como una pequeña introducción quiero adelantar respecto:

1.- A la alimentación de datos; esta está conformada por dos grupos, el primero es para efectos del diseño respecto al colapso y el segundo es usado cuando el factor de control es la Tensión.

Este sistema de suministro es el más efectivo, simplificando el Programa, no extendiendo el tiempo de cálculo ni el volumen del mismo.

2.- A algunas fórmulas empleadas, y cuyo empleo se hace necesario y son explicadas conjuntamente a la descripción de la -

instrucción en la que se encuentran.

- 3.- A las tarjetas claves, mostradas a través del Programa Fuente y que sirve para variar las condiciones del programa según se desee.
- 4.- Al Programa Fuente, en el que aparecen datos que son originados por un problema modelo presentado en el Capítulo VIII sin que esto signifique una particularización de la solución al problema de diseño.

#### DIAGRAMA DE FLUJO DESCRIPTIVO

##### PRIMERA SECCION.- LECTURA DE DATOS

- Las 8 primeras tarjetas corresponden a 5 rótulos con comentarios 3 dimensionados de variables respectivamente.
- Las tarjetas claves AA y BB representan el número de datos usados en el 1º y 2º grupo respectivamente.
- Las 6 instrucciones siguientes son de lectura de datos, mediante una instrucción imperativa DO, con sus correspondientes indicaciones de qué leer y en qué Formato. Los datos corresponden a:



LECTURA	IDENTIFICACION	FORMATO	REPRESENTACION
N,NJ	GRADO DE ACERO Y TIPO DE COPLES	I4	+XXX
W,WJ	PESO DE LA TUBERIA EN Lb/PIE	F5.1	+XX.X
PC,PCJ	PRESION DE COLAPSO	E9.3	+X.XXXE+4
Z,ZJ	COEFICIENTE K	E9.3	+X.XXXE+6
F,FJ	ESFUERZO RESISTENTE DE LAS UNIONES	E9.3	+X.XXXE+6
PI,PIJ	PRESION INTERNA	E9.3	+X.XXXE+4

Debido al sistema de procesamiento numérico no era simple el introducir datos literales de la forma J55, para resolver este problema respecto al tipo de acero y coples usados, he utilizado la siguiente clave:

+ MNÑ

En la que N es la primera cifra significativa de la mínima resistencia al límite elástico, propia de cada grado.

Ñ responde al tipo de uniones empleadas, 1 para largos 8 para cortos y 3 para especiales.

M es un ordenamiento consecutivo de identificación como es mostrado a continuación:

GRADO DE LA TUBERIA	CLAVE	UNIONES
P110	+ 213	ESPECIALES
N80	+381	LARGOS
J55	+458	CORTOS
H40	+54__	.....

El resto de los valores es de fácil obtención mediante las Tablas presentadas con anterioridad.

-La tarjeta clave EE, es una instrucción de lectura de elementos que el usuario del Programa ha de imponer. Sean estos los Factores de diseño, al Colapso, a la Presión Interna, etc. los que son mostrados a continuación con sus respectivos formatos.

LECTURA	IDENTIFICACION	FOR	TO	REPRESENTACION
FCD	FACTOR DE DISEÑO AL COLAPSO	F7.4		+ .XXXX
FJD	FACTOR DE DISEÑO LAS UNIONES	F7.4		+X.XXXX
D	DENSIDAD DEL LODO LB/GAL.	F7.3		+XX.XXX
PO	PROFUNDIDAD INICIAL	E9.2		+XX.XXX+X
GR	GRADIENTE DE RUPTURA	F5.2		+X.XX

-La Gradiente de ruptura es resultado de multiplicar la Gradiente de Ruptura normal por el Factor de Diseño a la Presión Interna.

-Para la Profundidad inicial es necesario dar como dato ésta menos el incremento descrito en la siguiente instrucción.

#### SEGUNDA SECCION.- LIMITACION RESPECTO A LA PRESION INTE

-La instrucción 1, tarjeta clave CC, es un incremento a la profundidad anterior o dato inicial, y responde al intervalo entre cálculo y cálculo al diseñar más de una sarta combinada.

- La tarjeta clave DD, pregunta si la profundidad actual es mayor igual o menor que la profundidad límite, la que será determinada para cada tipo de problema.
- Desde la instrucción 28 hasta la 54 se realizan un conjunto de operaciones y preguntas con derivaciones de flujo supeditadas a las respuestas mediante lo cual conseguimos el límite de la mínima tubería de resistir a la Presión Interna (INF). Bajo este límite, ni un sólo cálculo debe efectuarse. demás están las tarjetas clave GG con Frint o Punch según se deseen obtener los resultados por la Máquina de Escribir o por medio de Tarjetas Perforadas.

### TERCERA SECCION.- LIMITACION RESPECTO AL COLAPSO.

- De la proposición 66 a la 31 se realiza la selección de la sarta o tubería mínima que resiste al Colapso y que no se encuentra por debajo de INF.
- Además está la otra tarjeta clave GG y la instrucción 29 en cuyo contenido se detectará un error (Check Stop) si no poseemos la referida tubería mínima.

Este problema es resuelto por el uso del Gráfico G, cuyo correcto empleo es mostrado a través del ejemplo del Capítulo VIII.

- Es factible la detección de error también mediante la instruc-

ción 99, la que se manifestará por escritura automática del defecto encontrado.

-La instrucción 92 sirve para un caso especial y posee un trazado especial, como medida de seguridad. Aquí la tubería normalmente calculada para el Colapso, es forzada a trabajar a tensión y así cambiar de factor de control del diseño, luego de lo cual saltará a la Sección 6.

#### CUARTA SECCION.- CALCULO DE X.

-Para la solución de un tramo afectado por carga axial y bajo el control del Colapso (X) uso las fórmulas descritas en el Capítulo III.

-Para efectos del programa y distribución de variables este cálculo se realiza para  $X(I-1)$  empezándose por ello todas las operaciones con el subíndice  $I=2$ , evitando así un posible Check Stop.

-Como  $Q(I-2)$  es aquí representada por  $Q$ , y debiendo esta de ser cero hasta que  $I=3$ , he dispuesto un IF que derivará a 6 ó 7 según la respuesta.

-Desde la instrucción 7, las 4 siguientes tarjetas corresponden a la secuencia de las fórmulas empleadas para calcular X, con el Factor de Diseño deseado ya involucrado

QUINTA SECCION.- OTROS RESULTADOS.-

- Dentro de las siguientes 17 instrucciones correspondientes siempre al tramo I-1, encontramos:
- Tarjeta clave FF, en la que interviene el concepto del operador acerca de la mínima longitud deseada. (Para el desarrollo del Problema Ejemplo he considerado esta de 20 pies).
- Tarjeta clave GG anteriormente descrita.
- Cálculo del Factor de Colapso actual o de trabajo, correspondiendo este a la relación:

$$F = (\text{Presión resistente de la tubería}) / (\text{Presión actuante})$$

En la instrucción 34 son claramente visibles los elementos componentes de esta relación.

- Se calcula una nueva Q correspondiente a Q(I-1), para usarla en el
- Cálculo de la profundidad factible de bajar respecto a la Tensión H(I), que es un arreglo de la ecuación:

$$F(J) / FJD = H(I) W(J) + Q$$

- También se calcula el Factor de Diseño actual para las uniones.
- Las siguientes instrucciones son conversiones de variables para efectos de homogenización de salida de resultados.

- En la tarjeta clave FF, se permite continuar o recomenzar el flujo segun la respuesta a la pregunta P(I) -
- En caso de remomenzar, vuelve a la intrucción 1, para recibir un incremento y nuevamente empezar los cálculos hasta aquí descritos.
- En caso de continuar llega la instrucción 70.

En esta se efectúa la pregunta acerca del futuro factor de control para el diseño, según lo explicado al final del Capítulo III.

Según la respuesta, se permitirá seguir calculando respecto al colapso (previo chequeo de INF) o a la Tensión entrando a la

#### SEXTA SECCION.

- Comprendida entre las instrucciones 11 y 12, en la que se aceptan los valores calculados para el tramo I (anteriormente se calculaba para los tramos 1-1).
- Se calculan los Factores de Diseño actuales.
- Comprende además 3 tarjetas claves; 2 FF y 1 GG.

#### SETIMA SECCION.- TRANSFERENCIA DE DATOS.

- Hasta este momento se trabajó con los datos arreglados para el Colapso. Como el nuevo factor de control es la tensión, debe--

mos de usar el 2º grupo de tarjetas clave ordenados especialmente para este efecto.

Como es requerida una resistencia mayor a  $F(J)$  que es la última usada se emplea el juego de ordenes desde la 26 hasta la 16.

Aquí ya no es factible el uso de  $I'F$ , es por ello que empleo el control respecto a la constante PIC, calculada con anterioridad y que representa la presión interna actuante.

#### OCTAVA SECCION.- CALCULOS PARA TRAMOS EN TENSION.

- Con la instrucción 16 empieza el cálculo de la nueva sección.
- Se controla J, y si ésta fuera alguna vez menor que cero, lo que indicaría el final de tarjetas datos y existencias automáticamente se escribirá la instrucción 36.
- Se efectúan todos los cálculos anteriormente descritos pero esta vez todos los nombres de los datos están afectados de una J que precede al subíndice, como por ejemplo:

$$\underline{F}J (J) \qquad NJ (J)$$

- La instrucción siguiente a la 16 pregunta la cercanía del cálculo a la superficie.
- En caso de requerir más cálculos para otras secciones, necesitaremos de una tubería de mayor resistencia que la anterior, pero

aquí ya no tendremos la seguridad de encontrar una secuencia en orden creciente puesto que debido a la generalidad del Programa son, si así lo desee el diseñador, utilizadas tuberías con couples especiales.

Para solución de este problema uso el conjunto de instrucciones de la 84 hasta la orden GO TO 16.

-El resto de las instrucciones corresponde a la detección de errores, manifestación del final, u otros y que son colocadas al final del Programa con el fin de evitar pérdida de tiempo y/o aislamiento de la instrucción.



## CAPITULO VII

### ANALISIS DEL COSTO DEL PROGRAMA

El monto de los gastos que arrojará el usar el presente Programa, está en función del fin que se le designe y del usuario.

En caso de ser empleado por una Compañía extraña a la Facultad, con fines de beneficio propio, deseando usar el equipo existente en la Universidad; el Laboratorio de Matemáticas, establece una tarifa de cincuenta dólares la hora, incluyendo máquinas y operador.

Si el usuario fuera la Facultad de Petróleo, empleando el tema con fines de Investigación o Docencia, se exonera de pago alguno por concepto de uso del equipo pudiendo, si así lo deseara, solicitar el servicio de un operador.

El costo de las tarjetas, está en función del tipo de obtención de resultados que deseamos.

Así, por ejemplo, si se piden los resultados tan sólo por la máquina de escribir, el número de tarjetas corresponderá sólo a las utilizadas en el Programa Fuente, siendo su costo de

$$C = (60/1000) 170$$

$$C = 10.0 \text{ soles} \quad (\text{Cotizando a } 60 \text{ soles el millar de tarjetas.})$$

Cabe una vez más, añadir el ahorro substancial que produce el empleo de la Unidad de Discos, impidiendo el aumento del costo básico del Programa en casi un 50%.

En caso de necesitar salida de datos por medio de tarjetas perforadas, el costo del Programa estará en función del número de respuestas solicitadas.

Promedios bastante aceptables, resultantes del control de la mayoría de las pruebas a que he sometido el presente programa, han sido:

Tiempo promedio = 1.4 minutos/sarta combinada.

Una sarta consta de más o menos cuatro secciones.

Una sarta requiere de 10 tarjetas en salida perforada.

Si consideramos que el costo del programa depende del monto de tarjetas en total usadas y del tipo de la entidad que haga uso, podemos decir que:

#### COSTO DE TARJETAS

Programa Fuente -----	10.00 soles
Respuestas -----	(60/1000) 10 N'
ó mejor -----	0.6 N'

#### COSTO DE MAQUINA

Costo único	(1.4/60) 50 " dólares
ó mejor aún	1.16 C N" soles.

COSTO TOTAL DEL PROGRAMA.

C.T. = Costo de Tarjetas + Costo del Equipo

$$C.T. = 10.00 + 0.6N' + 1.16 C N'' \quad \dots\dots (A)$$

$$= 10.00 + 0.6N' + 1.16 CN''$$

En donde:

$N'$  y  $N''$  son el número de sertas requeridas en la respuesta.

$C$  es el cambio al día del dólar, en soles/dólar.

$N'' = 0$  Si el usuario es la Facultad de Petróleo.

$N' = 0$  Si las respuestas son solamente obtenidas por la máquina de escribir.

Luego, para la obtención del costo total requerido, bastará emplear la fórmula (A), con las consideraciones arriba anotadas.

Innecesaria es una comparación, para demostrar su factibilidad económica, por las ventajas que ofrece en el cálculo de una determinada sarta y los ingentes ahorros en el plano económico.

## CAPITULO VIII

### EJEMPLO DE LICACION DEL PROGRAMA

Como explicación práctica del proceso a seguir, para el buen uso del presente Programa, he de confeccionar una Carta de Rápido Diseño de Sartas Combinadas de Casing, desde los 3,500 hasta los 12,000 pies con los siguientes datos:

-Diámetro Nominal de la Tubería =  $4\frac{1}{2}$ "

-Peso específico del lodo - 12 libras/Galón.

-Intervalo entre cálculos - cada 100 pies.

-Factor de Diseño al Colapso =  $1\frac{1}{8} = 1.125$

-Factor de Diseño de la Presión Interna = 1.00

-Factor de Diseño de las Uniones = 2.00

Se cuenta con las siguientes tuberías: H40 de 9.5 lbs. J55 de 9.5 y 11.6 lbs. N80 de 11.6 y 13.5; P110 de 11.6 y 13.5 y 15.1 lbs/pie, además de las uniones especiales de alta resistencia fabricadas por la USS National para Casing de  $4\frac{1}{2}$ ".

Se sabe además, que en un pozo similar de 7,000 pies - se tuvo una presión de 3,500 psi. (BHPS).

### DATOS.-

Primeramente seleccionamos los datos que hemos de proporcionar a la Computadora. Los datos son dispuestos en forma -

continuada en seis columnas y en dos grupos. Una tarjeta para cada tipo de tubería-grado-peso-unión.

-El primer grupo de datos, no tiene tuberías con coples especiales y en el caso de, para un mismo peso y grado hubiera posibilidad de usar coples cortos y largos, tomaremos solamente los primeros de éstos.

La primera tarjeta correspondetá a la tubería de mayor grado y peso que estemos en condiciones de emplear, siguiendo luego en orden correlativo descendiente.

-En el segundo grupo de las tarjetas-datos, irán todas las tuberías existentes y si hay más de un tipo de Coples para una tubería de las mismas características Grado-Peso, irán cada uno de éstos tipos en una tarjeta distinta.

#### DESCRIPCION DE LOS DATOS.

Estarán éstos agrupados en seis columnas, las que responden a:

-Primera columna irá el grado, en la clave ya descrita con anterioridad. Por ejemplo, para la tubería J55 de 11.6 lbs. irá para el primer grupo solamente 458 y para el segundo grupo irán 453,451 y 458, respectivamente. Ocupará cuatro espacios en total por ir precedidos de un signo más.

-En la segunda columna va el peso en lbs/pie, correspondiente al peso promedio de tubería más coples, tal como es presenta-

do en la Tabla 4, para un determinado rango. Ocupa cinco espacios, con aproximación de hasta los décimos de lbs/pie.

-Para la tercera columna, obtenemos los valores de la Tabla 5, que corresponde a la Presión de Colapso. Ocupa nueve espacios, con un signo más precediéndolos valores expresados en decenas de miles de libras.

-En la cuarta columna, obtenemos los valores de la Tabla 7, siendo esta de la constante para efecto del cálculo de la Presión de Colapso corregida.

-En la penúltima columna, van los esfuerzos capaces de soportar las uniones. Para el primer grupo de tarjetas-dato irá sólo una tarjeta de cada grado-peso. Para el segundo grupo, irán tantas tarjetas con las cuatro primeras columnas iguales (excepto la primera columna, cuarta posición, correspondiente a la clave de las uniones), como tipos de coples disponibles tengamos en utilidad. Así por ejemplo, para el caso de J55 y 11.6 lbs. usaremos cuatro tarjetas, una para el primer grupo y tres para el segundo.

Usamos para una debida evaluación la Tabla 3, y datos de tuberías especiales, en caso de usarlas, según catálogos especiales.

-En la sexta y última columna, tomaremos referencia de la Tabla 6, en la que presenté la resistencia de cada tubería la Presión de Ruptura o Interna. Este dato ocupa, al igual que las cuatro

anteriores, nueve columnas, todos ellos precedidos de un signo mas.

Así, en total, en el primer grupo irán 8 tarjetas según los datos del problema ejemplo.

Para el segundo grupo irán 15 tarjetas, siendo mayor número pues aquí se han considerado todos los tipos de coples capaces de usar. (Ver Tabla 9). Aparte de estas 8 mas  $15=23$  tarjetas, es necesaria una más.

La última entrada de datos corresponden a la Tarjeta clave EE, en la que serán perforados los vabres de los Factores de Diseño al Colapso y a las Uniones.

Peso Específico, Profundidad Inicial y Gradiente Corregida respectivamente. Todos estos datos son fáciles de obtener con los formatos anteriormente explicados.

Vale quizá recalcar, que la profundidad que irá en la tarjeta es la Profundidad Inicial menos el Intervalo entre los cálculos, ( $3,500 - 100 = 3,400$ ). demás, la Gradiente Corregida, es la gradiente de ruptura afectada por el Factor de Diseño a la Presión Interna. En caso de nuestro problema, y hecho a propósito, el cálculo de este último factor, es de fácil obtención mediante una carta especialmente confeccionada, y que será también usada para chequeos necesarios que explico más adelante.

Las Cartas F y G, han sido especialmente diseñadas para el chequeo de la entrada de datos, dado que es necesario que en los datos que suministremos debe de existir al menos una tubería que cumpla las condiciones mínimas al Colapso y a la Presión Interna.

La Carta F.- Nos sirve para determinar la Gradiente de Fractura del Reservorio, corregirla según un Factor de Diseño a la Presión Interna y además saber mediante la máxima profundidad, cual es la tubería que debemos tener.

#### PROCEDIMIENTO.

a.- Determinación de la Gradiente.- Según el dato del problema a resolver, contamos con 3500 psi. a 7000 pies. Mediante el trazado a-b, (Ver Gráfico F) determinamos la Gradiente sin -  
Corregir = 0.5.

La corrección la realizamos mediante el gráfico adjunto F-1, con el Factor de Seguridad = 1.00, según la recta cd ob tenemos GR = 0.5.

Tenemos así, la última columna de la tarjeta 24, de los datos. Ver tabla 9.

La función principal de la Carta, es chequear si poseemos en nuestras existencias, una tubería con la que podemos llegar a la profundidad pedida.



Chequeo.- En la Carta F, con la profundidad de 12,000 pies y - GR de 0.5, obtenemos 6,000 psi, o que es necesario como mínimo una tubería N80 de 11.6 lbs. Esto es conseguido rápidamente por el trazado efgh.

Para el caso de nuestro problema rebasamos con amplitud dicho límite, pues poseemos tubería P 110 capaz de resistir hasta 14420 psi.

La Carta G.- Ha sido confeccionada también para chequear la tubería mínima que debemos usar, pero esta vez respecto al Colapso.

Basta para esto seguir un trazado similar al abcde en el que intervienen la profundidad máxima, el peso específico del lodo, y el Factor de Diseño al Colapso. Obtenemos para nuestro ejemplo, una tubería de grado P 110 y de 13.5 lbs., límite que es también sobrepasado por nuestras existencias.

Si bien, aparentemente, bastaría el usar la última de las dos cartas, esto es un efecto engañoso, pues este es un caso particular y las respuestas que ellos nos arrojan están en función de diversos factores, siendo quizá el decisivo, el Factor de Diseño, empleado en cada caso.

Una vez satisfecho éstos trámites y confeccionadas las 24 tarjetas datos, serán perforadas a continuación las tarjetas claves del Programa Fuente, AA, BB, CC, DD.

Tarjeta AA	47 IN - 8
Tarjeta BB	INN = 15
Tarjeta CC	1 PO = PO + 100
Tarjeta DD	IF(PO-12000.)2E,2E,47

Que cumplen para los requisitos propuestos y el número de datos del programa.

### PROCEDIMIENTO DE OPERACION DE LA COMPUTADORA

#### ENTRADA DEL PROGRAMA FUENTE.

Usaremos la Unidad de Disco, con las ventajas descritas en anteriores líneas. El orden de entrada de las tarjetas es el siguiente:

-Las tres primeras tarjetas se componen de:

1° -El Cargador, perforando desde la primera columna

340003200701360003200702402511963611300102

2° -El indicador de trabajo, también a partir de la primera columna WWJOB\_5

3° -El Formato

WWFORX53

-A continuación viene el Programa Fuente (Ver Tablas H-1, H-2, H-3).

- Luego entran los datos, primer y segundo grupo y la 24° tarjeta de datos respectivamente.
- Al último irá la cuarta tarjeta clave del sistema de procesamiento con Discos que indica que el programa ha terminado, perforando WWW a partir, también, de la primera columna.
- Una vez puestas en este orden en la lectora, estamos en condiciones de empezar la

#### OPERACION.

- 1°.- Ponemos la Memoria "en ceros" o borramos la Memoria, por medio de la máquina de escribir, imprimiendo

26000080000 S

(Ver encabezamiento de la Tabla H-1)

Esperamos cuatro segundos, aproximadamente, presionando INSTANT STOP y RESET, en la Consola.

- 2°.- Empieza a pasar nuestro programa, después de haber presionado LOADER en la Lectora.
- 3°.- Si deseáramos la obtención del Programa Fuente por medio de la máquina de escribir, debemos poner el Switch 1 en ON, en caso contrario deberá dejarse en OFF.
- 4°.- La Computadora señala por medio de la máquina de escribir la aceptación inicial del programa imprimiendo.

## JOB 5

## FORX53

5°.- Puede suceder que la Computadora "no lea", detectándose - en el Panel de instrumentos el encendido de Reader no Feed. Solucionamos esto por medio de la presión de Reader Start - en la Lectora.

6°.- Una vez pasado el Programa Fuente, la máquina de escribir - imprime

18834 CORES USED

59999 NEXT COMMON

END OF COMPILATION

EXECUTION

(Ver Tabla 10)

7°.- Empieza la ejecución de las operaciones propuestas, ya que ha sido manifestado el final de la Complilación.

8°.- Son leídos los datos del problema (24 tarjetas) encendiéndose para la última READER O FEED con la solución ya cono cida.

9°.- Luego de unos segundos empiezan a obtenerse los resultados sea por la máquina de escribir, por medio de tarjetas perforadas o por ambos.

10°.-Despues, bastará llevar los resultados obtenidos a un gra-

fico similar al que presento después del listado de los -  
resultados. Gráfico J y Tabla 10, respectivamente.

## CAPITULO IX

### CONCLUSIONES

#### DEL TEMA

- 1).- El empleo de la Computadora Electrónica IBM 1620, es ideal para la solución del diseño de Sartas Combinadas Casing y más aún para la confección de Cartas de Rápido Diseño.
- 2).- El tema reviste vital importancia por su influencia en el monto de los costos de completación de cada ~~pozo~~.
- 3).- Se presenta una variación en el método convencional del diseño de Sartas Combinadas, el que arrojará positivos resultados tanto en el aspecto de cálculo como en el económico.
- 4).- Es demostrada una forma de obtención directa para tramos afectados por carga axial, evitando tanteos con las consi--guientes demoras, posibilidades de error e inexactitud. Dichas ecuaciones son presentadas para solución manual y/o mecánica.
- 5).- Amplía las facilidades actuales para el diseño de Sartas - con un máximo de exactitud en los cálculos.
- 6).- Permite llevar a la Facultad, a cumplir uno de sus fines, - sirviendo al desarrollo de las técnicas empleadas con bases científicas y aplicaciones prácticas.

7).- Posibilita el establecer una corriente de intercambio entre las aulas y la Industria.

#### DEL PROGRAMA

- 8).- Está desarrollado en forma clara y didáctica, siendo además explicado paso por paso.
- 9).- Su bajo costo y las facilidades actuales con que contamos, permite la factibilidad de su uso, tanto para Compañías que laboran en la Industria como para la Facultad.
- 10).- Es de fácil manejo, y basta tan solo cambiar a voluntad según lo requiera el problema que nos interesa, algunas tarjetas claves, las que han sido debidamente explicadas.
- 11).- En caso de perforación del Programa que presento conjuntamente con el tema de la Tesis, recomiendo realizar una previa precompilación, con el fin de detectar posibles errores en la perforación de tarjetas.
- 12).- Es posible su empleo en otro tipo de Computadora.
- 13).- Se obtienen como resultados:
- a) -Numeración correlativa de cada sección, empezando desde la sarta más profunda.
  - b) -El intervalo entre el que está comprendido cada tramo.
  - c) -La longitud en pies de cada sección.
  - d) -El grado de acero y el tipo de coples empleados.

- e) -El peso por unidad de longitud de esta tubería.
- f) -Los Factores de Diseño actuales, con respecto a la Resistencia de las Uniones y respecto al Colapso.

14).- No son necesarias salidas intermedias, gracias a la Unidad de Discos, lo que reduce aún más el costo del programa.

15).- Para un mismo diámetro se pueden confeccionar diversas cartas usando el mismo programa y los mismos datos, cambiando solamente la tarjeta clave EE según se desee variar el peso específico del lodo, los Factores de Diseño o la Gradiente Corregida.

Cambiando la tarjeta CC, variamos el intervalo entre los cálculos. Modificando la DD, y parte de la 24° de datos, limitamos a gusto las profundidades entre las que deseamos el cálculo.

16).-Es aconsejable el confeccionar Cartas de Rápido Diseño, para un mismo diámetro y Factores de Diseño, así como intervalos entre los cálculos y profundidades deseadas, y para distintos pesos de lodo.

17).- Los resultados obtenidos pertenecen a las cartas más económicas.

Sustento esto por comparación de las respuestas de las pruebas a que he sometido el presente Programa con diseños modelos, comunes en nuestro medio.



18).- Son respetadas las normas standard I, ofreciendo además la posibilidad de usar tuberías especiales y confeccionar cartas o diseños según las existencias que estemos en disponibilidad de usar.

Vale decir que es un programa completamente general, el que puede ser usado en condiciones cualesquiera, no teniendo restricciones de ninguna especie.

BIBLIOGRAFIA

WELL DESIGN: DRILLING AND PRODUCTION ---- Craft, Holden and  
Graves.

FORTRAN ----- Mc Cracken.

USS STIONAL ----- Boletín.

IBM 1620 MANUAL ----- IBM.