



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL  
FACULTAD REGIONAL TUCUMÁN**

## **Ingeniería Electrónica – Medidas Electrónicas II**

**"Medición de Potencia en RF y Microondas  
– Parte I"**

**Mg.Ing. J.C. Colombo  
Prof. Medidas Electrónicas II  
27/11/12**

# INDICE

- 1.- Métodos de Medición de Potencia en Radiofrecuencia y Microondas
- 2.- Esquema de Medición con Termaline
  - 2.1.- Resumen de características del Vatímetro de RF Modelo 61 de BIRD
  - 2.2.- Descripción general
  - 2.3.- Medición de potencia en un transmisor
- 3.- Medición de Potencia por Método de Inserción
  - 3.1.- Teoría de Operación
  - 3.2.- Principio de funcionamiento del Thruline
  - 3.3.- Circuito de Acoplamiento
  - 3.4.- Relación de Onda Estacionaria Vs. Relación de Potencia Reflejada/ Directa
    - 3.4.1.- Operación
    - 3.4.2.- Potencia de carga
    - 3.4.3.- Gráfico de  $\rho$  vs.  $\phi$  y su significado
    - 3.4.4.- Medición y Monitoreo de Potencia de Transmisores
    - 3.4.5.- Testeo de Líneas, Conectores, filtros, etc.
    - 3.4.6.- Repuesta en Frecuencia
    - 3.4.7.- Desajuste de Impedancia
- 4.- Esquemas de sistemas de medición calorimétricos
  - 4.1.- Esquema 1 - Carga Calorimétrica basada en una línea de altas pérdidas – Para línea coaxil
  - 4.2.- Esquema 2 - Carga Coaxil de agua con adaptador de óxido de titanio – Para línea coaxil
  - 4.3.- Esquema 3 - Carga de agua con electrodos de carbón
  - 4.4.- Esquema 4 – Carga Calorimétrica para Guía de Onda
- 5.- Bibliografía

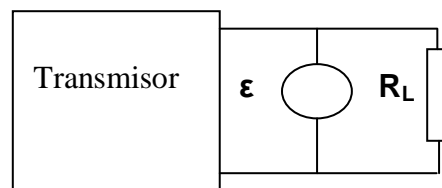
## 1.- Métodos de Medición de Potencia en Radiofrecuencia y Microondas

Una síntesis de los distintos métodos de mediciones que se utilizan según la frecuencia, potencia y ámbitos de aplicaciones en los cuales funcionan los equipos o dispositivos bajo prueba se presenta a continuación:

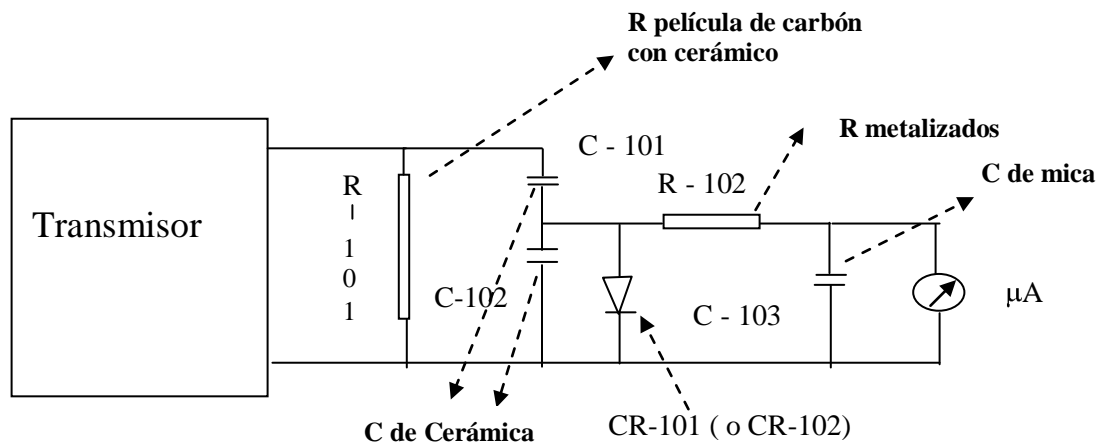
- **Sistemas basados en mediciones de tensión y corriente sobre una resistencia:** AF y RF – Osciladores y Transmisores de Radio. Límite de frecuencia para cambiar el método de medición entre 100 y 300 MHz.
- **Vatímetro Pasante - Thruline :** 2 – 2300 MHz // 5 - 5000 W. Se inserta en Líneas de Transmisión con equipos trabajando (transmitiendo) y con terminación en su propia antena.
- **Vatímetro de Absorción (calor absorbido por una carga) – Termaline:** 30 - 1000 MHz. Para el caso del Termaline 61 de BIRD mide de 0.5 W - 80 W a temperatura de 30°C.  
El modelo 67 C de BIRD tiene escalas: 0-100 / 500 / 2500 W.  
Se mide en condiciones de no Irradiación por antena, por lo que se reemplaza la antena por un resistor de película cilíndrico exacto de 50  $\Omega$  que actúa como carga y está inmerso en aceite. El aceite es un refrigerante de manera similar al aceite de un transformador.
- **Bolométricos ( Barreters y Termistores ) - Circuito tipo Puente:** orden  $\mu$ W // 0,1 - 10 mW y fracciones de W // 100 KHZ – 50 GHZ cambiando los bolómetros según el rango a medir. Aplicación especial sobre Guía de ondas en microondas.
- **Bolométricos – Termocuplas:** Basadas en Chips de Silicio, se usa también en Líneas de Transmisión.
- **Calorimétrico:** 5 – 500 W en rango de microondas y de mayor potencia que los bolómetros..En general son de elevada potencia. Ejemplos: 15 KW DC - 500 MHz; 25 KW 500 - 700 MHz; 50 KW 700 - 800 MHz.
- **Método Fotométrico:** rango microondas idem al Calorimétrico con celdas Fotoeléctricas.

## 2.- Esquema de Medición con Termaline

El ensayo se realiza con el transmisor activo, reemplazando la antena por una carga equivalente y midiendo sobre la misma.



$$P_L = \epsilon^2 / R_L$$



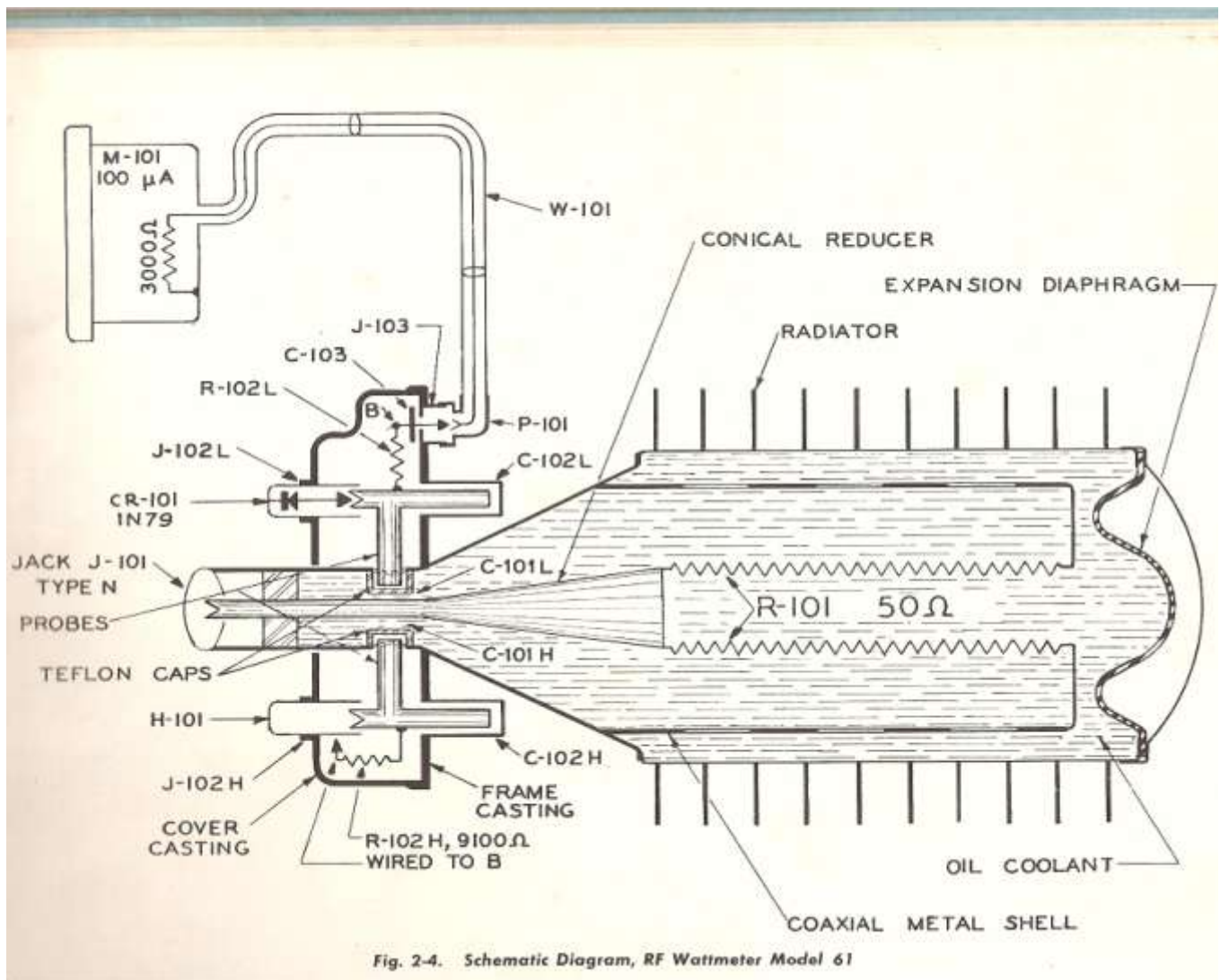
**Referencias:** R-101 - resistor de carga = 50  $\Omega$  ; CR-101 Diodo de cristal de Si  $\mu A$  escalas de Voltaje (50V), Potencia (50W) y R-102= 9100  $\Omega$

**Voltímetro** (circuito voltimétrico diodo en derivación - tipo shunt):

Los capacitores C-101 y C-102 forman un divisor de tensión de CA . C-101 es muy constante y pequeño para minimizar el efecto sobre la resistencia de carga R-101. El diodo de cristal CR-101 carga C-102 a través del divisor. El resistor R-102 y  $\mu A$  de CD conforman un circuito voltimétrico de CD para medir el voltaje de CD a través de C-102 .El capacitor de paso C-103 es una derivación de RF para M-101 (medidor).Es un circuito voltimétrico dual que se lo selecciona con e diodo CR-101. Mirando el circuito hacia atrás a través del C-103 y R-102, es abierto para CC, por lo tanto C-101L, C-102L, R-102L pueden conectarse a través del resistor de carga paralelo. Los circuitos tienen un punto común, el del C-103  
Los diodos a cristal operan con 1, 2 y 100  $\mu A$ , rectificando CC para plena escala cualquier sea la rama.

La potencia está dada por la ecuación  $W = E^2 / R$  ( R101), por lo que el valor de la Impedancia de carga debe ser precisa en un amplio rango de frecuencia, manteniendo constante su valor de 50  $\Omega$  como una línea coaxil.

El esquema del Vatímetro termaline se muestra en la Figura 2.4 siguiente.



## 2.1.- Resumen de características del Vatímetro de RF Modelo 61 de BIRD

Es un Vatímetro de Absorción diseñado para medir Potencia de salida y facilita la Sintonización de Transmisores cuyas características están dentro de los límites siguientes:

- **Frecuencia:** 30 – 500 MH ó 30 - 1000 MHZ.
- **Potencia:** 5 - 80 W
- **Exactitud:** +/- 5% de potencia a plena escala.
- **Circuito de salida:** Coaxial, 50 Ω de trabajo.
- **Tipo de Modulación:** CW, AM, FM ó señales de tipo Televisión. No está diseñado para uso en pulso de potencia similar al radar. Igual ocurre con el Thruline o vatímetro de inserción.

- Se puede utilizar para medir potencia de RF desde cualquier fuente dentro de su rango.
- Se puede utilizar como carga fantasma ( Dummy) de  $50\Omega$  hasta 80 W de potencia.

## 2.2.- Descripción general

La medición de potencia del transmisor se hace desconectando la antena del mismo y conectando al vatímetro, cuya carga absorbe la potencia de irradiación del transmisor.

La carga del medidor es un resistor coaxil exacto como carga del transmisor. Este resistor termina en una línea de  $50\Omega$ , en donde la ROE permanece debajo de 1.1 hasta cerca de los 500 MHz.

La potencia de entrada del resistor es medida por medio de una disposición de un Voltímetro a cristal de rango dual, el medidor DC del Voltímetro es leído directamente en watts de RF.

La lectura es directa en dos rangos 80 y 20 W. La selección de uno de ellos se realiza insertando el diodo a cristal en uno de los receptáculos sobre el panel frontal.

Las escalas están expandidas en lecturas bajas, con deflexión a 1/3 de potencia máxima.

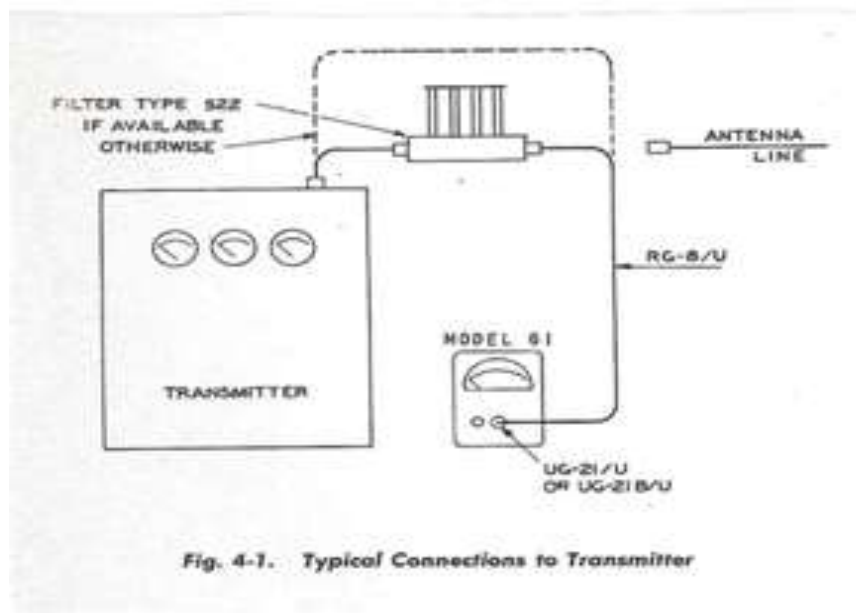
Aplicaciones:

- Chequeo de instalación del transmisor
- Mantenimiento de rutina.
- Pruebas y ensayos de producción
- Ensayos de transmisión
- Mediciones de pérdidas de líneas de transmisión.
- Como carga fantasma ( Dummy) exacta.
- Pruebas de dispositivos de inserción con línea coaxil, tales como conectores, interruptores, relojes, filtros, stub de sintonía, etc.

## 2.3.- Medición de potencia en un transmisor

A partir del Esquema de Medición indicado en la Figura 4-1 siguiente y para realizar la medición de potencia de un transmisor activo se procede de la manera que se indica a continuación:

- Colocar el vatímetro con un par de cables no superior a 1,5 m de longitud, conectar el transmisor al vatímetro durante el ajuste del transmisor.
- Insertar el porta diodo CR-101 en cualquiera de los dos plug, J-102L ó J-102H, seleccionando el rango de potencia deseado.
- Usar un cable coaxil de  $50\Omega$  tal como RG-8/U y plug tipo N de  $50\Omega$ , como la serie UG-21/U
- Sintonizar el Transmisor. El vatímetro indicará la potencia entregada.



- Si el ajuste del transmisor es necesario se deben seguir las instrucciones del manual. El vatímetro indica el resultado de sintonía directa en Watts.
- Cuando la potencia de salida ha sido determinada, es útil para relacionar la salida del transmisor a través del Vatímetro.
- Se pone Off el transmisor, abriendo la conexión al Vatímetro.
- Se reconecta la línea de antena, sintonizando nuevamente el transmisor, anotando la lectura de la medición. Si la impedancia de antena es correcta, la medición del transmisor se hace con el vatímetro conectado. Se deben considerar algunas tolerancias si la ROE es 1 o 2, que son valores normales para algunas frecuencias en antenas de banda ancha.  
En el caso de diferencias considerables entre las lecturas del medidor del transmisor en vatímetro y antena, se vuelve a sintonizar el acoplamiento final del tanque y la antena siguiendo el procedimiento de ajuste del transmisor dado por su respectivo manual

### 3.- Medición de Potencia por Método de Inserción

Un instrumento típico es el Vatímetro Thruline como el de la Figura siguiente:



**Es un Vatímetro de RF tipo de Inserción**, mide flujo de potencia con una carga de terminada en línea de transmisión coaxial de 50  $\Omega$ . Se usa en CW , AM, FM, y envolvente de modulación en TV , pero no para pulsos.

Cuando se usa con carga de 50  $\Omega$  tiene una **VSWR de inserción de menos que 1.05:1** hasta 1000 MHZ.

Sobre el medidor se lee en Vatios y se puede graduar en escalas de **25, 50 y 100 W** a plena escala.

**Los rangos de potencia son determinados por los sensores o elementos plug-In que para este modelo tiene 10 grupos de frecuencia desde 2 a 2300 MHZ.**

### **3.1.- Teoría de Operación**

Onda Viajera: voltajes, corrientes, ondas estacionarias, etc., en una sección de línea de transmisión cualquiera, son el resultado de dos ondas viajeras Onda Directa y Onda Reflejada

Onda Directa: viaja desde la fuente a la carga y tiene en fase un voltaje de RF  $E$  y una corriente en fase  $I$  , con  **$Z_o = E / I$**

Onda Reflejada: originada por reflexión en la carga viaja desde la carga a la fuente y tiene también un voltaje de RF  $\epsilon$  y una corriente en fase  $i$  , con  **$Z_o = \epsilon / i$**

$$\text{Potencia Directa} = \frac{P}{W} = \frac{E^2}{Z_o} = I^2 Z_o = EI$$

$$\text{Potencia Inversa} = \frac{R}{W} = \frac{\epsilon^2}{Z_o} = I^2 Z_o = \epsilon i$$

$Z_o$  ,  $Z$  característica de una pieza corta  
sección de línea uniforme tipo aire=50 $\Omega$

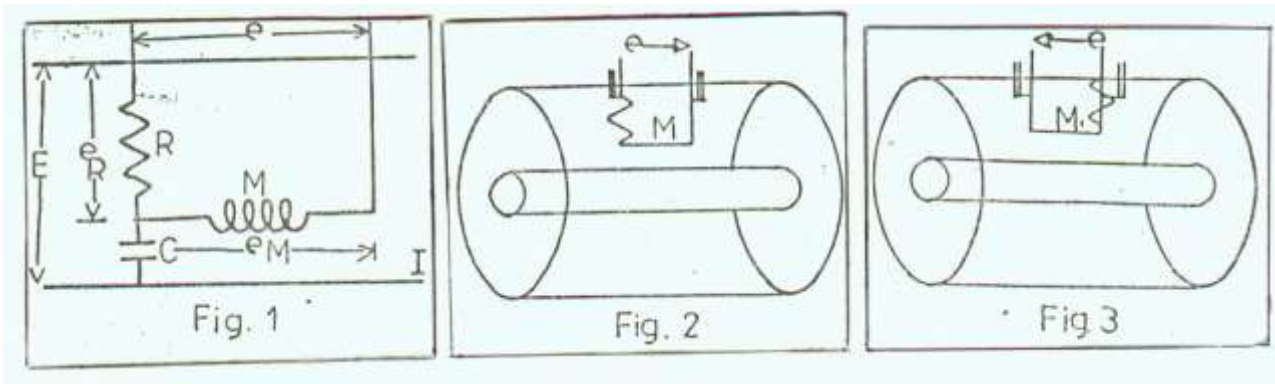


### 3.2.- Principio de funcionamiento del Thruline

La interpretación básica del circuito Thruline, Plug In elemento consiste en una impedancia mutua  $M$  entre el punto y el conductor central, y el divisor de tensión  $C$ ,  $R$ .

En la Fig. 1,  $E$  es el voltaje entre el exterior y el conductor central e  $I$  es la corriente en el conductor central.

Los elementos Plug In pueden ser rotados  $180^\circ$ , resultando  $M +$  o  $-$  según el sentido positivo o negativo, (Fig. 2 y 3). El voltaje de salida del acoplamiento directo es la suma de las dos repuestas de ondas incidentes y reflejadas.



$I \rightarrow$  corriente en conductor central

$$e = \text{Voltaje de Salida en RF} = e_R + e_M$$

$e_R$  resulta de la división de " $E$ " por " $R$ " y " $C$ "  $\rightarrow e_R = RE/x_c = RE j\omega C$   
y la tensión por inducción  $\rightarrow e_M = I j\omega (+/-M)$

por lo tanto  $e = RE j\omega C + I j\omega (+/-M) = j\omega (CRE +/- IM)$

Sí, por razones constructivas, seleccionamos  $R \ll X_c$  las componentes del circuito  $C$  y  $R$  son elegidas de tal manera que  $CR = M/Z_0$ .

El Voltaje de salida es ahora:  $e = j\omega (EM/Z_0 +/- M I) = j\omega M (E/Z_0 +/- I)$  (1)

En un punto cualquiera de la línea de transmisión, el voltaje " $E$ " es la suma de los voltajes incidentes ( $E_i = E_f$ ) y reflejados ( $E_i + E_r$ ) y la corriente " $I$ " es  $I_i + I_r$ .

Como  $I_r$  es en sentido contrario a  $I_i$  se tiene que:

$$I_r = -E_r/Z_0 \quad \text{por lo tanto} \quad I = I_i + I_r = E_i/Z_0 - E_r/Z_0$$

**Cuando el elemento sensor se coloca mirando hacia la carga, el voltaje de salida es:**

$\rightarrow$

de (1) 
$$e = j\omega M \left( (E_i + E_r)/Z_0 + (E_i - E_r)/Z_0 \right) = j\omega M (E/Z_0 + I) = j\omega M/Z_0 (2 E_i)$$

y cuando el elemento sensor se coloca en sentido contrario ,hacia la fuente , se tiene que :

←  

$$e = j\omega M (E/Z_0 - I) = j\omega M \left( (E_i + E_r)/Z_0 - (E_i - E_r)/Z_0 \right) = j\omega M/Z_0 (2 E_r)$$

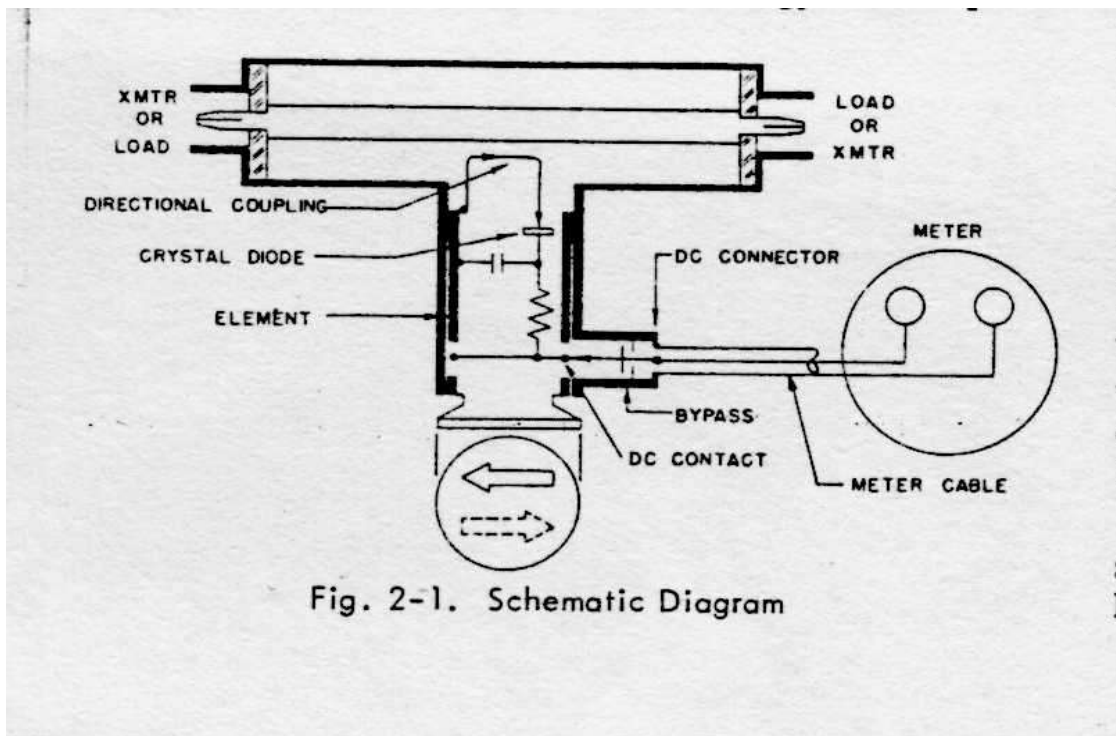
Se observa que el voltaje de salida RF  $e$  es direccional y proporcional al voltaje en la línea debido a cualquiera de las dos ondas incidente o reflejada. ( $E_i$  o a  $E_r$ ).

Para hacer la medición independiente de la frecuencia  $\omega$  , se termina  $e$  en una reactancia capacitiva que es inversamente proporcional a la frecuencia  $\omega$  .

El voltaje a través de este capacitor es rectificado, filtrado y presentado en un medidor calibrado en Watts de RF. Esto se grafica en Circuito de Acoplamiento.

### 3.3.- Circuito de Acoplamiento

El diagrama esquemático del vatímetro de inserción se muestra en la Figura 2-1



### 3.4.-Relación de Onda Estacionaria Vs. Relación de Potencia Reflejada/ Directa

#### 3.4.1.- Operación

- Las mediciones son realizadas por inserción y operación de los elementos Plug In, seleccionados según la frecuencia de trabajo y rango de potencia a medir. En la Tabla del Instrumento se indica el tipo de sensor y la correspondiente frecuencia y potencia de trabajo o de medición.

- La flecha en el elemento indica hacia que lado es sensible, la dirección del flujo de potencia que puede leer. Rotando el elemento se invierte la dirección de sensibilidad, los términos directa y reflejada son usados con referencia al circuito fuente - carga.
- El transmisor puede adosarse a cualquier conector del Thruline, ya que el elemento es reversible y el circuito RF es simétrico en sus extremos. Antes de tomar lectura se debe asegurar que el indicador del medidor ha sido puesto a cero, sin potencia.
- El Thruline usado con un Resistor Termaline de potencia nominal apropiada forma un Vatímetro de Absorción muy útil.
- Si las lecturas se efectúan cuando el medidor está conectado a un cuerpo de sección de línea de RF auxiliar, se debe quitar cualquier elemento de medición de línea de RF que no se emplee. **Caso contrario el circuito de CC quedará desequilibrado o acortado** de acuerdo con la posición de la Flecha del otro elemento, ocasionando lecturas imprecisas del medidor.

### 3.4.2.- Potencia de carga

La potencia disipada o entregada a una carga esta dada por:

$$L \quad \begin{array}{c} F \quad R \\ W = W - W \end{array}$$

Cuando hay una potencia reflejada apreciable como en una antena es necesario restar la potencia reflejada de la directa para tener la potencia de carga efectiva.

Esta corrección es insignificante ( menor que el 1%), si la carga es tal que tengamos una VSWR ( Relación de Onda Estacionaria ) de **1,2 o menor**. Usando buenos resistores de carga tales como los que tiene el Termaline se mostrarán potencias reflejadas despreciables o imperceptibles.

**Las escalas VSWR y sus controles han sido omitidos del Thruline expresamente por :**

**a) No** realizar algo similar a un hipotético voltímetro DC con cavidades de control para los multiplicadores del voltímetro. A esto se agregan complicaciones cuando están involucrados diodos de RF ; **b)** La experiencia usando Thruline en puesta a punto de transmisores , adaptación de antenas , etc. , muestra que la relación de potencia  $\phi$  (Coeficiente de Reflexión ) no es la principal contra , en cuanto a utilidad práctica , de la Relación de Onda Estacionaria  $\rho = \text{VSWR}$ .

Si nos olvidamos momentaneamente de VSWR y pensamos en términos de

$$\phi = \frac{R}{F} \bigg/ \frac{W}{W}$$

cuando se utiliza el Thruline , se notará que sin necesidad de calcular  $\phi$  las dos lecturas del medidor dan idea mental que grafica la situación. De forma tal que en caso de adaptación de antena , el objetivo principal es minimizar la potencia reflejada WR y esta potencia es indicada directamente por el Thruline cuando está en la posición de medir potencia reflejada sin descontar que la relación de lecturas evaluada mentalmente es una guía importante por el propio significado de la potencia reflejada remanente.

Para VSWR tenemos que:

$$\rho = \frac{1 + \sqrt{\phi}}{1 - \sqrt{\phi}}$$

[ Otra razón por la que se omite la medición VSWR es para evitar colocar una escala mas, porque aumenta la complejidad del circuito, aparte el agregar diodos de RF y algún control externo para lograr situar el punto de referencia seria un problema debido a que su impedancia no es constante para rango de frecuencia del instrumento.]

### 3.4.3.- Gráfico de $\rho$ vs. $\phi$ y su significado

Como hay definida una relación simple de  $\rho$  y  $\phi$

$$\rho = \frac{1 + \sqrt{\phi}}{1 - \sqrt{\phi}}$$

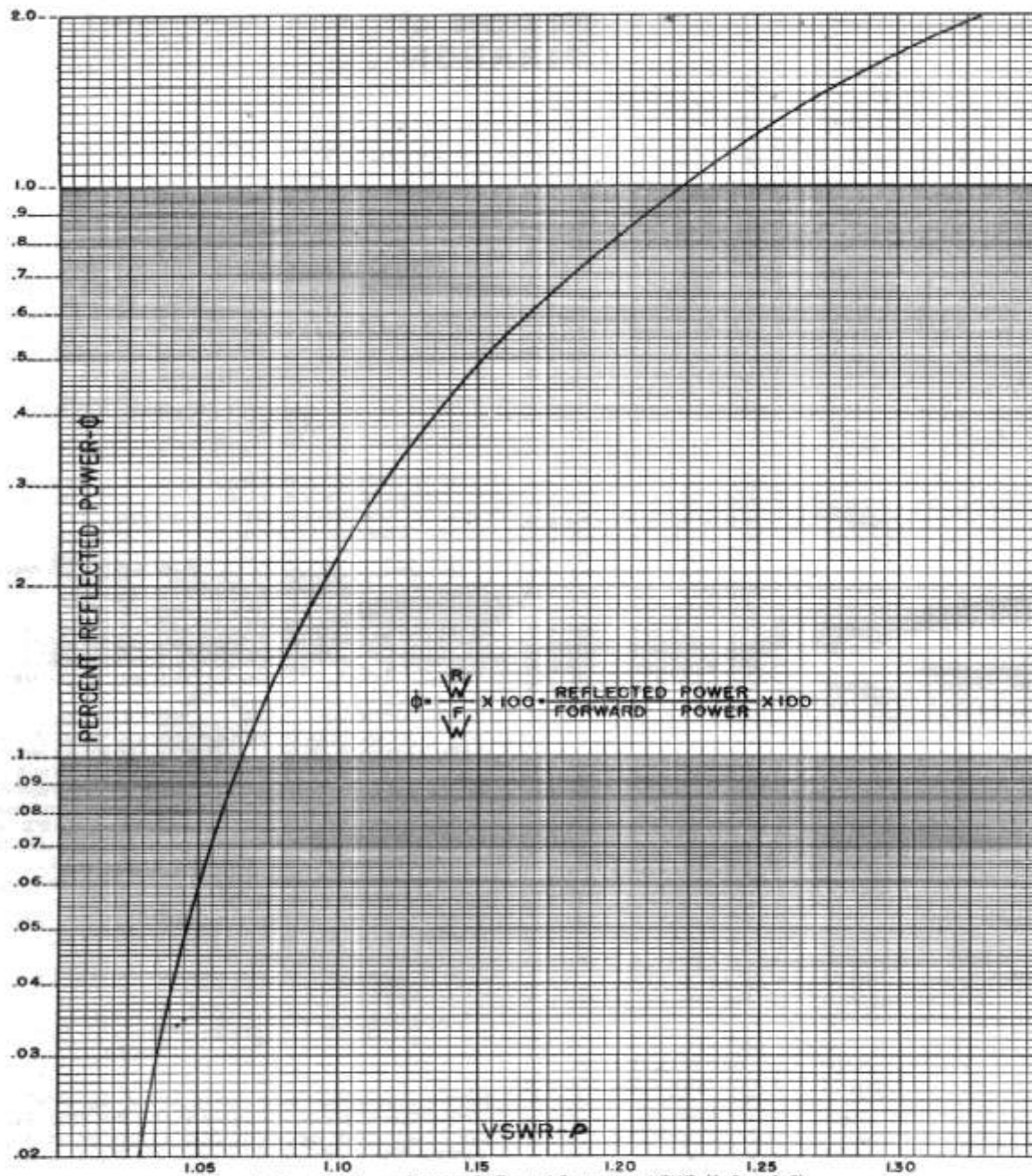
y

$$\phi = \left[ \frac{\rho - 1}{\rho + 1} \right]^2$$

con  $\rho = \text{VSWR}$  y

$$\phi = \frac{R}{F} \frac{W}{W}$$

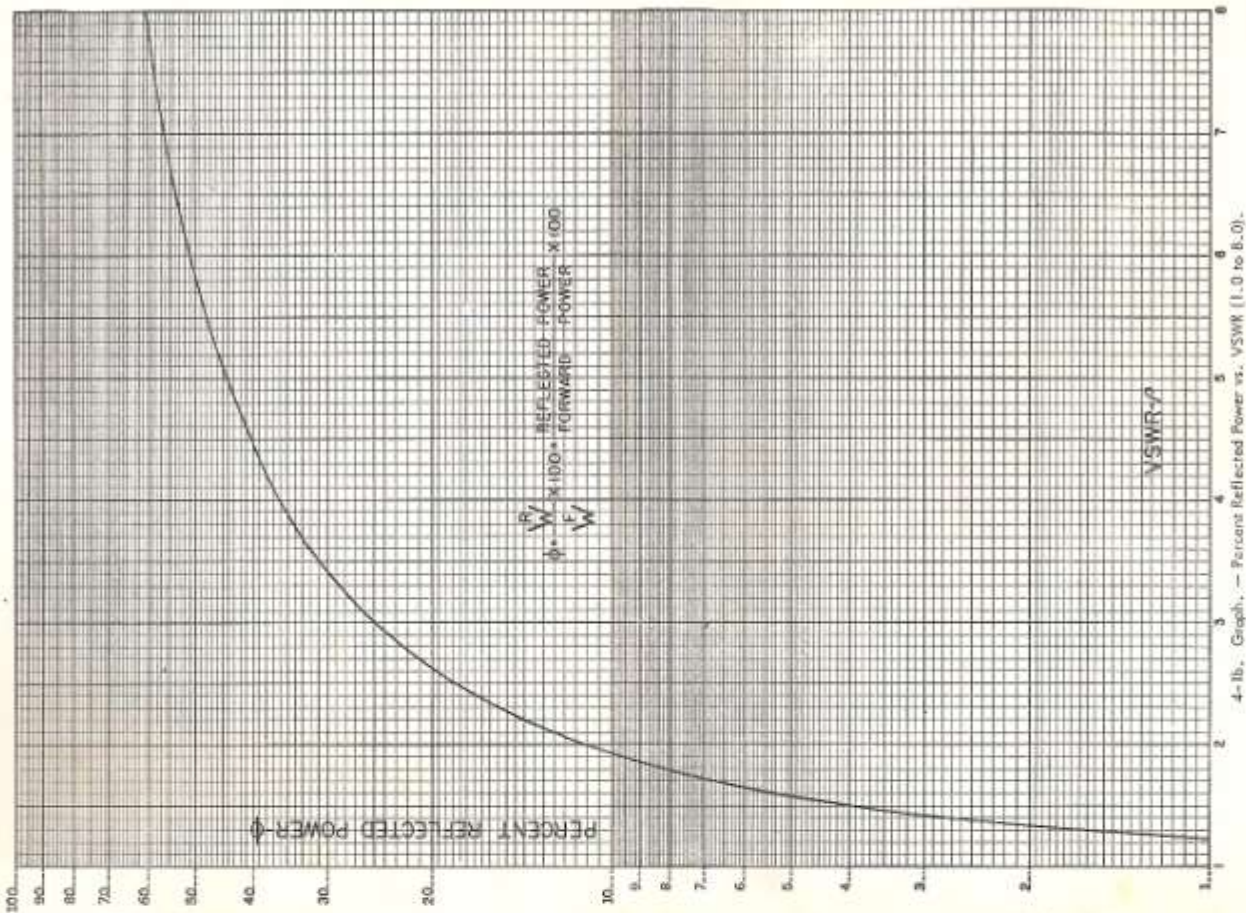
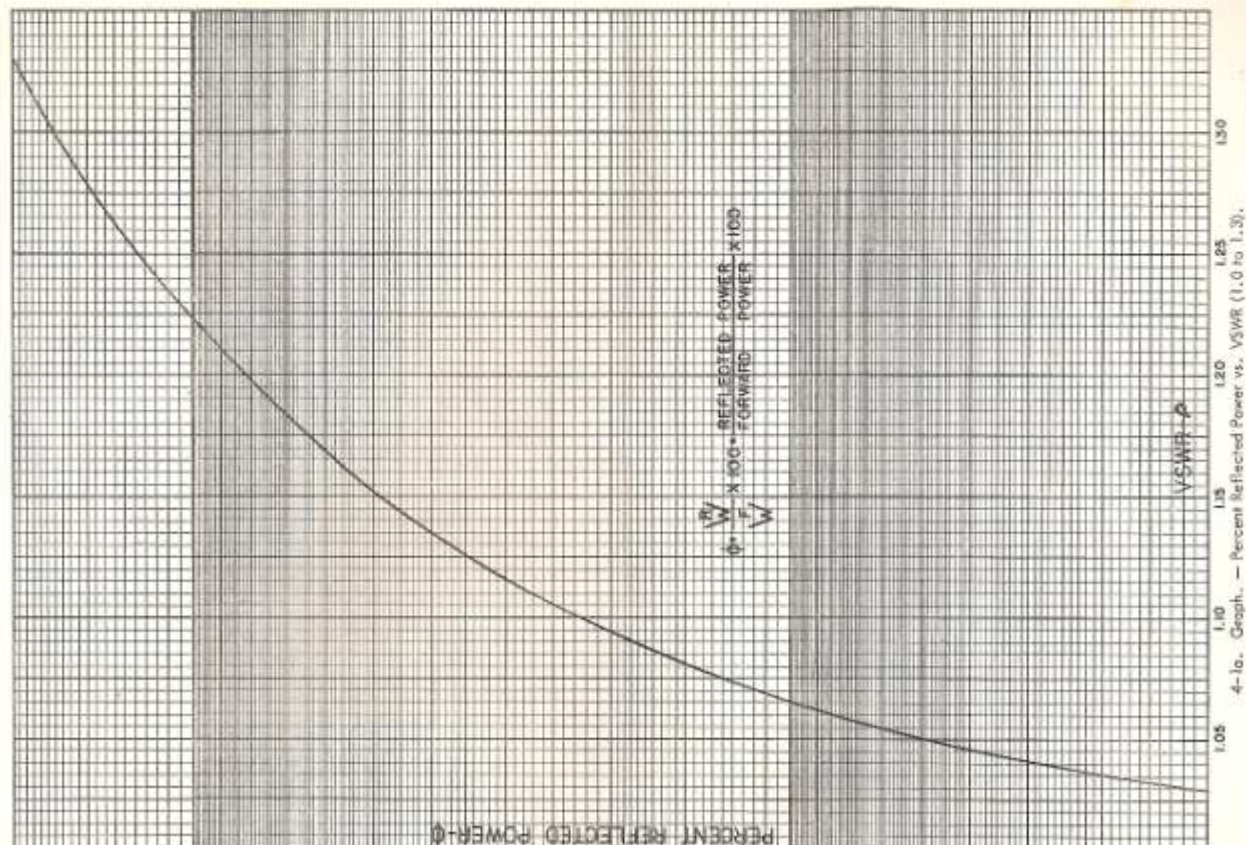
Cuando obtenemos  $\phi$  ( coeficiente de reflexión ) podemos utilizarla para medir VSWR. La relación está dada en las Gráficas 4-1a ) y 4-1b ) del Manual del Thruline BIRD Modelo 43.



4-1a. Graph. — Percent Reflected Power vs. VSWR (1.0 to 1.3).

4-2





En estas gráficas ( 4-1) se observa que para un  $\phi$  próximo al 10 % , debajo del cual la potencia reflejada aparece insignificante y se vuelve difícil de leer, se está próximo al nivel inferior comúnmente aceptado de  $\rho = 2$  , debajo del cual la adaptación mejorada de Antena no tiene mayor valor en muchos sistemas.

Thruline muestra que minimizando  $\phi$  por debajo del 10 % produce una ganancia insignificante en la carga porque

$$W = W - \frac{L}{F} R$$

Una Antena Transmisora en línea de TV y Transmisor de VHF está entre los sistemas que requieren niveles muy bajo de potencia reflejada por razones diferentes a las de simple transmisión de potencia.

Observar que en la Gráfica 4-1a ) el muy pequeño nivel de potencia reflejada  $\phi = 0.06$  % corresponde a  $\rho = 1.05$  . Con un elemento particular la detección de potencia reflejada es posible bajar alrededor  $\phi = 1$  % ,  $\rho = 1.2$  ; si  $F$  se aproxima a plena escala, es posible una medición alrededor de  $\phi = 5$  % ,  $\rho = 1.5$ .

### Mediciones de Baja Reflexión

Cuando más chico sea la ROE de la línea más difícil será ver la potencia reflejada en la escala del instrumento y para mediciones de baja reflexión se opera de la siguiente manera. a) se mide la potencia directa con un PLUG IN adecuado para la potencia pero para medir la potencia reflejada se cambia el PLUG IN por uno de menor potencia que nos permita visualizar de una manera mas clara la lectura en la escala, nótese que en este ultimo elemento únicamente debe ser puesto en la dirección de potencia reflejada, caso contrario se puede llegar a destruir el microamperimetro.

Supongamos que nuestro transmisor tenga unos 80 W y la potencia reflejada sea menor al 10%. Para una lectura más precisa se empleará un elemento sensor de 10 W para medir la potencia reflejada.

### 3.4.4.- Medición y Monitoreo de Potencia de Transmisores

El Thruline es útil para un monitoreo continuo de salida de transmisores y puede ser útil en monitoreos continuos de potencia reflejada. Por ejemplo en la verificación de fallas intermitentes en Antenas o líneas.

Al igual que los dispositivos de diodos generalmente el Thruline indica la componente portadora en modulación de amplitud, con muy pequeña respuesta a componentes de banda lateral sumados por modulación.

### 3.4.5.- Testeo de Líneas, Conectores, filtros, etc.

El Thruline es muy utilizado para estos propósitos y se puede emplear de diferentes maneras:

a) **VSWR ( $\rho$ ) y  $\phi$** , ambas de inserción, pueden medirse con la línea terminada en una buena carga resistiva (del tipo Termaline). Si es una carga óhmica pura no producirá reflexión.

Sin importar la frecuencia, si la línea esta desadaptada se producirá una reflexión, el porcentaje de reflexión que tengamos nos indicará hasta que punto tenemos desadaptada la línea.

b) **Atenuación:** (potencia perdida en forma de calor por la línea)

Al igual que VSWR (Inserción) y  $\phi$  (Inserción) se puede medir la atenuación insertando la línea a medir a dos Vatímetros Thruline y una carga resistiva pura en el extremo de la línea, la diferencia de potencia entre ambos vatímetros nos dará la atenuación.

c) **Atenuación por Método de Circuito Abierto o Cortocircuito.**

Para este tipo de medición se emplea un solo vatímetro con la línea de transmisión abierta o en cortocircuito. Por mucho más elegante que el método b) depende de la alta directividad (balance nulo) a la cual los elementos Thruline son tenidos en cuenta. Ellos deberían, y lo hacen, exhibir buena igualdad (uniformidad) entre lectura directas y reflejadas cuando el conector de carga está abierto o cortocircuitado. En estas condiciones  $\phi = 100\%$ , las ondas directas y reflejadas serán iguales en magnitud y  $\rho = \infty$ . Se puede decir que este es chequeado en circuito abierto, y entonces una longitud de línea de atenuación desconocida, también en circuito abierto, es conectada al conector de carga. La relación  $\phi$  entonces muestra la atenuación en dos pasos a lo largo de la línea ( hacia abajo y arriba).

La atenuación expresada en dB, usando la ecuación siguiente, es: 
$$NdB = 10 \log \frac{F}{R} = 10 \log \frac{W}{W}$$

**La representación en dB puede ser comparada con datos publicados para tipo y longitud de línea recordando partir (por la mitad) NdB debido a que el doble de la longitud de línea esta siendo medida realmente.**

Esta medición debe completarse por un  $\phi$  (inserción) como se ha efectuado en a), o por lo menos por la verificación de continuidad y pérdidas de CC ya que la medición de atenuación pueden ser errónea debido a fallas tales como circuito abierto o en corto circuito en parte de la línea.

Se prefiere el testeo de Circuito Abierto al de Corto Circuito debido a que el corto de referencia (usado inicialmente para verificar la igualdad) debe ser bueno y porque la igualdad inicial es mejor en el Circuito Abierto que en el Corto Circuito. Nuevamente, para valores bajos de atenuación medida, es aconsejable anotar las lecturas en la verificación de igualdad inicial, y tener en cuenta esta diferencia.

### 3.4.6.- Repuesta en Frecuencia

Los elementos PLUG - IN tienen una repuesta de frecuencia muy plana sobre una relación de frecuencia de mas de 2 - 1/2 a 1. Esta característica proporciona una repuesta plana de



frecuencia, para todos los elementos dentro de los rangos de frecuencias asignados , como se indica en **Tabla I de esta Sección**.

Un juego ilustrativo de curvas para tres elementos de una de estas bandas de frecuencia ( 100 – 250 MHZ ) se muestra en la **Fig.4-2**. Notándose que en el Elemento de Baja Potencia la caída por abajo y arriba de la banda de frecuencia asignada es más pronunciada que la que es para el elemento de Alta potencia. El grado de caída (pendiente) en respuesta varía progresivamente menos para cada nivel de potencia de bajo o alta, con la diferencia promedio en aproximadamente el nivel de potencia medio.

Estas curvas pueden suponerse que son mas o menos típicas para todos lo tipos de bandas laterales listados (H, A, B, C, D y E) en sus respectivas frecuencias establecidas.

Puede mostrarse la existencia de armónicas y sub-armónicas en el circuito medido (fuera de la banda de frecuencia del elemento). De ser así, puede hacerse una aproximación gruesa fuera de la respuesta del elemento a estas armónicas mediante el empleo de estas curvas. La ordenada de la frecuencia al leer en el gráfico se obtendrá haciendo la proporción de la frecuencia del Elemento usado con la del ilustrado. La interpelación de los valores de la curva dará una aproximación en que estas señales armónicas están siendo medidas por su Elemento.

El uso de Elementos para medir potencias directas fuera de su rango de frecuencia establecido no se recomienda.

### 3.4.7.- Desajuste de Impedancia

Hay muchos casos donde es necesario utilizar el Thruline en otros circuitos distintos de 50  $\Omega$  para lo cual ha sido diseñado.

Usando el Thruline, se deberá insertar una línea de 50  $\Omega$  , con una longitud de 4 pulgadas y la carga en el transmisor, serán cambiado fuera de su condición original sin el Thruline. Para una **relación de reflexión de potencia** por debajo del 10% y frecuencia por debajo de los 200 MHZ el desajuste de 4 pulgadas de longitud no es demasiado serio. Pero sobrepasado este valor aun si el transmisor esta sintonizado con el Thruline en su posición la impedancia de carga será muy diferente cuando se lo cambie.

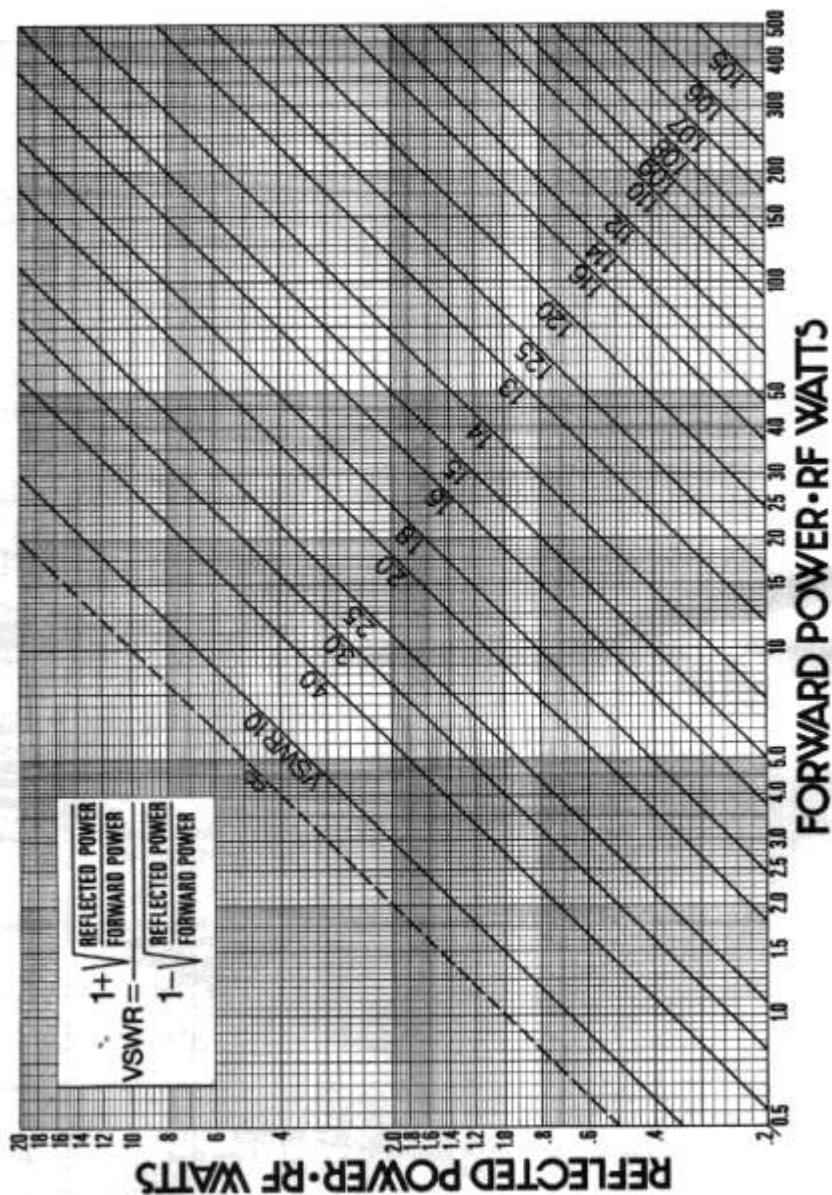
El Thruline, indica **reflexión cero** cuando la carga, con su conector de carga, es de 50  $\Omega$  resistivo puro.

Una condición ideal para una línea de 70  $\Omega$  en el margen de carga del Thruline mostrará una reflexión de potencia del 3%, por Ejemplo, si la carga Thruline es de 70  $\Omega$  resistivo puro, la VSWR en el Thruline de 50  $\Omega$  es de  $70/50 = 1.4$ .

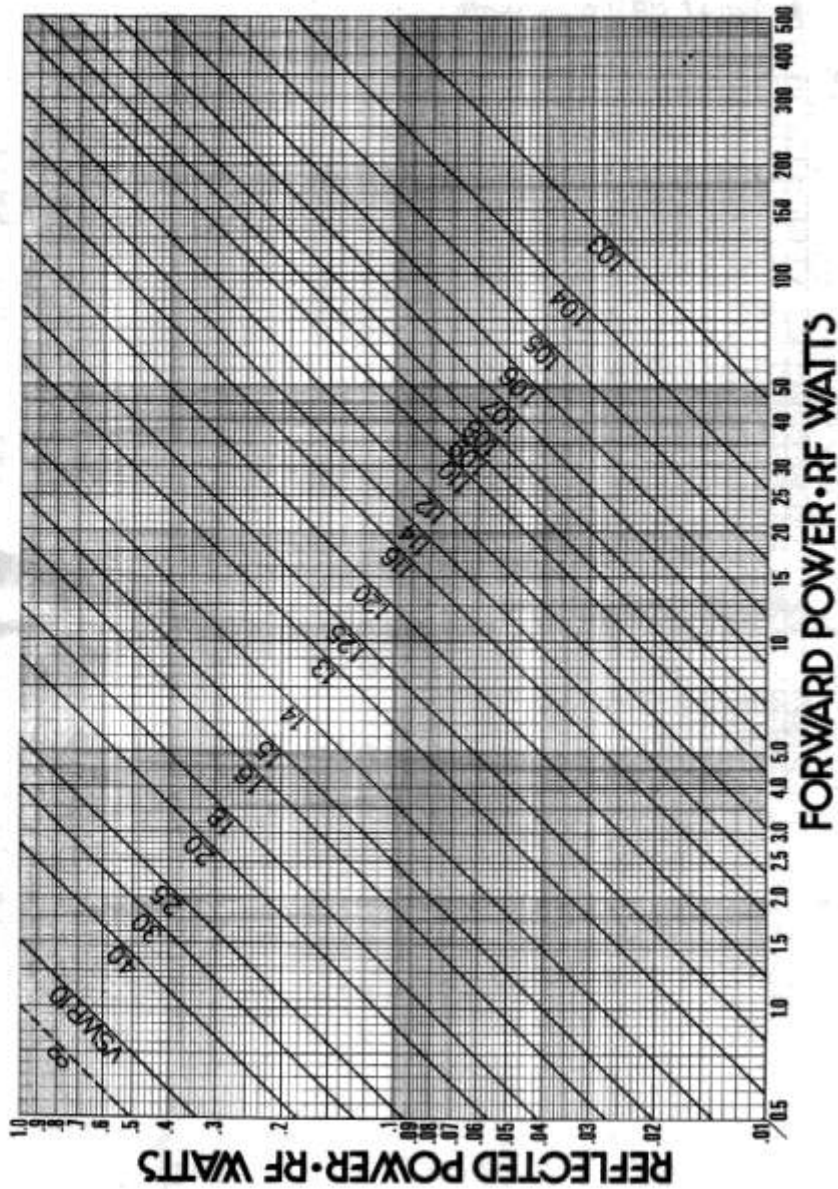
El Thruline puede también mostrar este mismo porcentaje de reflexión con  $50/1.4 = 35.7 \Omega$  con carga resistiva pura lo cual existirá con 10% de potencia reflejada en la línea de 70  $\Omega$  (VSWR =2 en la línea de 70  $\Omega$  ). De esto, se puede ver que la línea de 70  $\Omega$  tendrá como máximo un 10 % de potencia reflejada y VSWR = 2 cuando el Thruline indica 3% de potencia reflejada de VSWR = 1.4.

Se deberá recordar especialmente que con línea de 70  $\Omega$  es muy importante para obtener la indicación de potencia reflejada y restar de la directa, debido a que este factor es mas critico aquí que con la línea pretendida de 50  $\Omega$ .

## APPENDIX



Following the vertical and horizontal grid, determine intersection of forward and reverse power values. Slanted lines passing closest to this point indicate VSWR.



## **4.- Esquemas de sistemas de medición calorimétricos**

Este método se utiliza en sistemas coaxiales y guías de ondas, consiste en la conversión de la energía de radiofrecuencia en calor, la absorción de este calor en un fluido (como puede ser el agua) que circula por un sistema, y la medición de la elevación de la temperatura del fluido. Es esencial que toda la energía sea transferida al fluido, esto significa que el sistema no debe tener fugas de energía de radiofrecuencia, ni por radiación, ni por juntas con pérdidas.

De igual manera es preciso reducir a un mínimo la radiación de calor del fluido antes de que este alcance el punto de medición.

El método calorimétrico es especialmente adecuado para mediciones de grandes potencias.

En las mediciones por este método en laboratorio, por lo común es necesario proveer de una carga artificial para absorber la potencia, esta carga es la que generalmente se denomina **antena fantasma**.

La potencia disipada en el calorímetro se calcula directamente, por la elevación de temperatura, el calor específico del fluido, el caudal de éste, de acuerdo con la siguiente relación.

$$P = 4,186 \text{ m } S_p \Delta_t = K \text{ m } C_p (T_f - T_i) / t \quad [4,186 \text{ Cal / Seg.} = 1 \text{ Watt}]$$

**P** = Potencia [vatios]

**K** = 4.18 (Constante adimensional necesaria para conversión de Calorías a vatios)

**m** = masa del liquido [gramos(g) por segundo]

**C<sub>p</sub>** = Capacidad calorífica a presión constante del fluido, calor específico en calorías por gramo (g) por °C

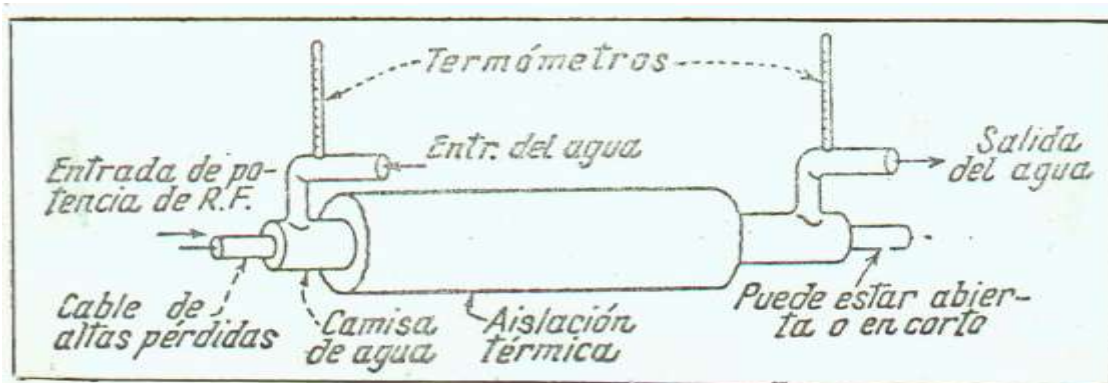
**Δ<sub>t</sub>** = Variación de temperatura, en °C =  $T_f - T_i$   
= Temperatura final del fluido – Temperatura inicial del fluido

Es necesario que exista una adecuada transformación de impedancias entre la carga y la fuente de potencia, de manera similar a lo que ocurre con el método bolométrico.

El caudal de fluido y la masa del mismo expuesto al calentamiento, debe regularse de tal manera que se obtenga una elevación mensurable de temperatura con la menor cantidad posible de fluido que resulte capaz de absorber la potencia del caso. Asegurándose así también que el sistema no sea demasiado lento para responder a la variación de potencia.

### **4.1.- Esquema 1**

**El primer esquema** utiliza una sección de cable de altas pérdidas para absorber la potencia, que actúa como antena fantasma. El cable puede obtenerse con una impedancia de 50 ohm, valor normal que evita todo problema de adaptación de impedancia como muestra la **Figura 1** siguiente.

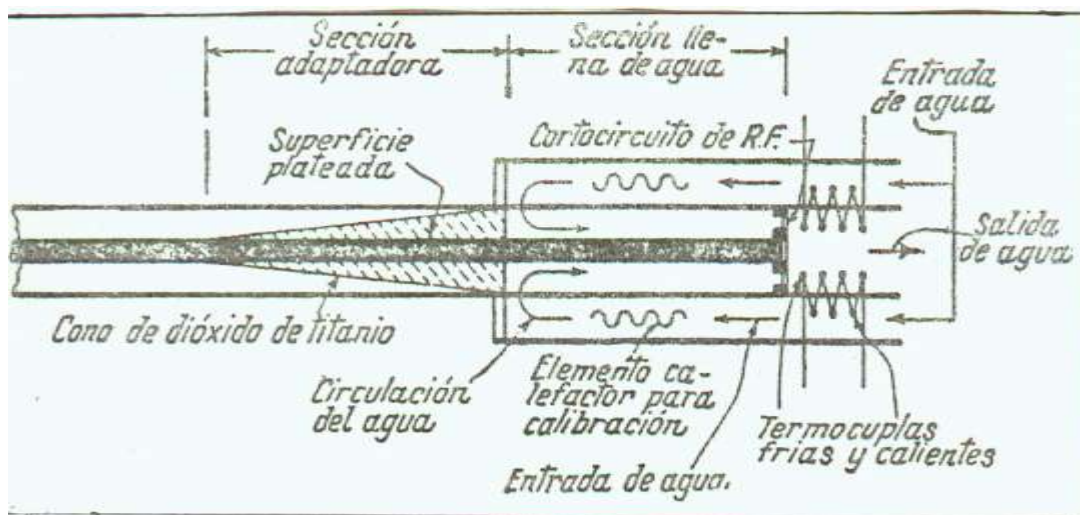


**Figura1.- Carga Calorimétrica basada en una línea de altas pérdidas – Para línea coaxil**

EL fluido actúa como refrigerante y no absorbe potencia por sí mismo. La longitud del cable debe ser suficiente para provocar una atenuación de 10 DB o más en la frecuencia de trabajo, desde una punta a la otra. Este límite asegura una atenuación mínima de 20 DB para la potencia reflejada, de modo que la carga absorbe, prácticamente, toda la potencia de radiofrecuencia entregada por la fuente. Este tipo de calorímetro se presta para la medición de potencia del rango de 5 a 500 Vatios.

#### 4.2.- Esquema 2

La segunda disposición, está dada por la **Figura 2**, también adecuada para sistemas coaxiles.



**Figura 2.- Carga Coaxil de agua con adaptador de óxido de titanio – Para línea coaxil**

La potencia de radiofrecuencia es absorbida por una sección de línea llena de agua. El agua sirve como un dieléctrico de altas pérdidas debido a su elevado factor de potencia y cumple al mismo tiempo la función de líquido calorimétrico. La adaptación entre la línea coaxil con dieléctrico de aire y la sección de línea con dieléctrico de agua se obtiene por medio de una sección ahusada de **dióxido de titanio**. Este material posee una constante dieléctrica muy

**parecida a la del agua, de modo que es lo más adecuado para la adaptación de aire a agua.**

La diferencia de temperatura entre el agua de entrada y la de salida se mide mediante una termopila, la que sustituye a los termómetros de la Figura 1) anterior. La termopila consiste en una sucesión de juntas termoeléctricas conectadas en serie, como se ve en la figura, y cuyas junturas alternadas están expuestas, respectivamente al fluido de entrada (frío) y al de salida (caliente). La termopila así distribuida responde directamente a la diferencia de temperatura que reina entre el fluido caliente y el frío, posee también una sensibilidad mayor que la de un simple sistema de termocupla con solo una juntura fría y otra caliente.

La calibración para dejar el sistema en condiciones de medir se realiza con corrientes de 50 HZ o continua que circula por un calefactor auxiliar sumergido en el agua. Se observa la respuesta de la termopila debida a la disipación de un valor conocido de potencia de 50 HZ o CC.

#### **4.3.- Esquema 3**

**Otro esquema es el representado en la Figura 3** siguiente. En este sistema la antena propia del transmisor se sustituye por una antena artificial equivalente, formada por un líquido cuya resistencia eléctrica pueda regularse hasta hacerla igual a la de la antena del transmisor, contenido en un recipiente aislado térmicamente del exterior.

En el interior del recipiente y sumergido en él líquido, se instala un termómetro que permita una fácil lectura sin necesidad de variar su posición. La potencia transferida por el equipo transmisor a la antena artificial da lugar a una elevación de la temperatura del líquido contenido en el recipiente, determinándose la potencia por medio de la formula:

$$P = \frac{4.18 m C_p (T_f - T_i)}{t}$$

**P** = Potencia en vatios

**C<sub>p</sub>** = Capacidad calorífica a presión constante

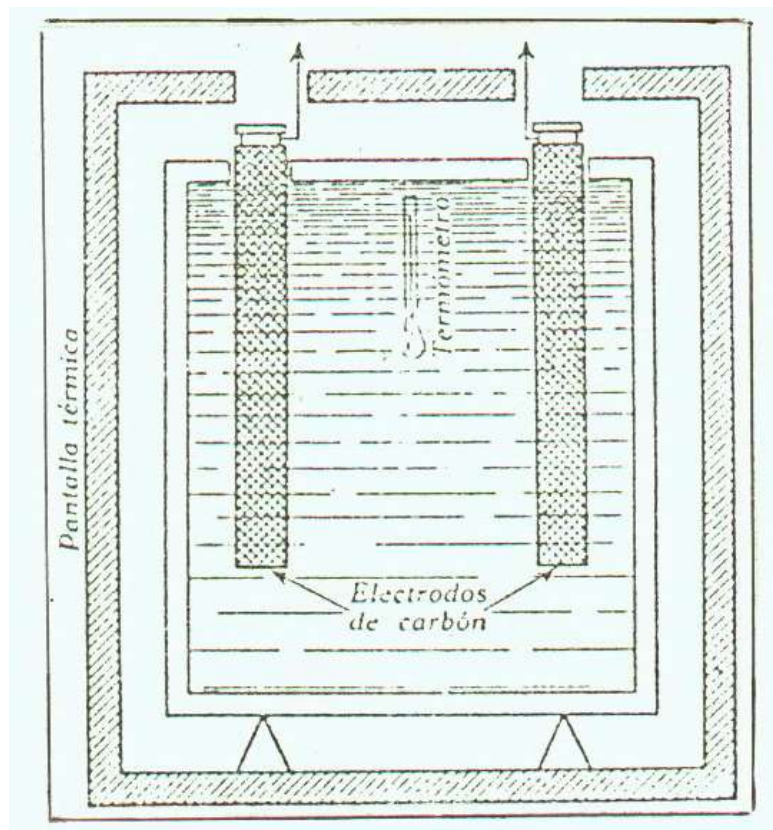
**m** = Masa del líquido

**T<sub>f</sub>, T<sub>i</sub>** = Temperaturas final y Temperatura inicial respectivamente

**t** = tiempo en segundo

Para medidas muy exactas se deberá hacer la corrección correspondiente a la cantidad de calor absorbida por la masa del recipiente.

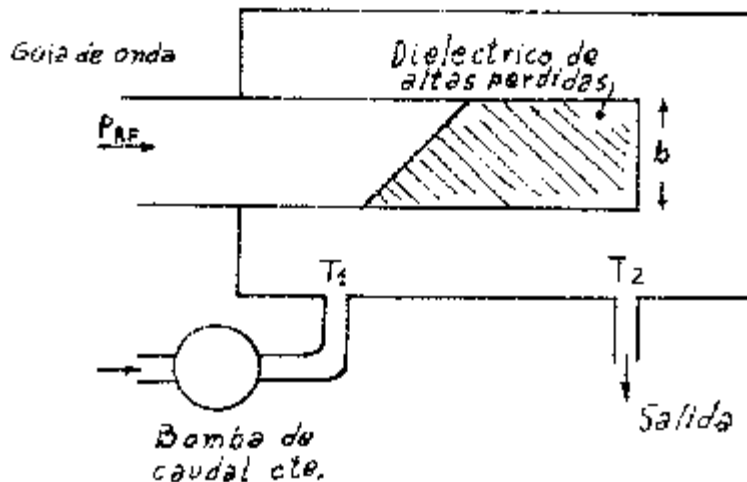




**Figura 3**

#### 4.4.- Esquema 4

El principio calorimétrico de los diferentes métodos de medición utilizados para coaxial, también se utiliza para **guías de ondas** aunque con otras disposiciones como la de la **Figura 4** siguiente:.



**Figura 4**

La onda incidente al alcanzar el dieléctrico en parte se refleja y el resto se transmite. La forma de cuña del dieléctrico hace que la parte reflejada genere modos TE o TM de orden superior a los que no se propagan sino que se atenúan, contribuyendo a la generación de calor. La porción de onda

incidente que pasa al dieléctrico se atenúa. Al alcanzar el cortocircuito se refleja y continúa su atenuación hasta alcanzar nuevamente la frontera del dieléctrico, pero con un nivel de potencia lo suficientemente pequeño como para ser despreciado dentro de los errores del método.

Prácticamente toda la potencia incidente se transforma en calor en el entorno del dieléctrico. Este calor generado se puede medir utilizando un calorímetro continuo que encierre térmicamente esta zona. Mediante sensores de temperatura adecuados se miden la temperatura de entrada y de salida del líquido refrigerante.

$$\Delta T = T_f - T_i = Q / (S_p m) = P_{RF} t / 4,185 S_p m) \text{ donde:}$$

**Q = cantidad de calor ( Cal)**

**S<sub>p</sub> = calor específico en °C**

**m = masa del líquido**

**Factor de conversión = 4,186**

**t = tiempo ( segundo)**

**Q<sub>m</sub> = Caudal másico = m / t se tiene:**

$$\Delta T = P_{RF} / ( 4,186 S_p Q_m ) \text{ por lo que } P_{RF} = K \Delta T$$

Se concluye que la medida de potencia es una medida de la diferencia de dos temperaturas, final e inicial, con la condición de mantener constante el caudal másico del líquido refrigerante

## **5.- Bibliografía:**

- Mediciones electrónicas. Editorial ARBO. Terman y Pettit.1972.
- Thruline RF Directional Wattmeter. Model 43. BIRD.
- Termaline RF Wattmeter. Model 61. BIRD.
- Application Note 64-1C.Agilent Fundamentals of RF and Microwave Power Measurements. 2001.
- Agilent Fundamentals of RF and Microwave Power Measurements (Part 1). 2003.

**Mg. Ing. J.C. Colombo**  
**Prof. Medidas Electrónicas II**  
**FRT-UTN**  
**27/11/12**