

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA



OBTENCION DE NOMOGRAMAS PARA LA SOLUCION RAPIDA  
Y EXACTA DE ALGUNOS PROBLEMAS DE INGENIERIA  
MECANICA Y ELECTRICA

**TESIS PROFESIONAL**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A

RICARDO RUELAS PLASCENCIA



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA  
EXAMENES PROFESIONALES  
60-1-139

Al Pasante señor RICARDO RUELAS PLASCENCIA  
P r e s e n t e .

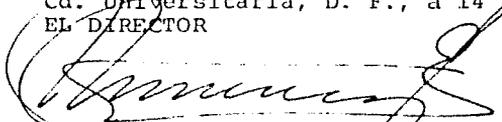
En atención a su solicitud relativa, me es grato transcribir a usted a continuación el tema que aprobado por esta Dirección propuso el Prof. Ing. Daniel Barrios Morales Frías, para que lo desarrolle como tesis en su Examen Profesional de INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA.

"OBTENCION DE NOMOGRAMAS PARA LA SOLUCION RAPIDA Y EXACTA DE ALGUNOS PROBLEMAS DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA".

- 1.- Ingeniería Mecánica.
- 2.- Ingeniería Eléctrica.

Ruego a usted se sirva tomar debida nota de que en cumplimiento de lo especificado por la Ley de Profesiones, deberá prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito indispensable para sustentar Examen Profesional; así como de la disposición de la Dirección General de Servicios Escolares en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado.

Atentamente,  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Cd. Universitaria, D. F., a 14 de julio de 1978  
EL DIRECTOR

  
ING. JAVIER JIMENEZ ESPRIU

JJE'OBL'mdb.

INDICE	C O N C E P T O	Página
1.-	INGENIERIA MECANICA	1
1.1)	TIEMPO DE ARRANQUE DE LAS TURBINAS DE VAPOR DE LA PLANTA " GUAYMAS II "	2
1.2)	DETERMINACION DE LA EFICIENCIA DE LAS CALDERAS	22
1.3)	DETERMINACION DEL FACTOR DE LIMPIEZA EN LOS CONDENSADORES DE SUPERFICIE	33
1.4)	DETERMINACION DEL VOLUMEN ESPECIFICO DEL -- VAPOR EN EL ESCAPE DE LAS TURBINAS	78
1.5)	CONSIDERACIONES DE CARGAS EN EL DISEÑO DE - BARRAS COLECTORAS	89
1.6)	CALCULO DE LA GRAVEDAD ESPECIFICA Y EL PESO DE UN ACEITE COMBUSTIBLE	100
2.-	INGENIERIA ELECTRICA	104
2.1)	DETERMINACION DE LA CAPACIDAD INTERRUPTIVA DE LOS INTERRUPTORES	105
2.2)	DISEÑO DE UNA RED DE TIERRAS	120
2.3)	DETERMINACION DEL FACTOR DE POTENCIA DE LOS GENERADORES	152
2.4)	DETERMINACION DE LAS CURVAS DE CAPABILIDAD - DE LOS GENERADORES	161
2.5)	DETERMINACION DE LA DENSIDAD ESPECIFICA DEL AIRE ( Kd )	166
2.6)	DISEÑO DE ALUMBRADO EXTERIOR DE SUBESTACIONES	176

## 1.- INGENIERIA MECANICA :

- 1.1) Determinación del TIEMPO DE ARRANQUE de las Turbinas de la Planta " GUAYMAS II " de la C.F.E. en la División Noroeste y su Sincronización, en función de las condiciones existentes en el momento previo al arranque.

Estos Nomogramas fueron trazados una vez que se dedujo la -- Fórmula para los mismos de la CARTA DE ARRANQUE ORIGINAL -- dada por los Técnicos de la Compañía Mitsubishi al personal de Operación de la Planta.

NOMOGRAMAS PARA CALCULAR EL TIEMPO DE ARRANQUE DE LAS TURBINAS DE LA PLANTA " GUAYMAS II " DE LA C.F.E. EN LA DIVISION NOROESTE.

- 1.- Tiempo de arranque de cero a velocidad normal.-
- 2.- Tiempo de arranque sosteniendo 5 % de carga para un incremento en la temperatura del vapor de 0°C.
- 3.- Tiempo de arranque sosteniendo 5 % de carga para un incremento en la temperatura de 50°C.
- 4.- Tiempo de arranque sosteniendo 5 % de carga para un incremento en la temperatura de 100°C
- 5.- Tiempo de arranque sosteniendo 5 % de carga para un incremento en la temperatura del vapor de : 0, 50 y 100 °C.
- 6.- Nomograma Simplificado para el arranque de las Turbinas de -- Cero a Velocidad Normal, sosteniendo 5 % de carga y para in--crementos en la Temperatura del Vapor de : 0, 50 y 100 °C.

DEDUCCION DE LAS FORMULAS QUE SIRVIERON DE BASE PARA LA CARTA DEL TIEMPO DE RODADO DE CERO A VELOCIDAD NORMAL, BAJO DIFERENTES CONDICIONES DE PRESION Y TEMPERATURA DEL VAPOR, LO MISMO QUE TEMPERATURA DE LA CAMARA DE IMPULSO CORRESPONDIENTE A LOS TURBO GENERADORES DE LA PLANTA TERMoeLECTRICA " GUAYMAS II " DE LA COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD EN LA DIVISION NOROESTE.

UNA VEZ OBTENIDAS ESTAS, IGUALMENTE SE DEDUJERON LAS CORRESPONDIENTES A LOS TIEMPOS DE RODADO SOSTENIENDO 5 % DE CARGA PARA INCREMENTOS EN LA TEMPERATURA DEL VALOR DE :

CERO, CINCUENTA Y CIEN GRADOS CENTIGRADOS.-

No. 1.- TIEMPO DE RODADO DE CERO A VELOCIDAD NORMAL (3600 RPM.)

RECTAS TEMPERATURA CAMARA DE IMPULSO.-

De la Gráfica Original y para temperatura del vapor de 425 y 450 grados centígrados, sobre la recta Temperatura del Metal de Impulso correspondiente a 110 grados centígrados observamos que para una presión de 30 Kg./cm<sup>2</sup> del vapor los correspondientes tiempos de rodado deben ser de 40 y 45 minutos, por lo que para la recta anterior  $y = a + bx$  y aplicando el Método de Puntos Seleccionados tendremos :

$$40 = a + 425 x$$

$$45 = a + 450 x$$

Resolviendo el sistema de ecuaciones anterior se tendrá para a y x los siguientes valores :

$$a = - 45$$

$$b = 0.2$$

de donde la ecuación de nuestra recta será :

$$y = - 45 + 0.2 t$$

En forma semejante, para las mismas condiciones de temperatura del vapor, temperatura de Metal de Impulso pero para DIFERENTES PRESIONES del vapor se obtuvieron las siguientes ecuaciones que se muestran en la siguiente tabla :

TEMP. VAPOR °C	PRESION VAPOR Kg/cm <sup>2</sup>	TEMPERATURA C.I. °C.	ECUACION $y = a + bx$
425 y 450	30	110	$y = - 45 + 0.2 t$
" "	60	110	$y = - 50 + 0.2 t$
" "	90	110	$y = - 55 + 0.2 t$

TABLA ( a )

En la tabla anterior, notamos que para un incremento en la presión del vapor de  $30 \text{ Kg/cm}^2$ , en la ecuación de la recta Temp. de la Cámara de Impulso C.I. de ahora en adelante, la ordenada al origen en la ecuación de la recta correspondiente sufre un incremento igual a 5, es decir, un incremento igual a  $0.166$  para cada  $\text{Kg/cm}^2$  en que sea incrementada la presión del vapor.-

Ahora, incrementando la Temp. de la C.I. de  $100$  a  $250 \text{ }^\circ\text{C}$ . y procediendo como antes, es decir empleando el Método de Puntos Seleccionados -- obtenemos las siguientes ecuaciones para las mismas condiciones de la temp. del vapor pero ahora para una presión del mismo de  $90 \text{ Kg/cm}^2$ .

TEMP. DEL VAPOR $^\circ\text{C}$	PRECION DEL VAPOR $\text{Kg/cm}^2$	TEMP. C.I. $^\circ\text{C}$ .	ECUACION $y = a + bx$
425 y 450	90	100	$y = - 52 + 0.2 t$
" "	90	110	$y = - 54 + 0.2 t$
" "	90	150	$y = - 62 + 0.2 t$
" "	90	200	$y = - 72 + 0.2 t$
" "	90	250	$y = - 82 + 0.2 t$

TABLA No. 1

De la tabla anterior se desprende que, para un incremento en la Temp. de la C.I. de  $50^\circ\text{C}$ . en la ecuación de la recta, la ordenada al origen de la misma se ve incrementada en un valor igual a  $10$ , o sea sufre un incremento igual a  $0.2$  por cada grado de variación.

De acuerdo con lo anterior, tendremos que la Ecuación que nos dará el -- tiempo de rodado para cualquier valor de la temperatura de la C.I. tendrá la forma :

$$\text{Tpo. (Minutos)} = y = - 52 - 0.2 (\text{C.I.} - 100) + 0.2 t$$

Ahora, haciendo intervenir la variación originada por el INCREMENTO DE PRESION, obtenida anteriormente la FORMULA GENERALIZADA, puede escribirse :

$$\text{Tpo. ( Minutos )} = y = - 52 + ( 90 - P_{\text{Kg/cm}^2} ) ( - 0.166 ) - 0.2 (\text{C.I.} - 100) + 0.2 t$$

La siguiente Tabla nos muestra los valores de los tiempos obtenidos aplicando la fórmula encontrada y los dados por la gráfica para diferentes valores de Presión y Temperatura del vapor, Temp. del metal de Impulso (C.I.)

PRESION Y TEMP. VAPOR $\text{Kg/cm}^2$	TEMP. VAPOR $^\circ\text{C}$ .	TEMP. C.I. $^\circ\text{C}$ .	Tpo. CALCULADO Minutos	Tpo. GRAFICA Minutos	DIFERENCIA Minutos
40	475	200	31.3	31.3	0.3
60	450	110	40.0	40.0	0.0
60	450	250	13.0	14.0	1.0
60	425	250	8.0	10.0	2.0

PRESION Y TEMP. VAPOR Kg/cm <sup>2</sup> °C.	TEMP. C.I. °C.	Tpo.CALCULADO Minutos	Tpo.GRAFICA Minutos	DIFERENCIA Minutos
60 475	250	18.0	19.0	1.0
60 500	250	23.0	23.0	0.0
60 538	250	30.6	31.0	0.4
90 475	250	15.0	15.0	0.0
90 538	300	5.6	6.0	0.4

TABLA No. 2

Para las condiciones Normales se Operación puede verse que la fórmula anterior es bastante aceptable, dado que las diferencias son lo suficientemente pequeñas compensadas con el tiempo empleado en excitar la Máquina para llevarla a su voltaje normal de operación.

En cambio, al pretender aplicar la misma fórmula para presiones superiores a 90 Kg/cm<sup>2</sup> se encontró en el tiempo dado por la misma, comparado por el dado -- por la gráfica, una diferencia bastante notable, originada por el hecho de haberse calculado la misma para una presión hasta de 90 Kg/cm<sup>2</sup>., como se ve en los siguientes ejemplos :

PRESION Y TEMP. VAPOR Kg/cm <sup>2</sup> °C	TEMP. C.I. °C	TPO. CALCULADO Minutos	TPO.GRAFICA Minutos	DIFERENCIA Minutos
100 475	250	8.0	11.0	3.0
100 475	200	17.0	20.0	3.0
100 475	110	34.0	36.0	2.0
100 450	150	25.0	25.0	0.0

En primer lugar, el tiempo CALCULADO con la Fórmula es MENOR QUE el dado por la GRAFICA, y aún cuando la diferencia es aparentemente pequeña, no habría uniformidad en el calentamiento general de la Turbina, antes de proceder a tomar carga una vez Sincronizada al Sistema, la unidad.

Por lo tanto, se hace necesario un nuevo CALCULO en el que se INCLUYAN TODOS LOS PARAMETROS DE OPERACION NORMAL DENTRO DE SUS RESPECTIVOS RANGOS.-

-----

## OBTENCION DE LA FORMULA PARA TIEMPOS DE RODADO A VELOCIDAD NORMAL

VARIACIONES: TEMPERATURA DEL VAPOR ..... 450 a 538 °C

PRESION DEL VALOR ..... 30 a 120 Kg/cm<sup>2</sup>

Nuevamente de la Gráfica Original y para temperaturas del vapor de 450 °y 538 °C. para una presión del vapor de 120 Kg/cm<sup>2</sup>. y sobre la recta correspondiente a la temperatura del metal de Impulso ( C.I. ) de 110 °C. se -- observa que el tiempo de rodado correspondiente a las dos temperaturas -- del vapor anteriores es de :

Para 450 °C. Tiempo de rodado igual a 27 minutos

Para 538 °C. Tiempo de rodado igual a 45 minutos

Por lo que para la recta anterior,  $y = a + bx$  correspondiente a 110 °C. y aplicando el método mencionado de Puntos Seleccionados tendremos :

$$27 = a + 450 x$$

$$45 = a + 538 x$$

Resolviendo el sistema anterior tendremos para a y para x :

$$a = - 55$$

$$b = 0.182$$

De donde la ecuación de nuestra recta para estas condiciones será :

$$y = - 55 + 0.182 t$$

En forma semejante y para las mismas condiciones de temperatura del vapor - y temp. en la C.I. pero para DIFERENTES PRESIONES del vapor, se obtuvieron las siguientes ecuaciones que se muestran en la Tabla No. 3

TEMP. VAPOR °C	PRESION VAPOR Kg/cm <sup>2</sup>	TEMPERATURA C.I. °C.	ECUACION $y = a + bx$
450 y 538	30	110	$y = - 37.5 + 0.182 t$
" "	60	110	$y = - 41.9 + 0.182 t$
" "	90	110	$y = - 48.0 + 0.182 t$
" "	120	110	$y = - 55.0 + 0.182 t$

TABLA No. 3

COMPROBACIONES DE LAS FORMULAS ANTERIORES

PRESION Y TEMP. VAPOR Kg/cm <sup>2</sup> °C.	TEMP. C.I. °C.	TPO. CALCULADO Minutos	TPO. GRAFICA Minutos	DIFERENCIA Minutos
30 475	110	49.9	49.9	0.0
60 520	110	53.64	53.0	0.64
120 500	110	36.0	36.0	0.0
30 500	110	53.5	53.0	0.5

PRESION Y TEMP. Kg/cm <sup>2</sup>	TEMP. VALOR °C.	TEMP. C.I. °C.	TPO.CALCULADO Minutos	TPO.GRAFICA Minutos	DIFERENCIA Minutos
30	520	110	57.1	57.6	0.5
10	450	110	47.0	47.0	0.0
10	475	110	49.55	52.0	2.45
10	500	110	56.10	56.0	0.0
10	520	110	59.74	60.0	0.0
10	538	110	63.01	63.0	0.0
90	450	110	33.90	34.00	0.1
90	475	110	36.45	36.45	0.0
90	500	110	43.00	43.00	0.0
90	520	110	46.64	46.64	0.0
90	538	110	49.91	50.00	0.09
120	450	110	26.90	27.00	0.1
120	475	110	31.45	31.00	0.45
120	500	110	36.00	37.00	1.0
120	520	110	39.64	39.00	0.64
120	538	110	42.91	43.00	0.09

TABLA No. 4

CORRECCION POR PRESION :

LAS FORMULAS CORRESPONDIENTES PARA PRESIONES DE 10 y 120 Kg/cm<sup>2</sup>, PARA TEMPERATURAS DEL VAPOR DE 450 y 538 °C. Y TEMPERATURA EN LA CAMARA DE IMPULSO DE 110 °C. SON :

Para P = 10 Kg/cm<sup>2</sup>.  $y = - 34.90 + 0.182 x$

Para P = 120 Kg/cm<sup>2</sup>.  $y = - 55.00 + 0.182 x$

O sea que tenemos una variación en la ordenada de 20.10 en una variación de - la presión del vapor de 110 Kg/cm<sup>2</sup>; es decir, que la correspondiente a un --- Kg/cm<sup>2</sup> es de 0.182 .-

De aquí que la fórmula para las condiciones indicadas anteriormente dentro del rango de presión marcado, para el tiempo de RODADO DE CERO A VELOCIDAD NORMAL, tome la forma :

$$y = - 55 + ( 120 - p ) 0.182 + 0.182 t$$

Con la fórmula anterior corregiremos ahora las fórmulas correspondientes a la TABLA No. 3, misma que quedará ahora como se indica en la siguiente Tabla :

TEMP. VAPOR °C	PRECION VAPOR Kg/cm <sup>2</sup>	TEMPERATURA C. I. °C.	ECUACION y = a + bx
450 y 538	10	110	y = - 34.90 + 0.182 t
" "	30	110	y = - 38.62 + 0.182 t
" "	60	110	y = - 44.08 + 0.182 t
" "	90	110	y = - 49.54 + 0.182 t
" "	120	110	y = - 55.00 + 0.182 t

TABLA No. 5

Si consideramos aplicada la fórmula anterior que sirvió de base para elaborar la tabla No. 5 para una presión de 0 Kg/cm<sup>2</sup>, la ecuación correspondiente sería :

$$y = - 33.16 + 0.182 t$$

Ahora, en virtud de la corrección efectuada a los valores de la ordenada de las fórmulas de la Tabla No. 3 y que aparecen en la Tabla No. 5, la diferencia entre las mismas para incrementos en la presión del vapor de 30 Kg/cm<sup>2</sup> es constante e igual a 5.46.

Apliquemos la fórmula a una presión de 40 Kg/cm<sup>2</sup> y mismas condiciones anteriores; es decir, Temp. del vapor de 450 a 538 °C. y Temp. C.I. igual a 110 °C.

$$y = - 55 + (120 - p) 0.182 + 0.182 t$$

$$y = - 55 + (120 - 40) 0.182 + 0.182 t$$

$$y = - 40.44 + 0.182 t$$

Ahora veamos que ocurre para temperaturas del vapor en el rango de 450 a - - 538 °C.

PRESION Y TEMP. VAPOR Kg/cm <sup>2</sup> °C.	TEMP. C. I. °C.	TPO.CALCULADO Minutos	TPO. GRAFICA Minutos	DIFERENCIA Minutos
40 450	110	41.46	43.00	1.54
40 475	110	44.01	48.00	3.99
40 500	110	50.56	52.00	1.44
40 520	110	54.20	56.00	1.80
40 538	110	57.47	59.00	1.53

TABLA No. 6

Contrariamente a lo que se esperaba, notamos una diferencia en la variación de la ordenada en promedio igual a 2.05 minutos para el rango de temperatura indicado en la Tabla No. 6

Ahora, si aplicamos la fórmula encontrada para presiones en el rango de 30 a 90 Kg/cm<sup>2</sup>, pero considerando el incremento de la temperatura en la C.I. ya corregido, a esta misma presión de 40 Kg/cm<sup>2</sup> y mismas condiciones anteriores de - - Temp. del vapor y Temp. del Metal de Impulso, tendremos :

$$y = - 52 + ( 90 - p ) 0.166 - 0.2 ( C. I. - 100 ) + 0.2 t$$

Substituyendo valores :

$$y = - 52 + ( 90 - 40 ) 0.166 - ( 110-100 ) 0.2 + 0.2 t$$

$$y = - 45.70 + 0.2 t$$

Formémos la siguiente Tabla para incrementos en la Temperatura del vapor -- iguales a los de la Tabla No. 6

PRESION Y Kg/cm <sup>2</sup>	TEMP. VAPOR °C.	TEMP. C.I. °C.	TPO. GRAFICA Minutos	TPO. CALCULADO Minutos	DIFERENCIA Minutos
40	450	110	43.0	44.3	1.3
40	475	110	48.0	49.3	1.3
40	500	110	52.0	54.3	2.3
40	520	110	56.0	58.3	2.3
40	538	110	59.0	61.9	2.9

TABLA No. 7

Tanto en la Tabla No. 6 como en la Tabla No. 7 continúan las diferencias con respecto a los valores dados por la Gráfica y el calculado con las fórmulas encontradas.-

Con los valores obtenidos hasta aquí, formarémos una Tabla como se indica a continuación y, emplearémos el METODO DE LOS PROMEDIOS para hacer las correcciones necesarias.-

FORMACION DE LA TABLA :

- a.- Columna No. 1 PRESIONES en orden descendiente de 120 a 10 Kg/cm<sup>2</sup>
- b.- Columna No. 2 ORDENADAS tomadas de la Tabla "a" para las presiones -- INDICADAS en la Columna No. 1 más las correspondientes -- a 10 y 120 Kg/cm<sup>2</sup>.
- c.- De la Tabla No. 4 tomaremos los valores de y = tiempo en minutos, correspondientes a las Presiones de la Columna No. 1, y a DIFERENTES TEMPERATURAS. Columnas 3, 4, 5 y 6
- d.- De la Tabla No. 3 tomaremos las ORDENADAS encontradas para Presiones de : 10, 30, 60, 90 y 120 Kg/cm<sup>2</sup>. Columna No. 7 obtenidas para temperaturas del vapor de 450 y 538 grados centígrados, y Temp. de Metal de Impulso -- de 110 grados centígrados.-

C O L U M N A S						
1	2	3	4	5	6	7
Kg/cm <sup>2</sup>		425°C	450°C	500°C	538°C	
120	-63	22	26	35	43	-55
90	-55	30	34	43	50	-48
60	-50	35	40	48	56	-41
30	-45	40	45	53	60	-37.5
10	-43	45	47	56	63	-34.9

TABLA No. 8

EMPLEANDO EL METODO DE LOS PROMEDIOS :

$$(r - a - bc) = 0 \quad r = na + b C$$

$$r = na + b C$$

De las columnas 4 y 1

$$100 = 3a + b \quad 270$$

$$92 = 2a + b \quad 40$$

Resolviendo para (a) y (b) se tiene :

$$a = 49.60$$

$$b = -0.18$$

Por lo tanto la Ecuación que nos da el Tiempo en Minutos para las diferentes presiones con temperaturas del vapor de 450 °C. y temperatura de Metal de -- Impulso de 110 °C. es :

$$\text{Tiempo} = y = 49.60 - 0.18 p$$

Ahora y en forma igual obtenemos las Ecuaciones para cada una de las temperaturas del vapor que aparecen en la Tabla No. 8 y dadas en la siguiente Tabla, mismas que fueron debidamente comprobadas.-

TEMP. VAPOR °C.	TEMP. C.I. °C.	ECUACION $y = a + bx$
425	110	$y = 45.06 - 0.178 p$
500	110	$y = 58.10 - 0.18 p$
538	110	$y = 64.88 - 0.17 p$
450	110	$y = 49.60 - 0.18 p$

TABLA No. 9

Corrijamos ahora los valores de las ordenadas de la Columna No. 2 Tabla No. 8 en virtud de que la variación de las mismas con respecto a la presión no es constante.

Empleando nuevamente el Método de los Promedios :

$$168 = 3a + 270 b$$

$$88 = 2a + 40 b$$

Resolviendo para (a) y para (b) :

$$a = 40.57$$

$$b = 0.1714$$

$$\text{De donde : } y = 40.57 + 0.1714 p$$

PRESION	ORIGINAL	CORREGIDA	DIFERENCIA	ORIGINAL	CORREGIDA	DIFERENCIA
120	-63	61.13		-55	53.33	
90	-55	55.99	5.14	-48	48.19	5.14
60	-50	50.85	5.14	-41	43.05	5.14
30	-45	45.71	5.14	-37.5	37.91	5.14
10	-43	42.28	3.43	-34.9	34.48	3.43

TABLA No. 10

Aplicando la Fórmula :  $y = 40.57 + 0.1714 p$

A cada uno de los valores de presión de la Columna No. 1 Tabla No. 8, obtenemos los valores corregidos por PRESION dados en la Columna No. 3 de la Tabla No. 10

Ahora, en la Tabla No. 8 notamos también que la variación de las ordenadas - de la Columna No. 7 no es constante; es decir, no está de acuerdo a la variación de presión y por lo tanto debe también corregirse en igual forma que se hizo para la Columna No. 2.-

Aplicando el Método de los promedios tenemos para los valores de la Columna No. 7 de la Tabla No. 8 :

$$144 = 3 a + 270 b$$

$$72.4 = 2 a + 40 b \quad \text{Resolviendo para (a) y para (b)}$$

$$a = 32.77$$

$$b = 0.1714$$

$y = 32.77 + 0.1714 p$  FORMULA DE CORRECCION PARA LA COLUMNA No. 7 TABLA No.8

Los valores corregidos aparecen en la Columna No. 5 de la Tabla No. 10

Notamos en la misma Tabla 10, que para temperaturas del Vapor de 450 a 538°C las Diferencias de Ordenadas para Presiones de 10 a 120 Kg/cm<sup>2</sup> y con Temperatura en la Cámara de Impulso (C.I.) de 110 °C. permanece CONSTANTE e igual a 5.14

Podemos formar ahora la Tabla No. 11 con las siguientes características :

Columna No. 1.- Fórmulas originalmente obtenidas para temperaturas del vapor de 450 y 538 grados centígrados.-

Columna No. 2.- Fórmulas Corregidas.-

Columna No. 3.- Temperatura en la Cámara de Impulso 110 °C

Columna No. 4.- Presión del Vapor de 10 a 120 Kg/cm<sup>2</sup>

Columna No. 5.- DIFERENCIAS.-

TEMPERATURAS 450-538	FORMULAS Corregidas	TEMP. C.I. °C	PRESION Kg/cm <sup>2</sup>	DIFERENCIA
$y = - 55 + 0.18 t$	$y = - 53.33 + 0.18 t$	110	120	5.14
$y = - 48 + 0.18 t$	$y = - 48.19 + 0.18 t$	110	90	5.14
$y = - 41 + 0.18 t$	$y = - 43.05 + 0.18 t$	110	60	5.14
$y = - 37.5 + 0.18 t$	$y = - 37.91 + 0.18 t$	110	30	5.14
$y = - 34.9 + 0.18 t$	$y = - 34.48 + 0.18 t$	110	10	3.43

TABLA No. 11

Dentro del rango de Presión de 10 a 120 Kg/cm<sup>2</sup> la diferencia entre las ordenadas de las Fórmulas Corregidas es de 18.85 o sea 0.1714 de variación por cada variación correspondiente de 1 Kg/cm<sup>2</sup> de presión.-

DE TODO LO ANTERIOR PODEMOS CONCLUIR QUE LA FORMULA GENERAL PARA CUALQUIER TEMPERATURA Y PRESION DEL VAPOR, Y TEMPERATURA EN LA CAMARA DE IMPULSO --- (C.I.) DE 110 °C. PARA EL TIEMPO DE RODADO DE CERO A VELOCIDAD NORMAL DE LAS UNIDADES TOMA LA FORMA :

$$y = - 53.33 + ( 120 - p ) 0.1714 + 0.18 t \quad \text{Minutos. -}$$

COMPROBACIONES :

PRESION Kg/cm <sup>2</sup>	TEMPERATURA °C.	C.I. °C.	TPO. CALCULADO Minutos	TIEMPO GRAFICA Minutos
40	475	110	47.31	47
100	500	110	47.21	41

TOMANDO COMO BASE LA FORMULA ENCONTRADA PARA EL TIEMPO DE RODADO DE CERO A VELOCIDAD NORMAL CON TEMPERATURA EN LA CAMARA DE IMPULSO DE 100 °C y OBTENIDA PARA TEMPERATURAS DEL VAPOR DE 425 y 450 °C. CON PRESION DEL MISMO DE 120 Kg/cm<sup>2</sup> Y APLICANDO LAS CORRECCIONES OBTENIDAS:

$$y = - 51.90 + ( 120 - p ) 0.1714 + 0.2( C.I. - 100 ) + 0.182 t$$

CALCULEMOS PARA UNA PRESION DE 120 Kg/cm<sup>2</sup> LAS FORMULAS PARA LAS DIFERENTES TEMPERATURAS EN LA CAMARA DE IMPULSO (C.I.)

Aplicando la F6rmula Anterior se tiene :

PRESION Kg/cm <sup>2</sup>	TEMP. CAMARA DE IMPULSO °C.	ECUACION
		$y = a + bx$
120	100	$y = - 51.90 + 0.182 t$
120	110	$y = - 53.90 + 0.182 t$
120	150	$y = - 61.90 + 0.182 t$
120	200	$y = - 71.90 + 0.182 t$
120	250	$y = - 81.90 + 0.182 t$
120	300	$y = - 91.90 + 0.182 t$

En las f6rmulas anteriores para las diferentes temperaturas en la C6mara de Impulso con Presi6n de 120 Kg/cm<sup>2</sup> notamos que la variaci6n de (a) de la F6rmula :  $r = a + bc$  es constante, y no se hace necesaria correcci6n alguna. -

De lo anterior concluimos que : PARA ENCONTRAR EL TIEMPO DE RODADO DE CERO A VELOCIDAD NORMAL DE LAS UNIDADES DE LA PLANTA TERMoeLECTRICA " GUAYMAS II " - PARA CUALQUIER CONDICION DE PRESION Y TEMPERATURA DEL VAPOR LO MISMO QUE TEMPERATURA DE METAL DE IMPULSO (C.I.) TOMANDO EN CUENTA TODAS LAS CORRECCIONES EFECTUADAS ANTERIORMENTE SERA :

$$\text{Tpo. en minutos} = y = - 53.33 + (120-p)0.1714 - 0.2 ( C.I. - 100 ) + 0.182 t$$

EFECTUANDO OPERACIONES QUEDARA FINALMENTE :

$$\text{Tpo. en minutos} = y = - 9.41 - 0.1737 t - 0.18 p - 0.175 C.I.$$

LA FORMULA ANTERIOR ES LA FORMULA DEDUCIDA DE LA GRAFICA ORIGINAL QUE FUE ENTREGADA POR LOS TECNICOS JAPONESES DE LA CIA. MITSUBISHI AL PERSONAL DE OPERACION DE LA PLANTA TERMoeLECTRICA " GUAYMAS II " DE LA COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD EN LA DIVISION NOROESTE, PARA EL TIEMPO DE RODADO DE CERO A VELOCIDAD NORMAL, Y UNA VEZ SINCRONIZADA LA UNIDAD AL SISTEMA TOMAR 5 % DE CARGA MANTENIENDOLA EN ESAS CONDICIONES DURANTE EL TIEMPO NECESARIO DE ACUERDO A LOS INCREMENTOS EN LA TEMPERATURA DEL VAPOR PARA VALORES DEL MISMO DE : CERO, CINCUENTA Y CIENTO GRADOS CENTIGRADOS.-

TIEMPOS DE RODADO PARA INCRMENTOS EN LA TEMPERATURA DEL VAPOR DE 0.50 Y 100 °C.

UNA VEZ OBTENIDA LA FORMULA ANTERIOR PARA TIEMPO DE RODADO DE CERO A VELOCIDAD NORMAL, EN FORMA SEMEJANTE SE OBTUVIERON LAS SIGUIENTES, HABIENDOSE EFECTUADO EN CADA UNA DE ELLAS UNA VEZ OBTENIDA VARIAS COMPROBACIONES QUE ESTUVIERON COMPLETAMENTE DE ACUERDO A LOS TIEMPOS DADOS POR LAS GRAFICAS.-

1.- TIEMPO DE RODADO DE CERO A VELOCIDAD NORMAL.-

$$y = - 9.41 + 0.1737 t - 0.18 p - 0.175 C.I.$$

2.- TIEMPO DE RODADO CON INCREMENTO DE 0°C.

$$y = - 10.47 + 0.08 t - 0.08 p - 0.077 C.I.$$

3.- TIEMPO DE RODADO CON INCREMENTO DE 50 °C.-

$$y = - 7.97 + 0.12 t - 0.109 p - 0.108 C.I.$$

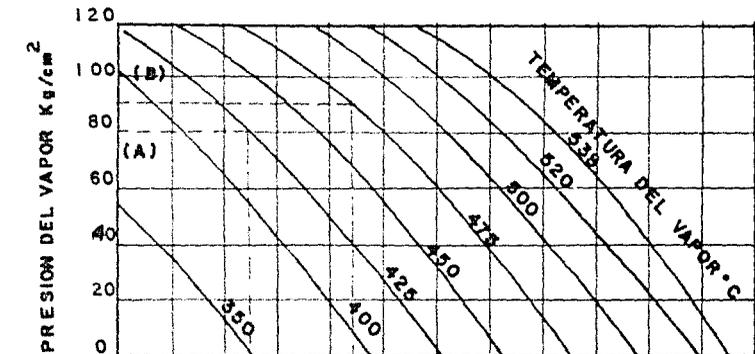
4.- TIEMPO DE RODADO CON INCREMENTO DE 100 °C

$$y = - 4.50 + 0.16 t - 0.133 p - 0.144 C.I.$$

LAS CUATRO FORMULAS ANTERIORES SE TOMARON COMO BASE PARA EL CALCULO Y TRAZO DE LOS NOMOGRAMAS CORRESPONDIENTES.-

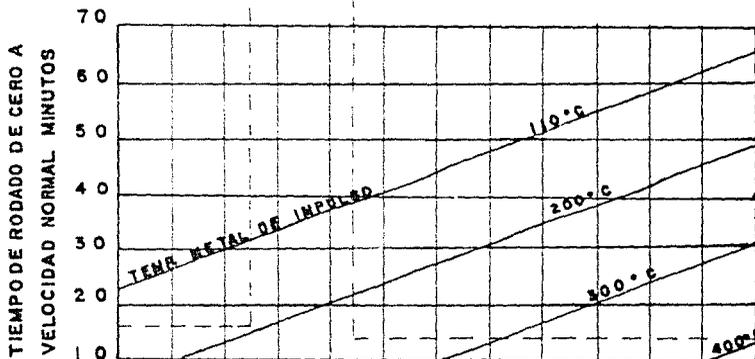
-----

FIG.3 TIEMPO RECOMENDADO PARA EL ARRANQUE DE LA TURBINA

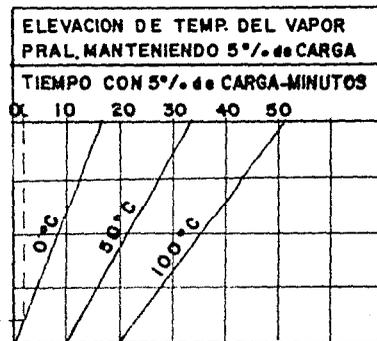


(A) DETERMINAR EL TIEMPO DE RODADO  
 VAPOR - 80 Kg/cm<sup>2</sup> - 425°C  
 METAL DE IMPULSO 200°C  
 TIEMPO DE RODADO 16 MINUTOS

(B) ANTES DE SINCRONIZAR DETERMINAR:  
 TIEMPO CON 5% DE CARGA MINUTOS  
 VAPOR: PRESION 90 Kg/cm<sup>2</sup> - TEMP. 475°C  
 TEMP. METAL DE IMPULSO 250°C  
 Tiempo Manteniendo 5% De CARGA 2 MINUTOS  
 PARA UNA ELEVACION EN LA TEMP. DEL VAPOR  
 DE 0°C



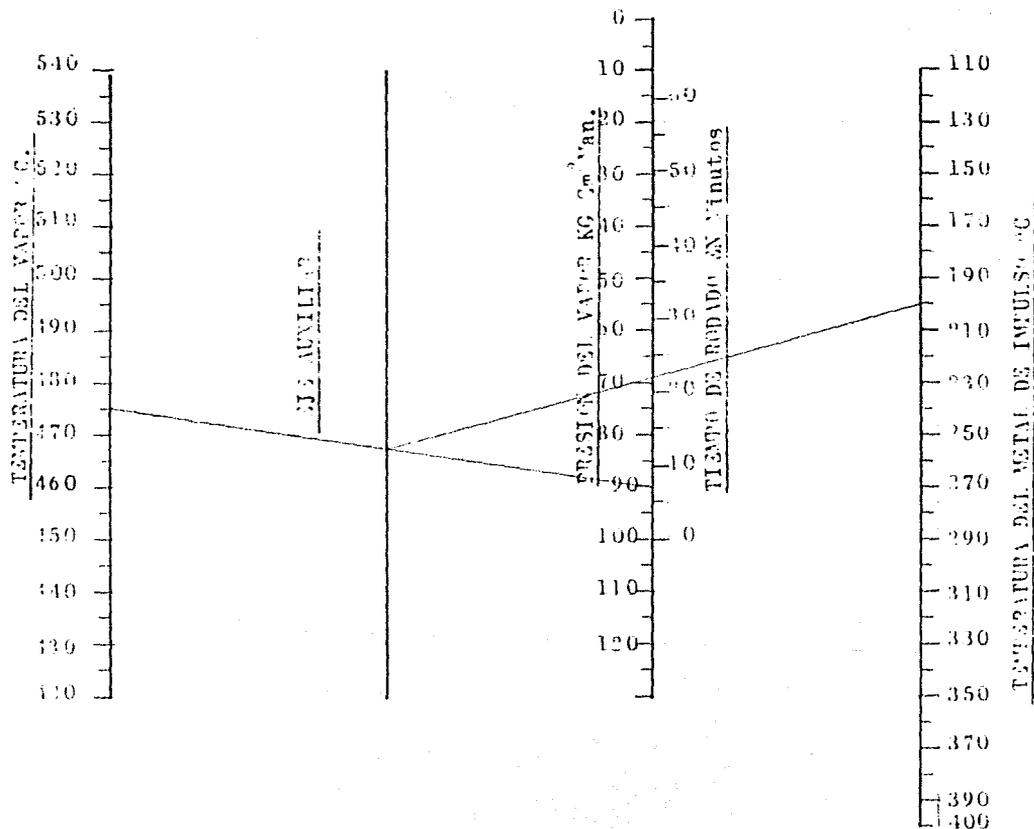
10 MINUTOS MINIMO  
 SI LA TEMP. DEL METAL DE IMPULSO ES MENOR DE 110°C  
 RODAR LA MAQUINA A LA TEMP. DE CALENTAMIENTO 2200 r.p.m.  
 DURANTE 4 Hrs.



TIEMPOS DE ARRANQUE PARA LAS TURBINAS DE LA PLANTA "GUAYMAS" II  
DE CERO A VELOCIDAD NORMAL

FORMULA EMPIRICA DEDUCIDA DE LA GRAFICA ORIGINAL:

$$\text{Tpo.}' = - 9.41 + 0.1737 t - 0.18 p - 0.175 C.I. (^\circ\text{C})$$



EJEMPLO :

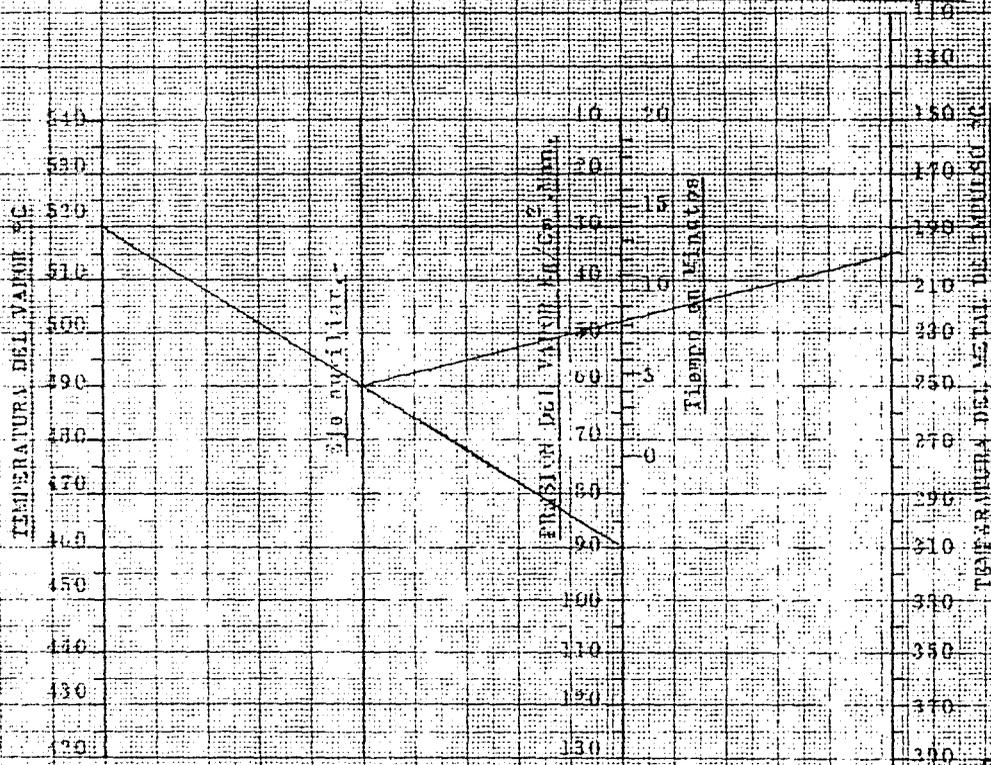
TEMP. VAPOR	PRESION VAPOR	TEMP. METAL IMPULSO	TIPO DE RODADO
°C	Kg/cm <sup>2</sup>	°C	MINUTOS
475	90	200	22

U N A M FACULTAD DE INGENIERIA TIEMPOS PARA EL ARRANQUE DE CERO A VELOCIDAD NOR- MAL UNIDADES GNAS. II R Rielas P. 1978 Nom. No.
---

TIEMPOS DE ARRANQUE DE LAS TURBINAS PLANTA " GUAYMAS " II

FORMA EMPÍRICA DEBEIDA DE LA GRÁFICA ORIGINAL:

$$T_{(t)} = 10.47 + 0.084 t - 0.002 t^2 + 0.00006 t^3 \quad (C. T. )$$



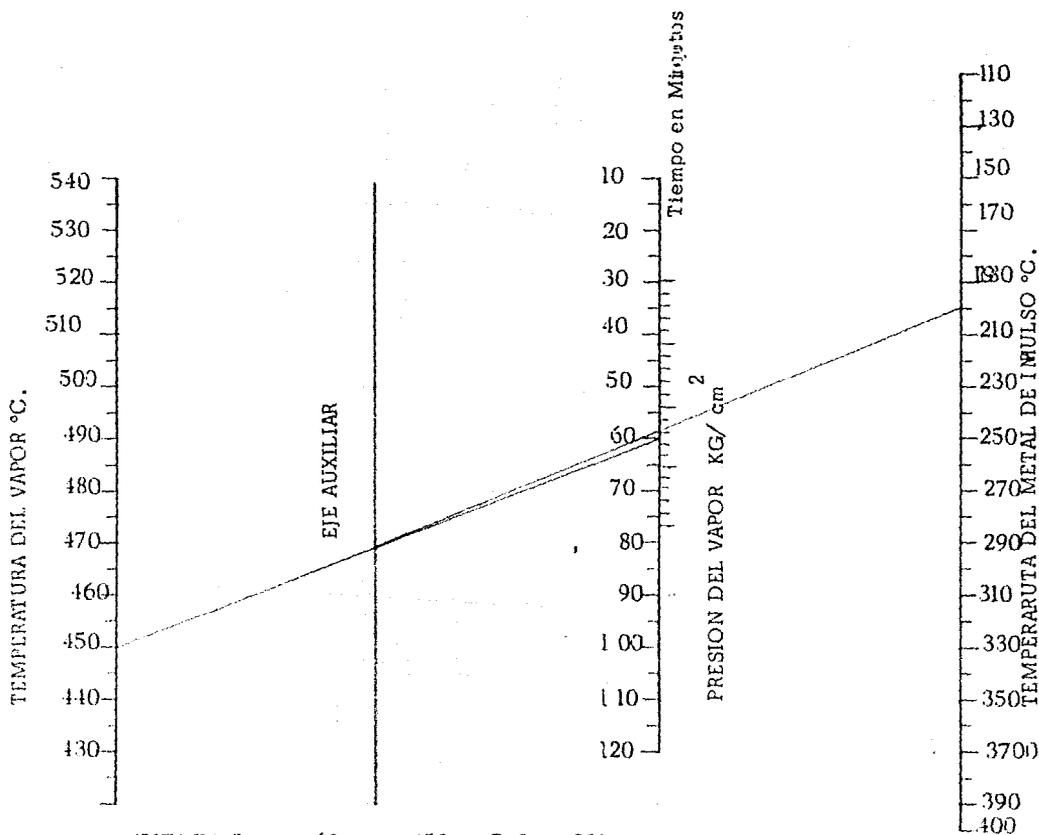
Ejemplo:  $p = 90 \text{ kg/cm}^2$   
 $t = 200 \text{ } ^\circ\text{C}$   
 $C.L. = 200 \text{ } ^\circ\text{C}$   
 $t_{arr} = 5.59 \text{ min}$

E. N. A. M.  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
 INCREMENTO DE TEMPERATURA  
 DEL VAPOR SOSTENIENDO  
 5% DE CARGA (0.45).  
 R. RES. 15 - P. 1 1978 (2)

TIEMPOS PARA EL ARRANQUE DE LAS TURBINAS DE LA PLANTA " GUAYMAS " II

FORMULA EMPIRICA DEDUCIDA DE LA GRAFICA ORIGINAL:

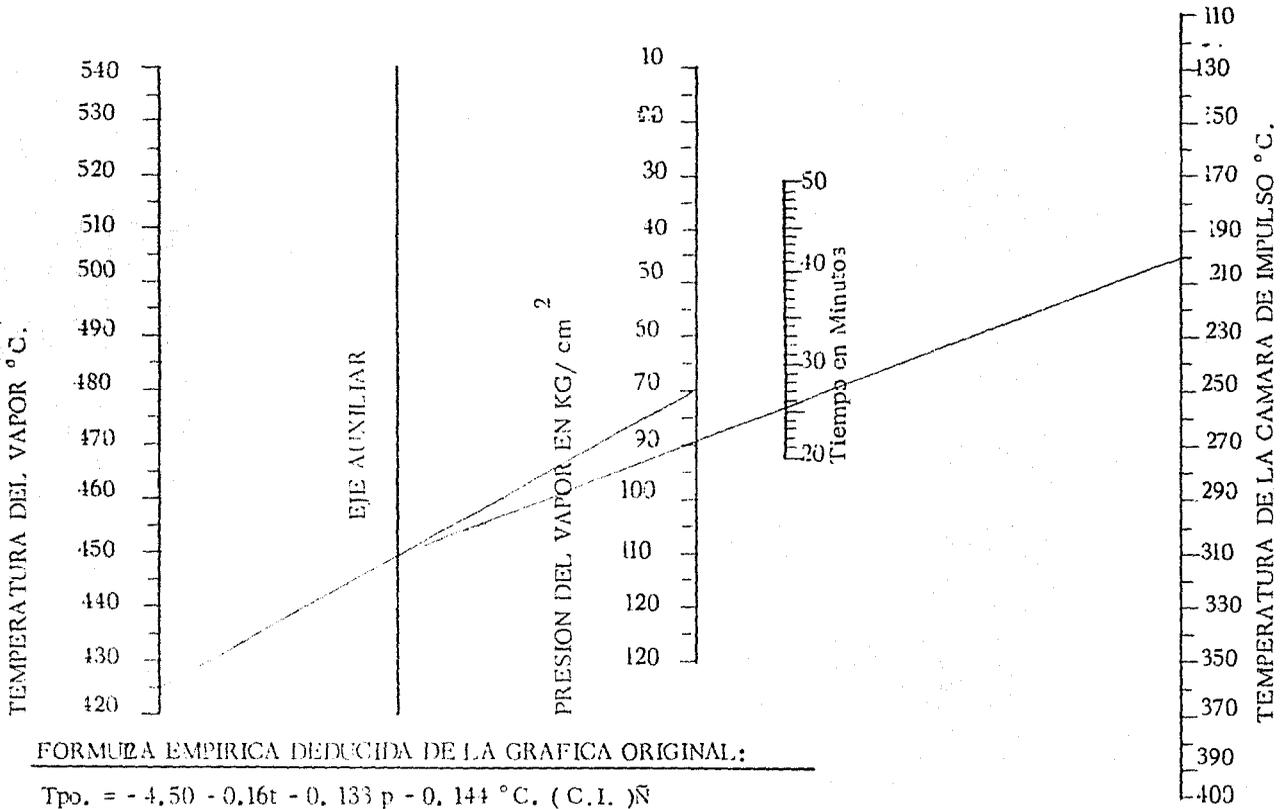
$$\text{Tpo. Mins.} = -7.47 + 0.12 t - 0.109 p - 0.108 \text{ } ^\circ\text{C. (C.I.)}$$



EJEMPLO:  $p = 60$  ,  $t = 450$  , C.I. = 200

$t_{po.} = 18$  mins.

U N A M
FACULTAD DE INGENIERIA
INCREMENTO DE LA TEMP. DEL VAPOR SOSTENIENDO 5 % DE CARGA (50 °C.)
R RUELAS P. I 972 No. B No.



FORMULA EMPIRICA DEDUCIDA DE LA GRAFICA ORIGINAL:

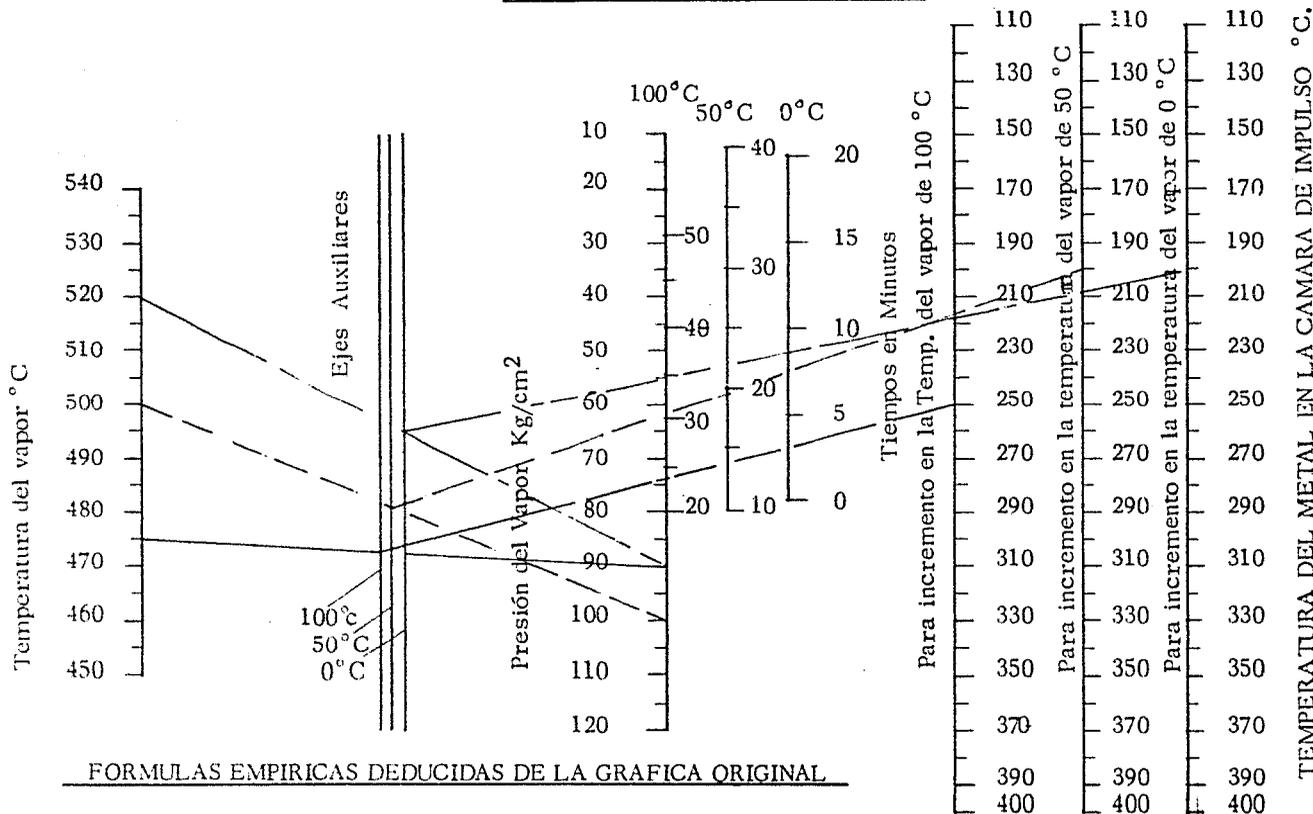
$$Tpo. = -4.50 - 0.16t - 0.133 p - 0.144 \text{ } ^\circ\text{C. (C.I.)} \sqrt{}$$

EJEMPLO: p = 70 , t = 425 , C.I. = 200 Tpo. Min. = 25.4

UNAM  
 FACULTAD DE INGENIERIA  
 Incremento de la temp. -  
 del vapor sosteniendo 5%  
 de carga 100 °C.  
 R. Ruelas P. 1978 Nom. No. 4

TIEMPO PARA EL ARRANQUE DE LAS TURBINAS DE LA PLANTA "GUAYMAS" II

8.3.3 SOSTENIENDO 5% DE CARGA



FORMULAS EMPIRICAS DEDUCIDAS DE LA GRAFICA ORIGINAL

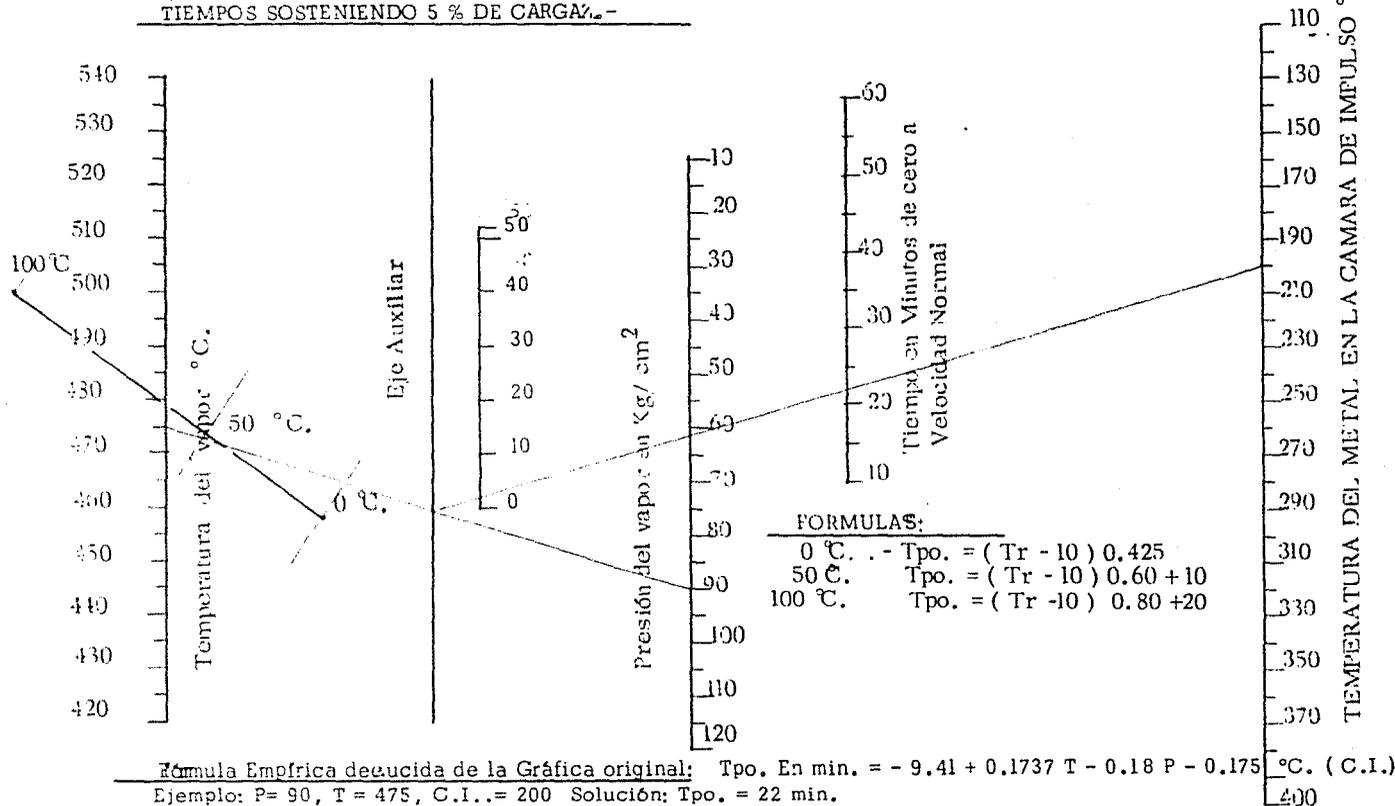
Tiempo =  $-4.50 + 0.16t - 0.133p - 0.144$  °C C.I. para 100 °C

Tiempo =  $-7.94 + 0.12t - 0.109p - 0.108$  °C C.I. para 50 °C

Tiempo =  $-10.47 + 0.8t - 0.8p - 0.077$  °C C.I. para 0 °C

UN A M
FACULTAD DE INGENIERIA
Incremento de la Temperatura del vapor de: 0, 50 y 100 °C.
R. Ruelas P. 1978 Nom. No5

TIEMPOS SOSTENIENDO 5 % DE CARGA. -



Formula Empírica deducida de la Gráfica original: Tpo. En min. = - 9.41 + 0.1737 T - 0.18 P - 0.175 °C. ( C.I.)

Ejemplo: P= 90, T = 475, C.I.. = 200 Solución: Tpo. = 22 min.

EJEMPLO: Tr = 22 min. Para 100 °C. Tpo. = ( 22 - 10 ) 0.80 + 20 = 29.6 min.  
 Sosteniendo 5% de Carga. -

U N A M  
 FACULTAD DE INGENIERIA  
 Tiempos para incrementos  
 en la temp. del vapor de:  
 J, 50 y 100 grados C.  
 R. RUELAS P. 1978 Nom. No6

## 1.2 " DETERMINACION DE LA EFICIENCIA DE LAS CALDERAS "

CARTAS PARA DETERMINAR LA EFICIENCIA EN LAS CALDERAS DE LA PLANTA  
" GUAYMAS II " DE LA C.F.E. EN LA DIVISION NOROESTE.-

- 1.- Carta para determinar la eficiencia en las calderas
- 2.- Carta para calcular el Agua Evaporada por Unidad de Combustible
- 3.- CARTA PARA DETERMINAR LA EFICIENCIA EN LAS CALDERAS

## TRAZO DE LA GRAFICA PARA DETERMINAR LA EFICIENCIA DE LAS CALDERAS

## 1.- Determinación de las Curvas Presión-Temperatura

Entrando a las Tablas de Vapor VDI-Wasserdampf tafeln con la presión absoluta y la temperatura del vapor determinamos el contenido de calor en Kcal./Kg. para las diferentes presiones y temperaturas, y -- con estos datos formamos la siguiente Tabla que nos permite trazar las curvas Presión-Temperatura.-

Presión Kg/cm <sup>2</sup> Abs.	TEMPERATURA										
	390	400	410	420	430	440	450	460	470	480	490
35	764.1	769.6	775.2	780.7	786.2	791.6	797.0	802.4	807.8	813.3	818.8
40	762.0	767.6	773.3	778.9	784.4	790.0	795.5	800.9	806.4	811.9	817.4
45	759.9	765.6	771.4	777.0	782.7	788.3	793.9	799.4	804.9	810.5	816.1
50	757.8	763.6	769.5	775.2	780.9	786.6	792.3	797.9	803.5	809.1	814.7
54	756.1	762.0	767.9	773.7	779.5	785.3	791.0	796.6	802.2	807.9	813.6
60	753.4	759.5	765.6	771.5	777.4	783.3	789.1	794.9	800.6	806.3	812.0
65	750.6	756.9	763.1	769.2	775.2	781.2	787.1	792.9	797.7	804.6	810.4
70	748.8	755.2	761.5	767.7	773.8	779.8	785.7	791.6	797.5	803.5	809.2

De acuerdo con los límites tomados para la presión y para la temperatura tendremos :

Presión Kg/cm <sup>2</sup> abs.	Temperatura °C.	Contenido de calor Kcal./Kg.
70	390	748.8
35	490	818.8

Dados los valores anteriores, tomaremos para el contenido de calor los límites 740 y 820 Kcal./Kg.

La longitud de la escala para Kcal./Kg. es arbitraria y en nuestro caso se tomaron los valores de 8 y 16 cms. por lo tanto los módulos correspondientes a las mismas serán :

$$x = m ( 820 - 740 ) = 8 ; m = 8 / 80 = 0.1$$

$$x = m ( 820 - 740 ) = 16 ; m = 16 / 80 = 0.2$$

Así por ejemplo : para 60 Kg/cm<sup>2</sup> abs. y 450°C

El contenido de calor será : 789.1 Kcal./Kg.

Por lo que  $x = 0.1 ( 789.2 - 740.0 ) = 0.1 ( 49.1 ) = 4.91$  cm.

Para el caso de la segunda gráfica el valor de x para estos mismos valores es:

$$x = 0.2 ( 49.1 ) = 9.82 \text{ cms.}$$

## 2.- Trazo de las Rectas Temperatura del Agua de Alimentación.-

El límite de variación de la Temperatura del agua de alimentación se ha considerado entre 140 y 210°C y los contenidos de calor para dichas temperaturas son :

°C.	Kcal./Kg.
140	140.6
210	214.3

La Fórmula que nos dá la Eficiencia en las Calderas es :

$$e = W ( H - h ) / C \times Pc$$

En donde :

- e = Eficiencia en %
- W = Kgs. de agua evaporada
- H = Contenido de calor en Kcal./Kg. a la presión y temperatura del vapor.-
- h = Contenido de calor en Kcal./Kg. del agua de alimentación a su temp.
- C = Kgs. de combustible
- Pc = Poder calorífico del combustible

El poder calorífico del combustible utilizado en las Plantas " Guaymas I " y " Guaymas II " es de 10 000 Kcal./Kg.

En la Fórmula de la Eficiencia, ( H-h ) es el calor agregado por Kg. de vapor veamos dentro de que límites se encontrará el mismo :

Presión	Temp. Vapor	Temp. Agua Aliment.	H	h	(H-h)
35	490	140	818.8	140.6	678.2
70	490	210	809.2	214.3	594.9

Según lo anterior, los límites para el valor agregado por Kg- de Vapor serán :

595 y 680 Kcal./Kg.

Determinados los límites para el calor agregado por Kg. de Vapor, veamos ahora cuál será la pendiente de las Rectas Temperatura del Agua de Alimentación :

P. vapor	Temp. vapor	Temp. H <sub>2</sub> O	H	h	(H-h)
35	490	140	818.8	140.6	678.6
70	390	140	748.8	140.6	608.2
			<u>70.0</u>		<u>70.0</u>
35	490	210	818.8	214.3	604.5
70	390	210	748.8	214.3	534.5
			<u>70.0</u>		<u>70.0</u>

De acuerdo con la Ecuación para la pendiente de una recta ( m )

$$m = y - y_1 / x - x_1$$

Para una misma temperatura del Agua de Alimentación se tomaron dos puntos sobre la misma correspondientes a Mínima Presión y Máxima Temp. del vapor y, Máxima Presión y Mínima Temp. del vapor, para las temperaturas extremas del agua de alimentación y se encontró que las pendientes dadas por la expresión anterior quedan :

$$y - y_1 / x - x_1 = H / ( H-h ) = 70.0 / 70.0 = 1$$

Es la misma para las temperaturas de 140 y 210 °C

En la forma anterior se analizaron las rectas correspondientes a otras temperaturas encontrándose la misma pendiente para todas ellas; es decir, se trata de rectas paralelas.

Tomaremos como base para el trazo de dichas rectas la correspondiente a 140 °C. y para una presión y temp. del vapor de 35 Kg/cm<sup>2</sup> abs. y 490 °C., respectivamente, y cuya diferencia de calores es ( H-h ) = 678.2 -- Kcal./Kg. podemos iniciar el trazo de dicha recta en donde se considere conveniente, tomando en consideración que la recta perpendicular al eje de presiones y que pase por la intersección de la curva temperatura del vapor y recta temp. del agua de alimentación cortará al Eje Calor - agregado por Kg. de vapor ( H-h ) en el valor 678.2 y a partir de ese valor construir la escala ( H-h ) con el Módulo adecuado teniendo en cuenta que los límites para tal escala son 680 y 595 Kcal./Kg.

Para la primera gráfica se consideró :

$$X = m ( 680 - 595 ) = 8.5 \text{ cms. por lo tanto : } m = 8.5 / 85 = 0.1$$

Para la segunda gráfica se tomó:  $m = 0.2$  y por lo tanto  $X = 17.0 \text{ cm.}$

Para el trazo de las rectas correspondientes a las temperaturas restantes, se procederá en forma análoga; es decir, se formulará una tabla -- con las mismas características de la anterior. Por ejemplo :

P.vapor	Temp.vapor	Temp. H <sub>2</sub> O	H	h	( H-h )
70	490	180	809.2	182.2	627

Ahora para encontrar un Punto de la recta correspondiente a 180 °C, se procede como sigue :

Encontrar el punto de intersección correspondiente a una presión y temp. del vapor de 70 Kg./cm<sup>2</sup> abs. y 490°C. respectivamente y por él trazar una recta paralela al eje de presiones. Ahora, a partir del valor correspondiente a H-h sobre su eje previamente trazado, bajar una perpendicular al eje de presiones hasta cortar la recta indefinida anterior, esto nos dará un punto sobre la recta correspondiente a 180 °C. y por el trazar una recta paralela a las rectas correspondientes a -- 140 o 210 ° trazadas con anterioridad y cuya pendiente  $m = 1$  nos indica que se trata de rectas a 45° con el Eje de Presiones.-

### 3.- TRAZO DE LA GRAFICA KGS. DE AGUA EVAPORADA POR UNIDAD DE COMBUSTIBLE.

En la Fórmula Eficiencia de la Caldera :

$$e = W ( H-h ) / C \times P_c. \times 100 \%$$

Llamaremos Evaporación Equivalente ( Ee ) al cociente W/C

Es decir  $W/C = Ee =$  Agua evaporada por unidad de Combustible

$$W/C = Ee$$

$$W = C Ee$$

$$\text{Haciendo : } X = m_1 W$$

$$Y = m_2 C$$

$$\text{De donde : } W = X/m_1 \quad C = Y/m_2 \quad \text{por lo tanto}$$

$$X/m_1 = ( Y/m_2 ) Ee$$

$$Y = ( m_2/m_1 ) X / Ee \quad (\text{ECUACION DE LINEAS RADIANTES})$$

Tomaremos los siguientes límites para el agua evaporada y el consumo de combustible :

Agua Evaporada de 200 a 2 200 tons.

Combustible " 20 a 160 tons.

Por lo tanto la evaporación equivalente (Ee) variará de :

$$Ee = 200 / 20 = 10 \text{ Kg/Kg. de combustible a :}$$

$$Ee = 2\,200 / 160 = 13.75 \text{ Kg. / Kg. de Combustible}$$

Variación de la Evaporación Equivalente ( Ee ) de 10 a 14 Kgs. de agua Evaporada por Kg. de Combustible.-

Con los límites tomados anteriormente se construyó la Gráfica No. 3 llamada Kgs. de agua evaporada por Unidad de Combustible.-

El trazo de la misma se efectuó de la siguiente forma :

En el Eje de las X se construyó la escala agua evaporada en toneladas :

$$X = m_1 ( 2\,200 - 200 ) = 20 \text{ cm. de donde } m_1 = 20 / 2\,000 = 0.01$$

En el Eje de las Y se construyó la escala Combustible en toneladas :

$$Y = m_2 ( 160 - 20 ) = 14 \text{ cm. de donde } m_2 = 14 / 140 = 0.1$$

Las rectas Evaporación Equivalente se trazaron como sigue :

Para los valores de Ee = 10, 11, 12, 13 y 14 se trazaron las rectas para cada valor de Ee por medio de dos puntos:

$$C = W / E_e$$

Para la recta  $E_e = 14$  tomamos los puntos  $W = 900$  y  $W = 1\ 800$

$$C = 900 / 14 = 64.28 \text{ y } C = 1\ 800 / 14 = 128.57$$

Con estos dos pares de valores para  $W$  y  $C$  podremos trazar la recta --  $E_e = 14$  en forma análoga se encontrarán los valores de  $C$  para cada -- una de las rectas Evaporación Equivalente.-

TRAZO DE LAS RECTAS EVAPORACION EQUIVALENTE EN LA GRAFICA EFICIENCIA DE LA CALDERA, EN FUNCION DEL CALOR AGREGADO POR KG. DE VAPOR ( H-h ) Y LA EFICIENCIA DE LA MISMA.-

Conocido el valor ( H-h ) calor agregado por Kg. de vapor para la presión absoluta, temperatura del vapor y temperatura del agua de alimentación, calculamos la Eficiencia de la caldera de acuerdo con la fórmula:

$$e = E_e ( H-h ) / 100 \%$$

Trazaremos primeramente la Escala Eficiencia de la Caldera misma que consideramos variará de 20 a 100 %

La longitud de esta escala en los dos casos se tomó igual a la longitud adoptada para la escala de contenido de calor ( Kcal. / Kg. )

$$y = m ( 100 - 20 ) = 8 \text{ cm.}$$

$$m = 8 / 80 = 0.1$$

Construida la escala para la Eficiencia de la Caldera como se indicó anteriormente, las Rectas Evaporación Equivalente se trazan como sigue :

Para cada una de ellas tomaremos dos pares de valores uno correspondiente al valor ( H-h ) y el otro a la recta  $E_e$  deseada, y calculamos la -- Eficiencia correspondiente, por ejemplo :

( H-h )	$E_e$	E ( % )
580	12	69.6
640	12	76.8
580	15	87.0
640	15	96.0

Con este cuarto punto damos por terminado el trazo de la Gráfica :

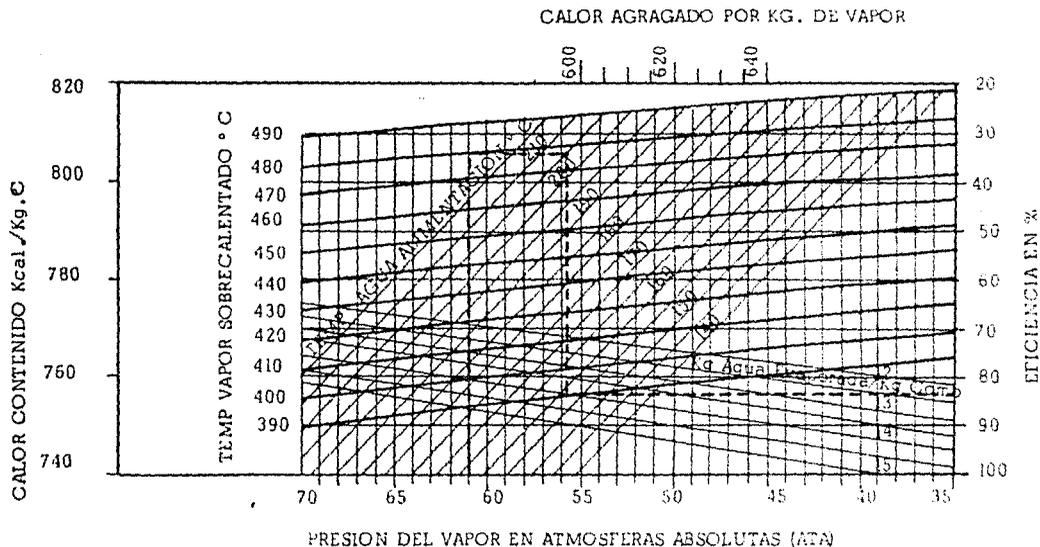
EFICIENCIA DE LAS CALDERAS.-

## OPERACION DE LA GRAFICA PARA DETERMINAR LA EFICIENCIA DE LAS CALDERAS :

- 1.- Entramos con la presión absoluta dada en Atmósferas hasta cortar la curva temperatura del vapor en °C.
- 2.- A partir del punto de corte anterior, trazar una línea horizontal hasta interceptar la Recta Temperatura del Agua de Alimentación.
- 3.- Desde este nuevo punto de corte, bajamos una línea vertical -- hasta encontrar la recta Evaporación Equivalente (Ee) previamente calculada con la ayuda de la gráfica No. 2.
- 4.- Finalmente de este último punto trazaremos una línea horizontal hasta cortar el Eje Eficiencia de la Caldera en el valor buscado.-

# NOMOGRAMA PARA CALCULAR LA EFICIENCIA EN LAS CALDERAS DE LA PLANTA TERMoeLECTRICA GUAYMAS I

C.F.E. DIVISION NOROESTE

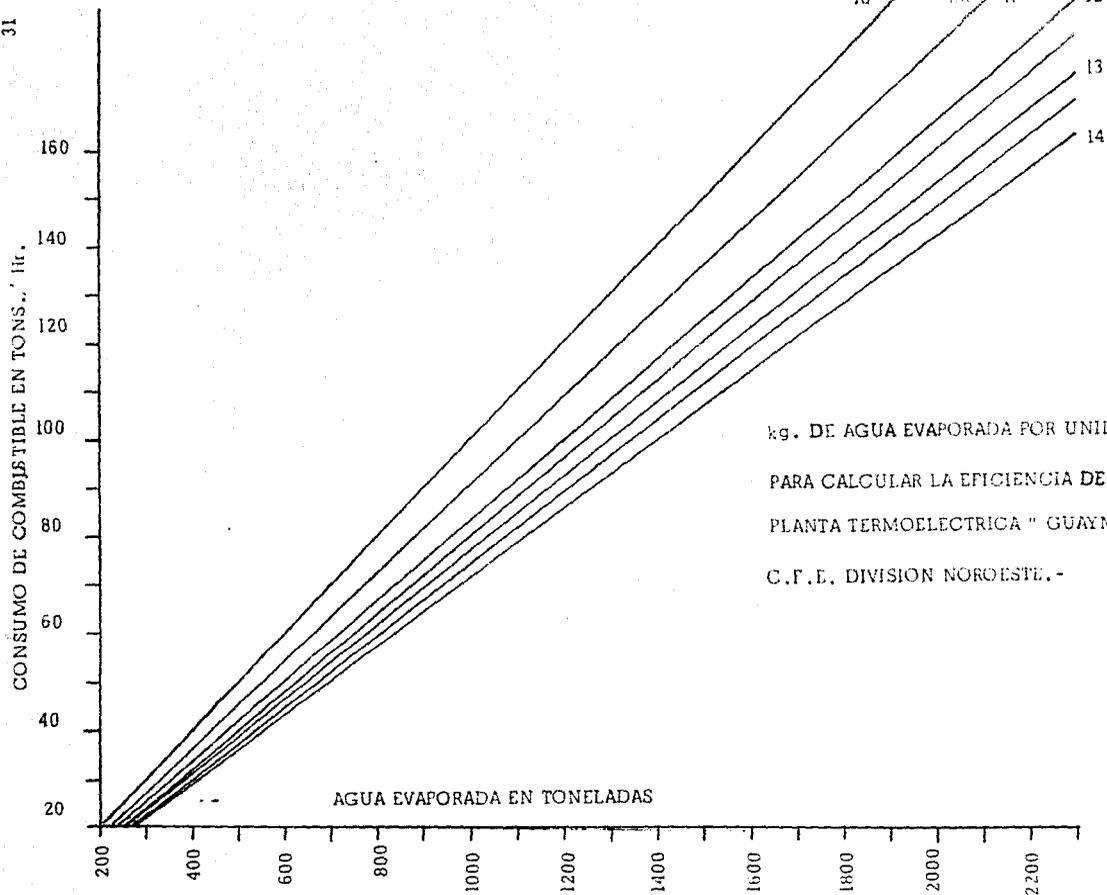


**MANEJO:** ENTRAR CON LA PRESION COMO DATO INICIAL HASTA CORTAR LA CURVA DE TEMP. CORRESPONDIENTE, LLEVAR UNA LINEA HORIZONTAL A PARTIR DE ESA INTERSECCION HASTA CORTAR LA RECTA CORRESPONDIENTE A LA TEMP. DEL AGUA DE ALIMENTACION, BAJAR DE ESE PUNTO HASTA ENCONTRAR LA RECTA QUE NOS MARCA EL AGUA EVAPORADA POR L UNIDAD DE COMBUSTIBLE Y DE AHI EN FORMA HORIZONTAL ENCONTRAR EL VALOR CORRESPONDIENTE A LA EFICIENCIA EN %

Ejemplo:  $P = 60 \text{ kg/cm}^2$ , Temp. Vapor =  $400 \text{ }^\circ\text{C}$ , Temp. agua alimentación =  $205 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Agua evaporada por kg. de combustible = 14 EFICIENCIA EN LA CALDERA = 83.4 %

U N A M FACULTAD DE INGENIERIA CARTA PARA DETERMINAR LA EFICIENCIA EN LAS CAL DERAS.- R. Ruelas P. 1970 Carta No. 1
--



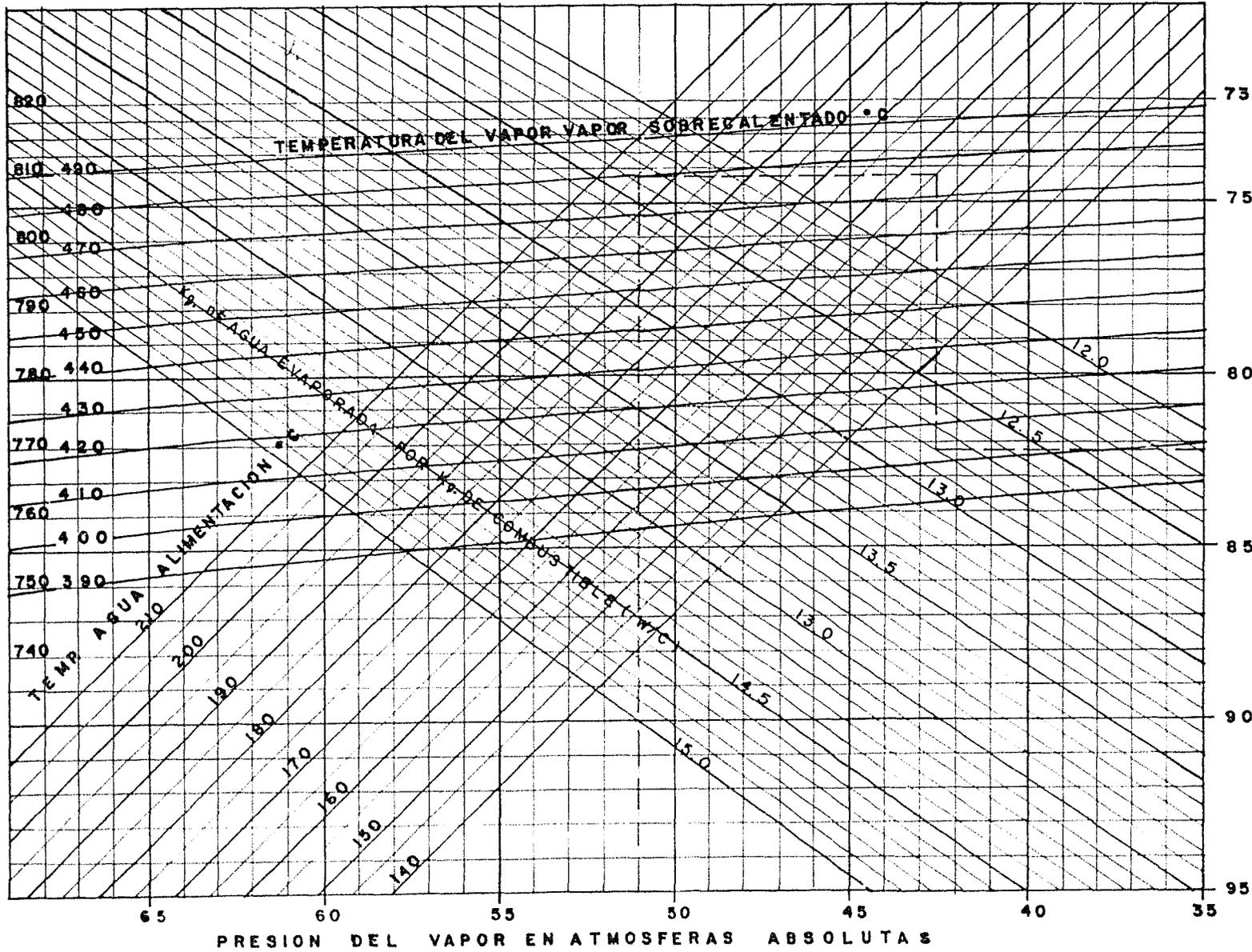
U N A M
FACULTAD DE INGENIERIA
CALCULO DEL AGUA EVAPORADA POR UNIDAD DE COMBUSTIBLE. -
R. Ruelas P. 1978 Nom. No 2

# CARTA PARA DETERMINAR LA EFICIENCIA EN LAS CALDERAS PLANTA "GUAYMAS" I.C.F.E.

CALORIAS AGREGADAS POR Kg DE VAPOR (H-h)

580 590 600 610 620 630 640 650

(H) ENTALPIA DEL VAPOR Kcal./Kg.°C



**EJEMPLO**  
 PRESION VAPOR 50 Kg/Cm<sup>2</sup> Men.  
 TEMP " 480 °C  
 TEMP AGUA ALIMENTACION 165 °C  
 AGUA EVAP./ Kg. DE COMB. 12.8 = W/C  
 H = 808.77 h = 166.5 (H-h) = 642.27  
 EFICIENCIA =  $12.8 \times 642.27 \times 10^{-4}$  = 82.21%  
 W = AGUA EVAPORADA TONS.  
 C = COMB. CONSUMIDO TONS.

<p><b>U N A M</b></p> <p>FACULTAD DE INGENIERIA</p> <p>CALCULO DE LA EFICIENCIA EN LAS CALDERAS <math>E = W(H-h)/10000C</math></p> <p>P.C. Comb. = 10000 Kcal/Kg.</p> <p>RICARDO RUELAS P. 1978 Num 3</p>
---

### **1.3 Determinación del FACTOR DE LIMPIEZA en los condensadores de Superficie de una turbina de vapor.-**

CARTAS Y NOMOGRAMAS PARA DETERMINAR EL FACTOR DE LIMPIEZA DE LOS CONDENSADORES DE LAS PLANTAS TERMoeLECTRICAS DE LA C.F.E. EN LA DIVISION NOROESTE.

- 1.- Carta para calcular la temperatura de saturación en los condensadores.
- 2.- Carta para determinar el Coeficiente de Transmisión de Calor en los condensadores de las Unidades 1 y 2 de la Planta - - -  
" GUAYMAS I "
- 3.- Nomograma para el Cálculo del Factor de Limpieza en los condensadores de superficie considerando :  
Diámetro de los Tubos (  $d$  ) cm.  
Número Total de Tubos (  $N_T$  )  
Número de Secciones (  $np$  )
- 4.- Nomograma que simplifica las consideraciones del Nomograma - -  
Número 3 para las diferentes Plantas Termoeléctricas.-
- 5.- Nomograma Simplificando el Número de Escalas de los dos anteriores para el Cálculo del Factor de Limpieza en los condensadores de las Plantas :

" GUAYMAS I "

" GUAYNAS II "

" TOPOLOBAMPO "

" UNIDAD I PLANTA MONTERREY N.L. "

ESTE ULTIMO NOMOGRAMA NOS PERMITE PENSAR EN QUE PUEDE ELABORARSE UNO PARA CADA DIVISION DE LA C.F.E. O BIEN UNO SOLO A NIVEL NACIONAL.-

En una planta termoeléctrica, el funcionamiento adecuado del sistema de condensación en el ciclo regenerativo desempeña un papel de vital importancia.

Es por ello que se hace necesario verificar continuamente los parámetros que rigen la operación del condensador.

Consideramos el vacío o presión absoluta; si a través de su control se lograra disminuir en solamente 1 °C la temperatura del vapor de escape, ello representaría un decremento en consumo de calor por parte de la turbina de un 0.25% (manteniendo inalteradas el resto de las condiciones). Esto significa que para un mismo flujo de vapor a través de la turbina, la energía transformada sería de un 0.25% mayor. Ilustremos con un ejemplo la aplicación práctica del fenómeno anterior; si se tiene un sistema eléctrico en que se generan 50 billones de kwh al año, éste 0.25% representaría una ganancia de 125 millones de kwh y esto por haber reducido el 1°C la temperatura del vapor en los condensadores de todas las plantas del sistema.

De lo que se ha mencionado se deduce la importancia de poseer un vacío apropiado y una manera de lograrlo es manteniendo limpios los tubos del condensador, lo cual se refleja en el Factor de Limpieza del mismo.

Un registro periódico del Factor de Limpieza en condensadores de superficie, permite al operador de una planta programar una limpieza o controlar un sistema de limpieza continua ya sea de naturaleza mecánica (Taprogge) o química, pero para ello es imprescindible basar el control en un método de cálculo adecuado y confiable.

Con este propósito se ha desarrollado el presente instructivo de acuerdo a los estándares del Heat Exchange Institute (H.E.I.) y adaptado a las condiciones que prevalecen en las plantas termoeléctricas que integran la Comisión Federal de Electricidad.

Con el propósito de lograr un mejor entendimiento del proceso de cálculo del Factor de Limpieza, se divide este capítulo en tres secciones que son las siguientes :

- SI .- DEFINICION DE TERMINOS Y NOMENCLATURA
- SII .- FORMULAS GENERALES
- SIII.- CALCULO DEL FACTOR DE LIMPIEZA

## SI.- DEFINICION DE TERMINOS Y NOMENCLATURA

$t_1$	Temperatura de agua de circulación a la entrada del condensador, °C.
$t_2$	Temperatura de agua de circulación a la salida del condensador, °C.
$t_s$	Temperatura de saturación correspondiente a la presión absoluta en el condensador, °C.
$t_2 - t_1$	Incremento de temperatura de agua de circulación a través del -- condensador, °C.
$t_s - t_1$	Diferencia inicial de temperatura, °C.
$t_s - t_2$	Diferencia terminal de temperatura, °C.
$t_m$	Logaritmo medio de la diferencia de temperatura, °C.
Pabs.	Presión absoluta en el condensador, in Hg.
$P_1$	Presión de agua de circulación a la entrada del condensador, - -- Kg/cm <sup>2</sup>
$P_2$	Presión de agua de circulación a la salida del condensador, - -- Kg/cm <sup>2</sup>
$P_d$	Presión en la descarga de la bomba de agua de circulación, - - - - Kg/cm <sup>2</sup>
$P_s$	Presión en la succión de la bomba de agua de circulación, - - - - Kg/cm <sup>2</sup>
$P_a$	Presión en la descarga de la bomba para enfriamiento de auxiliares, Kg/cm <sup>2</sup>
$W_c$	Flujo de agua de circulación a través del condensador, m <sup>3</sup> /seg, - - Kg/hr.
$W_b$	Gasto de la bomba de agua de circulación, m <sup>3</sup> /seg.

$W_a$	Gasto de la bomba de agua de enfriamiento para auxiliares, $m^3/\text{seg.}$
$S$	Superficie de condensación del condensador, $m^2$
$N_t$	Número total de tubos en el condensador.
$N_s$	Número de tubos por sección del condensador.
$n_p$	Número de pasos del condensador
$a_t$	Area interior (sección transversal) de un tubo, $cm^2$ .
$r_i$	Radio interior del tubo, $cm$ .
$A_t$	Area total de flujo de agua de circulación por sección del condensador, $cm^2$ .
$v$	Velocidad del agua de circulación a través de los tubos del condensador, $m/\text{seg.}$
$h_s$	Entalpia de vaporización del vapor de escape correspondiente a la temperatura de saturación $t_s$ , $Kcal/kg$ .
$c$	Flujo de vapor a través del condensador, $Kg/hr$ .
$C$	Carga de vapor por unidad de superficie de condensación, $Kg/hr/m^2$ .
$F_c$	Factor de corrección por carga.
$F_t$	Factor de corrección por temperatura.
$u_t$	Coefficiente teórico de transmisión de calor (sin corrección), correspondiente a la velocidad $v$ , $Kcal/hr/m^2/^\circ C$ .
$U_t$	Coefficiente teórico de transmisión de calor (corregido), $Kcal/hr/m^2/^\circ C$ .
$U_r$	Coefficiente real de transmisión de calor, $Kcal/hr/m^2/^\circ C$ .

FI. Factor de Limpieza del condensador, %

**SII.- FORMULAS GENERALES**

8

$$t_m = \frac{(t_2 - t_1)}{2 \log_e \left( \frac{t_s - t_1}{t_s - t_2} \right)} \quad (1)$$

$$N_s = \frac{N_t}{n_p} \quad (2)$$

$$a_t = r_1^2 \quad (3)$$

$$A_t = N_s \cdot a_t \quad (4)$$

$$v = \frac{W_c}{A_t} \quad (5)$$

$$c = \frac{W_c (t_2 - t_1)}{h_s} \quad (6)$$

$$C = \frac{c}{S} \quad (7)$$

$$U_r = \frac{W_c (t_2 - t_1)}{S \cdot t_m} \quad (8)$$

Esta fórmula es válida únicamente en el sistema métrico de unidades. Ver apéndice IV para su derivación.

$$U_t = u_t \cdot F_c \cdot F_t \quad (9)$$

$$FL = \frac{U_r}{U_t} \quad (10)$$

### SIII.- CALCULO DEL FACTOR DE LIMPIEZA

En la presente sección se ilustra el cálculo del Factor de Limpieza con un ejemplo para su mejor entendimiento.

#### DATOS BASICOS

Los datos básicos se dividen en dos grupos :

- a) Características del condensador
- b) Parámetros físicos adquiridos durante la prueba de lecturas.

a)

Tipo de condensador	De superficie
Número de pasos ( $n_p$ )	2
Número de tubos en el condensador ( $N_t$ )	5738
Longitud de los tubos	28' 2-3/4"
Superficie de condensación (S)	3902 m <sup>2</sup>
Diámetro y calibre de los tubos	1" O.D., 18 BWG

b)

Para adquirir los datos que aparecen a continuación, se recomienda estabilizar la operación de la unidad generadora por espacio aproximado de 1 hora y a una carga del 85% de su valor nominal (esto no es absolutamente necesario; pero si es deseable fijar la carga de la unidad al nivel más alto que permitan las circunstancias \*).

Los parámetros deberán de tomarse a intervalos aproximados de 10 minutos, por una misma persona, hasta recopilar 3 lecturas, las cuales deberán promediarse.

Supongamos que los valores (ya promediados) son los siguientes :

$$t_1 = 27.6 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_2 = 39.1 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$P_1 = 1.600 \text{ kg/cm}^2$$

$$P_2 = 0.950 \text{ Kg/cm}^2$$

$$P_{\text{abs}} = 3.10 \text{ in. Hg.}$$

Se procede a calcular el Factor de Limpieza:

1o. Determinación de la temperatura de saturación,  $t_s$

De la tabla 1\* , la temperatura de saturación correspondiente a una presión absoluta  $P_{\text{abs}} = 3.10 \text{ in Hg.}$  es,

$$t_s = 116.22 \text{ }^\circ \text{F}$$

Convirtiendo a grados centígrados,

$$^\circ \text{C} = \frac{^\circ \text{F} - 32}{1.8}$$

sustituyendo,

$$^\circ \text{C} = \frac{116.22 - 32}{1.8} = 46.79$$

entonces

$$t_s = 46.79^\circ \text{C}$$

2o. Cálculo de la temperatura media logarítmica,  $t_m$

$$t_m = \frac{(t_2 - t_1)}{\log_e \left( \frac{t_s - t_1}{t_s - t_2} \right)}$$

sustituyendo los valores conocidos,

\* NOTA.- Los valores intermedios que no aparecen en la tabla, se determinan por interpolación.

$$\begin{aligned}
 t_m &= \frac{(39.1 - 27.6)}{\log_e \left( \frac{46.79 - 27.6}{46.79 - 39.1} \right)} \\
 &= \frac{11.5}{\log_e \left( \frac{19.19}{7.69} \right)} \\
 &= \frac{11.5}{\log_e (2.495)}
 \end{aligned}$$

De la tabla 2,

$$\log_e (2.495) = 0.9143$$

entonces,

$$t_m = \frac{11.5}{0.9143} = 12.58$$

$$t_m = 12.58^\circ\text{C}$$

30. Determinación del flujo de agua de circulación a través del condensador,  
 $W_c$ .

Se puede proceder de dos maneras para determinar este parametro :

## a) Método de Orificio

Este es el método más apropiado y el que ofrece mayor exactitud; sin embargo, cuando no se posee la instrumentación adecuada para encontrar la caída de presión ( $P_1 - P_2$ ), deberá de recurrirse al método aproximado que se señala en (b).

## b) Método del Gasto de la Bomba de agua de Circulación (Ver Apéndice II)

En el caso del ejemplo que nos ocupa hay manera de determinar la --- caída de presión y por lo tanto se procede haciendo uso del método de orificio ;

La caída de presión es,

$$P_1 - P_2 = 1.600 = 0.950 = 0.6500 \text{ Kg/cm}^2$$

Convirtiendo la caída de presión a ft H<sub>2</sub>O para poder entrar a - la gráfica (Ver Apéndice I Fig. A4).

$$0.6500 \times 32.809 * = 21.33 \text{ ft H}_2\text{O}$$

$$P_1 - P_2 = 21.33 \text{ ft H}_2\text{O}$$

De la gráfica se obtiene, para un valor de 21.33 ft H<sub>2</sub>O,

$$v = 8.45 \text{ ft/seg}$$

$$* 32.809 = \text{FACTOR DE CONVERSION DE } \text{Kg/cm}^2 \text{ A ft H}_2\text{O}$$

Convirtiendo al sistema métrico de unidades,

$$8.45 \times 0.3048 = 2.576 \text{ m/seg.}$$

$$v = 2.576 \text{ m/seg.}$$

Ahora bien, para determinar el flujo es necesario conocer el área de flujo de agua,  $A_t$ .

Siendo los tubos de 1" O.D. calibre 18 BWG de acuerdo con la tabla de calibres del Apéndice III.

$$\text{diámetro interior} = 0.902 \text{ in}$$

el radio interior,  $r_i$  en cm será

$$r_i = \frac{0.902 \times 2.54}{2} = \frac{2.2910}{2} = 1.1455$$

$$r_i = 1.1455 \text{ cm}$$

El área interior (sección transversal) por tubo será,

$$a_t = r_i^2$$

$$a_t = (3.1416) (1.1455)^2$$

$$= (3.1416) (1.3121) = 4.12 \text{ cm}^2$$

$$a_t = 4.12 \text{ cm}^2$$

Ahora se procede a calcular el área total de flujo,

$$A_t = a_t \cdot N_s$$

en donde,

$$N = \frac{5738}{2} = 2869$$

sustituyendo para  $A_t$ ,

$$A_t = (4.12) (2869) = 11820.28 \text{ cm}^2$$

$$A_t = 11820.28 \text{ cm}^2$$

convirtiendo a  $\text{m}^2$

$$A_t = 1.182 \text{ m}^2$$

Conociendo el área de flujo y la velocidad se puede calcular el flujo de agua de circulación a través del condensador,  $W_c$

$$\begin{aligned} W_c &= v \cdot A_t \\ &= (2.576) (1.182) = 3.0448 \text{ m}^3/\text{seg} \end{aligned}$$

$$W_c = 3.0448 \text{ m}^3/\text{seg}$$

Convirtiendo a Kg/hr (aquí se considera la densidad del agua igual a 1 en el sistema métrico),

$$W_c = 3.0448 (1000)^* (3600)**$$

$$W_c = 10\ 961\ 280\ \text{Kg/hr.}$$

4o. Cálculo del Coeficiente Real de Transmisión de Calor,  $U_r$  :

$$U_r = \frac{W_c (t_2 - t_1)}{S \cdot t_m}$$

$$= \frac{(10961280) (39.1 - 27.6)}{(3902) (12.58)}$$

$$U_r = 2567\ \text{Kcal/hr/m}^2/\text{°C}$$

5o. Determinación del coeficiente teórico de transmisión de calor, sin corrección,  $u_t$

De la Fig. No. 1, para  $v = 2.576\ \text{m/seg}$

$$u_t = 3560\ \text{Kcal/hr/m}^2/\text{°C}$$

NOTA.- La gráfica de la Fig. No. 1, sólo puede emplearse cuando se trate de tubos de 1' O.D. (diámetro exterior). Para otros diámetros consultar la Fig. No. 2.

\* Se multiplica por 1000 para convertir de  $\text{m}^3$  a litros

\*\* Se multiplica por 3600 para convettir de 1/seg. a 1/hr.

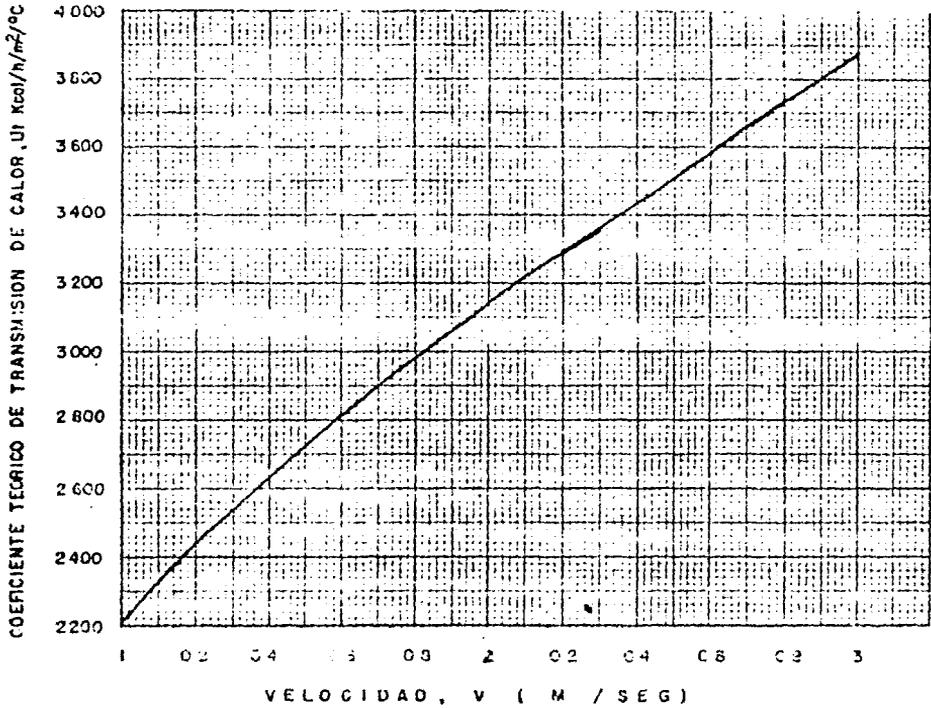


FIG. No. 1.- Coeficientes teóricos de transmisión de calor (sin corrección) en función de la velocidad de flujo para tubos de 1" de diámetro exterior.

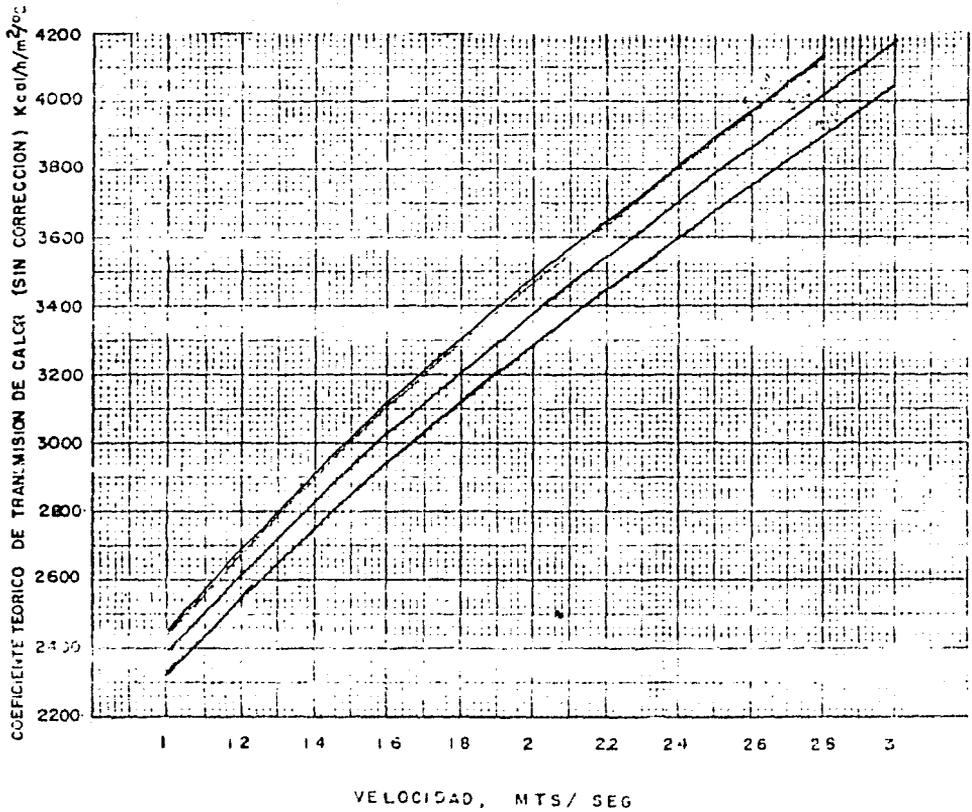


FIG. No. 2.- Coeficientes teóricos de transmisión de calor (sin corrección) en función de la velocidad de flujo para tubos de diversos diámetros exteriores.

6o. Determinación de la entalpia de vaporización del vapor del escape,  $h_s$ .

De la Tabla No. 3, para  $t_s = 116.22$  °F en la columna  $h_{fg}$ ,

$$h_s = 1027.97 \text{ Btu/lb}$$

convirtiendo al sistema métrico de unidades,

$$1027.97 \times 0.55556 = 571.14$$

$$h_s = 571.14 \text{ Kcal/Kg.}$$

7o. Cálculo de la carga del condensador, C

$$c = \frac{W_c (t_2 - t_1)}{h_s}$$

$$c = \frac{(10\ 961\ 280) (39.1 - 27.6)}{(571.14)} = 220\ 707$$

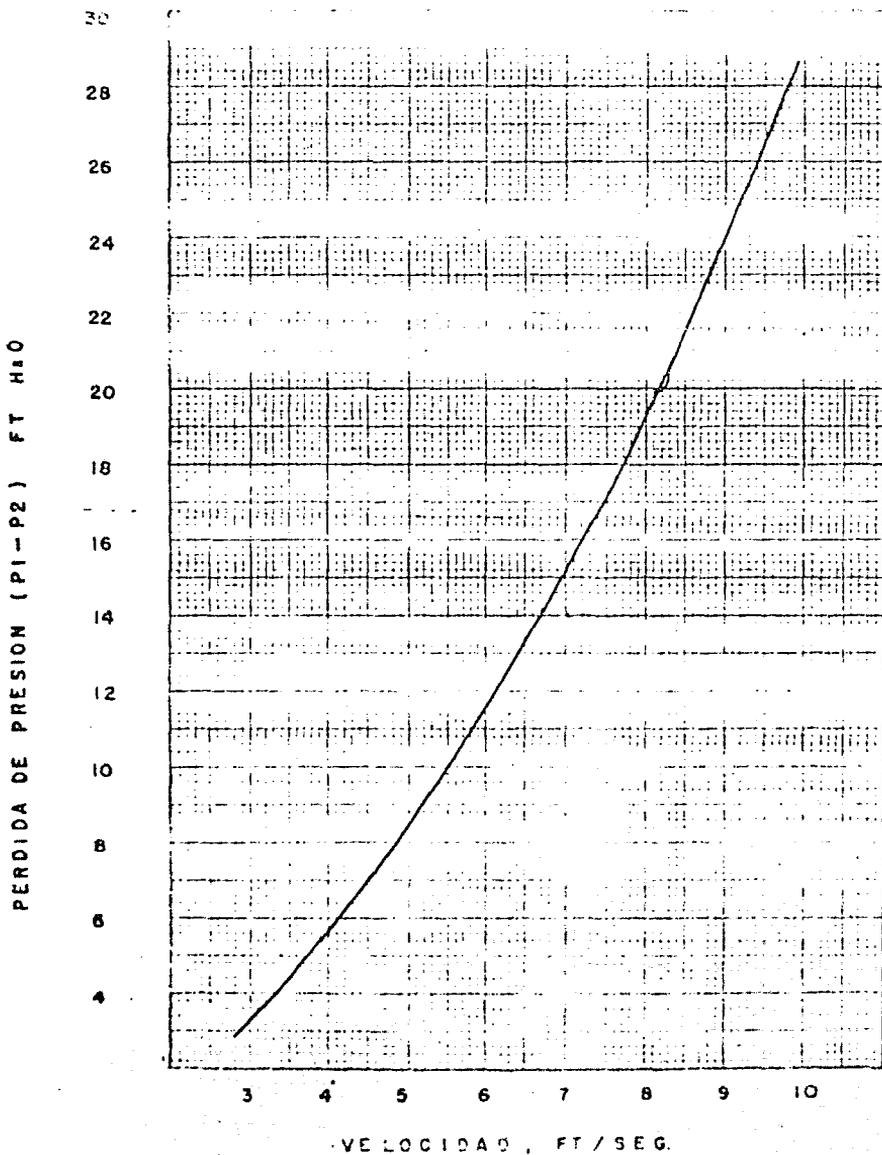
$$c = 220\ 707 \text{ Kg/hr.}$$

$$C = \frac{c}{S}$$

$$= \frac{220\ 707}{3902} = 56.56$$

$$C = 56.56 \text{ Kg/hr/m}^2$$

FIG. A4. *STANDARD LOSS COEFFICIENTS FOR 90° ELBOWS*  
**VELOCIDAD DEL AGUA A TRAVES DE LOS TUBOS**



8o. Determinación del factor de corrección por carga,  $F_c$

De la Fig. No. 3, para  $C = 56.56 \text{ Kg/hr/m}^2$

$$F_c = 1.000$$

9o. Determinación del factor de corrección por temperatura,  $F_t$

De la Fig. No. 4, para  $t_1 = 27.6 \text{ }^\circ\text{C}$

$$F_t = 1.055$$

10o. Cálculo del coeficiente teórico de transmisión de calor corregido,  $U_t$

$$U_t = u_t \cdot F_c \cdot F_t$$

$$U_t = (3600) (1.000) (1.055)$$

$$U_t = 3756 \text{ Kcal/hr/m}^2/\text{ }^\circ\text{C}$$

11o. Cálculo del Factor de Limpieza, FL

$$FL = \frac{U_r}{U_r} \times 100$$

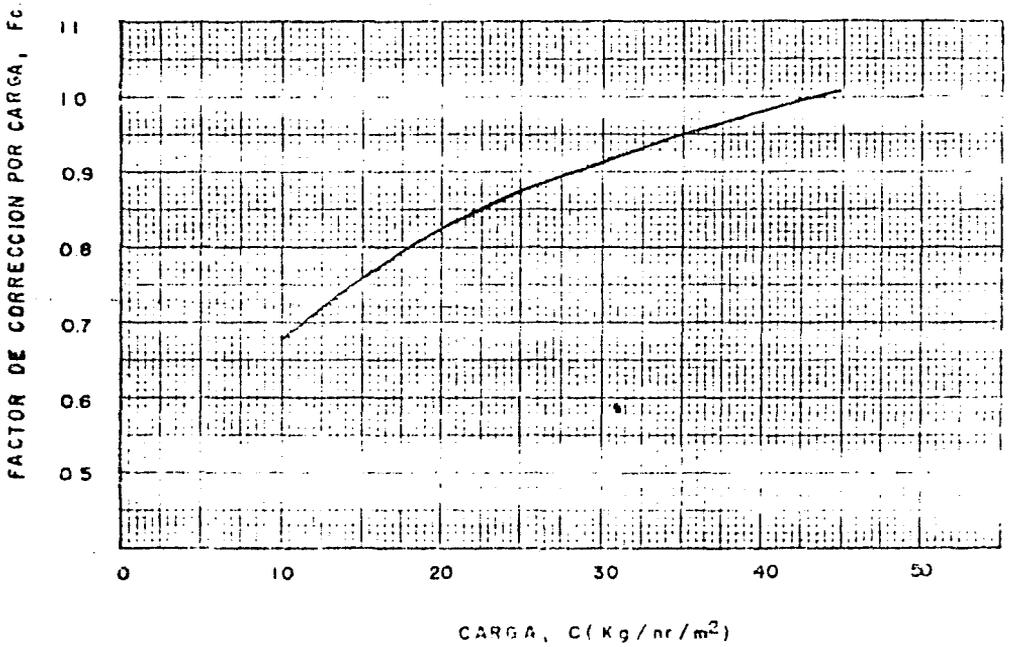


FIG.No.3.- Gráfica para obtener el factor de corrección por carga en función de la carga de vapor en un condensador de superficie.

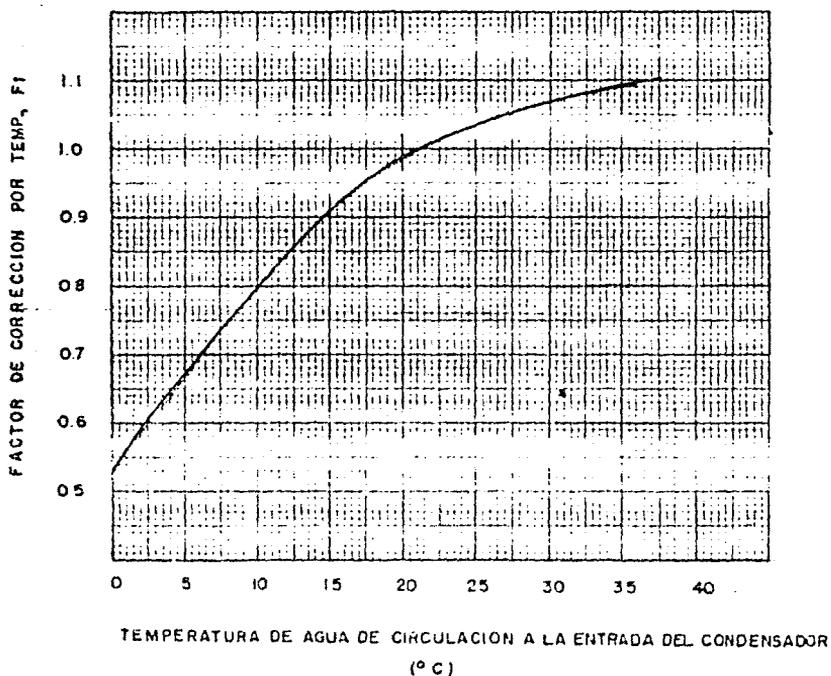


FIG. No.4.- Gráfica para obtener el factor de corrección en función de la temperatura del agua de circulación a la entrada de un condensador de superficie.

$$= \frac{2567}{3756} \times 100 = 68.34$$

$$FL = 68.34\%$$

OBTENCION DE NOMOGRAMAS PARA EL CALCULO DEL FACTOR DE LIMPIEZA (FL)  
EN LOS CONDENSADORES DE SUPERFICIE.

SE TOMO COMO EJEMPLO PARA EL CALCULO DE LOS MISMOS EL CONDENSADOR No.1  
DE LA PLANTA MONTERREY.-

Considerando que la finalidad de este trabajo es para su aplicación en los condensadores de las Plantas Termoeléctricas de la C.F.E. en la DIVISION NOROESTE de la misma, incluiremos los datos que nos interesan de cada condensador.-

UNIDAD PLANTA SUPERFICIE (m <sup>2</sup> )	No.Total de tubos (N <sub>T</sub> )	Radio Interno r <sub>i</sub> (cm)
1 y 2 GMAS. I 1115.40	3396	0.828
3 " I 3336.0	5130	1.05
4 " I 4000.0	7000	1.10
1 TOPOLOBAMPO 2416.0	5860	1.05
1 y 2 GMAS. II 5040.0	7012	1.14

1.- CONSTRUCCION DE LA GRAFICA PARA DETERMINAR LA TEMPERATURA DE SATURACION CORRESPONDIENTE A LA PRESION ABSOLUTA EN LOS CONDENSADORES.-

Esta gráfica se trazó con la ayuda de las tablas de vapor Keenan and Keys para presiones absolutas en los condensadores expresadas en : - - mmHg, Pulgs. de Mercurio, Kg/cm(2), y para temperaturas de saturación expresadas en GRADOS CENTIGRADOS.-

2.- NOMOGRAMA PARA DETERMINAR COEFICIENTES DE TRANSMISION DE CALOR SEGUN FORMULA DE LA WESTINGHOUSE, Y QUE A SU VEZ NOS PERMITE CALCULAR RAPIDAMENTE LA DIFERENCIA MEDIA DE TEMPERATURA LOGARITMICA PARA ENTRAR A LOS DEMAS NOMOGRAMAS.-

DE LAS FORMULAS GENERALES :

DIF. MEDIA DE TEMPERATURA LOGARITMICA (tm)

$$tm = (t_2 - t_1) / \log_e (ts - t_1) / p (ts - t_2)$$

Llamando : a = t<sub>2</sub> - t<sub>1</sub>

$$b = ts - t_1$$

$$tm = t_2 - t_1 / \log_e ts - t_1 / (ts - t_1) - (t_2 - t_1)$$

Quitando paréntesis, la expresión anterior toma su forma original.-

Dando diferentes valores tanto a (a) como a (b), se hizo la siguiente Tabulación para obtener el valor (tm), una vez construídas las curvas (ts - t<sub>1</sub>)

En seguida, se indica la tabulación correspondiente :

a	b	(b-a)	b/(b-a)	ln (b/b-a)	tm
1	12	11	1.09	0.086	11.6
2	12	10	1.20	0.182	11.0
3	12	9	1.34	0.292	10.3
4	12	8	1.50	0.505	9.85
10	12	2	6.00	1.790	5.6

En la forma anterior se tabularon todas y cada una de las curvas de la gráfica para valores de  $b = t_s - t_l$  de 2.0 a 22.-

Ahora bien, de acuerdo a la experiencia lograda en el cálculo del coeficiente de transmisión de calor (U) por la aplicación de la fórmula de la Westinghouse, para variaciones del mismo a diferentes cargas, y empleando el Método de PUNTOS SELECCIONADOS, se trazaron las diferentes rectas que nos dan el valor del mismo sobre la gráfica correspondiente.-

#### FORMULA DE LA WESTINGHOUSE

$$U = 2090 W / 12\ 000\ MTD$$

2090 = Factor de conversión

12 000 = Superficie de condensación Unidades 1 y 2 Planta Guaymas I,  $ft^2$

MTD = DIFERENCIA MEDIDA DE TEMPERATURA LOGARITMICA.-

## CALCULO DE LOS NOMOGRAMAS NECESARIOS PARA OBTENER EL FACTOR DE LIMPIEZA (FL) EN LOS CONDENSADORES DE SUPERFICIE.

Dado que la secuencia del cálculo será la misma para todos los nomogramas haremos una breve descripción de ésta.-

ECUACIONES DE LA FORMA  $f_1(u) + f_2(v) = f_3(w)$  ó  $f_1(u) \times f_2(v) = f_3(w)$   
TRES ESCALAS PARALELAS.-

La segunda forma de la ecuación anterior, puede ser llevada inmediatamente a la primera forma tomando logaritmos de ambos miembros; así :

$$\log f_1(u) + \log f_2(v) = \log f_3(w)$$

SEAN AX, BY y CZ tres ejes paralelos con ABC cualquier línea transversal ó línea base. Figuras 1a y 1b.

Dibujemos cualquier línea INDICE cortando a los ejes en los puntos u, v y w respectivamente, tal que :  $Au = x$ ,  $Bv = y$   $Cw = z$

Ahora veamos como se encuentran relacionados x, y, z

Se, AC; CB =  $m_1 : m_2$  y si a través de (v) y (w) trazamos líneas paralelas -- a AB, luego los TRIANGULOS (uEw) y (wDv) son semejantes, y :

$Eu : Dw = Ew : Dv = AC ; CB$  o sea :

$$x-z : (z - y) = m_1 : m_2$$

Por lo tanto  $m_2x + m_1y = (m_1 + m_2) z$  es decir :

$$x/m_1 + y/m_2 = z / ( m_1m_2 / m_1 + m_2 )$$

Ahora sí, AX, BY, y CZ llevan las escalas :

$$x = m_1 f_1(u)$$

$$y = m_2 f_2(v)$$

$z = ( m_1 m_2 / m_1 + m_2 ) f_3(w)$  respectivamente, la Ecuación anterior quedará :

$f_1(u) + f_2(v) = f_3(w)$ ; y cualquier línea índice deberá cortar los ejes en -- tres puntos cuyos valores correspondientes (u), (v) y (w) satisfacen esta ecuación.-

También notamos que para la Ecuación  $f_1(u) - f_2(v) = f_3(w)$  las ESCALAS :

$x = m_1 f_1(u)$  y,  $y = m_2 f_2(v)$  se construyen en direcciones opuestas como en -- la fig. 1-b

Para construir el Nomograma para la Ecuación  $f_1(u) + f_2(v) = f_3(w)$  se procede como sigue :

1.- Dibujar dos líneas paralelas ejes (X,Y), separadas cualquier distancia y -- sobre ellas construir las escalas  $X = m_1 f_1(u)$ , y  $Y = m_2 f_2(v)$  en donde  $m_1$  y  $m_2$  son Módulos arbitrarios. El origen de las escalas (u) y (v) puede estar en cualquier punto sobre los Ejes.

- 2.- Dibujar una tercera línea Eje ( Z ) paralela a los ejes x, y tal que :  
 ( Distancia del eje X al eje Z ) : ( Distancia del eje Z al eje Y ) = m1 : m2.
- 3.- Determinar un punto de partida para las graduaciones de la escala (w).  
 Este puede ser el punto C (z=0) cortado por la línea de A (x=0) a B (y=0)  
 Si el rango de las variables (u) y (v) es tal que los puntos A y B no aparecen sobre las escalas, no se podrá encontrar nunca un punto de partida para las graduaciones de (w), pero notando que los tres valores u, v y w que satisfacen la ecuación deben estar sobre una línea recta, asignamos -- valores a u y v, digamos uo y vo y calculamos el correspondiente valor de w, sea este wo a partir de la ecuación y marcamos el punto en el cual la -- línea uniendo los dos valores anteriores corta al eje Z, con su valor co-- rrespondiente, y usamos este último punto como de partida para las graduaciones de la escala (w).
- 4.- A partir del punto de partida para las graduaciones de la escala (w) construimos la escala :
- $$Z = m_3 f_3(w) = ( m_1 x m_2 / m_1 + m_2 ) f_3 (w)$$

-----

### CALCULO DE NOMOGRAMA PARA OBTENER EL COEFICIENTE REAL DE TRANSMISION DE CALOR (U<sub>R</sub>)

ESTE CALCULO Y TODOS LOS SUBSECUENTES CORRESPONDEN AL NOMOGRAMA No. 3 POR IN-- CLUIR EL MISMO TODOS LOS TERMINOS DADOS PARA EL CALCULO DEL FACTOR DE LIMPIE-- ZA (FL).

DE LAS FORMULAS GENERALES:

$$\text{FORMULA GENERAL } U_R = W_n (t_2 - t_1) S \quad t_m$$

$$\text{Despejémos } S, \quad S = W_n (t_2 - t_1) U_R \quad t_m$$

Tomando logaritmos a ambos miembros :

$$\log S = \log W_n + \log (t_2 - t_1) - \log U_R - \log t_m$$

EN VIRTUD DE QUE EL GASTO DADO POR LAS BOMBAS DE CIRCULACION SE EXPRESA GENE-- RALMENTE EN Gpm. y considerando la densidad del agua de mar = a 1 primeramente los convertiremos a metros cúbicos por segundo.-

$$\text{Galones por minuto} \times 3.7854 \times 60 = \text{Kg/hr}$$

$$\text{Kg/hr} / ( 3\,600 \times 1\,000 ) = m^3 / \text{seg.}$$

De acuerdo con lo visto anteriormente, y una vez adoptados los límites de variación de nuestras escalas lo mismo que el módulo de las mismas, hagamos la siguiente tabla :

ESCALA	LIMITE	MODULO	ECUACION	LONGITUD
Wn	0.5 a $20.4 \times 10^6$	m1 = 3	$x = 3 \log Wn$	12.27 cm.
U <sub>R</sub>	1 000 a 10 000	m2 = 5	$y = -5 \log U_R$	14.70 "
tm	5 a 25	m3 = -9	$b = -9 \log tm$	16.00 "
(t2-t1)	5 a 20	m6 = 10	$c = 10 \log(t2-t1)$	15.30
S	1 000 a 5 100	m7 = 1.346	$d = 1.346 \log S$	2.5 "
Z	- - - - -	m3 = 1.875	$z = 1.875 \log Z$	-----
q	-----	m5 = 1.551	$q = 1.551 \log q$	-----

Ahora fijaremos la separación entre nuestras dos escalas iniciales, y la separación de la tercera a cualquiera de los ejes estará en r la relación de los módulos de las mismas.

Tomemos el primer juego de ecuaciones :

$$3 \log Wn - \log U_R = z \quad m3 = m1 \times m2 / m1 + m2 = 15/8 = 1.875$$

De acuerdo con nuestra separación entre las escalas Wn y U<sub>R</sub> que sea esta por ejemplo 24 cm. la escala Z estará a una distancia de las mismas de acuerdo a la relación  $m1 / m2 = 3:5$  por lo que la distancia del eje Z al eje será :  $24/8 = 3 \times 3 = 9$  cm. Y del eje Y quedará a:  $24/8 = 3 \times 5 = 15$  cm.

Nuestro segundo juego de ecuaciones será :

$$\log Z - \log tm = \log q \quad \text{en donde} \quad m5 = m3 \times m4 / m3 + m4 = 1.551$$

Se fija la separación entre las escalas Z y (tm) y se encuentra la distancia del eje (q) a cualquiera de las mismas.-

Nuestro tercer juego de ecuaciones es :

$$\log q - \log (t2 - t1) = \log S \quad m7 = m5 \times m6 / m5 + m6 = 1.346$$

Para fijar el eje S que resuelve nuestro problema se procede como anteriormente.-

Ahora bien, cabe hacer notar que los ejes AUXILIARES (Z) y (q) no necesitan ser graduados.=

PARA EL TRAZO DEL HOMOGRAMA ANTERIOR, LA SECUENCIA DEL MISMO ES LA SIGUIENTE:

$$(x - y) z ; (z - b) q ; (q - c) d$$

PARA LA OPERACION DEL NOMOGRAMA SE PROCEDE COMO SIGUE :

U<sub>R</sub> Nuestra incógnita, se encuentra sobre el eje (Y) por tal motivo la secuencia es :

$$(c-d)q ; (q-b) z ; (z-x) y \text{ ES DECIR}$$

UNIR c con d y cortar el eje q, Unir q con b y cortar el eje z y FINALMENTE UNIR z con x y CORTAR EL EJE Y solución de nuestro problema.-

## FACTOR DE LIMPIEZA DE CONDENSADORES PLANTA TERMOCIECTRICA "GUAYMAS"

FECHA \_\_\_\_\_ 1971

CARGA \_\_\_\_\_ MW \_\_\_\_\_

CONDENSADOR No. \_\_\_\_\_

HORA \_\_\_\_\_

### COEFICIENTE REAL DE TRASMISION DE CALOR

$t_1$	°C	$\log_e \frac{t_s - t_1}{t_s - t_2}$	$W_n =$	Kg/hr	
$t_2$	°C		$S =$	m <sup>2</sup>	
Pobs.	mm Hg	$t_m$	$U_r = \frac{W_n (t_2 - t_1)}{S t_m}$		
$t_s$	°C	pd			Kg/cm. <sup>2</sup>
$t_2 - t_1$	°C	H			m H <sup>2</sup> O
$t_s - t_1$	°C	WC			GPM.
$t_s - t_2$	°C	Wa			GPM.
			$U_r =$		

Esta fórmula es válida en el sistema métrico de unidades.

### COEFICIENTE TEORICO DE TRASMISION DE CALOR

$N_s$		$U_r$	$F_c$
$\sigma_r$	cm. <sup>2</sup>	$h_s$	$F_r$
$A_T$	m. <sup>2</sup>	$c = \frac{W_n (t_2 - t_1)}{h_s}$	$U_r = U_r F_c F_r$
$W_n$	m. <sup>3</sup> /seg.		$U_r$
V	m/seg.	C	

$$\text{FACTOR DE LIMPIEZA} = \frac{U_r}{U_r} \times 100$$

$$\text{FL} = \frac{\%}{\%}$$

OBSERVACIONES:

TABLA I.- CONVERSION PRESION - TEMPERATURA

Presión Absoluta In. Hg	Temperatura de Saturación °F						
0.20	34.57	0.60	63.96	1.00	79.03	1.40	89.51
0.21	35.78	0.61	64.43	1.01	79.33	1.41	89.73
0.22	36.95	0.62	64.90	1.02	79.63	1.42	89.95
0.23	38.03	0.63	65.36	1.03	79.93	1.43	90.19
0.24	39.17	0.64	65.82	1.04	80.23	1.44	90.42
0.25	40.23	0.65	66.26	1.05	80.53	1.45	90.64
0.26	41.24	0.66	66.69	1.06	80.82	1.46	90.85
0.27	42.22	0.67	67.11	1.07	81.11	1.47	91.07
0.28	43.16	0.68	67.57	1.08	81.39	1.48	91.28
0.29	44.07	0.69	67.99	1.09	81.68	1.49	91.50
0.30	44.96	0.70	68.41	1.10	81.96	1.50	91.72
0.31	45.82	0.71	68.82	1.11	82.24	1.51	91.93
0.32	46.66	0.72	69.23	1.12	82.50	1.52	92.14
0.33	47.48	0.73	69.63	1.13	82.78	1.53	92.35
0.34	48.28	0.74	70.03	1.14	83.06	1.54	92.56
0.35	49.06	0.75	70.43	1.15	83.33	1.55	92.77
0.36	49.80	0.76	70.82	1.16	83.60	1.56	92.97
0.37	50.54	0.77	71.20	1.17	83.87	1.57	93.19
0.38	51.26	0.78	71.58	1.18	84.13	1.58	93.40
0.39	51.95	0.79	71.95	1.19	84.39	1.59	93.61
0.40	52.64	0.80	72.32	1.20	84.64	1.60	93.81
0.41	53.32	0.81	72.69	1.21	84.91	1.61	94.01
0.42	53.98	0.82	73.06	1.22	85.17	1.62	94.21
0.43	54.63	0.83	73.42	1.23	85.43	1.63	94.41
0.44	55.27	0.84	73.78	1.24	85.68	1.64	94.61
0.45	55.90	0.85	74.14	1.25	85.93	1.65	94.80
0.46	56.49	0.86	74.48	1.26	86.18	1.66	95.00
0.47	57.08	0.87	74.83	1.27	86.44	1.67	95.20
0.48	57.67	0.88	75.17	1.28	86.68	1.68	95.39
0.49	58.24	0.89	75.51	1.29	86.93	1.69	95.59
0.50	58.80	0.90	75.84	1.30	87.17	1.70	95.78
0.51	59.37	0.91	76.18	1.31	87.41	1.71	95.97
0.52	59.91	0.92	76.51	1.32	87.65	1.72	96.16
0.53	60.44	0.93	76.83	1.33	87.88	1.73	96.35
0.54	60.97	0.94	77.15	1.34	88.12	1.74	96.54
0.55	61.48	0.95	77.47	1.35	88.36	1.75	96.73
0.56	61.98	0.96	77.80	1.36	88.59	1.76	96.92
0.57	62.48	0.97	78.12	1.37	88.82	1.77	97.10
0.58	62.98	0.98	78.43	1.38	89.05	1.78	97.29
0.59	63.48	0.99	78.75	1.39	89.28	1.79	97.47

TABLA. I.- CONVERSION PRESION — TEMPERATURA ( CONTINUACION )

Presión Absoluta In. Hg	Temperatura de Saturación °F						
1.80	97.65	2.22	101.61	2.61	110.53	3.50	120.56
1.81	97.83	2.23	101.79	2.65	110.72	3.60	121.57
1.82	98.02	2.24	101.94	2.66	110.85	3.70	122.57
1.83	98.20	2.25	105.09	2.67	110.93	3.80	123.53
1.84	98.38	2.26	105.25	2.68	111.11	3.90	124.49
1.85	98.56	2.27	105.40	2.69	111.24		
1.86	98.73	2.28	105.55			4.00	125.43
1.87	98.91	2.29	105.70	2.70	111.37	4.10	126.32
1.88	99.08			2.71	111.50	4.20	127.21
1.89	99.26	2.30	105.85	2.72	111.62	4.30	128.09
		2.31	106.00	2.73	111.75	4.40	128.94
1.90	99.43	2.32	106.15	2.74	111.88	4.50	129.78
1.91	99.60	2.33	106.29	2.75	112.01	4.60	130.61
1.92	99.78	2.34	106.43	2.76	112.13	4.70	131.41
1.93	99.95	2.35	106.58	2.77	112.25	4.80	132.20
1.94	100.13	2.36	106.73	2.78	112.38	4.90	132.98
1.95	100.30	2.37	106.87	2.79	112.51		
1.96	100.47	2.38	107.02			5.00	133.76
1.97	100.64	2.39	107.17	2.80	112.63	6.00	140.72
1.98	100.80			2.81	112.76	7.00	146.86
1.99	100.97	2.40	107.30	2.82	112.88	8.00	152.24
		2.41	107.44	2.83	113.01	9.00	157.09
2.00	101.14	2.42	107.58	2.84	113.13	10.00	161.49
2.01	101.29	2.43	107.73	2.85	113.25	11.00	165.54
2.02	101.45	2.44	107.87	2.86	113.37	12.00	169.23
2.03	101.62	2.45	108.01	2.87	113.49	13.00	172.78
2.04	101.79	2.46	108.15	2.88	113.62	14.00	176.17
2.05	101.96	2.47	108.28	2.89	113.74		
2.06	102.12	2.48	108.42			15.00	179.14
2.07	102.28	2.49	108.56	2.90	113.86	16.00	182.05
2.08	102.45			2.91	113.98	17.00	184.82
2.09	102.62	2.50	108.71	2.92	114.10	18.00	187.45
		2.51	108.84	2.93	114.22	19.00	189.95
2.10	102.77	2.52	108.97	2.94	114.33	20.00	192.37
2.11	102.93	2.53	109.11	2.95	114.45	21.00	194.72
2.12	103.09	2.54	109.24	2.96	114.57	22.00	196.99
2.13	103.25	2.55	109.38	2.97	114.70	23.00	199.19
2.14	103.40	2.56	109.52	2.98	114.82	24.00	201.69
2.15	103.56	2.57	109.65	2.99	114.94		
2.16	103.72	2.58	109.78			25.00	203.63
2.17	103.87	2.59	109.92	3.00	115.06	26.00	205.60
2.18	104.02			3.10	116.22	27.00	206.87
2.19	104.18	2.60	110.06	3.20	117.35	28.00	208.67
		2.61	110.19	3.30	118.44	29.00	210.43
2.20	104.33	2.62	110.32	3.40	119.51	29.92	212.00
2.21	104.49	2.63	110.45				

TABLA 2.- LOGARITMOS BASE 10

											PARTES PROPORCIONALES					
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4	5
<b>1.0</b>	0.0000	0100	0198	0296	0392	0488	0583	0677	0770	0862	0.0953	10	19	29	33	48
1.1	0953	1044	1133	1222	1310	1398	1484	1570	1655	1740	1823	5	17	26	35	44
1.2	1823	1905	1989	2070	2151	2231	2311	2390	2469	2546	2624	8	15	24	32	40
1.3	2624	2700	2776	2852	2927	3001	3075	3148	3221	3293	3365	7	15	22	30	37
1.4	3365	3436	3507	3577	3646	3716	3784	3853	3920	3988	4055	7	14	21	28	34
1.5	4055	4121	4187	4253	4318	4383	4447	4511	4574	4637	4700	6	13	19	26	32
1.6	4700	4762	4824	4886	4947	5008	5068	5128	5188	5247	5306	6	12	18	24	30
1.7	5306	5365	5423	5481	5539	5596	5653	5710	5766	5822	5878	6	11	17	23	29
1.8	5878	5933	5988	6043	6098	6152	6206	6259	6313	6366	6419	5	11	16	22	27
1.9	6419	6471	6523	6575	6627	6678	6729	6780	6831	6881	0.6931	5	10	15	21	26
<b>2.0</b>	0.6931	6981	7031	7080	7129	7178	7227	7275	7324	7372	7419	5	10	15	20	24
2.1	7419	7467	7514	7561	7608	7655	7701	7747	7793	7839	7885	5	9	14	19	23
2.2	7885	7930	7975	8020	8065	8109	8154	8198	8242	8286	8329	4	9	13	18	22
2.3	8329	8372	8416	8459	8502	8544	8587	8629	8671	8713	8755	4	9	13	17	21
2.4	8755	8796	8838	8879	8920	8961	9002	9042	9083	9123	9163	4	8	12	16	20
2.5	9163	9203	9243	9282	9322	9361	9400	9439	9478	9517	9555	4	8	12	16	20
2.6	9555	9594	9632	9670	9708	9746	9783	9821	9858	9895	0.9933	4	8	11	15	19
2.7	0.9933	9969	0.9976	0.9983	0.9990	0.116	0.152	0.188	0.225	0.260	0.296	4	7	11	15	18
2.8	1.0296	0.332	0.367	0.403	0.438	0.473	0.508	0.543	0.578	0.613	0.647	4	7	11	14	18
2.9	0.647	0.682	0.716	0.750	0.784	0.818	0.852	0.886	0.919	0.953	1.0986	3	7	10	14	17
<b>3.0</b>	1.0986	1.019	1.053	1.086	1.119	1.151	1.184	1.217	1.249	1.282	1.314	3	7	10	13	16
3.1	1.314	1.346	1.378	1.410	1.442	1.474	1.506	1.537	1.569	1.600	1.632	3	6	10	13	16
3.2	1.632	1.663	1.694	1.725	1.756	1.787	1.817	1.848	1.878	1.909	1.939	3	6	9	12	15
3.3	1.939	1.969	2.000	2.030	2.060	2.090	2.119	2.149	2.179	2.208	2.238	3	6	9	12	15
3.4	2.238	2.267	2.296	2.326	2.355	2.384	2.413	2.442	2.470	2.499	2.528	3	6	9	12	14
3.5	2.528	2.557	2.585	2.614	2.642	2.670	2.698	2.726	2.754	2.782	2.810	3	6	8	11	14
3.6	2.810	2.837	2.865	2.892	2.920	2.947	2.975	3.002	3.029	3.056	3.083	3	5	8	11	14
3.7	3.083	3.110	3.137	3.164	3.191	3.218	3.244	3.271	3.297	3.324	3.350	3	5	8	11	13
3.8	3.350	3.376	3.403	3.429	3.455	3.481	3.507	3.533	3.558	3.584	3.610	3	5	8	10	13
3.9	3.610	3.635	3.661	3.686	3.712	3.737	3.762	3.788	3.813	3.838	1.3663	3	5	8	10	13
<b>4.0</b>	1.3663	3.888	3.913	3.938	3.962	3.987	4.012	4.036	4.061	4.085	4.110	2	5	7	10	12
4.1	4.110	4.134	4.159	4.183	4.207	4.231	4.255	4.279	4.303	4.327	4.351	2	5	7	10	12
4.2	4.351	4.375	4.398	4.422	4.445	4.469	4.493	4.516	4.540	4.563	4.586	2	5	7	9	12
4.3	4.586	4.609	4.632	4.655	4.678	4.702	4.725	4.748	4.770	4.793	4.816	2	5	7	9	11
4.4	4.816	4.839	4.861	4.884	4.907	4.929	4.951	4.974	4.996	5.019	5.041	2	4	7	9	11
4.5	5.041	5.063	5.085	5.107	5.129	5.151	5.173	5.195	5.217	5.239	5.261	2	4	7	9	11
4.6	5.261	5.282	5.304	5.325	5.347	5.369	5.390	5.412	5.433	5.454	5.476	2	4	6	9	11
4.7	5.476	5.497	5.518	5.539	5.560	5.581	5.602	5.623	5.644	5.665	5.686	2	4	6	8	11
4.8	5.686	5.707	5.728	5.749	5.769	5.790	5.810	5.831	5.851	5.872	5.892	2	4	6	8	10
4.9	5.892	5.913	5.933	5.953	5.974	5.994	6.014	6.034	6.054	6.074	1.6054	2	4	6	8	10

TABLA 2.- LOGARITMOS BASE e ( CONTINUACION)

											PARTES PROPORCIONALES					
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4	5
5.0	1.6094	6114	6134	6154	6174	6194	6214	6233	6253	6273	6292	2	4	6	8	10
5.1	6292	6312	6332	6351	6371	6390	6409	6429	6448	6467	6487	2	4	6	8	10
5.2	6487	6506	6525	6544	6563	6582	6601	6620	6639	6658	6677	2	4	6	8	10
5.3	6677	6696	6715	6734	6752	6771	6790	6808	6827	6845	6864	2	4	6	7	9
5.4	6864	6882	6901	6919	6938	6956	6974	6993	7011	7029	7047	2	4	6	7	9
5.5	7047	7066	7084	7102	7120	7138	7156	7174	7192	7210	7228	2	4	5	7	9
5.6	7228	7246	7263	7281	7299	7317	7334	7352	7370	7387	7405	2	4	5	7	9
5.7	7405	7422	7440	7457	7475	7492	7509	7527	7544	7561	7579	2	3	5	7	9
5.8	7579	7596	7613	7630	7647	7664	7681	7699	7716	7733	7750	2	3	5	7	9
5.9	7750	7766	7783	7800	7817	7834	7851	7867	7884	7901	1.7918	2	3	5	7	8
6.0	1.7918	7934	7951	7967	7984	8001	8017	8034	8050	8066	8083	2	3	5	7	8
6.1	8083	8099	8116	8132	8148	8165	8181	8197	8213	8229	8245	2	3	5	7	8
6.2	8245	8262	8278	8294	8310	8326	8342	8358	8374	8390	8405	2	3	5	6	8
6.3	8405	8421	8437	8453	8469	8485	8500	8516	8532	8547	8563	2	3	5	6	8
6.4	8563	8579	8594	8610	8625	8641	8656	8672	8687	8703	8718	2	3	5	6	8
6.5	8718	8733	8749	8764	8779	8795	8810	8825	8840	8855	8871	2	3	5	6	8
6.6	8871	8886	8901	8916	8931	8946	8961	8976	8991	9006	9021	2	3	5	6	8
6.7	9021	9036	9051	9066	9081	9095	9110	9125	9140	9155	9169	1	3	4	6	7
6.8	9169	9184	9199	9213	9228	9242	9257	9272	9286	9301	9315	1	3	4	6	7
6.9	9315	9330	9344	9359	9373	9387	9402	9416	9430	9445	1.9459	1	3	4	6	7
7.0	1.9459	9473	9488	9502	9516	9530	9544	9559	9573	9587	9601	1	3	4	6	7
7.1	9601	9615	9629	9643	9657	9671	9685	9699	9713	9727	9741	1	3	4	6	7
7.2	9741	9755	9769	9782	9796	9810	9824	9838	9851	9865	1.9879	1	3	4	6	7
7.3	1.9879	9892	9906	9920	9933	9947	9961	9974	9987	9999	2.0011	1	3	4	5	7
7.4	2.0011	0028	0042	0055	0069	0082	0096	0109	0122	0136	0149	1	3	4	5	7
7.5	0149	0162	0176	0189	0202	0215	0229	0242	0255	0268	0281	1	3	4	5	7
7.6	0281	0295	0308	0321	0334	0347	0360	0373	0386	0399	0412	1	3	4	5	7
7.7	0412	0425	0438	0451	0464	0477	0490	0503	0516	0529	0541	1	3	4	5	6
7.8	0541	0554	0567	0580	0592	0605	0618	0631	0643	0655	0667	1	3	4	5	6
7.9	0667	0681	0694	0707	0719	0732	0744	0757	0769	0781	2.0794	1	3	4	5	6
8.0	2.0794	0807	0819	0832	0844	0857	0869	0882	0894	0906	0919	1	2	4	5	6
8.1	0919	0931	0943	0956	0968	0980	0992	1005	1017	1029	1041	1	2	4	5	6
8.2	1041	1054	1066	1078	1090	1102	1114	1126	1138	1150	1163	1	2	4	5	6
8.3	1163	1175	1187	1199	1211	1223	1235	1247	1258	1270	1282	1	2	4	5	6
8.4	1282	1294	1306	1318	1330	1342	1353	1365	1377	1389	1401	1	2	4	5	6
8.5	1401	1412	1424	1436	1448	1459	1471	1483	1494	1505	1516	1	2	4	5	6
8.6	1516	1527	1538	1550	1561	1572	1583	1594	1605	1616	1627	1	2	3	5	6
8.7	1627	1638	1649	1660	1671	1682	1692	1703	1713	1724	1734	1	2	3	5	6
8.8	1734	1744	1754	1764	1774	1784	1794	1804	1814	1824	1834	1	2	3	5	6
8.9	1834	1844	1854	1864	1874	1884	1894	1904	1914	1924	2.1934	1	2	3	4	6
9.0	2.1934	1943	1954	1964	1974	1983	1993	2003	2013	2023	2033	1	2	3	4	6
9.1	2033	2043	2053	2063	2073	2083	2093	2103	2113	2123	2133	1	2	3	4	5
9.2	2133	2143	2153	2163	2173	2183	2193	2203	2213	2223	2233	1	2	3	4	5
9.3	2233	2243	2253	2263	2273	2283	2293	2303	2313	2323	2333	1	2	3	4	5
9.4	2333	2343	2353	2363	2373	2383	2393	2403	2413	2423	2433	1	2	3	4	5
9.5	2433	2443	2453	2463	2473	2483	2493	2503	2513	2523	2533	1	2	3	4	5
9.6	2533	2543	2553	2563	2573	2583	2593	2603	2613	2623	2633	1	2	3	4	5
9.7	2633	2643	2653	2663	2673	2683	2693	2703	2713	2723	2733	1	2	3	4	5
9.8	2733	2743	2753	2763	2773	2783	2793	2803	2813	2823	2833	1	2	3	4	5
9.9	2833	2843	2853	2863	2873	2883	2893	2903	2913	2923	2933	1	2	3	4	5

TEMPERATURA		VOL. ESPECIFICO		ENTALPIA			ENTALPIA					
T	v	v <sub>g</sub>	v <sub>l</sub>	h <sub>g</sub>	h <sub>l</sub>	h <sub>g</sub>	h <sub>l</sub>	h <sub>l</sub>				
90°	0.6982	1.4215	0.01610	468.0	468.0	57.99	1042.9	1100.9	0.1115	1.8972	2.0087	90°
91	0.7204	1.4667	0.01611	454.4	454.4	58.99	1042.4	1101.4	0.1133	1.8927	2.0080	91
92	0.7432	1.5111	0.01611	441.2	441.3	59.92	1041.8	1101.8	0.1151	1.8883	2.0034	92
93	0.7666	1.5598	0.01611	428.5	428.5	60.98	1041.2	1102.2	0.1169	1.8838	2.0007	93
94	0.7906	1.6097	0.01612	416.2	416.2	61.98	1040.7	1102.6	0.1187	1.8794	1.9981	94
95°	0.8153	1.6600	0.01612	404.3	404.3	62.98	1040.1	1103.1	0.1205	1.8750	1.9955	95°
96	0.8407	1.7117	0.01612	392.8	392.8	63.95	1039.5	1103.5	0.1223	1.8706	1.9929	96
97	0.8668	1.7647	0.01612	381.7	381.7	64.97	1038.9	1103.9	0.1241	1.8662	1.9903	97
98	0.8935	1.8192	0.01613	370.9	370.9	65.97	1038.4	1104.4	0.1259	1.8618	1.9877	98
99	0.9210	1.8751	0.01613	360.4	360.5	66.97	1037.8	1104.8	0.1277	1.8575	1.9852	99
100°	0.9492	1.9325	0.01613	350.3	350.4	67.97	1037.2	1105.2	0.1295	1.8531	1.9826	100°
101	0.9781	1.9915	0.01614	340.6	340.6	68.96	1036.6	1105.6	0.1313	1.8488	1.9801	101
102	1.0074	2.0519	0.01614	331.1	331.1	69.96	1036.1	1106.1	0.1330	1.8445	1.9775	102
103	1.0382	2.1138	0.01614	321.9	321.9	70.95	1035.5	1106.5	0.1348	1.8402	1.9750	103
104	1.0695	2.1775	0.01615	313.1	313.1	71.96	1034.9	1106.9	0.1366	1.8359	1.9725	104
105°	1.1016	2.2429	0.01615	304.5	304.5	72.95	1034.3	1107.3	0.1383	1.8317	1.9700	105°
106	1.1345	2.3099	0.01615	296.1	296.2	73.95	1033.8	1107.8	0.1401	1.8274	1.9675	106
107	1.1682	2.3787	0.01615	288.1	288.1	74.95	1033.2	1108.2	0.1419	1.8232	1.9651	107
108	1.2029	2.4491	0.01616	280.3	280.3	75.95	1032.7	1108.6	0.1436	1.8190	1.9626	108
109	1.2384	2.5214	0.01616	272.7	272.7	76.94	1032.1	1109.0	0.1454	1.8147	1.9601	109
110°	1.2748	2.5955	0.01617	265.3	265.4	77.94	1031.6	1109.5	0.1471	1.8106	1.9577	110°
111	1.3121	2.6715	0.01617	258.2	258.3	78.94	1031.0	1109.9	0.1489	1.8064	1.9553	111
112	1.3504	2.7494	0.01617	251.7	251.4	79.94	1030.4	1110.3	0.1506	1.8023	1.9529	112
113	1.3896	2.8293	0.01618	244.6	244.7	80.94	1029.8	1110.7	0.1524	1.7981	1.9505	113
114	1.4298	2.9111	0.01618	238.2	238.2	81.93	1029.2	1111.1	0.1541	1.7940	1.9481	114
115°	1.4709	2.9948	0.01618	231.9	231.9	82.93	1028.7	1111.6	0.1559	1.7898	1.9457	115°
116	1.5130	3.0806	0.01619	225.8	225.8	83.93	1028.1	1112.0	0.1576	1.7857	1.9433	116
117	1.5563	3.1687	0.01619	219.9	219.9	84.93	1027.5	1112.4	0.1593	1.7816	1.9409	117
118	1.6006	3.2589	0.01620	214.2	214.2	85.92	1026.9	1112.8	0.1610	1.7776	1.9386	118
119	1.6459	3.3512	0.01620	208.6	208.7	86.92	1026.3	1113.2	0.1628	1.7735	1.9363	119
120°	1.6924	3.4458	0.01620	203.25	203.27	87.92	1025.8	1113.7	0.1645	1.7694	1.9339	120°
121	1.7400	3.5427	0.01621	198.02	198.03	88.92	1025.2	1114.1	0.1662	1.7654	1.9316	121
122	1.7888	3.6420	0.01621	192.93	192.95	89.92	1024.6	1114.5	0.1679	1.7614	1.9293	122
123	1.8387	3.7436	0.01622	188.01	188.02	90.91	1024.0	1114.9	0.1696	1.7574	1.9270	123
124	1.8897	3.8475	0.01622	183.23	183.25	91.91	1023.4	1115.3	0.1714	1.7533	1.9247	124
125°	1.9419	3.9534	0.01622	178.56	178.61	92.91	1022.9	1115.8	0.1731	1.7493	1.9224	125°
126	1.9953	4.0620	0.01623	174.01	174.10	93.91	1022.3	1116.2	0.1748	1.7454	1.9202	126
127	2.0503	4.1735	0.01623	169.51	169.72	94.91	1021.7	1116.6	0.1765	1.7414	1.9179	127
128	2.1064	4.2887	0.01624	165.46	165.47	95.91	1021.1	1117.0	0.1782	1.7374	1.9156	128
129	2.1634	4.4055	0.01624	161.33	161.35	96.90	1020.5	1117.4	0.1799	1.7335	1.9134	129
130°	2.2225	4.5251	0.01625	157.32	157.34	97.90	1020.0	1117.9	0.1816	1.7296	1.9112	130°
131	2.2826	4.6474	0.01625	153.43	153.44	98.90	1019.4	1118.3	0.1833	1.7257	1.9090	131
132	2.3439	4.7723	0.01625	149.63	149.66	99.90	1018.8	1118.7	0.1850	1.7218	1.9067	132
133	2.4064	4.9000	0.01626	145.97	145.99	100.90	1018.2	1119.1	0.1867	1.7179	1.9045	133
134	2.4702	5.0314	0.01626	142.46	142.45	101.90	1017.6	1119.5	0.1884	1.7141	1.9023	134
135°	2.5353	5.1663	0.01627	138.93	138.95	102.90	1017.0	1119.9	0.1900	1.7102	1.9002	135°
136	2.6017	5.3042	0.01627	135.47	135.48	103.90	1016.4	1120.3	0.1917	1.7064	1.8980	136
137	2.6694	5.4451	0.01628	132.29	132.30	104.90	1015.9	1120.8	0.1934	1.7024	1.8958	137
138	2.7382	5.5892	0.01628	129.10	129.12	105.90	1015.3	1121.2	0.1950	1.6985	1.8937	138
139	2.8081	5.7366	0.01629	126.00	126.02	106.90	1014.7	1121.6	0.1967	1.6946	1.8915	139
140°	2.8796	5.8862	0.01629	122.99	123.01	107.90	1014.1	1122.0	0.1984	1.6906	1.8894	140°
141	2.9527	6.0381	0.01629	120.06	120.03	108.90	1013.5	1122.4	0.2000	1.6867	1.8873	141
142	3.0274	6.1924	0.01630	117.23	117.23	109.90	1012.9	1122.8	0.2017	1.6828	1.8851	142
143	3.1037	6.3491	0.01630	114.41	114.46	110.90	1012.3	1123.2	0.2033	1.6789	1.8830	143
144	3.1816	6.5082	0.01631	111.75	111.77	111.90	1011.7	1123.6	0.2050	1.6750	1.8809	144

TABLA No. 3. - TEMPERATURAS DE SATURACION

## CALCULO DEL NOMOGRAMA PARA LA VELOCIDAD (V m/seg.)

### DE LAS FORMULAS GENERALES

$$V = Wn / A_T \text{ m / seg.}$$

$$a_t = 3.1416 r^2$$

$$A_T = 3.1416 N_s r^2 = 3.1416 N_T r^2 / 2 \quad \text{Para dos secciones.-}$$

$$\text{De donde } V = Wn / A_T = 2 Wn / 3.1416 N_T r^2$$

Expresando el Area total de los tubos en función del diámetro

$$A_T = 3.1416 N_s d^2 / 4 = 3.1416 N_T d^2 / 8$$

$$V = Wn / A_T = 8 Wn / 3.1416 N_T d^2$$

Ahora bien, como el gasto dado por las bombas de circulación generalmente está expresado en G.P.M. y considerando la densidad del agua de mar igual a 1, convertiremos los G.P.M. primeramente a Kg / hr multiplicando por 227.124.

$$\text{GPM.} \times 227.124 = \text{kg/hr}$$

Ahora convertiremos los kg/ hr a Metros Cúbicos / seg. dividiendo los mismos entre  $3.6 \times 10^6$

$$\text{Kg/hr} / 3.6 \times 10^6 = \text{m}^3 / \text{seg.}$$

En la fórmula anterior para la velocidad el gasto está expresado en kg / hr. y debe estar en metros cúbicos por segundo por lo tanto :

$$V = 8 Wn / 31416 \times 3.6 \times 10^6 N_T d^2 = 0.7074 Wn / N_T d^2 / 10\,000 = 7074 Wn / N_T d^2$$

El dividir el diámetro al cuadrado entre 10 000 es para tener metros cuadrados.

Finalmente la Fórmula para la Velocidad nos queda :

$$V = 7074 Wn / N_T d^2 \text{ m / seg.} \quad \text{PARA CONDENSADORES DE DOS SECCIONES.-}$$

Para el trazo o más bien cálculo del NOMOGRAMA PARA LA VELOCIDAD, se tomó inicialmente la velocidad como incógnita dado que así es; pero en virtud del módulo adoptado anteriormente para Wn y con la finalidad de resolver para el FACTOR DE LIMPIEZA en una sola carta el módulo de la escala V nos resultó demasiado pequeño, y aún cuando resuelve el problema, no es lo suficientemente funcional para el caso. Por lo tanto se optó por resolverse tomando como incógnita en Número total de tubos  $N_T$  y resolver para el mismo.-

Despejando  $N_T$  de la Fórmula para la Velocidad se tiene :

$$N_T = 7074 Wn / V d^2 \quad \text{FORMULA BASE DEL NOMOGRAMA PARA } V \text{ m/seg.}$$

## CALCULO DEL NOMOGRAMA PARA LA VELOCIDAD ( V m/seg. )

DE LAS FORMULAS GENERALES :

$$V = W_n / A_T$$

$$A_T = N_s a d = N_T 3.1416 d^2 / 4 n p \text{ cm}^2$$

$$V = W_n / A_T = 4 n p W_n / 3.1416 N_T d^2 = 1.2732 n p W_n / N_T d^2$$

$$= \frac{10\,000 \text{ kg} / \text{hr} \times 10^6}{3.6 \times 10^6} \text{ m/seg. de donde } V \text{ nos queda :}$$

$$V = 3536 n p W_n / N_T d^2 \text{ m/seg. FORMULA GENERAL.-}$$

Tomando Logarítmos:

$$\log V - \log 3536 = \log W_n + \log (n p) - \log N_T - 2 \log d$$

Lo dicho al principio para el trazo de nomogramas de ecuaciones conteniendo 3 variables, puede hacerse extensivo a cualquier número conveniente de las mismas y aplicar las mismas reglas, sólo que ahora, las combinaremos en forma -- adecuada de tres en tres, por ejemplo para el presente caso tomaremos como -- primer juego :

$$\log W_n - 2 \log d = \log q' \quad \text{para nuestro segundo juego tomamos :}$$

$$\log q' + \log (n p) = \log K \text{ y como tercer juego:}$$

$$\log k - \log N_T = \log V$$

Las ESCALAS  $q'$  y  $K$  quedan como ejes AUXILIARES y no se gradúan.-

UNA VEZ ADOPTADOS LOS MODULOS Y SEPARACIONES FORMAMOS LA SIGUIENTE TABLA :

ESCALA	LIMITE	MODULO	ECUACION	LONGITUD (cm)
$W_n$	0.5 a $20.4 \times 10^6$	$m_1 = 3$	$x = 3 \log W_n$	12.27
$d$	1.656 a 2.29	$m_2 = 30$	$y = 60 \log d$	21.45
$q'$	-----	$m_3 = 2.73$	$q' = 2.73 \log q'$	-----
$n p$	1 a 3	$m_4 = 16.50$	$n p = 16.50 \log n p$	19.99
$K$	-----	$m_5 = 2.34$	$k = 2.34 \log k$	-----
$N_T$	3396 a 7012	$m_6 = 20$	$N_T = 20 \log N_T$	18.85
$V$	1 a 3	$m_7 = 1.18$	$V = 1.18 \log V$	2.53

De acuerdo con esta tabla se construyó el NOMOGRAMA dando desde luego las -- separaciones entre escalas más adecuadas.

$$\text{OPERACION: } (W_n - d) q' - (q' - n p) K \text{ , } (K - N_T) V$$

(  $W_n - d$  )  $q'$  SIGNIFICA : UNIR  $W_n$  con (  $d$  ) y CORTAR  $q'$

CALCULO DEL NOMOGRAMA PARA EL FLUJO DEL VAPOR AL CONDENSADOR ( c )

DE LAS FORMULAS SE TIENE :

$$c = Wn ( t_2 - t_1 ) / hs S \quad U_R = Wn ( t_2 - t_1 ) / S tm$$

$$Wn ( t_2 - t_1 ) = U_R S tm$$

Substituyendo el valor de  $Wn(t_2-t_1)$  en la FORMULA para ( c )

$$C = U_R S tm / hs S = U_R tm / hs$$

$$C = U_R tm / hs \quad \text{Tomando logaritmos :}$$

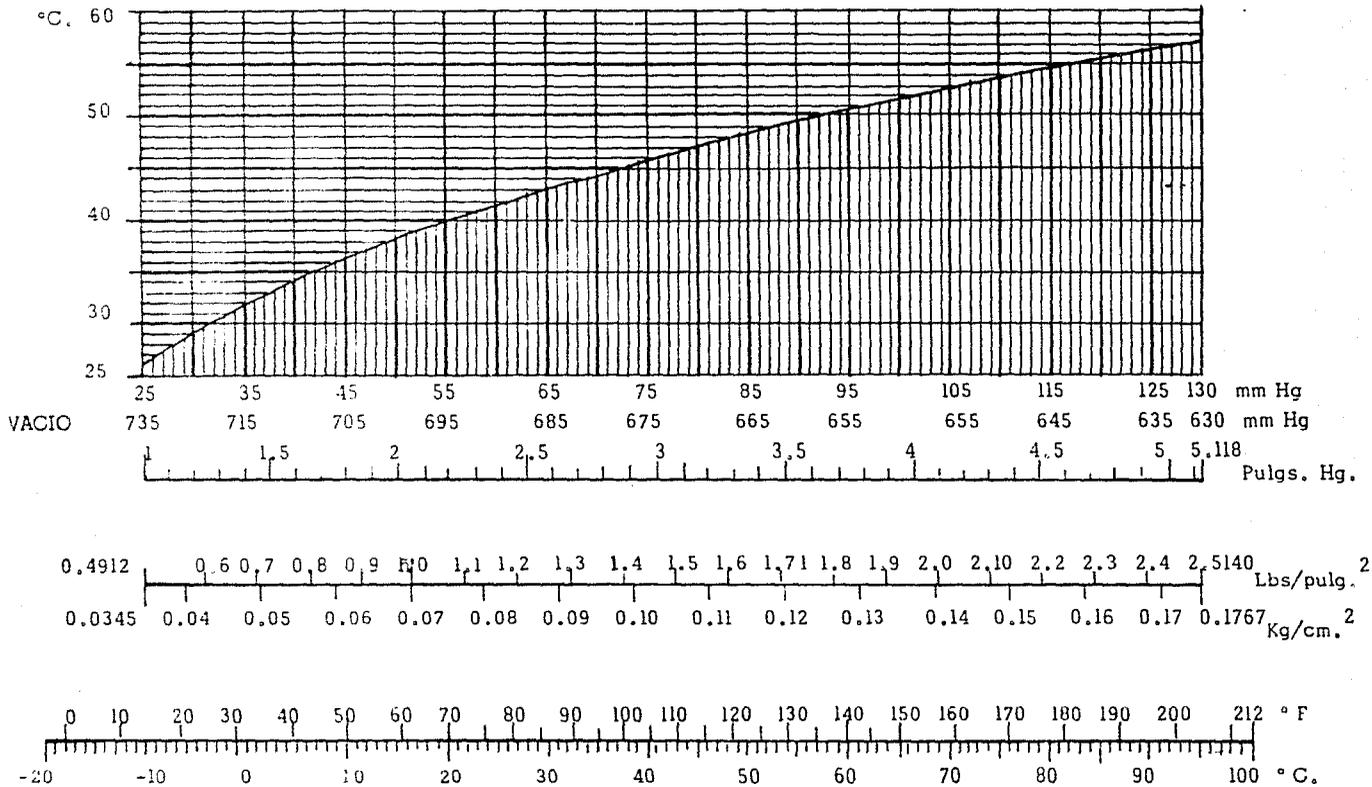
$$\log C = \log U_R + \log tm - \log hs$$

<u>ESCALA</u>	<u>LIMITE</u>	<u>MODULO</u>	<u>ECUACION</u>	<u>LONGITUD (cm)</u>
$U_R$	1000 a 4000	$m_1 = 5$	$x = 5 \log U_R$	7.64
$tm$	5 a 25	$m_2 = 9$	$y = 9 \log tm$	16.00
$Z'$	-----	$m_3 = 3.21$	$z' = 3.21 \log z'$	-----
$hs$	560 a 585	$m_4 = 250$	$hs = 250 \log hs$	12.06
$C$	5 a 50	$m_5 = 3.17$	$C = 3.17 \log C$	8.05

Con esta tabla como base se construyó el NOMOGRAMA CORRESPONDIENTE.-

OPERACION: (  $U_R - tm$  )  $z'$  ; (  $z' - hs$  )  $C$

TEMPERATURA DE SATURACION CORRESPONDIENTE A LA PRESION ABSOLUTA DE LOS CONDENSADORES PLANTA GORUMAS I

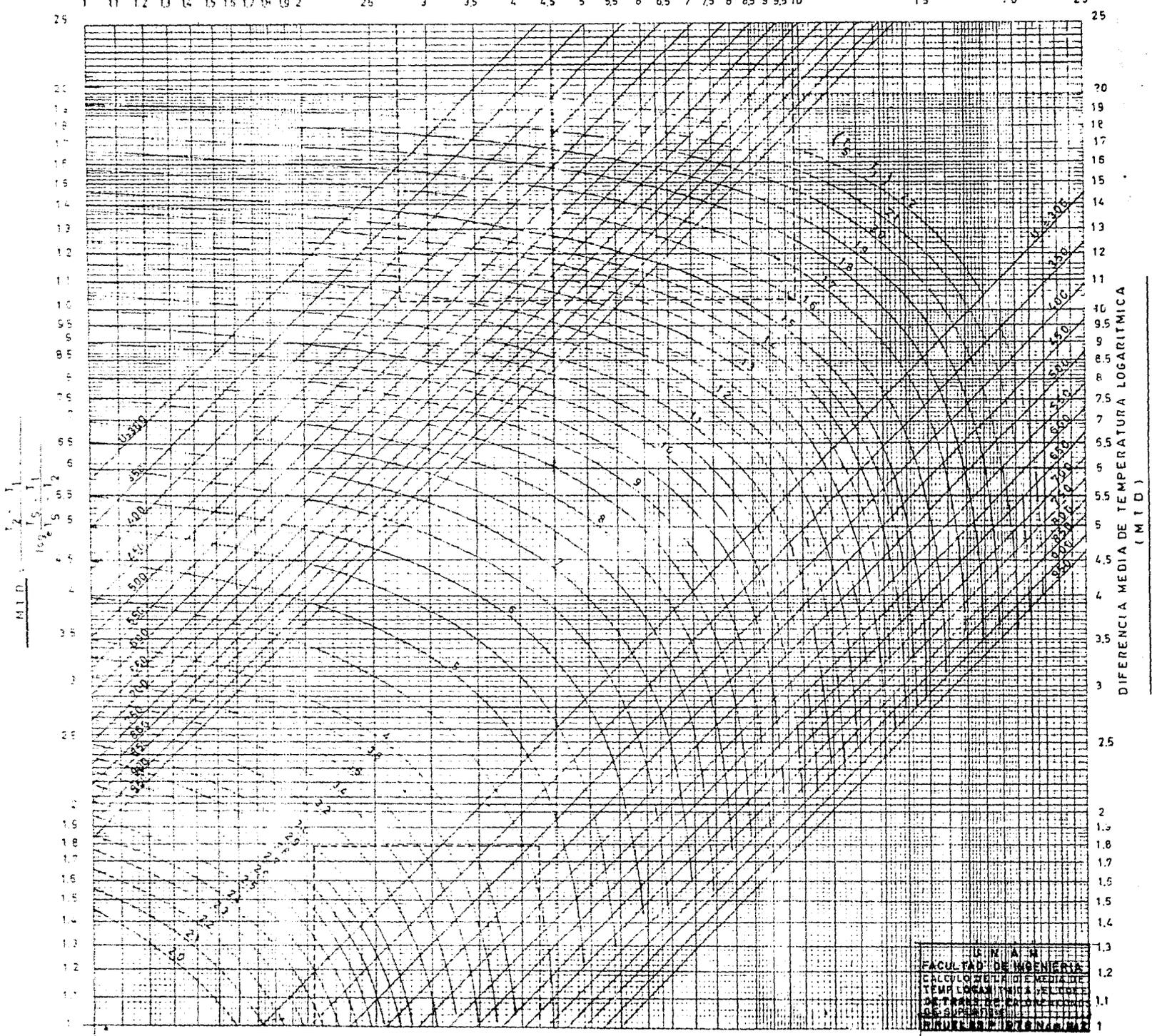


U N A M  
 FACULTAD DE INGENIERIA  
 CALCULO DE LA TEMP.  
 DE SATURACION EN -  
 LOS CONDENSADORES  
 RRUELASP1978 No 1

**CARTA PARA DETERMINAR EL COEFICIENTE DE TRANSMISION DE CALOR DE LOS CONDENSADORES DE LAS UNIDADES 1 y 2 PLANTA GUAYMAS**

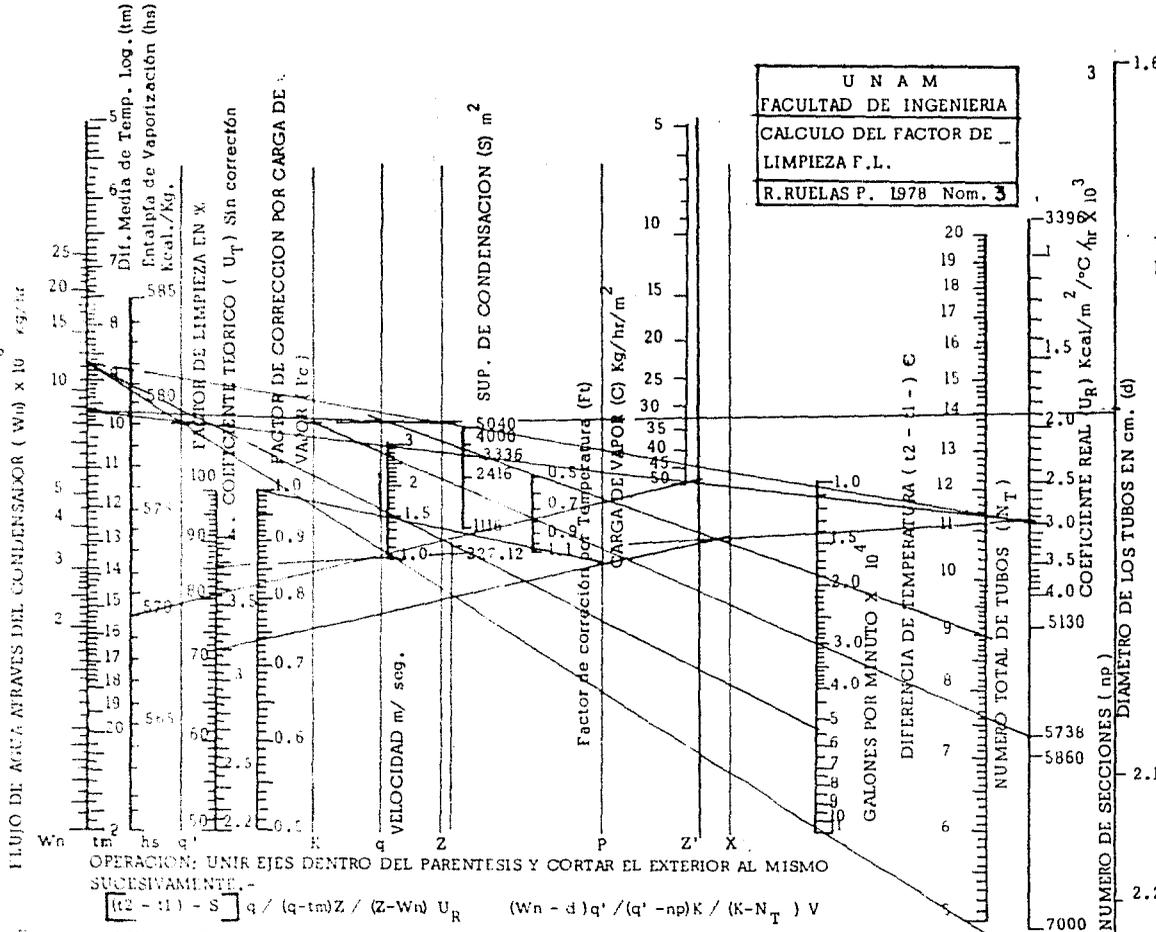
$U = 2090 W / 12000 MTD \text{ BTU}/(\text{hr})(\text{sq ft})(\text{deg F})$

W: FLUJO DE VAPOR EN Tons./hr



UNIVERSIDAD DE GUAYMAS  
FACULTAD DE INGENIERIA  
CALCULO DE LA DIFERENCIA MEDIA DE TEMPERATURA LOGARITMICA Y DEL COEFICIENTE DE TRANSMISION DE CALOR DE LOS CONDENSADORES DE LAS UNIDADES 1 y 2 PLANTA GUAYMAS

$T_1$ Temp entrada agua de circulación (°F)	PARA: $T_2 - T_1 = 20.5$	MTD = 17.8	$T_2 - T_1 = 9.8$	MTD = 10.3
$T_2$ Temp salida agua de circulación (°F)	$(T_2 - T_1)$	$T_s - T_1 = 30.0$	$T_s - T_1 = 16.0$	
$T_s$ Temp de saturación a la presión del condensador (°F)		U = 415	U = 465	
		W = 42.5	W = 27.5	



U N A M  
 FACULTAD DE INGENIERIA  
 CALCULO DEL FACTOR DE LIMPIEZA F.L.  
 R.RUELAS P. 1978 Nom. 3

SOLUCION:  
 $U_R = 2931 \text{ Kcal/m}^2/\text{°C}/\text{hr.}$   
 $V = 2.87 \text{ m/seg.}$   
 $U_T = 3780$   
 $C = 49.2 \text{ Kg/hr/m}^2$   
 $W_n = 12.24 \times 10^6 \text{ kg/hr}$   
 $FL = 72.47 \%$

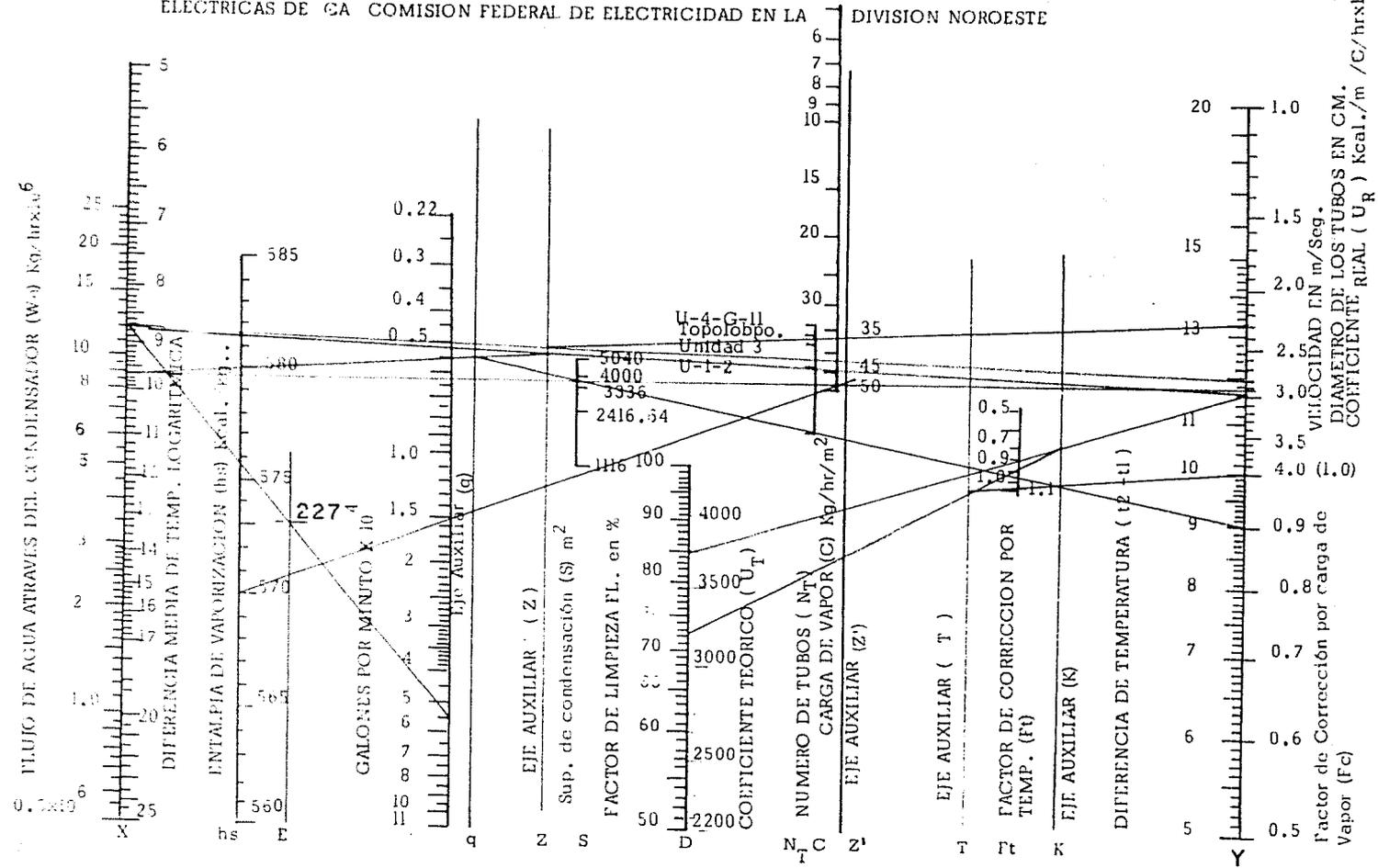
OPERACION: UNIR EJES DENTRO DEL PARENTESIS Y CORTAR EL EXTERIOR AL MISMO SUCEсивAMENTE -

$$\left[ \frac{(t_2 - t_1) - S}{(U_R - tm)Z' / (Z' - hs)C} \right] q / (q - tm)Z / (Z - Wn) U_R \quad (Wn - d)q' / (q' - np)K / (K - N_T) V$$

$$\left[ \frac{(Gpm. - 227.124) Wn}{(ft - ft)P / (U_R - U_T) X / (X - P) F.L.} \right]$$

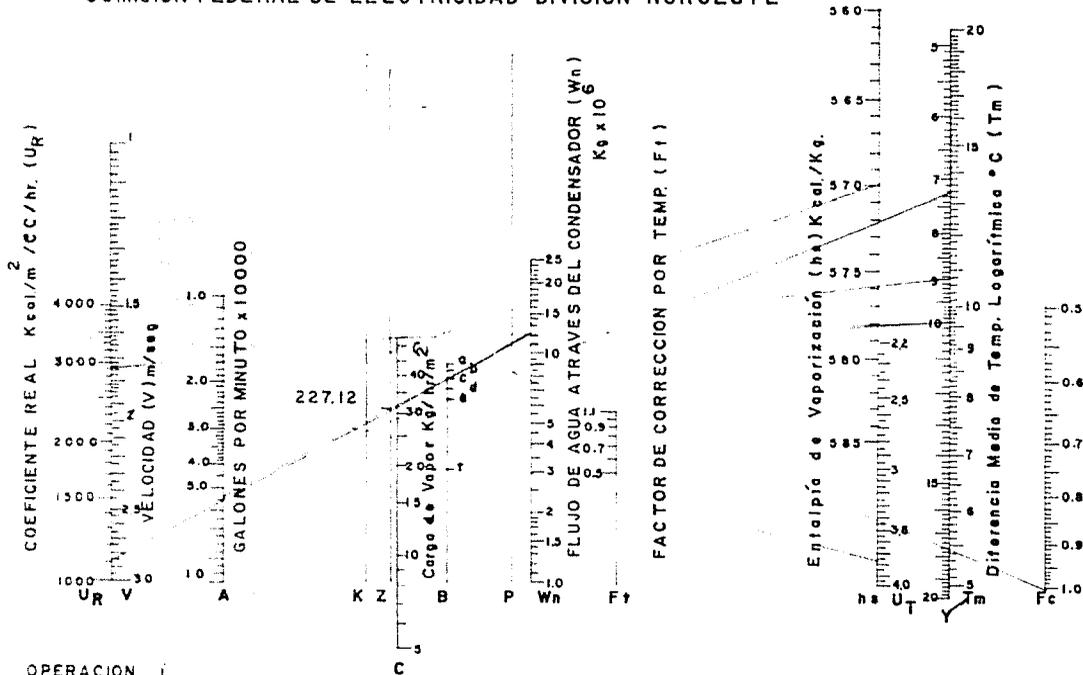
Ejemplo:  $t_1 = 33^\circ \text{C}$   $t_2 = 42^\circ \text{C}$   $Pabs. = 82.5 \text{ mmHg.}$   $Pd = 2 \text{ Kg/cm}^2$   
 $S = 3902$   $NT = 5738$   $np = 2$   $r = 1.145 \text{ cm.}$

ELECTRICAS DE LA COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD EN LA DIVISION NOROESTE



U N A M  
 FACULTAD DE INGENIERIA  
 DETERMINACION DEL FAC  
 TOR DE LIMPIEZA EN LOS  
 CONDENSADORES.  
 R. Ruelas P. 1978 Nom. N.4

NOMOGRAMA PARA CALCULAR EL FACTOR DE LIMPIEZA (FL) EN LOS CONDENSADORES DE LAS PLANTAS TERMoeLECTRICAS DE LA COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD DIVISION NOROESTE



OPERACION

UNIR LOS EJES DENTRO DEL PARENTESIS Y CORTAR EL EXTERIOR AL MISMO SUCCESIVAMENTE  
 (a) Gmos. II (b) Unidad 4 Gmos. I (c) U-1 Pto Monterrey (d) Pto Tepicobampo (e-f) U-3 y U-1-2 Gmos. I

EJEMPLO

CONDENSADOR No 1 PLANTA MONTERREY

- DATOS**
- 1-  $t_1 = 33^\circ\text{C}$     2  $t_2 = 42^\circ\text{C}$
  - 3 Pabs = 82.5 mm Hg    4 Pd = 2 Kg/cm<sup>2</sup>
  - 5 S = 3902 m<sup>2</sup>    6  $N_T = 5730$
  - 7 np = 2    8 r = 1.148 cm
  - 9  $W_n = 83400$  Gpm.

FORMULAS

$$U_R = W_n (t_2 - t_1) / S T_m \text{ Kcal/m}^2 / ^\circ\text{C/hr}$$

$$V = 7070 W_n / N_T d^2 \text{ m}^2/\text{seg (para 2 Seccs)}$$

$$V = 3536 N_p / N_T d \text{ m/seg (Fórmula Gral.)}$$

$$C = W_n (t_2 - t_1) / h_s S \text{ Kg/hr/m}^2$$

$$\text{Gpm.} \times 227.124 \text{ Kg/hr} \times 10^6$$

$$FL = U_R U_T F_c F_t \times 100$$

SOLUCION

De Nom. No. 1  $t_s = 47.8^\circ\text{C}$  Para Pabs de 82.5 Hg  
 De Nom. No. 2  $T_m = 9.6^\circ\text{C}$

$$U_R = (W_n - T_m) Z / (Z - t_2 - t_1) U_R = 2.931$$

$$V = (W_n - B) V = 2788 \text{ m/seg.}$$

$$C = (U_R T_m) Z / (Z - h_s) C = 49.2$$

$$W_n = (A - 227.12) W_n = 12.24 \times 10^6 \text{ Kg/hr.}$$

$$FL = (U_R U_T) K / (F_c - F_t) P / (K - P) FL = 72.4\%$$

$$F_c = 1 \quad F_t = 1.07 \text{ De Figs. 3 y 4 respectivamente}$$

$$U = 3780 \text{ Kcal/m}^2 / ^\circ\text{C/hr De Fig. No 1 para } V = 2.88$$

$$T_m = 570 \text{ de Tablas de Vapor para } t_s = 47.8^\circ\text{C}$$

U	N	A	M
FACULTAD	DE	INGENIERIA	
CALCULO DEL FACTOR DE LIMPIEZA EN LOS CONDENSADORES			
RICARDO RUELAS P. 1978 NOM. No 5			

1.4 Determinación del VOLUMEN ESPECIFICO del vapor en el escape de la Turbina para diferentes cargas, con lo cual se podrá trazar la -- curva, CARGA CONTRA VACIO OPTIMO y lograr la máxima eficiencia - en la operación de una turbina de vapor.-

**NOMOGRAMAS PARA DETERMINAR EL VOLUMEN ESPECIFICO DEL VAPOR EN EL ESCAPE DE LAS TURBINAS.-**

- 1.- Nomograma para calcular el Volúmen Específico en el escape de las Turbinas de vapor considerando todos los parámetros que intervienen en la Fórmula para el mismo, es decir :

$$Ve = 2.64 \times Dm \times L \text{ efectiva} \times T^{1/2} \times \sin(\alpha) / Q \text{ máx.} \times (q)$$

- 2.- Nomograma para calcular el Volúmen Específico en el escape de las Turbinas de vapor en función de :

T = Temperatura de Saturación °R.

q = Calidad del vapor %

Q máx. = Flujo Máximo de vapor al condensador lbs&seg.

- 3.- Nomograma para calcular el Volúmen Específico en el escape de las Turbinas de vapor en función de :

T = Temperatura de saturación °R correspondiente a la presión absoluta del condensador.

q = Calidad del vapor en %

Q máx. = Flujo máximo de vapor al condensador en lbs/seg.

K = 2263.3 Para las Unidades 1 y 2 de la Planta " GUAYMAS I "

$$K = 2.64 \times 60.625 \text{ "} \times 20 \text{ "} \times \sin 45^\circ = 2 \ 263.44$$

- 4.- Curva que nos dá el Volúmen Específico en función de la Presión Absoluta del Codensador :

$$Ve = ft^3 / lb.$$

Presión Absoluta en pulgs. Hg.

CONSIDERACIONES SOBRE LA CONVENIENCIA DE UTILIZAR EL MAS ALTO VACIO POSIBLE EN LOS CONDENSADORES DE LAS TURBINAS DE VAPOR, A CUALQUIER CARGA.

Evidentemente, analizando una línea de expansión del vapor - ( línea de condición ) sobre el diagrama de Molliere, de una turbina a cualquier carga, siempre se manifestará, a primera vista, que la - energía utilizada, por libra de vapor, será tanto mayor cuando menor sea la presión absoluta en el condensador.

El objeto del presente análisis tiende a determinar qué limi taciones tiene esta consideración, que parece no haber sido analiza- da suficientemente por nuestro personal, para llegar a conclusiones concretas.

Habrà que considerar el comportamiento de la última rueda de paletas para llegar a conclusiones prácticamente válidas, porque el trabajo que aporta ésta varía grandemente con el flujo de vapor que - llega al condensador y con las condiciones de presión en éste.

El condensador impone, a la última rueda, una presión de des- carga que depende: de sus características propias, del flujo y tem- peratura del agua de circulación y del flujo y calidad del vapor que recibe.

Consideramos que la última rueda es de reacción, pues aún en las turbinas de impulso ésta generalmente se diseña como de reacción prácticamente; en caso de no ser así, las consideraciones siguientes siguen siendo válidas por razones que nos abstenemos de enunciar por no extender demasiado este estudio. Esta rueda se comporta como una tobera convergente y, por lo tanto, resulta imposible que pueda acele rar el vapor, dentro de los álabes, más allá de la velocidad sónica; por lo tanto, en la salida de los álabes la mínima presión será la -- presión crítica correspondientes a la presión de entrada que, para el vapor saturado, es aproximadamente del 58% de ésta.

A bajas presiones,- dentro del rango en que operar los conden sadores,- el vapor de agua sigue con bastante aproximación las ecua- ciones que rigen las transformaciones de los gases, con las siguien tes constantes;

$$C_p = 0.445 \text{ BTU/libra}, \quad C_v = 0.335 \text{ BTU/libra}, \quad R = 85.6 \text{ pies libras-} \\ \text{/lb-} \quad \text{°R y } k = C_p/C_v = 1.33$$

Refiriéndonos a la figura,  $V_2$  es la velocidad de salida -- del vapor relativa a los álabes;  $U$  es la velocidad media de los álabes;  $W_2$  es la velocidad absoluta del vapor y  $W_n$  es la componente -- axial de  $W_2$ .  $V_2$  (normal al plano de rotación de la rueda). La velocidad sónica está dada por el conocido valor  $V_s = \sqrt{kgRT}$ , siendo -- "g" la aceleración de la gravedad en pies/seg<sup>2</sup> y "T" la temperatura del vapor en grados Rankine; el valor de "T" es la única variable y -- para nuestro estudio podemos tomarlo como constante eligiendo la temperatura de saturación correspondiente a 1.25" Hg, en cuyo caso  $T = 546^\circ R$ , y  $V_s = 1.33 \times 32.2 \times 85.6 \times 546 = 1414.77$  pies/seg.

Si el área del o los anulos de paso de la o las últimas -- ruedas de una turbina es "a" el flujo de vapor al condensador en libras por segundo estará dado por la siguiente ecuación :

$$Q = \frac{a \times W_n}{v_e \times q} \quad (A)$$

En donde "v" es el volúmen específico del vapor correspondiente a la presión en la salida de los álabes, en condición de seco y saturado, y "q" es la calidad del vapor (factor de sequedad).

El flujo máximo de vapor al condensador será entonces :

$$\frac{a \times \sqrt{kgRT} \times \text{sen } \alpha}{v_e \times q} = \frac{a \times 1416 \text{ sen } \alpha}{v_e \times q} \quad (B)$$

De donde :

$$v_e = \frac{a \times 1416 \text{ sen } \alpha}{q \times Q_{\text{max}}} \quad (C)$$

El valor de  $v_e$  representa el volumen específico correspondiente al flujo máximo que pueda pasar al condensador bajo el punto de vista de aprovechamiento de la energía; si la presión en el condensador fuera tan baja que definiera un volumen específico mayor que el -- dado por la ecuación ( C ), significaría que la parte de la expansión comprendida entre la presión crítica, correspondiente a la entrada de -- los álabes y la presión del condensador, tendría que efectuarse fuera de los álabes y no sería energía aprovechada. En otras palabras, una presión en el condensador más baja de la correspondiente al valor da--

do por la ecuación ( C ), sólo incrementaría las pérdidas en el escape sin aumentar la energía aprovechada. El valor de "q" se puede determinar con aproximación según las líneas de expansión que, o son conocidas de antemano o pueden trazarse con relativa facilidad.

Efectuaremos una aplicación tomando datos de las turbinas de la Planta de Tijuana, con los siguientes valores:-

Longitud activa de álabes últimas ruedas = 20"  
 Diámetro medio área anular = 60.625"  
 Angulo de salida  $\alpha$  = 45°  
 Área de los dos anulos de salida

$$A = \frac{2 \pi}{12} \times \frac{60.625}{12} \times \frac{20}{12} = 6.28 \times 5.05 \times 1.66 = 52.90$$

pies<sup>2</sup>

El flujo de vapor a 77.5 MW que llega al condensador se ha -- estimado en 463,000 Lbs/Hr = 128.67 lbs/seg.; según el diagrama de Molliere anexo, en el que están trazadas las líneas de expansión y suponiendo que se pueda mantener un vacío de 1.5 "Hg a esta carga, el contenido de humedad sería 14.8 % aprox. y por lo tanto la calidad del vapor sería  $q = 0.852$ ; substituyendo en ( C ) tendríamos :

$$v_e = \frac{52.90 \times 1414.77 \times 0.7071}{128.61 \times 0.852} = 482.96 = 483 \text{ pies}^3/ -$$

Libra.

Este valor del volumen específico corresponde a una presión absoluta de 1.38"; esta presión corta a la línea de expansión en un valor correspondiente a un contenido de humedad de 15% muy próximo al valor de 14.8 % que originalmente se había elegido; por lo tanto puede tomarse como definitivo el valor encontrado de 1.38 "Hg como presión óptima en el condensador; si se hubiera elegido una calidad muy diferente, se hubiera encontrado que la línea de presión calculada hubiera cortado a la línea de expansión en un punto de humedad diferente a la escogida; en tal caso tendría que hacerse un nuevo cálculo para corregir.

Para una carga de 34916 KW, el flujo al condensador se estima

en 221400 lbs./Hr. = 61.5 lbs./seg.; y si suponemos que se opera el condensador con 1.2"Hg se tendría, según la línea de expansión  $q = 1 - 0.132 = 0.868$ , entonces :-

$$V_e = \frac{52.9 \times 1414.77 \times 0.7071}{61.5 \times 0.868} = 991.35 \text{ pies }^3 \text{ /libra}$$

Este volumen específico corresponde a una presión de 0.625 - - "Hg" y vemos que es bastante diferente de 1.2 "Hg que sirvió de base -- para la selección del vapor de "q" ; repitiendo el cálculo con una humedad más próxima a la realidad, tendríamos que suponer una calidad de - - "q" =  $1 - 0.143 = 0.857$  y entonces :

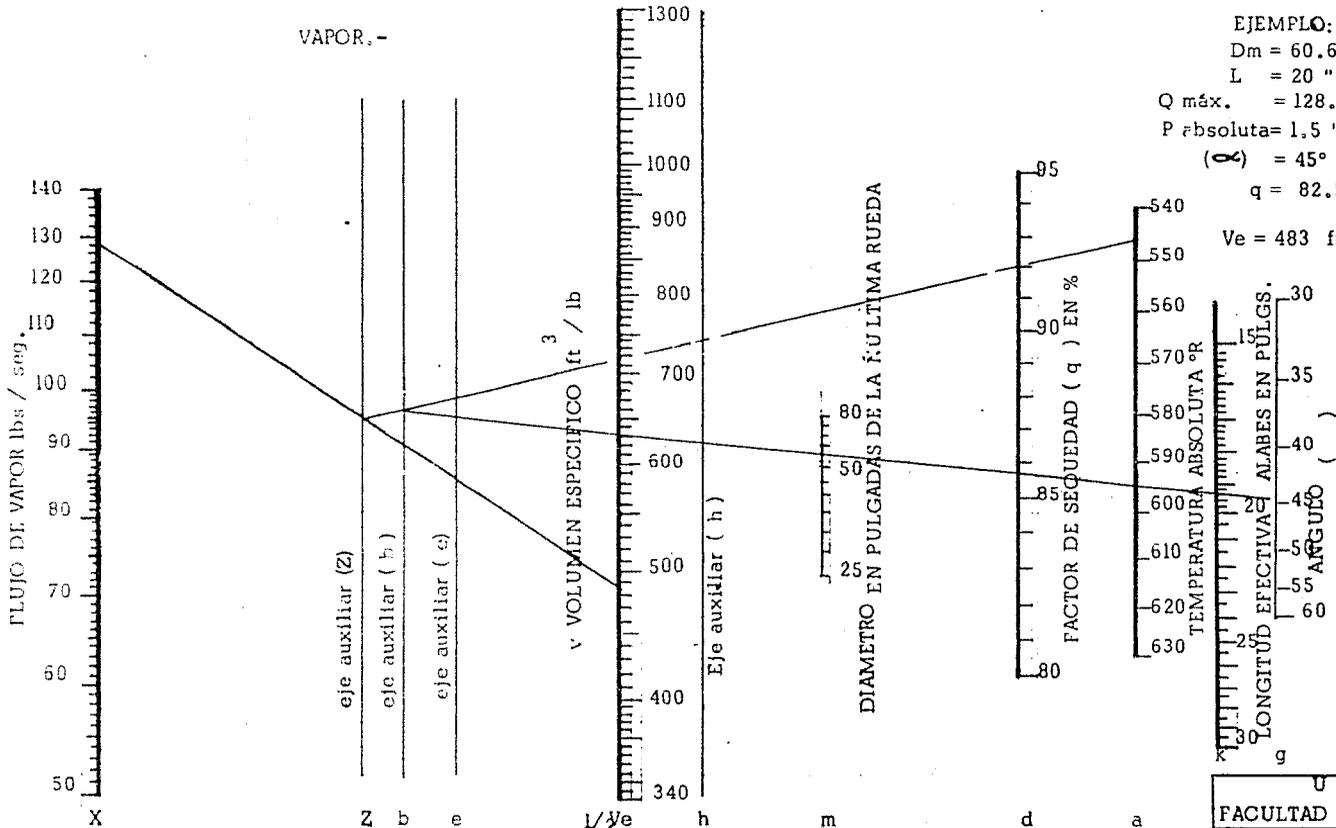
$$v_e = \frac{52.8 \times 1416 \times 0.707}{61.5 \times 0.857} = 1044 \text{ pies}^3 \text{ /Libra}$$

que corresponde a una presión de 0.61 "Hg.

Siguiendo el mismo método se pueden obtener otros valores de mínimos vacíos para distintas cargas, lo que permitirá el trazo de una - gráfica de cargas contra vacíos óptimos. En general, se verá que siem--pre convendrá trabajar con altos vacíos.

DETERMINACION DEL VOLUMEN ESPECIFICO EN EL ESCAPE DE LAS TURBINAS DE

VAPOR. -

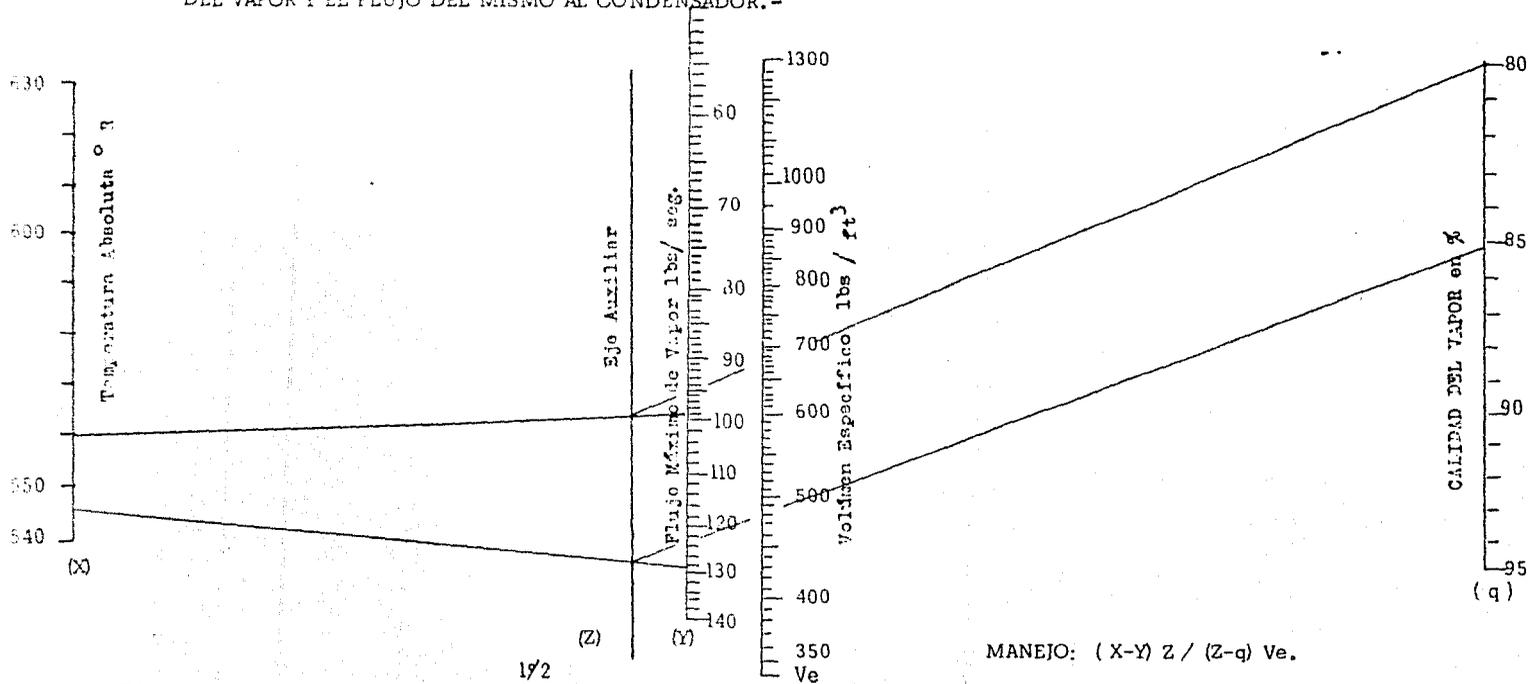


EJEMPLO:  
 $D_m = 60,625 "$   
 $L = 20 "$   
 $Q \text{ máx.} = 128.5 \text{ lbs/seg.}$   
 $P \text{ absoluta} = 1,5 " \text{ Hg.}$   
 $(\alpha) = 45^\circ$   
 $q = 82.5 \%$   
 $Ve = 483 \text{ ft / lb.}$

FORMULA:  $Ve = 2.64 \times D_m \times L \text{ efect.} \times T \times \text{sen}(\alpha) / Q \text{ máx.} \times (g)$   
 MANEJO:  $(m-k)h / (b-g)e / (e-d)b / (b-a) Z / (Z-X) Ve$

U N A M
FACULTAD DE INGENIERIA
CALCULO DEL VOLUMEN ESPECIFICO EN LAS TURBINAS DE VAPOR. -
R Ruelas P., 1978 Nom. No. 1

NOMOGRAMA PARA DETERMINAR EL VOLUMEN ESPECIFICO, EN EL ESCAPE DE LAS TURBINAS EN FUNCION DE LA TEMPERATURA DE SATURACION CORRESPONDIENTE A LA PRESION ABSOLUTA EN EL CONDENSADOR, LA CALIDAD DEL VAPOR Y EL FLUJO DEL MISMO AL CONDENSADOR. -



MANEJO:  $(X-Y) Z / (Z-q) Ve.$

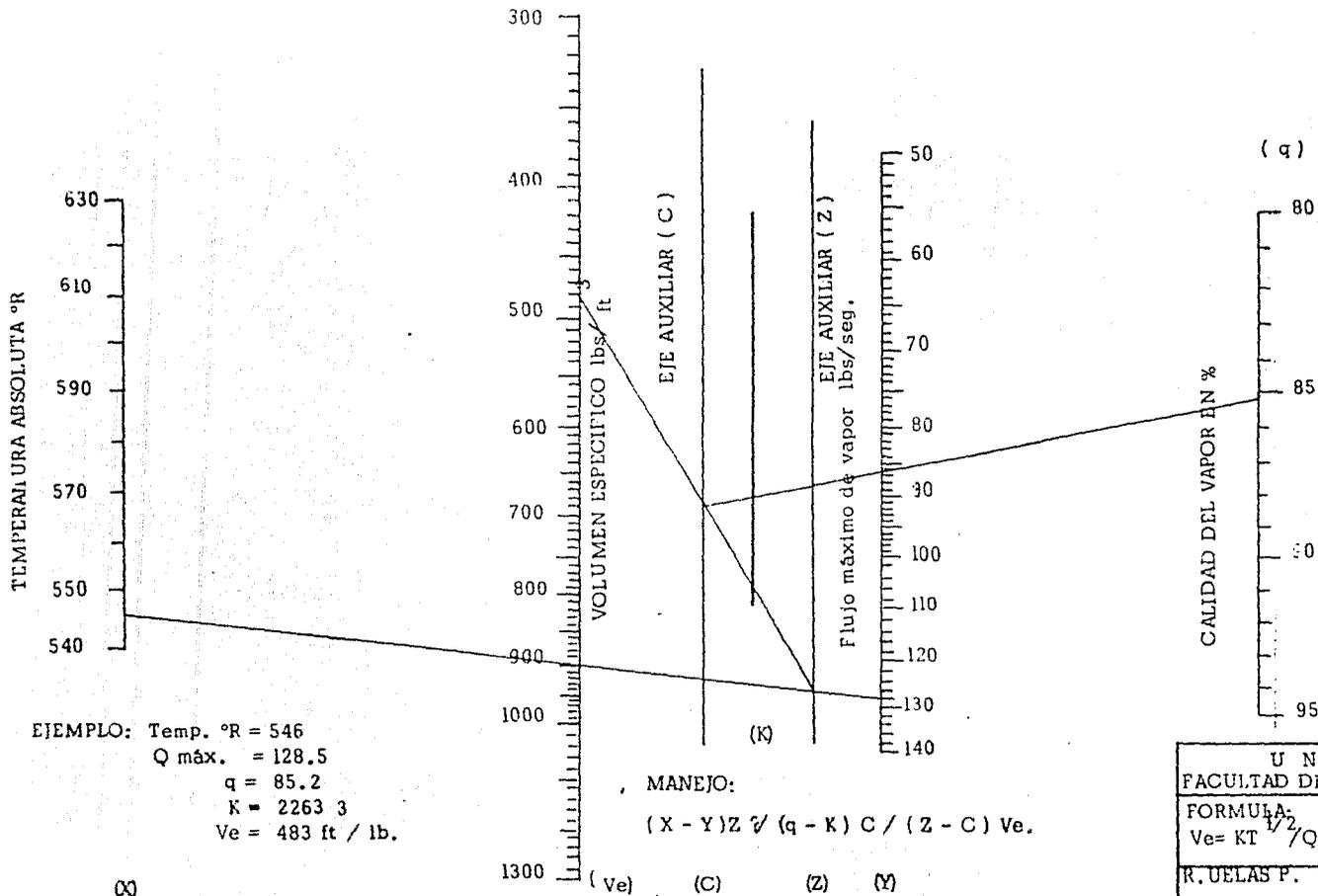
FORMULA:  $Ve = 2.64 Dm Lefectiva T \text{ sen } (\alpha) / Qmáx. q$

EJEMPLO :

TEMP.	FLUJO VAPOR	CALIDAD VAPOR	VOLUMEN ESPECIFICO
oR	lbs/seg.	o/o	lbs/ft <sup>3</sup>
560	99	80	680
546	129	85	480

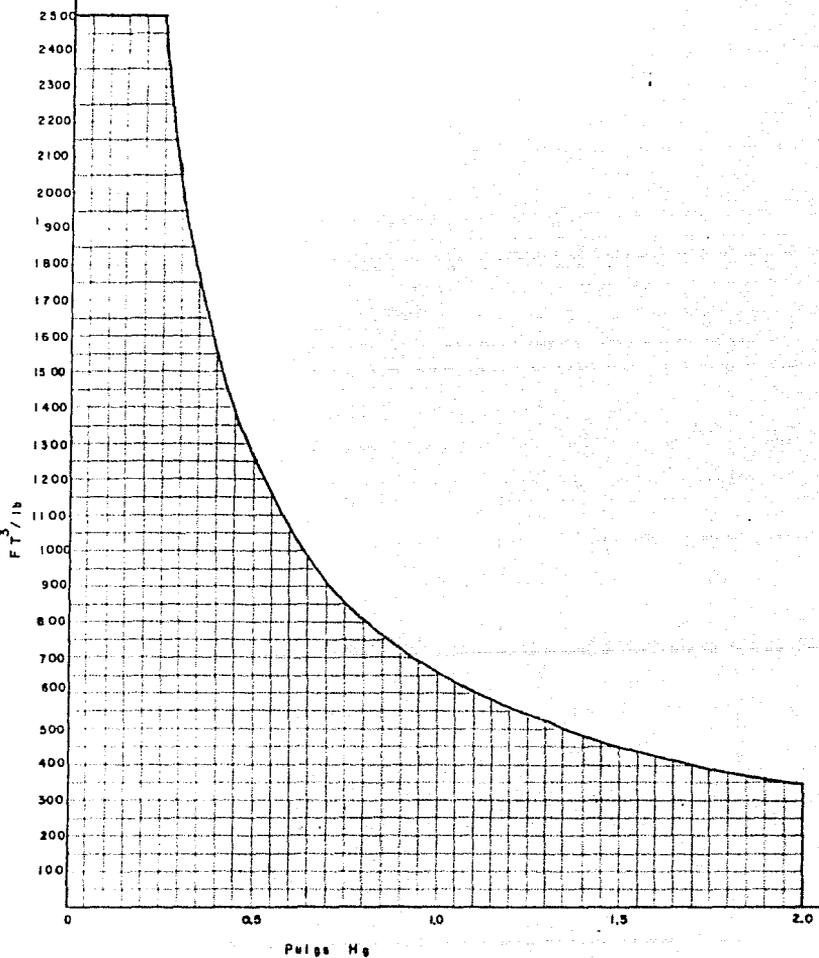
U N A M
FACULTAD DE INGENIERIA
CALCULO DEL VOLUMEN ESPECIFICO EN EL ESCAPE DE LAS TURBINAS.
R. Ruales P., 1978 Nom. 2

NOMOGRAMA PARA DETERMINAR EL VOLUMEN ESPECIFICO DEL VAPOR EN EL ESCAPE DE LA TURBINA



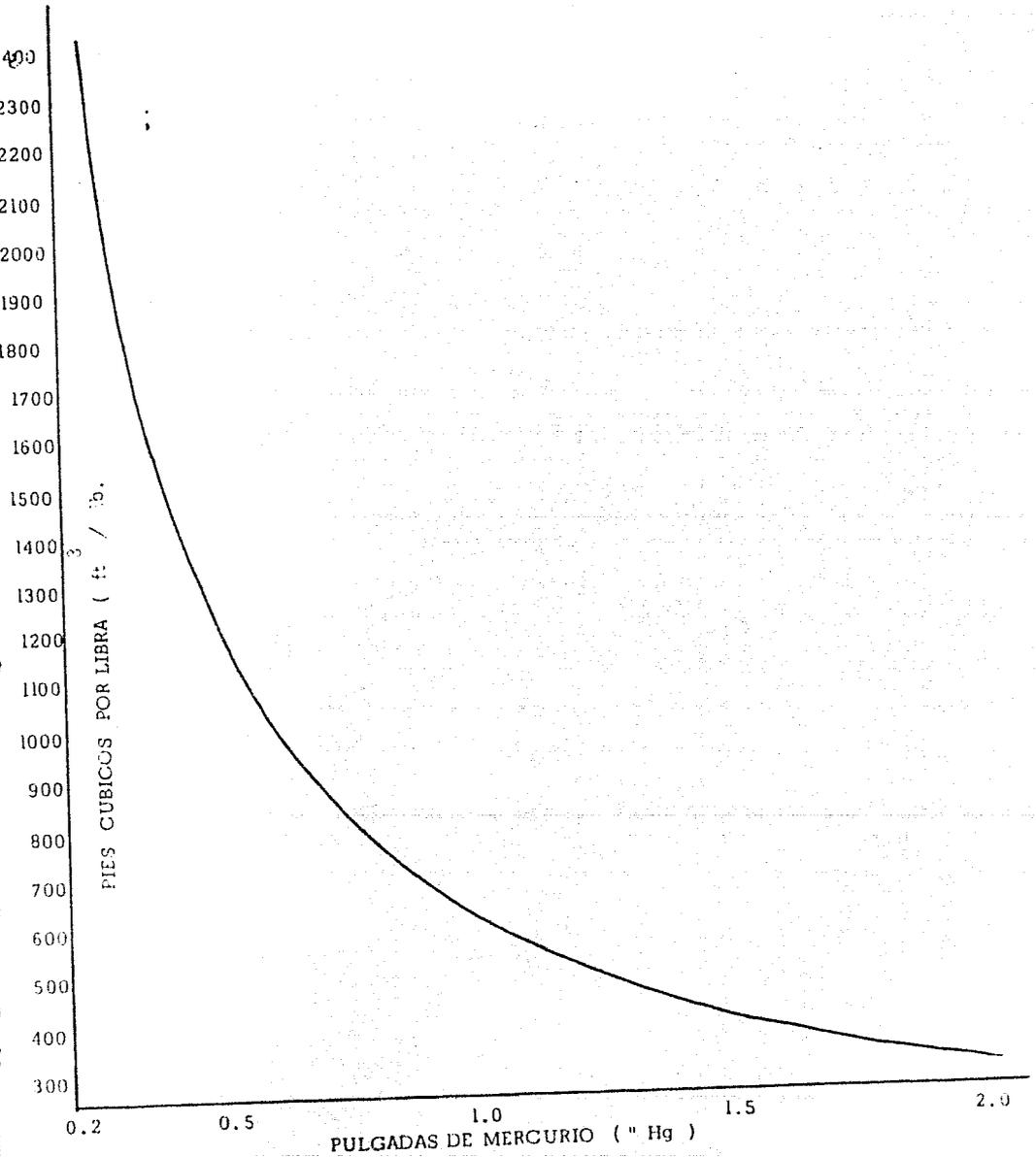
U N A M FACULTAD DE INGENIERIA
FORMULA: $Ve = KT^{1/2} / Q_{m\acute{a}x.} \times (q)$
R. UELAS P. 1978 Nom. No 3

CURVA DE PRESION ABSOLUTA VOLUMEN ESPECIFICO



U N A M  
 FACULTAD DE INGENIERIA  
 CURVA PRESION ABSOLUTA - VOLUMEN ESPECIFICO  
 R. Rojas P. 1978 H. 4

CURVA DE PRESION ABSOLUTA \_ VOLUMEN ESPECIFICO

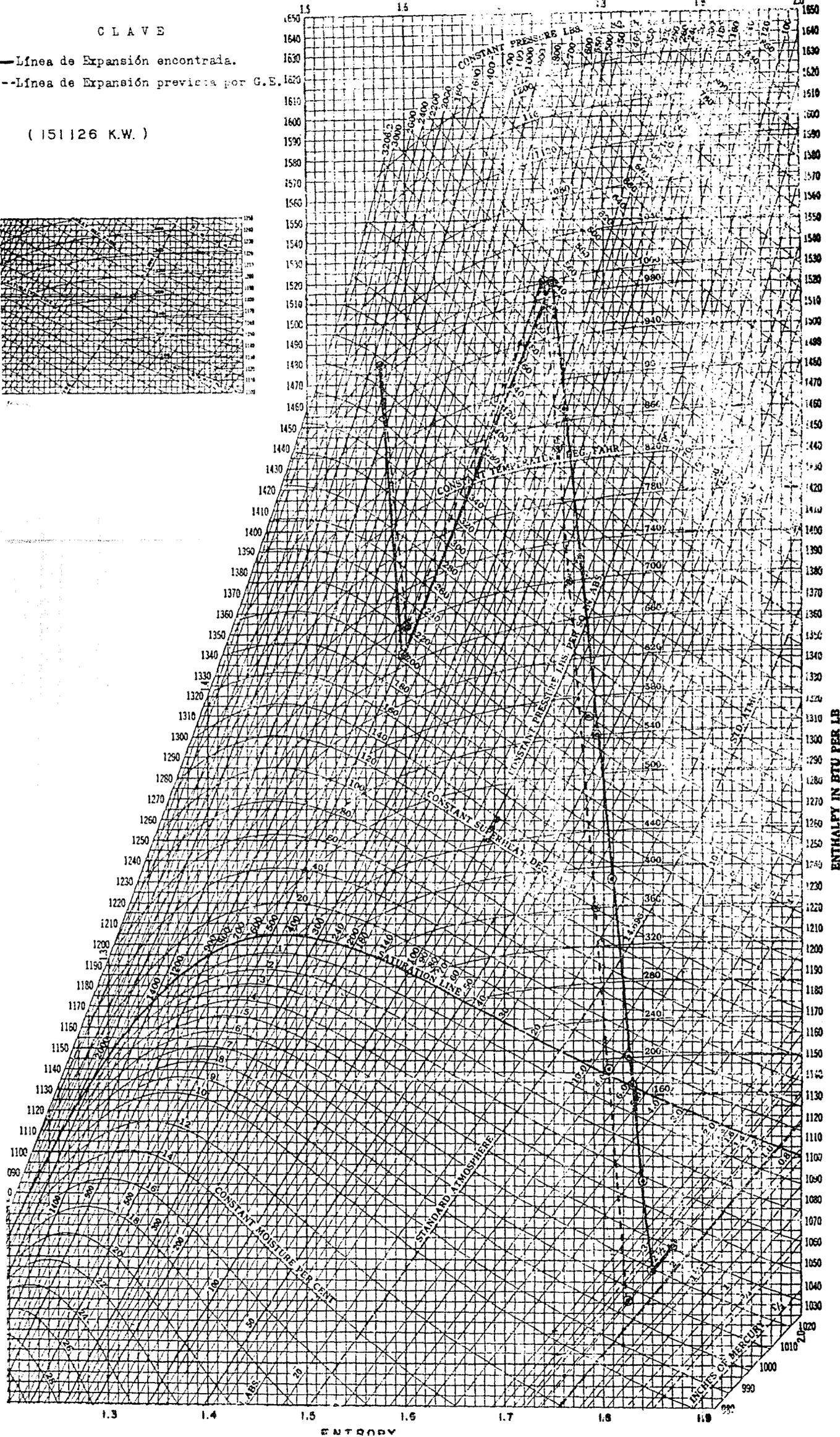
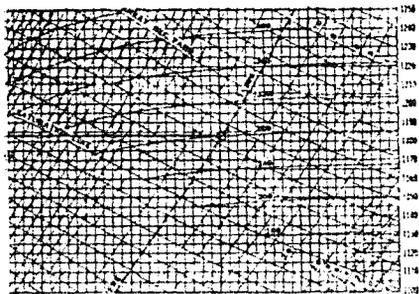


U N A M
FACULTAD DE INGENIERIA
CURVA PRESION ABSOLUTA VOLUMEN ESPECIFICO
R. RUELAS P. 1979 No. 4

CLAVE

- Línea de Expansión encontrada.
- - - Línea de Expansión prevista por G.E.

( 151126 K.W. )



## **1.5 CONSIDERACION DE CARGAS EN EL DISEÑO DE BARRAS COLECTORAS EN LAS SUBESTACIONES DE LA C.F.E.**

## NOMOGRAMAS PARA EL CALCULO DE BARRAS COLECTORAS EN LAS SUBESTACIONES DE LA C.F.E.

- 1.- Cálculo de esfuerzos horizontales debidos a corrientes de corto circuito.-
- 2.- Cálculo de esfuerzos por presión de viento.
- 3.- Cálculo de claros entre aisladores soporte en función de los esfuerzos por corto circuito y presión de viento.-
- 4.- Cálculo del claro máximo en tubos standard de aluminio para dos tipos de apoyo :
  - a.- Apoyos Libres
  - b.- Viga continúa con más de dos claros.-

## CONSIDERACION DE CARGAS EN EL DISEÑO DE BARRAS.-

Las cargas consideradas en el diseño de las barras colectoras, son todas aquellas variables que intervienen en el cálculo y que, de una forma u otra, influyen en el resultado del diseño. Estas cargas se pueden dividir en dos grupos principales que son : cargas estáticas y cargas dinámicas.

### CARGAS ESTATICAS

Se definen como cargas estáticas, todas aquellas cargas que actúan sobre las barras, en forma constante y son consideradas en el diseño - en forma vertical.

### PESO DEL CONDUCTOR.

Uno de los factores básicos en la selección de un conductor, es el peso del mismo y los pesos adicionales como son los conectores, hielo y los cables que se llegan a instalar dentro de los tubos, para amortigu<sub>i</sub> guar las vibraciones ocasionadas por agentes externos al tubo.

En el diseño de barras de tubo, el factor determinante debido a los pesos anteriores, es la deflexión del tubo. Los límites prácticos para una máxima deflexión del tubo son : 1/150 del claro, en caso de usar dos apoyos ( como viga libremente apoyada con carga uniformemente re-- partida ) y de 1/200 del claro en caso de usar más de dos apoyos (vi ga continúa con carga uniformemente repartida ).

Una viga con carga uniformemente distribuida y libremente apoyada - tiene una flecha máxima de :

$$f = 5 Wt l^3 / 384 EI$$

Donde :

Wt = carga total en lbs.

l = claro en pulgs.

E = módulo de elasticidad en lb/pulg<sup>2</sup>

W = peso unitario del tubo en lbs/pie.

I = momento de inercia de la sección en pulg<sup>4</sup>

En el caso de que el tubo esté como una viga continúa o sea, que - el tubo esté apoyado con clemas fijas, se usa 1/5 de la flecha de una viga libremente apoyada. Si la viga tiene dos claros y es libre en los extremos o el tubo tiene apoyos deslizantes, se usan 2/5 de la flecha de una viga libremente apoyada.

En algunos casos, una vez calculada la flecha, de la barra, se le dá a esta una contraflecha, antes de montarla, igual a la flecha calculada y en esta forma se ve el tubo como una viga completamente horizontal.

Para reducir las flexiones, se usan tubos de mayor diámetro, resultando ésto más económico, al reducir el número de soportes de la barra y por lo tanto el peso de la estructura. El incremento en el diámetro del tubo no solo hace posible mayores claros, sino que también reduce las pérdidas por efecto corona.

Las barras de tubo deben quedar selladas en sus extremos con tapones para evitar la acumulación de agua, la cual ocasiona un aumento en el peso del tubo y por lo tanto en la deflexión.

Estos tapones deben tener forma esférica para reducir las pérdidas por efecto corona.

Aunque el módulo de elasticidad del aluminio es aproximadamente 2/3 del valor del módulo de elasticidad del cobre, los tubos de aluminio tienen menor deflexión debido a que el peso, para igual volumen es de 1/3 del de cobre. Pero en caso de acumular hielo, a mayor espesor de éste, el tubo de aluminio se deflexiona más que el de cobre.

### CARGAS DINAMICAS

Se definen como cargas dinámicas, todas aquellas cargas que actúan sobre las barras en forma variable; se consideraran en el diseño en forma horizontal o axial.

En este punto se han considerado solo los esfuerzos electromagnéticos para elaborar el Nomograma que nos dé la fuerza horizontal bajo condiciones de circuito corto.

En circuitos monofásicos la fuerza máxima bajo condiciones de circuito corto puede darse por la fórmula siguiente :

$$W = 43.2 I^2/d (10^{-7})$$

Donde :

W = Fuerza lateral en lbs/pie

I = Valor efectivo de la corriente de circuito corto simétrico en Amperes.

d = Distancia entre centros de conductores en pulgadas

### METODOS DE CALCULO

CLASICO

El cálculo de las barras colectoras involucra a los factores vistos en los párrafos anteriores.

En primer lugar se establece el calibre mínimo de las barras ya sea en cable o en tubo y de cobre o de aluminio para soportar la corriente - máxima total, prevista para el estado final de la subestación. Este calibre se calcula para el conductor trabajando a una temperatura máxima - de 30°C, sobre el ambiente de 40°C. de acuerdo con las normas NEMA.

#### CARGAS VERTICALES EN BARRAS TUBULARES

Una vez elegido el calibre mínimo posible, se van dando incrementos de diámetro de 1/2 pulg. y se procede a calcular las distancias entre soportes para las flechas máximas tolerables debidas a la carga vertical - del conductor. Como se vió anteriormente, las flechas máximas están - dadas por :

$$f = 1/150 (L) \text{ para dos apoyos y}$$

$$f = 1/200 (L) \text{ para más de dos apoyos}$$

Con estos valores de f los substituímos en la fórmula :

$$f = 5Wt^3/384 EI$$

Si el tubo está como viga continua o sea con varios apoyos deslizantes y el central rígidamente sujeto, la flecha es de 1/5 del valor an--terior. Si el tubo solo tiene dos claros y es deslizante en los ex--tremos, la flecha es de 2/5 del mismo valor.

Sabiendo que :  $Wt = Wl/12$

De acuerdo con el tipo de apoyo substituímos el valor anterior de --  $Wt$  en la fórmula correspondiente, teniéndose :

Para apoyos libres :

$$L = ( 384 \times 12 EI / 150 \times 5W )^{1/3} \text{ pulgs.}$$

Considerando el tubo como viga continua con más de dos apoyos, y usando la flecha de 2/5 se tiene :

$$L = 384 \times 12 EI / 200 \times 2W )^{1/3} \text{ pulgs.}$$

#### CARGAS HORIZONTALES EN BARRAS TUBULARES

En esta parte del cálculo consideramos los esfuerzos horizontales a que están sujetas las barras y que son : Esfuerzo por circuito corto y -- esfuerzo debido a la presión del viento, considerando para el cálculo la suma de los dos esfuerzos.

Esfuerzo por circuito corto

$$I_{cc} = KV_{Acc}/1,732 \text{ KV Amp.}$$

Después y de acuerdo con el voltaje, se encuentra la separación normal entre centros de fases de buses rígidos.

Con estos datos se usa la fórmula :

$$F_{cc} = 43.2 I_{cc}^2/D (10^{-7}) \times l$$

Donde :

$F_{cc}$  = Fuerza horizontal debida a circuito corto en lbs.

$I_{cc}$  = Corriente máxima de circuito corto, valor efectivo en Amps.

$D$  = Distancia entre conductores en pulg.

$l$  = Longitud del claro en pies

Esta fórmula nos dá la fuerza máxima de circuito corto entre fase y -- tierra, que es un valor mayor que en en caso trifásico, en la relación - - - 43.2/37.5

Esfuerzo debido al viento :

Este esfuerzo es debido a la velocidad del viento, que produce una - - presión en la superficie del conductor.

Para el caso de superficies cilíndricas ( tubos ) la presión del viento está dada por la fórmula :

$$P = 0.075 v^2$$

El cálculo de la fuerza en el tubo debida a la presión del viento se - calcula con la fórmula :

$$F_v = P \times l \times d$$

Donde :

$F_v$  = Fuerza debida al viento en Kg.

$P$  = Presión por viento en  $\text{Kg/m}^2$

$l$  = Longitud del claro en m.

$d$  = Diámetro exterior del tubo

Transformando la ecuación  $P = 0.075 v^2$  al sistema inglés nos resulta :

$$P = 0.075 \times 2.205/10.76^2 (v^2)$$

$$P = 1.43 \times 10^{-3} v^2$$

Donde :

$P$  = Presión del viento en  $\text{lb/pie}^2$

$v$  = Velocidad del viento en pies/seg.

La fuerza horizontal máxima que está aplicada sobre el tubo es :

suma de la fuerza debida a circuito corto más la fuerza debida al viento.

$$F \text{ máx.} = F_{cc} + F_v$$

Igualando la fuerza horizontal máxima de un claro con la resistencia al esfuerzo en " cantilever " del aislador soporte, aplicando un factor de seguridad de f.s. = 1.25 , se calcula la longitud del claro máximo entre -- dos apoyos tomando en cuenta sólo los esfuerzos debidos a circuito corto y viento.

$$F \text{ máx.} = R_a / f.s.$$

Donde :

$R_a$  = Resistencia del aislador en lb.

f.s.= Factor de seguridad

$$F \text{ máx.} = R_a / 1.25 = 43.2 (I_{cc}^2 / D) ( 10^{-7} ) l + (1.43 \times 10^{-3} / 12) v^2 d. l.$$

$$R_a / 1.25 = (43.7 \times 10^{-7} ( I_{cc}^2 / D ) + 1.19 \times 10^{-4} v^2 d) l$$

Por lo tanto :

$$l = R_a / 1.25 ( 43.2 \times 10^{-7} ) ( I_{cc}^2 / D ) + 1.19 \times 10^{-4} v^2 d$$

Donde :

$l$  = Longitud del claro en pies

$I_{cc}$  = Corriente máxima de circuito corto, valor efectivo en Amperes

$D$  = Distancia entre conductores en pulg.

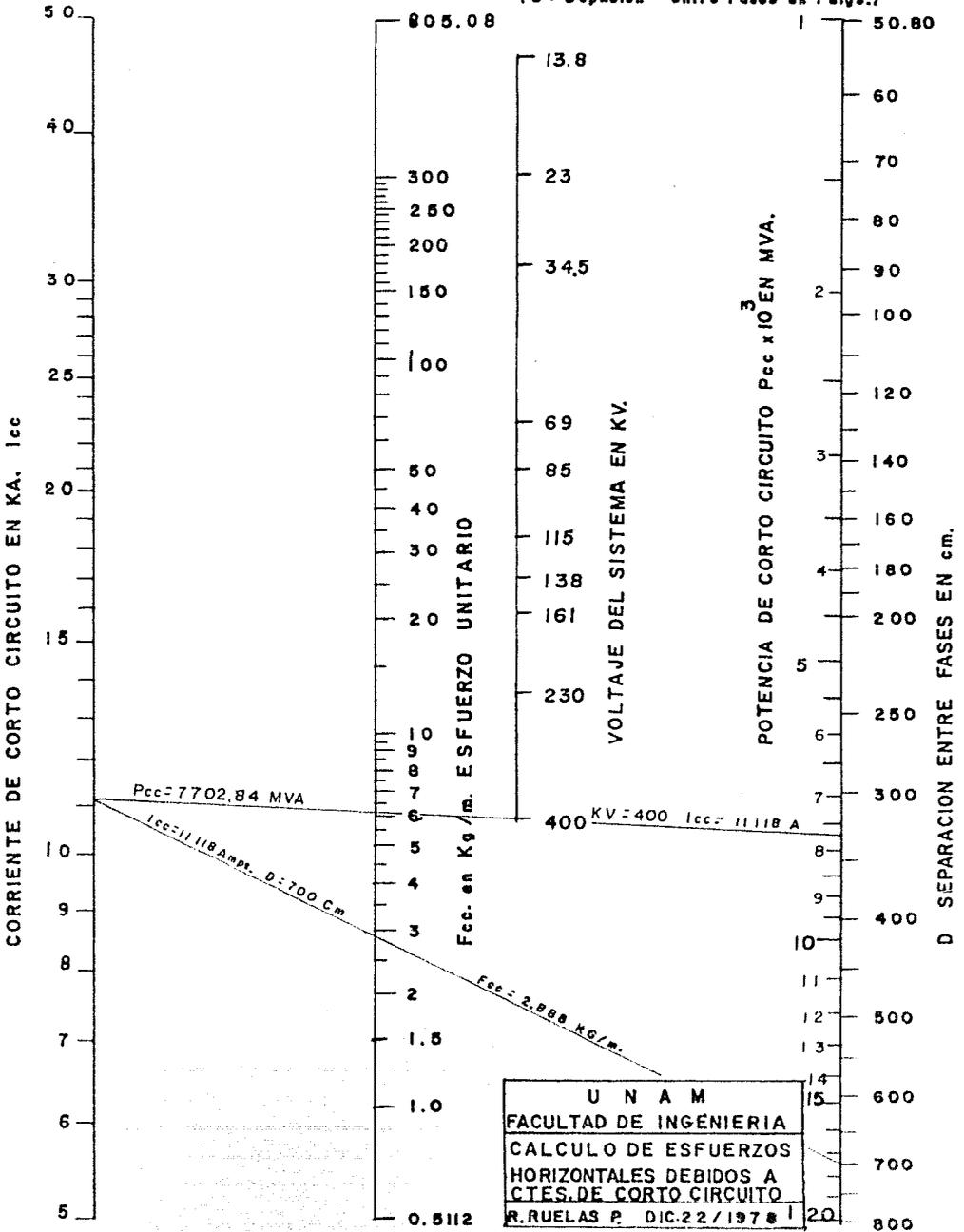
$d$  = Diámetro exterior del tubo en pulg.

$v$  = Velocidad del viento en pies / seg.

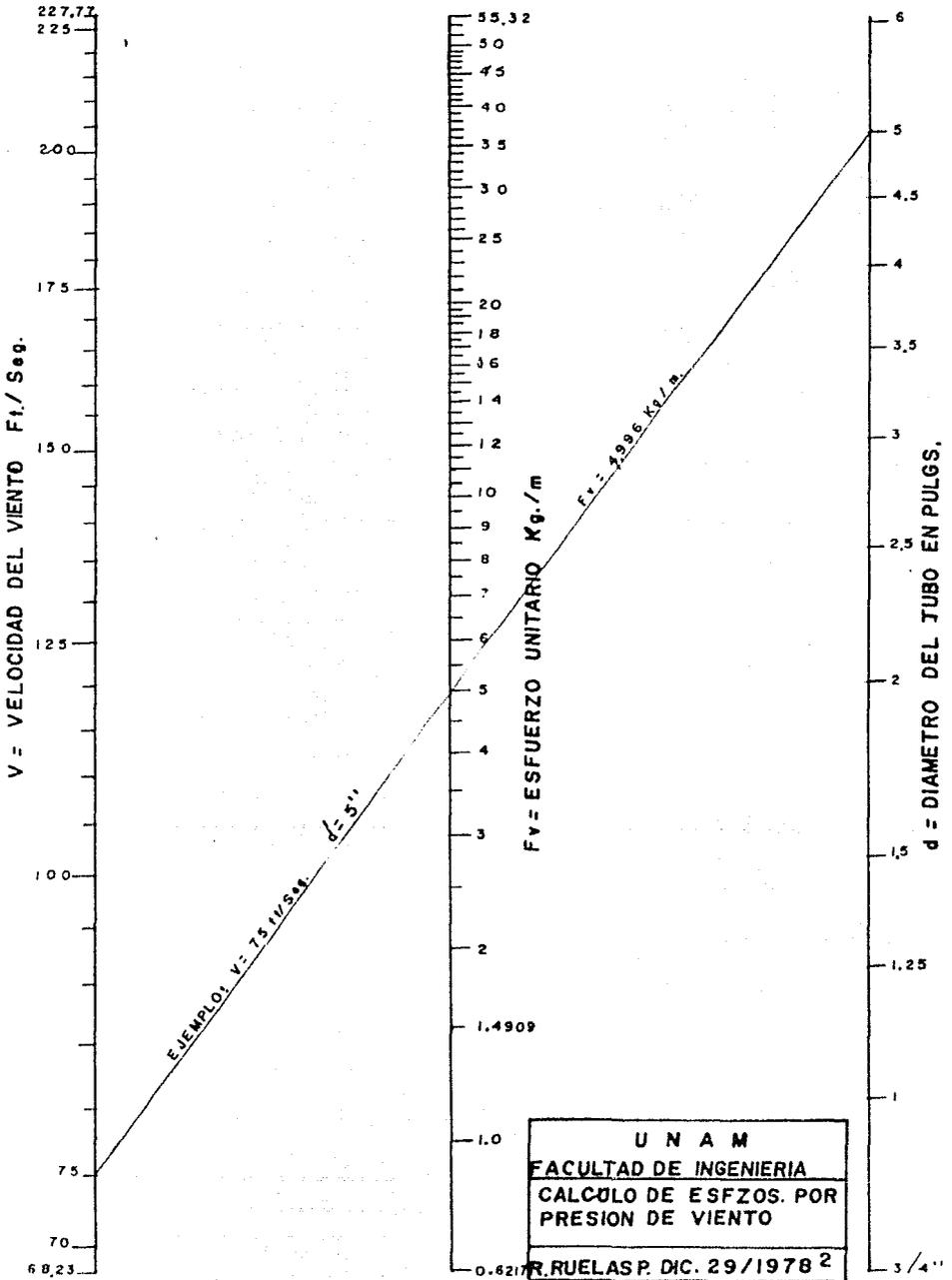
$R_a$  = Resistencia del aislador en " cantilever " en lbs.

**NOMOGRAMA PARA EL CALCULO DE LA FUERZA HORIZONTAL DEBIDA A 96  
CIRCUITO CORTO  $F_{cc}$  EN Kg/m. ( $F_{cc} = 43.2 \frac{I_{cc}^2}{D} \times 10^{-7}$  lbs/ft) EN EL DEPTO  
DE PROYS. DE S.E.y L.T. de la C.F.E.**

(D = Sepacion entre Fases en Pulgs.)



NOMOGRAMA PARA CALCULAR LA FZA HORIZONTAL DEBIDA A LA PRESION DEL VIENTO  $F_v = 1.43 \times 1.4909 \times 10^{-3} / 12 (V^2 d) \text{ Kg./m.}$  97



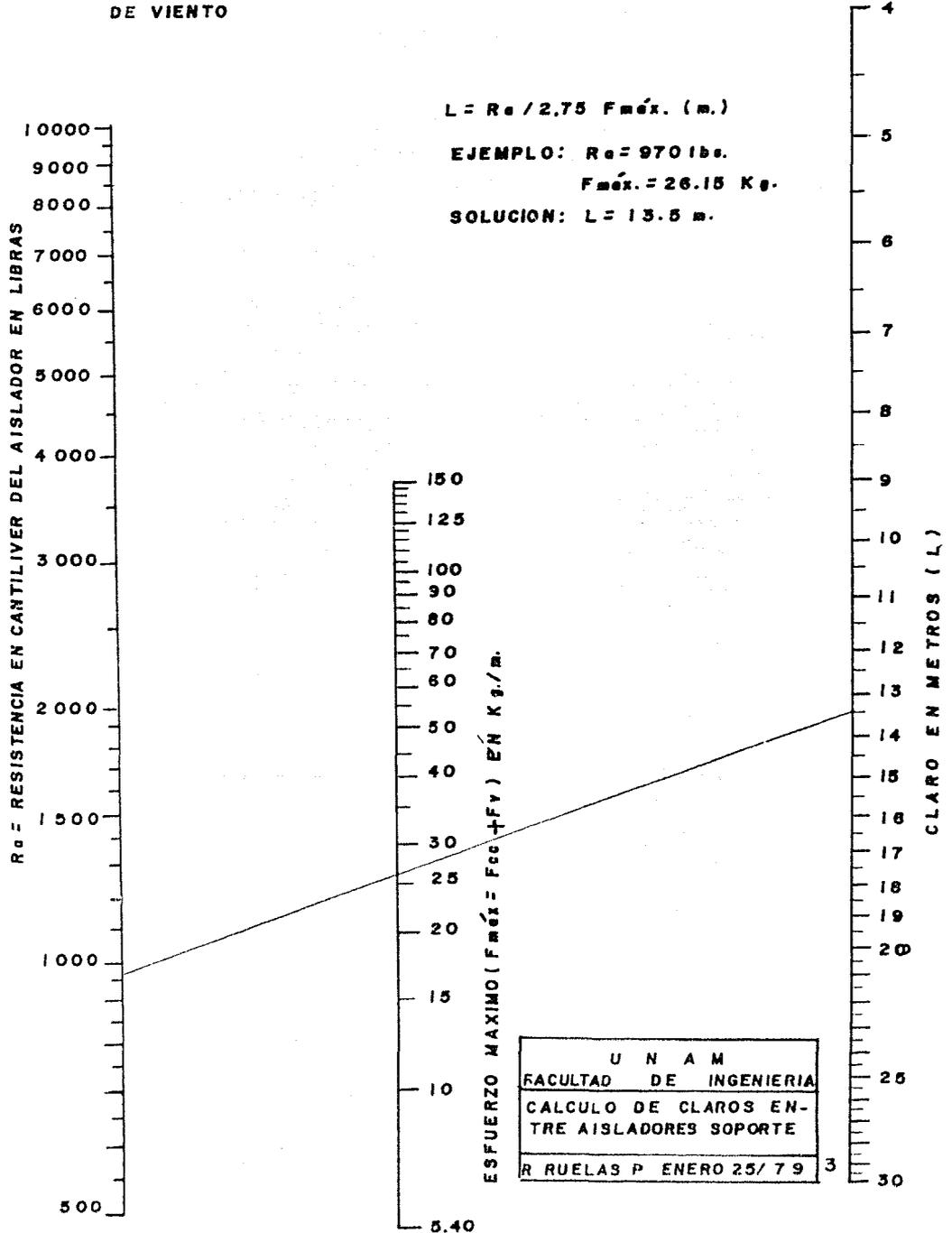
NOMOGRAMA PARA EL CALCULO DEL CLARO MAXIMO ENTRE AISLADORES SOPORTE EN FUNCION DE LOS ESFUERZOS DE CORTO CIRCUITO Y PRESION DE VIENTO 98

$$L = R_a / 2.75 F_{m\acute{e}x.} (m.)$$

EJEMPLO:  $R_a = 970 \text{ lbs.}$

$F_{m\acute{e}x.} = 26.15 \text{ Kg.}$

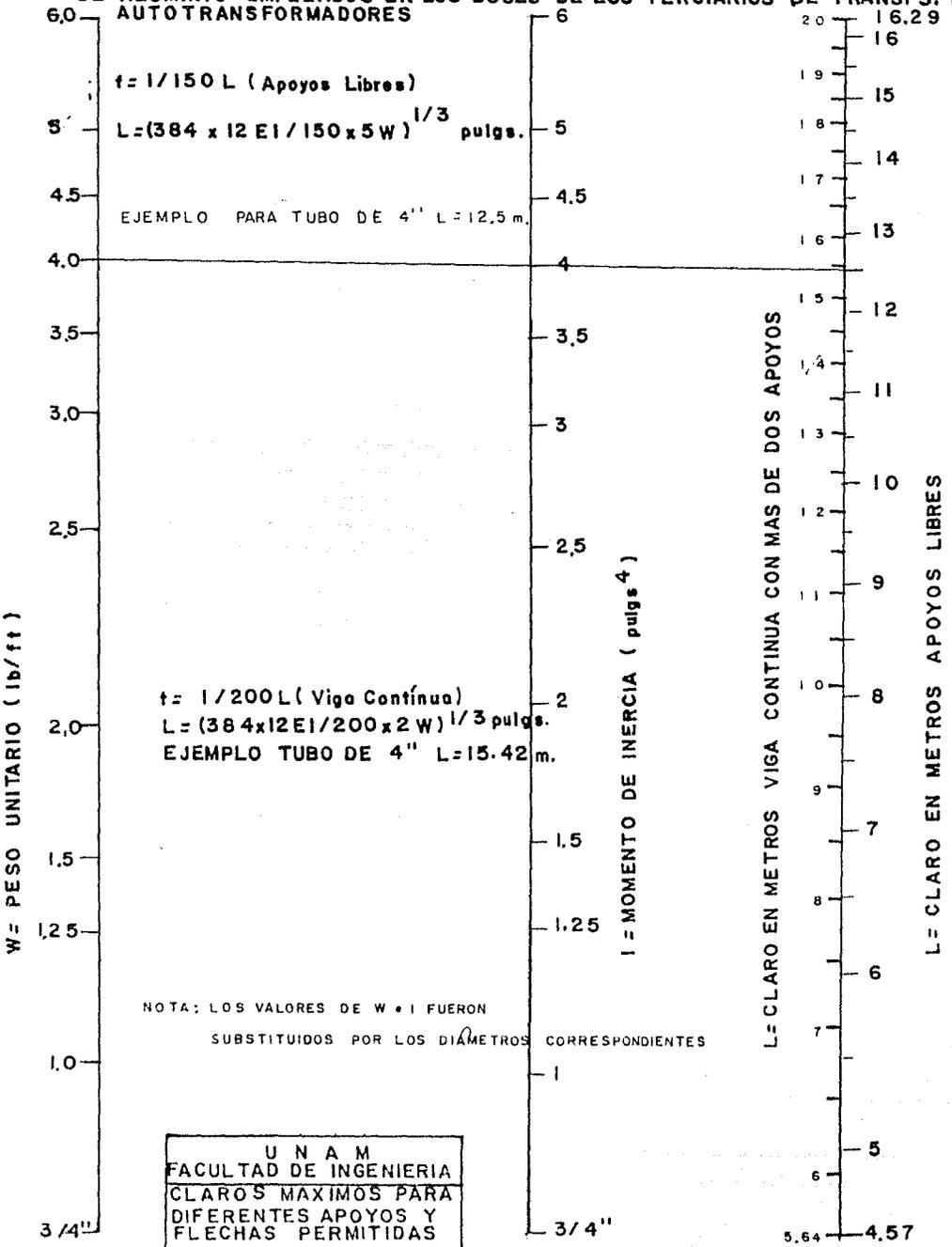
SOLUCION:  $L = 13.5 \text{ m.}$



# GERENCIA GENERAL DE CONSTRUCCION

## DEPTO PROYS. DE S.E. y L.T.

**NOMOGRAMA PARA EL CALCULO DEL CLARO MAXIMO EN TUBOS STANDARD DE ALUMINIO EMPLEADOS EN LOS BUSES DE LOS TERCARIOS DE TRANSFS. Y AUTOTRANSFORMADORES**



U N A M
FACULTAD DE INGENIERIA
CLAROS MAXIMOS PARA DIFERENTES APOYOS Y FLECHAS PERMITIDAS
R. RUELAS P. Nov. 27 - 1978

## 1.6 CALCULO DE LA GRAVEDAD ESPECIFICA Y EL PESO EN lbs/gal. de UN ACEITE COMBUSTIBLE EN FUNCION DE SUS GRADOS API

- 1.- NOMOGRAMA PARA EL CALCULO DE LA GRAVEDAD ESPECIFICA O GRADOS API
  
- 2.- NOMOGRAMA PARA CALCULAR EL PESO DE LOS ACEITES COMBUSTIBLES Y EN FUNCION DE SUS GRADOS API

**NOMOGRAMA PARA CALCULAR LA GRAVEDAD ESPECIFICA O LOS GRADOS API DE UN ACEITE COMBUSTIBLE** 102

$$\text{GRADOS API} = (141.5 / \text{sp.gr.}) - 131.5$$

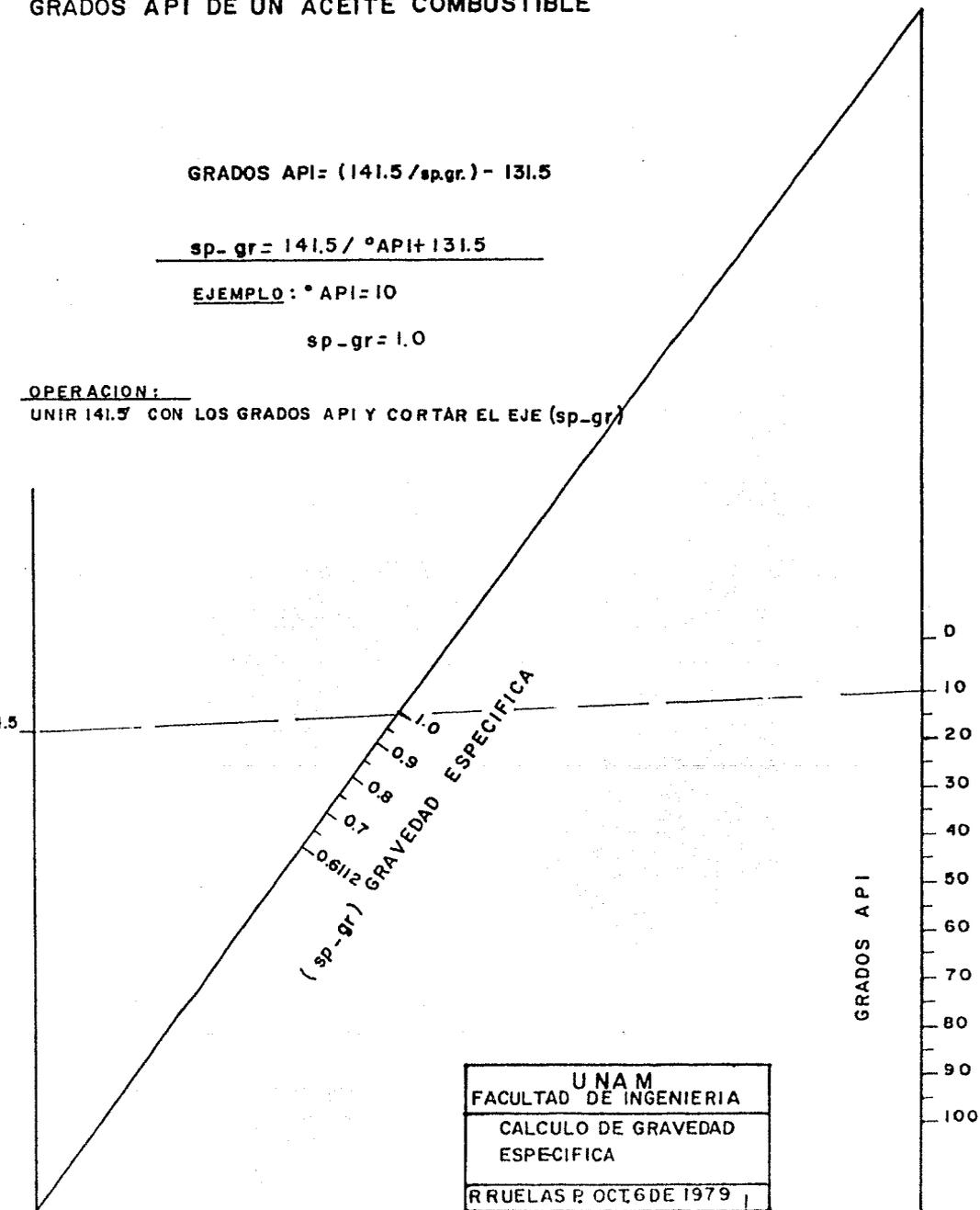
$$\text{sp.gr.} = 141.5 / (\text{°API} + 131.5)$$

EJEMPLO: °API = 10

$$\text{sp.gr.} = 1.0$$

OPERACION:

UNIR 141.5 CON LOS GRADOS API Y CORTAR EL EJE (sp-gr)



UNAM
FACULTAD DE INGENIERIA
CALCULO DE GRAVEDAD ESPECIFICA
RRUELAS P. OCT. 6 DE 1979

# NOMOGRAMA PARA CALCULAR EL PESO DE LOS ACEITES COMBUSTIBLES EN LIBRAS POR GALON EN FUNCION DE SUS GRADOS API

$$W = ( 141.5 / ^\circ\text{API} + 131.5 ) \times 8.328 \text{ lb/gal.}$$

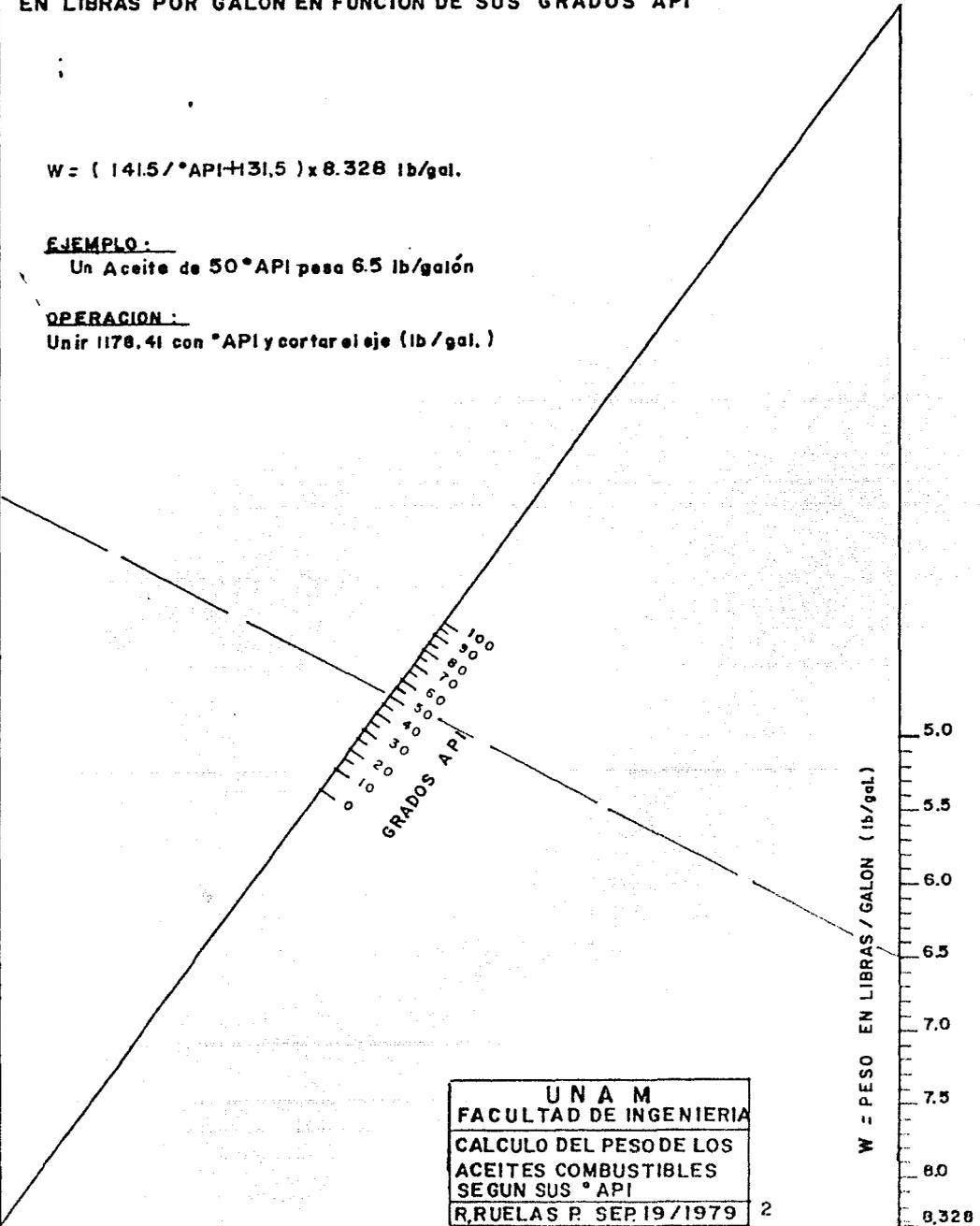
**EJEMPLO:**

Un Aceite de 50 °API pesa 6.5 lb/galón

**OPERACION:**

Unir 1178.41 con °API y cortar el eje (lb/gal.)

9.41



UNA M
FACULTAD DE INGENIERIA
CALCULO DEL PESO DE LOS
ACEITES COMBUSTIBLES
SEGUN SUS °API
R, RUELAS P SEP.19/1979

## 2.- INGENIERIA ELECTRICA

## **2.1 Determinación de la CAPACIDAD INTERRUPTIVA de los interruptores para Servicios Propios en una Subestación.**

Los primeros cuatro nomogramas se trazaron tomando como Potencia Base el valor de 375 MVA. en el siguiente orden :

- 1.- Nomograma para convertir las Reactancias de los Transformadores - de Servicios Propios.-
- 2.- Nomograma para calcular las Reactancias de los Transformadores - o Autotransformadores de Potencia.-
- 3.- Nomograma para el cálculo de las Reactancias del Sistema con Potencias de corto circuito ( $P_{cc}$ ) de 1000 a 10 000 MVA.
- 4.- Nomograma para calcular la corriente de corto circuito en KA. una vez conocida la Reactancia en el punto de falla  $X_F$  en p/u. y para voltajes de 127 volts. a 34.5 KV.
- 5.- Nomograma para el cálculo de Reactancias a la Potencia Base de -- 100 MVA. que incluye los cuatro puntos anteriores más el cálculo de las Reactancias de los cables a 220 volts.
- 6.- Nomogramas para el cálculo de Reactancias de cables a 220 volts. y para Potencias Base de 100 y 375 MVA.
- 7.- Nomograma para el cálculo de Reactancias de cables a la Potencia - Base de 100 MVA. y voltajes de 220 y 440 volts.
- 8.- Nomograma para calcular la Sección del conductor del Transformador de Servicios Propios al tablero de control Duplex, para voltajes - de 220 y 440 volts en función de los KVA. del T.S.P. y la longitud del cable para una caída de tensión permitida = 4 %
- 9.- Nomograma para el cálculo de conductores de circuitos de potencia - para :

Voltaje entre fases = 220 volts.

Factor de Potencia = 0.80

Potencia expresada en HP ó KW.

Caída de Tensión e % de 1 a 5

Como ejemplo de aplicación se calculó el corto circuito en los puntos marcados A y B de la Subestación Coatzacoalcos II de la C.F.E.

CALCULAR LA CORRIENTE DE CORTO CIRCUITO EN LOS PUNTOS MARCADOS CON A Y B DE LA SUBESTACION COATZACOALCOS II DE LA C.F.E. SEGUN SE INDICA EN EL -- DIAGRAMA UNIFILAR DE LA MISMA, Y DETERMINAR LA CAPACIDAD INTERRUPTIVA DE LOS INTERRUPTORES EN DICHS PUNTOS.-

DATOS : Pcc = 7 737.78 MVA en las barras de 400 KV.

Pcc = 2 166.21 MVA en las barras de 115 KV.

Tres Transformadores Monofásicos de 115 MVA c/u. Relación de - Transformación de : 400/115/34.5 KV. CONECTADOS EN: Estrella-- -Estrella-Delta respectivamente.- Impedancias combinadas :

$Z_{HX} = 10 \%$  a la Base de 125 MVA.

$Z_{HY} = 8.2 \%$  a la Base de 41.5 MVA.

$Z_{XY} = 6.3 \%$  a la Base de 41.5 MVA.

Transformador de Servicios Propios :

Trifásico, conexión Delta-Estrella y  $z = 8 \%$  300 KVA.

SOLUCION :

- 1.- En vista de que dos de las Impedancias combinadas de los Transformadores de 125 MVA. están a la Base de 41.5 MVA. tomaremos ésta como Potencia Base para convertir las tres Impedancias anteriores a una sola.

$$X/B = X_n P_B / P_n \quad P_B = 41.5 \text{ MVA.}$$

$$Z_{HX/B} = 10 \times 41.5 / 125 = 3.32 \%$$

$$Z_{HY/B} = 8.2 \%$$

$$Z_{XY/B} = 6.3 \%$$

- 2.- Una vez que se tienen las tres Impedancias combinadas a una misma base calcularemos las Impedancias correspondientes a los embobinados de los transformadores en los lados de : Alta, Baja Tensión y Terciario respectivamente haciendo uso de las siguientes fórmulas :

$$Z_H = Z_{HX} + Z_{XY} / 2 - Z_{XY} / 2$$

$$Z_X = Z_{XY} + Z_{HX} - Z_{YH} / 2$$

$$Z_Y = Z_{HY} + Z_{XY} - Z_{HX} / 2$$

Substituyendo los valores de las Z encontrados en (1), en las Fórmulas Anteriores tendremos :

$$Z_H = 2.61 \% \quad Z_X = 0.71 \% \quad Z_Y = 5.59 \%$$

- 3.- Ahora tomaremos como Potencia Base para nuestros cálculos el valor de 100 MVA. y convertiremos a la misma todas las Reactancias que aparecen en nuestro Diagrama Unifilar.-

Para las Reactancias del Sistema se hará uso de la siguiente fórmula:

$$X_s/B = P/B : P_{cc}$$

Para el Bus de 400 KV.:

$$X_s/B = 100 / 7\ 737.78 = 0.0129 \text{ p/u.}$$

Para el Bus de 115 KV.:

$$X_s/B = 100 / 2\ 166.21 = 0.0462 \text{ p/u.}$$

Reactancias de los Transformadores :

$$X_{H/B} = 0.0261 \times 100 / 375 = 0.0070$$

$$X_{X/B} = 0.0071 \times 100 / 375 = 0.0019$$

$$X_{Y/B} = 0.0559 \times 100 / 375 = 0.0149$$

Reactancia del Transformador de Servicios Propios :

$$X_{/B} (\text{T.S.P.}) = 0.08 \times 100 / 0.300 = 26.66 \text{ p/u}$$

- 4.- El cálculo de la Reactancia del cable del T.S.P. al Tablero de Control se efectuará una vez seleccionado el mismo por corriente y Caída de -- Tensión de acuerdo con la capacidad y voltaje del secundario del T.S.P. En nuestro caso la capacidad del mismo es de 300 KVA, y el voltaje del secundario 220 volts.

$$I_n = \text{KVA} / 1.732 \times \text{KV.}$$

$$I_n = 300 / 1.732 \times 0.22 = 787.3 \text{ Amps.}$$

$$I_n = 787.3 \text{ Amps.}$$

De acuerdo con la Tabla 1.20 del INDUSTRIAL POWER SYSTEM, usaremos dos conductores por fase de 500 MCM. Vinanel 900 cuya capacidad de corriente es de 405 amps.

- 5.- Una vez seleccionado el cable, calcularemos la Reactancia del mismo con la Fórmula :

$$Z_{\text{cable}} = ( Z_{\text{ohms KVA base}} / \text{KV}^2 \times 1000 ) L = Z \text{ en p/u.}$$

$$Z_{\text{cable}} = ( 9.43 \times 10^{-3} \times 100\ 000 / 0.22^2 \times 1\ 000 ) = 19.48 \text{ p/u.}$$

Para una longitud  $L = 50 \text{ m.}$

La  $Z$  del Cable para 500 MCM. se tomó igual a  $5.75 \times 10^{-3} \text{ Ohms/ 100 ft.}$

Como se consideraron dos conductores por fase la  $Z$  del cable será

$$Z_{\text{cable}} = 19.48 / 2 = 9.74 \text{ p/u.}$$

NOTA :

Los Resultados obtenidos en los 5 pasos anteriores pueden encontrarse rápidamente en el Nomograma correspondiente.

- 6.- Con los resultados obtenidos hasta aquí elaboramos el Diagrama de Reactancias como se indica en la fig. (b).  
Hagamos la reducción de las Reactancias del Sistema en ambos lados, -- con las correspondientes a los Transformadores y obtenemos el diagrama indicado finalmente en (d).
- 7.- Estamos ahora en condiciones de poder calcular el corto circuito tanto en A como en B y por lo tanto determinar la capacidad Interruptiva en dichos puntos.

CALCULO DEL CORTO CIRCUITO EN "A".-

$$Pcc_A = P_{/B} : X_F$$

$$X_{F/A} = ( 0.0100 // 0.0481 ) + 0.0149 \\ = 0.0141 + 0.0149 = 0.0290$$

$$X_{F/A} = 0.0290 \text{ p/u}$$

$$Pcc_A = 100 / 0.0290 = 3\,448.27 \text{ MVAcc.}$$

$$Icc_A = Pcc_A / 1.732 \text{ KV.}$$

$$= 3\,448.27 / 1,732 \times 34.5 = 57.77 \text{ KA.}$$

$$Icc_A = 57.77 \text{ KA.}$$

CALCULO DEL CORTO CIRCUITO EN "B".-

Finalmente del Diagrama de Reactancias de la Fig. (d), obtenemos la -- correspondiente al punto de falla (B).-

$$X_{F/B} = 0.0290 + 26.66 + 9.74 = 36.4290 \text{ p/u.}$$

$$X_{F/B} = 36.4290 \text{ p/u.}$$

$$Pcc_B = 100 / 36.4290 = 2.7451 \text{ MVA.cc.}$$

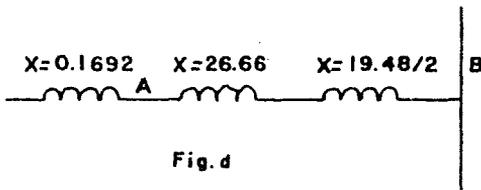
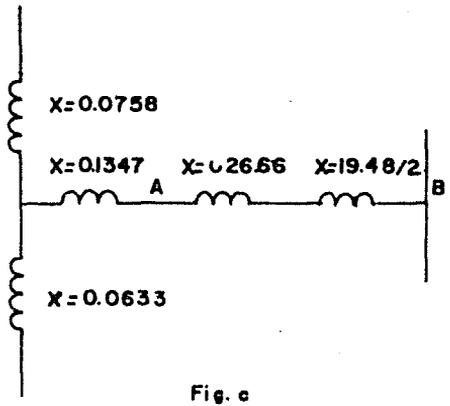
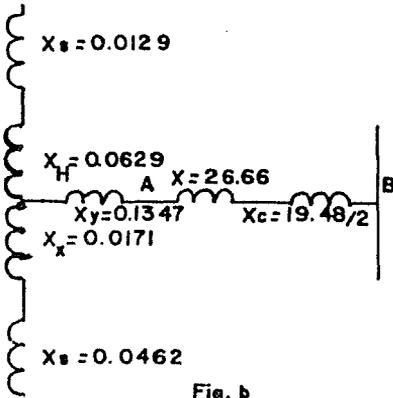
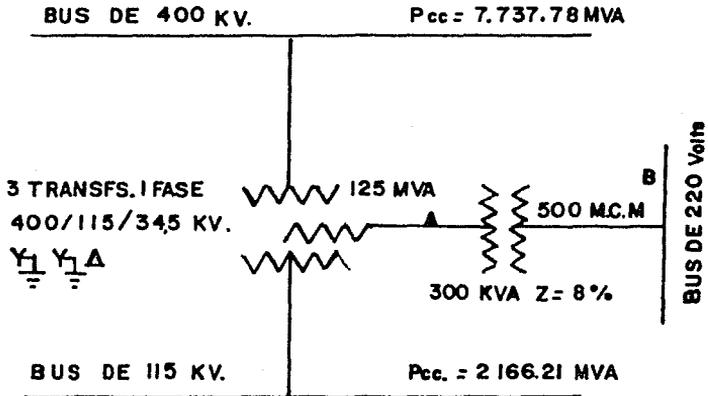
$$Icc_B = 2.7451 / 1.732 \times 0.22 = 7\,204 \text{ Amps.}$$

$$Icc_B = 7\,204 \text{ amps. ( Simetricos )}$$

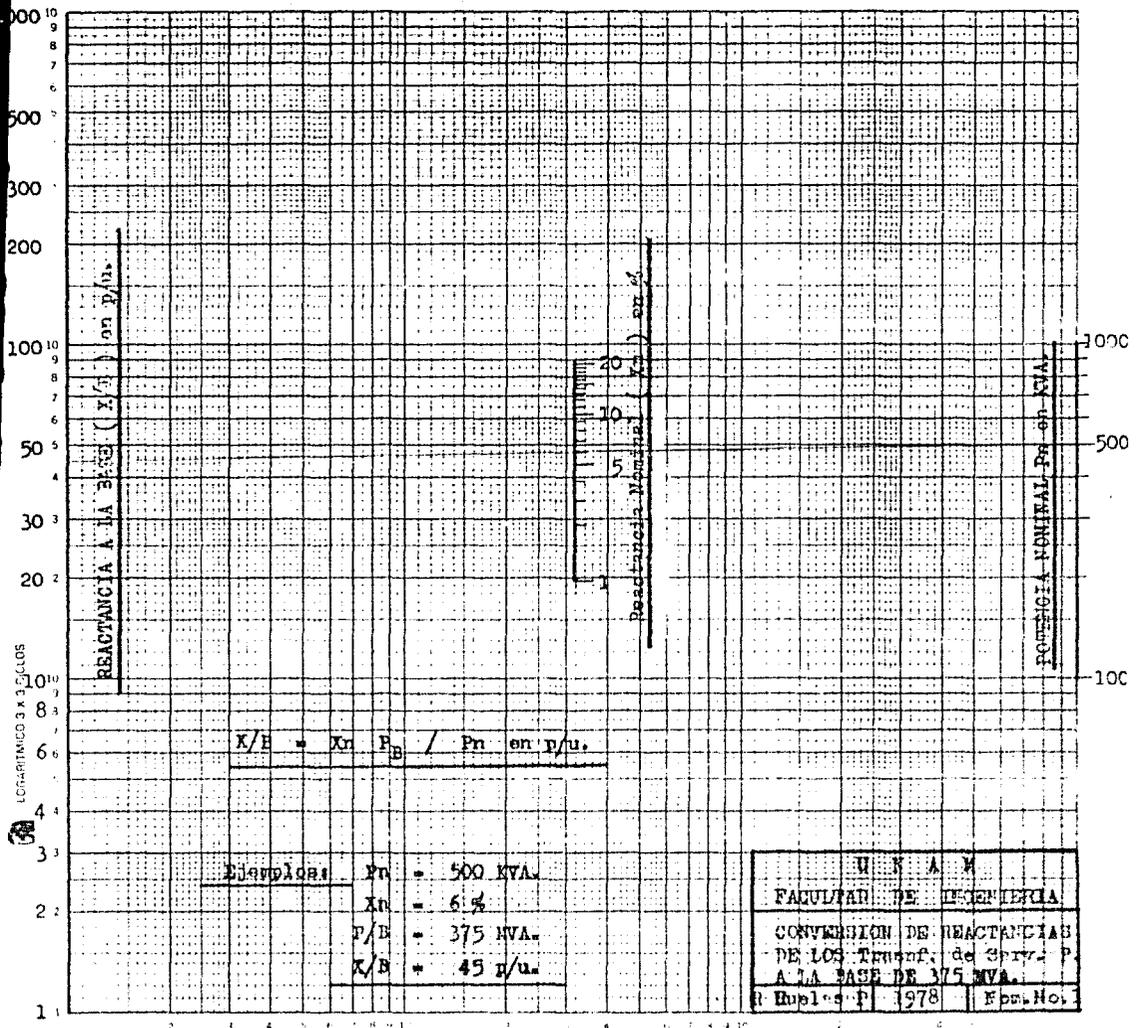
- 8.- Con los Datos del punto anterior, entraremos a los catálogos de Interruptores y seleccionaremos el adecuado de acuerdo con la Capacidad Interruptiva comercial.

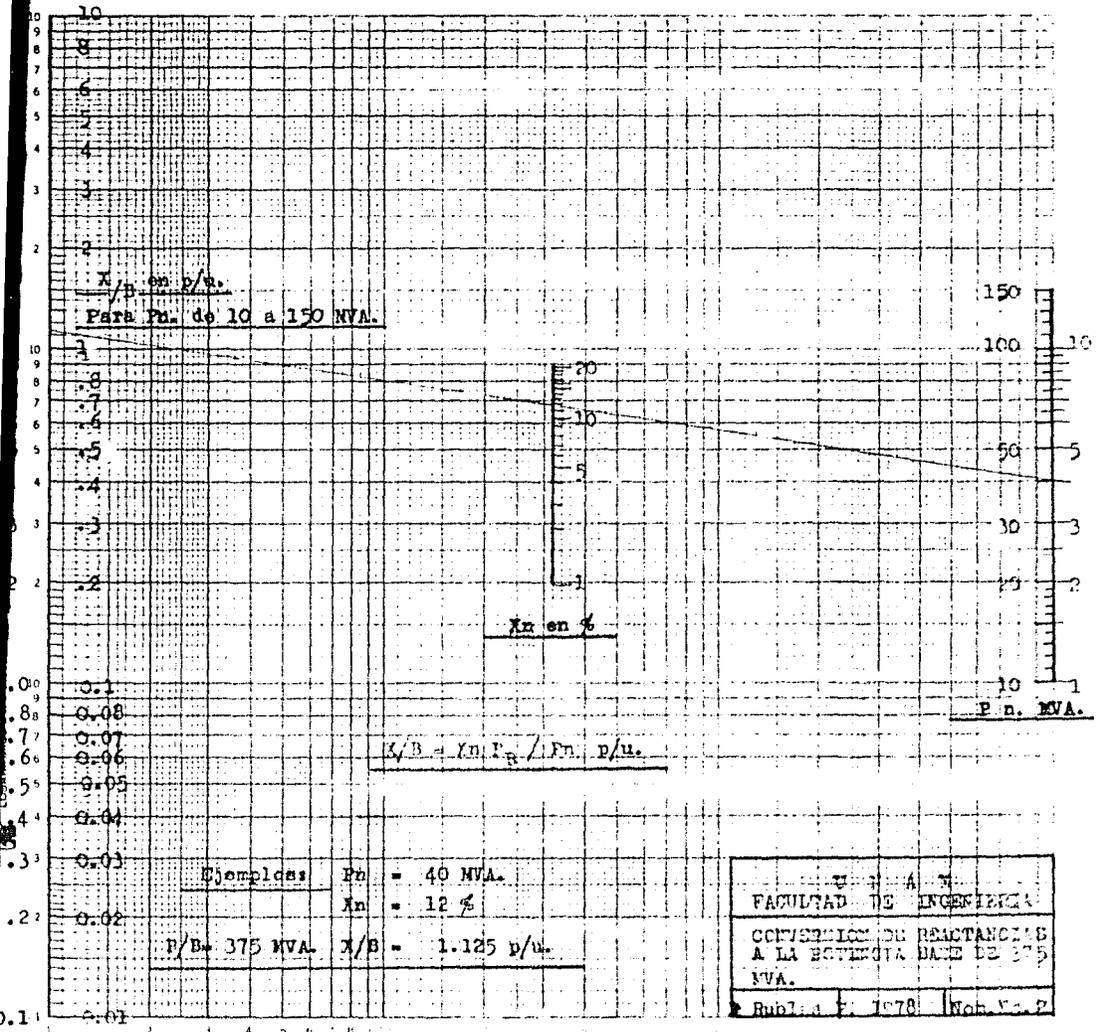
Los valores de la corriente de corto circuito pueden expresarse en Amps. Simétricos o Asimétricos.-

DIAGRAMA UNIFILAR S. E. COATZACOALCOS  
 CALCULO DEL CORTO CIRCUITO EN A y en B

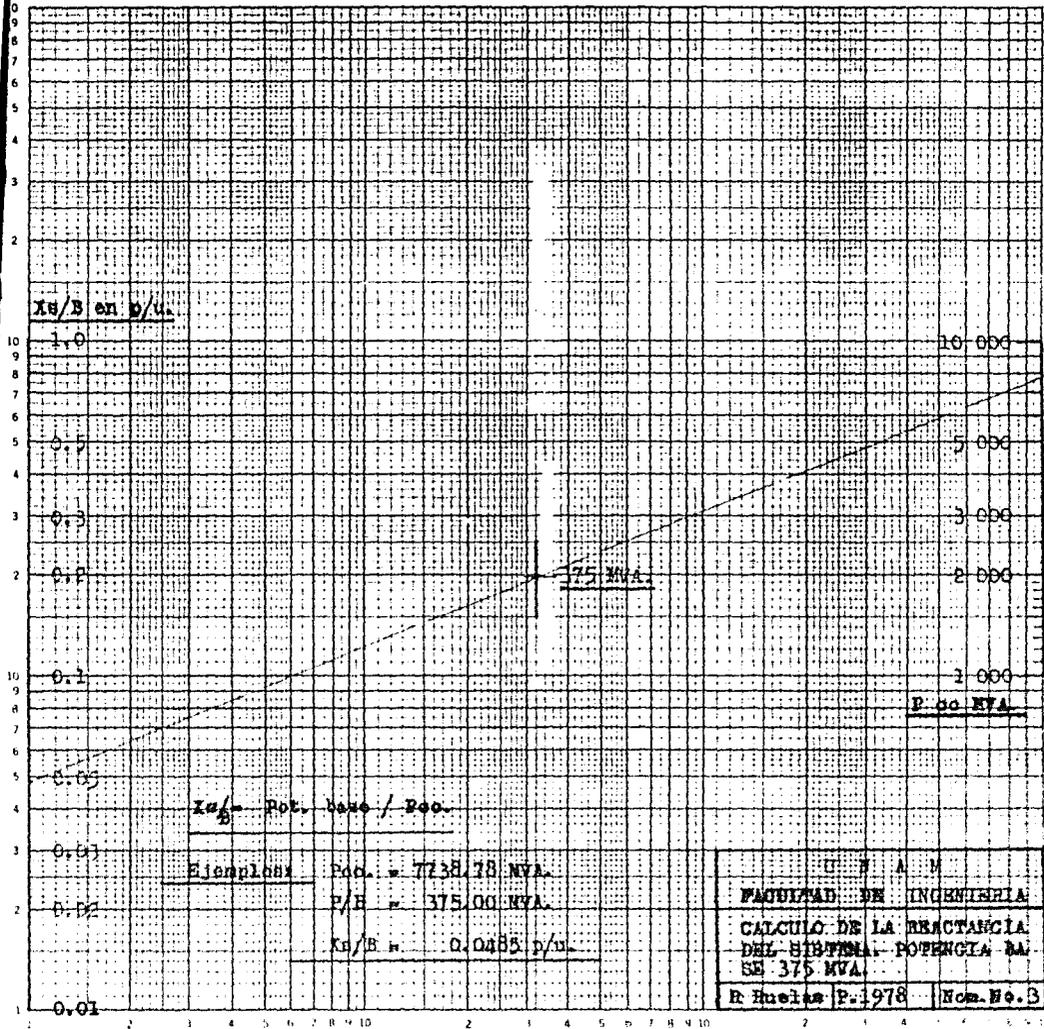


NOTA: REACTANCIAS EN p/u





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA  
 FACULTAD DE INGENIERIA  
 CONVERSION DE REACTANCIAS  
 A LA POTENCIA BASE DE 375  
 MVA.  
 Public. E. 1978. Nov. No. 2



$X_s/B$  en p/u.

1.0

10 000

0.5

5 000

0.3

3 000

0.2

2 000

0.1

1 000

P en MVA

0.05

$X_s/B$  Pot. base / Poc.

0.03

Ejemplo: Pot. = 7238.78 MVA.

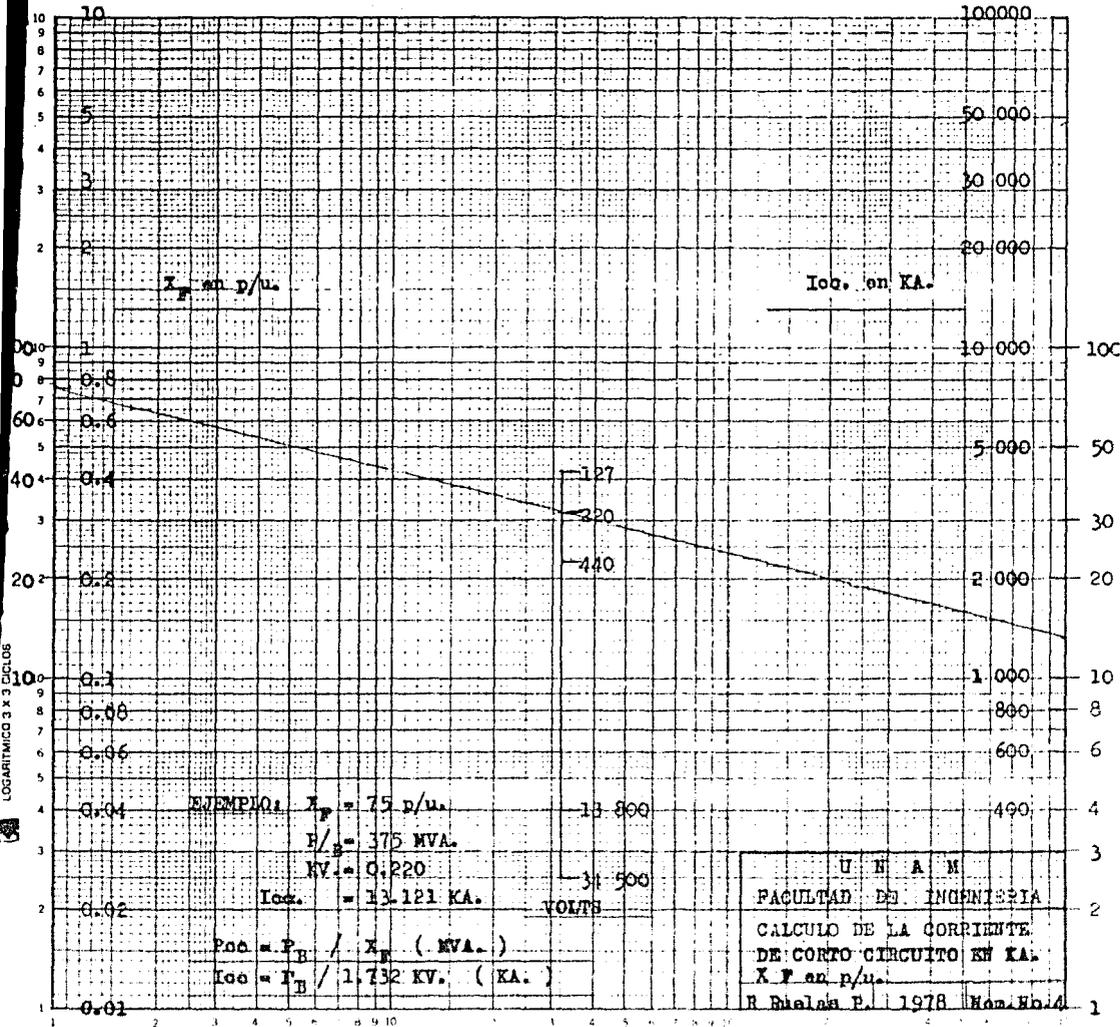
0.02

P/H = 375.00 MVA.

$X_s/B$  = 0.0485 p/u.

0.01

U T A M  
 FACULTAD DE INGENIERIA  
 CALCULO DE LA REACTANCIA  
 DEL SISTEMA POTENCIA BA  
 SE 375 MVA.  
 R. Huérfanos | P. 1978 | Nom. No. 3



NOMOGRAMAS PARA DETERMINAR LA CAPACIDAD INTERRUPTIVA EN LOS 115  
 TABLEROS DE SERVICIOS PROPIOS EN EL DEPTO DE PROYECTOS DE  
 SUBESTACIONES DE LA COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD

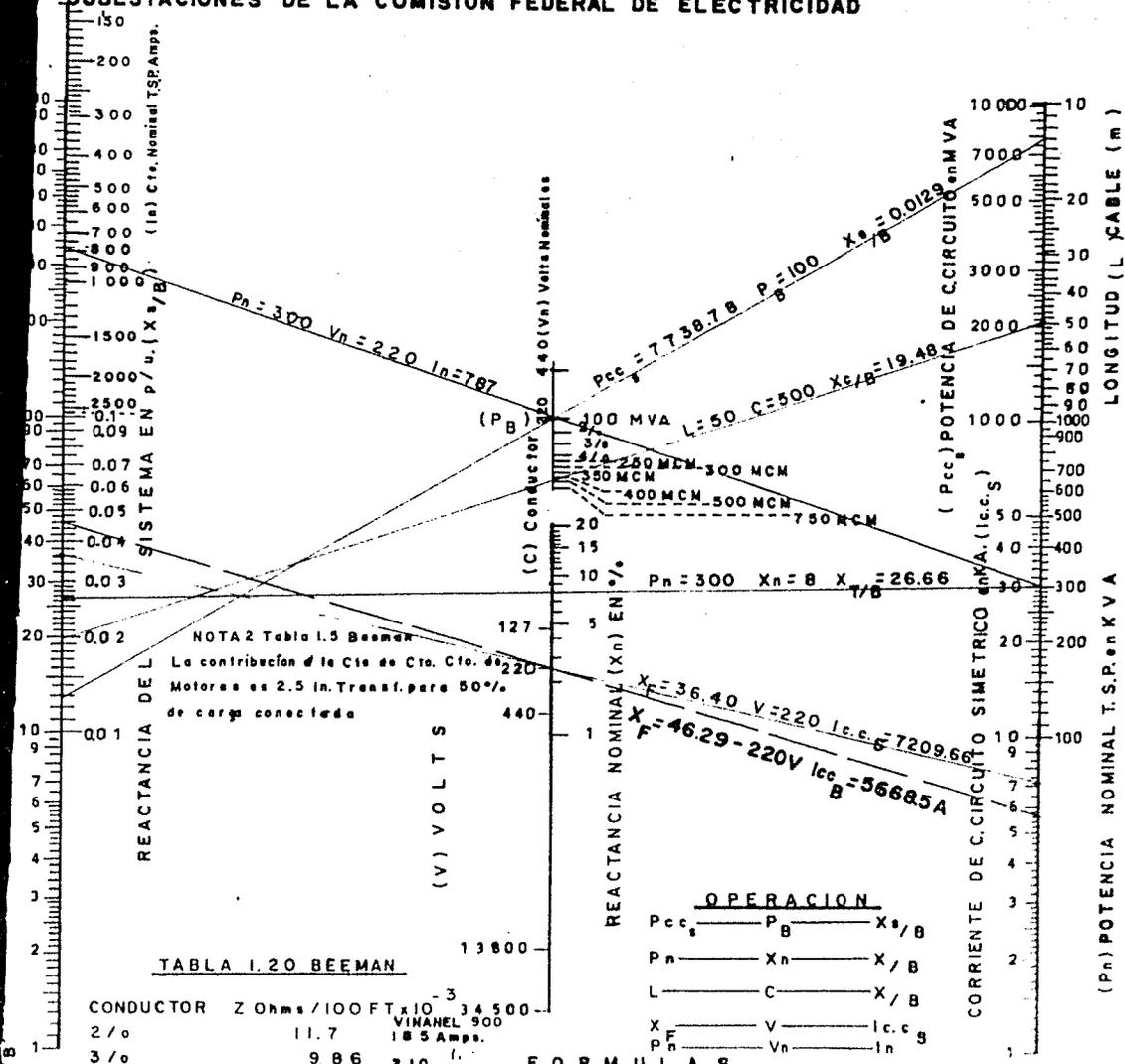


TABLA 1.20 BEEMAN

CONDUCTOR	Z Ohms / 100 FT x 10 <sup>-3</sup>	VINAHUEL 500	34 500
2/o	11.7	18 5 Amps.	
3/o	9.86	210 "	
4/o	8.50	235 "	
250 MCM	7.78	270 "	
300 MCM	7.04	300 "	
350 MCM	6.58	325 "	
400 MCM	6.25	360 "	
500 MCM	5.75	405 "	
750 MCM	5.20		

FORMULAS

$Xs/B = Pbase / Pcc \text{ p/u.}$   
 $X_{TSP/B} = Xn P_B / Pn \text{ p/u.}$   
 $Pcc = Pbase / X_F$   
 $Icc = Pcc / 1.732 \text{ KV. Imp. Simétrico}$

OPERACION  
 Pcc — P<sub>B</sub> — X<sub>s</sub>/B  
 P<sub>n</sub> — X<sub>n</sub> — X/B  
 L — C — X/B  
 X<sub>F</sub> — V — I.c.c.  
 P<sub>n</sub> — V<sub>n</sub> — I<sub>n</sub>

U N A M  
 FACULTAD DE INGENIERIA  
 CALCULO DE REACTANCIAS  
 POTENCIA BASE 100 MVA  
 Z<sub>p.u.</sub> CABLES a 220 Volts  
 RRUELAS P. 1978 No. 2 No. 5

# 100 y 375 MVA

$$Z_{p/u} = \left[ Z_{\text{Ohms KVA base}} / (KV)^2 \times 1000 \right] L (m.)$$

**TABLA 1.20 BEEMAN**

Calibre	Z Ohms. / 100 Ft.
2/e	0.0117
3/e	0.00986
4/e	0.00850
250 MCM	0.00778
300 MCM	0.00704
350 MCM	0.00658
400 MCM	0.00625
500 MCM	0.00575
750 MCM	0.00520

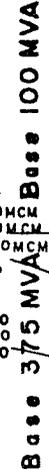
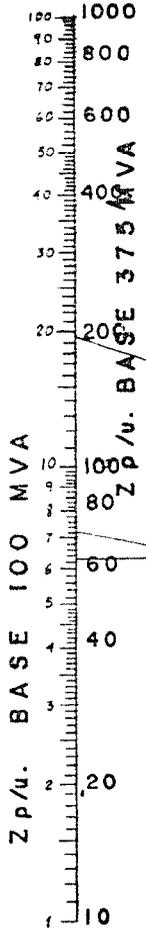
**EJEMPLO:**

L = 15m. Cable 400 MCM. P. base 100 MVA

Solución:  $Z_{p/u} = 6.35$

L = 50m. Cable 500 MCM P. base 100 MVA

Solución:  $Z_{p/u} = 19.48$



**EJEMPLO:**

L = 50m. CABLE 500 MCM P. base 375 MVA

SOLUCION.  $Z_{p/u} = 72.28$

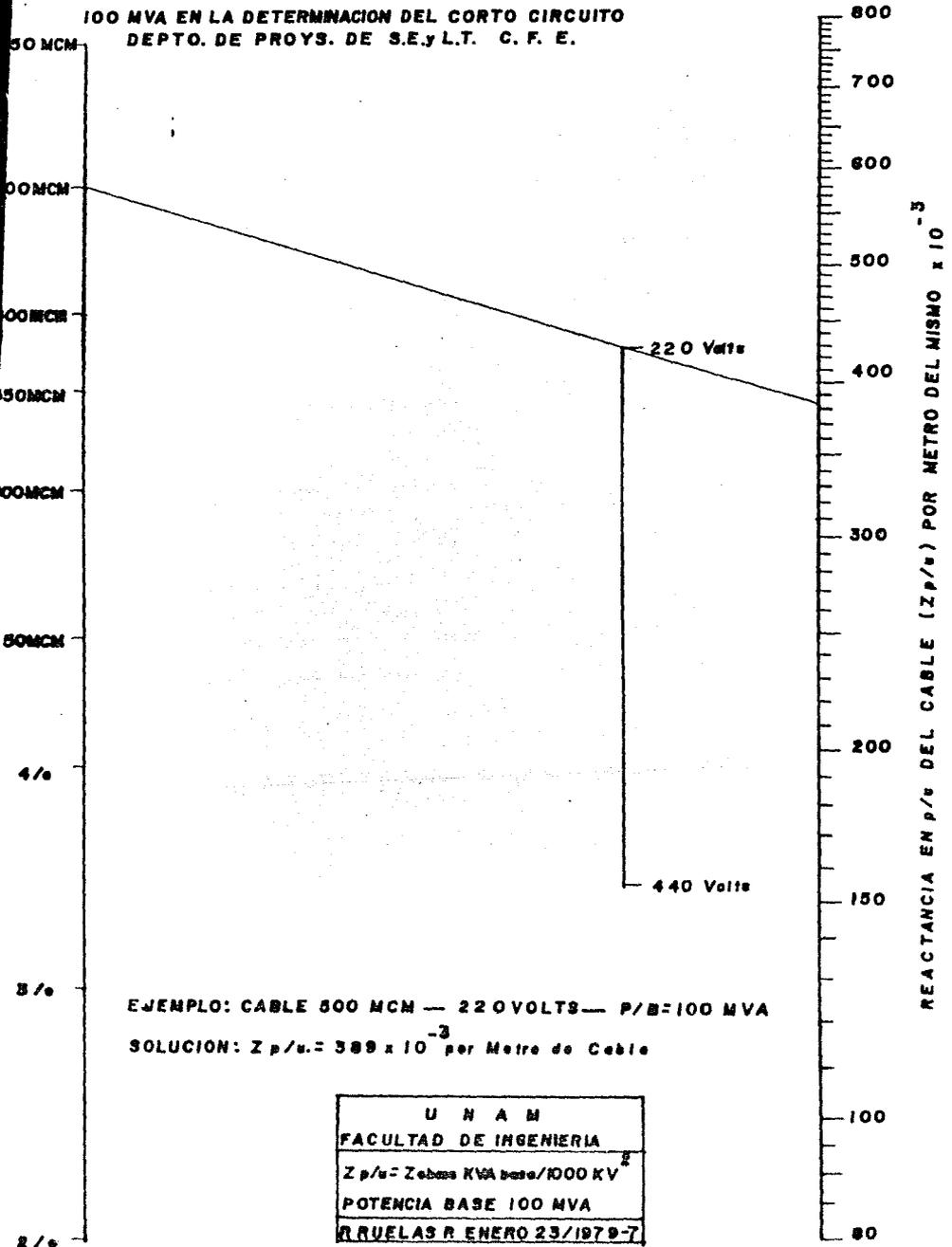
**COMPROBACION:**

$$Z_2 = Z_1 \text{ KVA}_2 / \text{KVA}_1$$

$$= 19.48 (375) / 100 = 73.05$$

**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**CALCULO DE  $Z_{p/u}$ .**  
**PARA CABLES 220 VOLTS**  
**R. Ruelas P. 1978 Nom. No. 6**

**NOMOGRAMA PARA CALCULAR LA REACTANCIA DE CABLES A LA POTENCIA BASE DE 117**  
**100 MVA EN LA DETERMINACION DEL CORTO CIRCUITO**  
**DEPTO. DE PROYS. DE S.E.y L.T. C. F. E.**

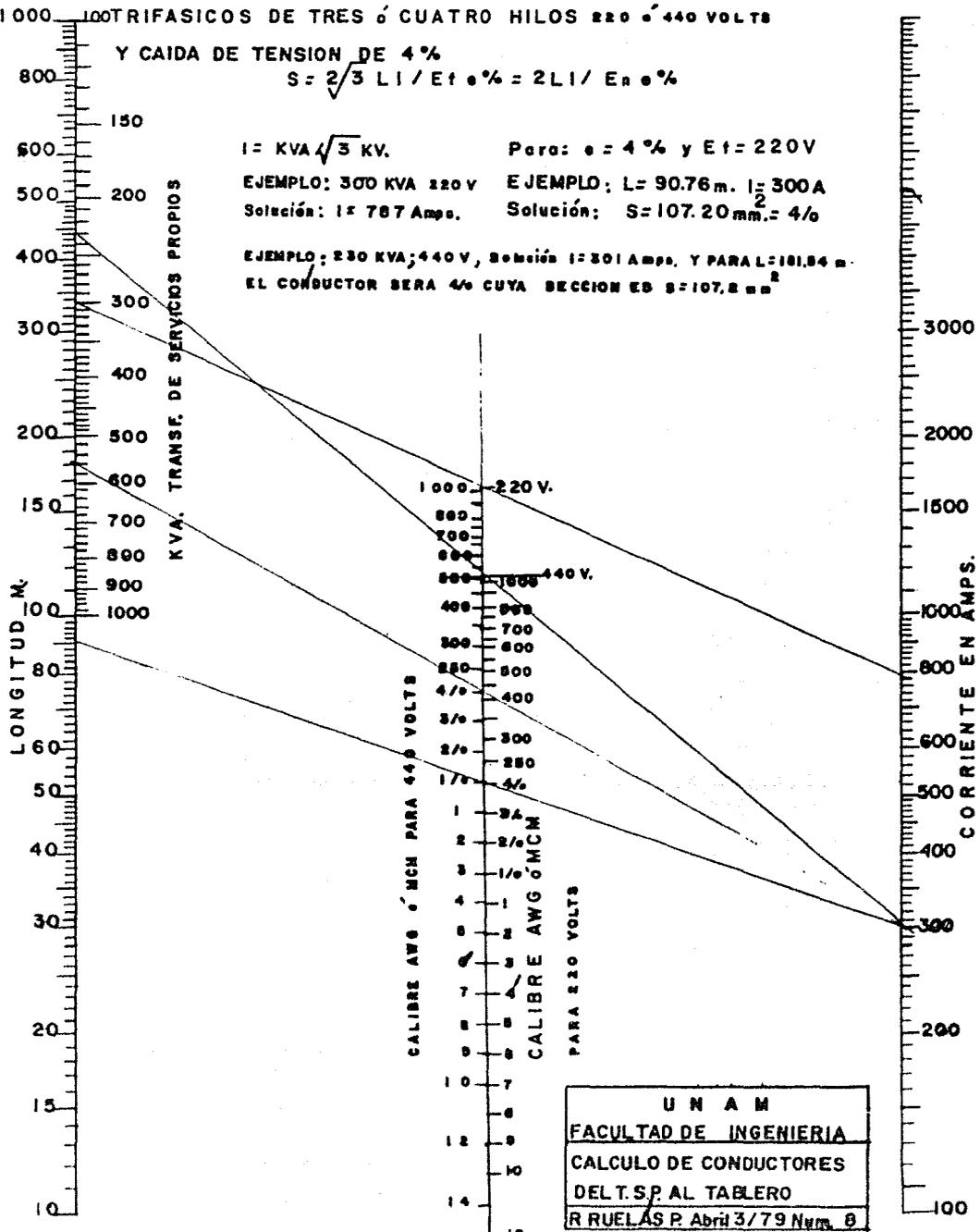


**EJEMPLO: CABLE 500 MCM — 220 VOLTS — P/B=100 MVA**

**SOLUCION:  $Z_{p/u} = 389 \times 10^{-3}$  per Metro de Cable**

U N A M
FACULTAD DE INGENIERIA
$Z_{p/u} = Z_{base} \text{ KVA base} / 1000 \text{ KV}^2$
POTENCIA BASE 100 MVA
R. RUELAS R. ENERO 23/1979-7

NOMOGRAMA PARA EL CALCULO DE CONDUCTORES EN CIRCUITOS



TRIFASICOS DE TRES ó CUATRO HILOS 220 ó 440 VOLTS

Y CAIDA DE TENSION DE 4%

$$S = \frac{2\sqrt{3} LI}{E_f e\%} = \frac{2LI}{E_r e\%}$$

$$I = \frac{KVA}{\sqrt{3} KV.}$$

Para:  $e = 4\%$  y  $E_f = 220V$

EJEMPLO: 300 KVA 220V

EJEMPLO:  $L = 90.76m.$   $I = 300A$

Solución:  $I = 787$  Amps.

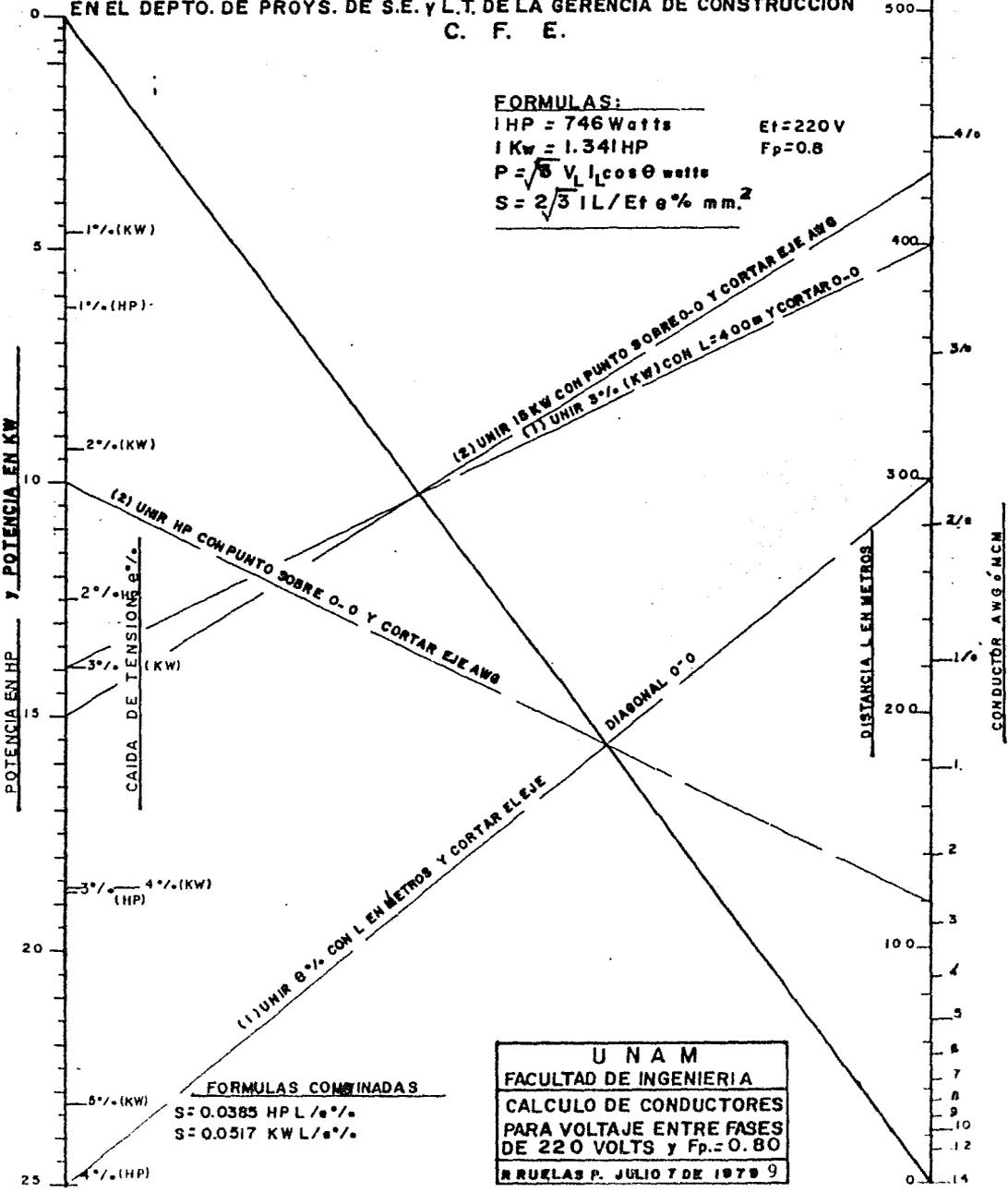
Solución:  $S = 107.20mm^2 = 4/0$

EJEMPLO: 230 KVA; 440V, Solución  $I = 301$  Amps. Y PARAL: 101.84 m.

EL CONDUCTOR SERA 4/0 CUYA SECCION ES  $S = 107.2 mm^2$

NOMOGRAMA PARA EL CALCULO DE CONDUCTORES EN CIRCUITOS DE POTENCIA EN EL DEPTO. DE PROYS. DE S.E. Y L.T. DE LA GERENCIA DE CONSTRUCCION C. F. E.

**FORMULAS:**  
 $1 \text{ HP} = 746 \text{ Watts}$   $E_f = 220 \text{ V}$   
 $1 \text{ KW} = 1.341 \text{ HP}$   $F_p = 0.8$   
 $P = \sqrt{3} V_L I_L \cos \theta \text{ watts}$   
 $S = 2\sqrt{3} I L / E_f e \% \text{ mm.}^2$



**FORMULAS COMBINADAS**  
 $S = 0.0385 \text{ HP L} / e \%$   
 $S = 0.0517 \text{ KW L} / e \%$

U N A M  
 FACULTAD DE INGENIERIA  
 CALCULO DE CONDUCTORES  
 PARA VOLTAJE ENTRE FASES  
 DE 220 VOLTS y  $F_p = 0.80$   
 RRUELAS P. JULIO 7 DE 1979

## 2.2 DISEÑO DE UNA RED DE TIERRAS

## NOMOGRAMAS PARA EL CALCULO DE SISTEMAS DE TIERRAS EN LAS SUBESTACIONES DE LA C.F.E.

- 1.- Nomograma " VICTOR OMAR ARCE MORALES " para el cálculo de la corriente de corto circuito empleada en el diseño de la Red de Tierras y dedicado a la memoria del amigo que contribuyó con un dibujo para la presente Tesis.-
- 2.- Nomograma para el cálculo de la Resistencia de la Red.
- 3.- Nomograma para determinar la Impedancia Equivalente de hilos de guarda torres.
- 4.- Nomograma para el cálculo del Potencial de Malla.
- 5.- Nomograma para el cálculo del Potencial de Malla
- 6.- Nomograma para el cálculo de la sección recta del conductor para una  $T_m$  (temperatura máxima permisible) de  $450^{\circ}\text{C}$ .
- 7.- Nomograma para el cálculo de la sección recta del conductor para una  $T_m$  de  $1083^{\circ}\text{C}$ .
- 8.- Nomograma para calcular el Número de Varillas en el diseño de la Red de Tierras.-

## SISTEMA DE TIERRAS EN SUBESTACIONES

### SU IMPORTANCIA Y CALCULO.

Desde el comienzo de la utilización de la energía eléctrica en gran escala, empezó a hacerse cada vez más patente la necesidad de proveer subestaciones a los sistemas eléctricos con el fin de transmitir y distribuir la energía eléctrica más eficientemente. Debido al costo relativamente grande de los equipos eléctricos de potencia y a la necesidad cada vez mayor de asegurar un efectivo y continuo servicio de energía, así como de suministrar la protección a operadores y usuarios contra accidentes de tipo eléctrico, se ha visto la necesidad de proveer sistemas de tierras eficientes en todas las instalaciones eléctricas y principalmente en las subestaciones.

Hasta hace poco tiempo, se venía empleando un método que daba primera importancia a la operación de sistemas de protección eléctrica, diseñando y calculando el sistema de tierras de tal modo que asegurara al máximo la operación de los sistemas de protección eléctrica en caso de alguna falla en la que intervinieran las corrientes de tierra. En el caso de las subestaciones, era típico el procedimiento de encontrar primero la corriente máxima de falla a tierra; conocido esto, calcular, ya fuera por medio de fórmulas empíricas o de tablas especiales, la resistencia máxima de conexión a tierra; y finalmente, con el conocimiento de las características del terreno donde fuera a localizarse la subestación, seleccionar el número y longitud de las varillas necesarias para llevar a cabo el sistema de tierras.

Sin embargo, debido al empleo cada vez más grande de altas tensiones en las subestaciones, el método anterior aseguraba la buena operación de los aparatos de protección pero sin poner mayor atención a la protección personal.

Era necesario, pues, tener en cuenta la peligrosidad de una falla a tierra para los usuarios y el personal de operación de la subestación; por lo que, haciendo investigaciones más profundas a este respecto, se ha

venido desarrollando el cálculo y diseño de sistemas de tierras que vamos a introducir.

Este cálculo puede resumirse en los siguientes pasos:-

- 1.- Investigación de las características del terreno.
- 2.- Determinación de la corriente máxima de falla a tierra.
- 3.- Diseño preliminar del sistema de tierras.
- 4.- Cálculo de la resistencia del sistema de tierras.
- 5.- Cálculo del máximo aumento de potencial en el piso dentro de la malla de conductores.
- 6.- Cálculo de las tensiones del piso en el exterior de la malla de tierras.
- 7.- Investigación de los potenciales de transferencia y puntos de mayor -- peligro.
- 8.- Corrección o refinamiento del diseño preliminar como resultado de los -- pasos 6 y 7.
- 9.- Construcción del sistema de tierras.
- 10.- Medición en el campo de la resistencia de conexión a tierra del siste-- ma, formado por malla de tierra y varillas.
- 11.- Revisión de los pasos 5, 6, 7 y 8, basándose en los datos tomados en -- en campo.
- 12.- Modificación del sistema de tierras y/o adición de mallas y varillas, según los resultados del inciso 11.

Analícemos ahora someramente los puntos anteriores.-

### 1.- INVESTIGACION DE LAS CARACTERISTICAS DEL TERRENO.

Es necesario medir en el propio campo, la resistividad del terreno. Esto deberá hacerse en el mismo lugar donde deberá colocarse la subestación y preferiblemente llevarse a cabo en tiempo seco, cuando la resistividad del terreno es más elevada a causa de su poca humedad.

### 2.- DETERMINACION DE LA CORRIENTE MAXIMA DE FALLA A TIERRA.

Esta corriente deberá calcularse en los casos más desfavorables, haciendo diagramas simplificados del circuito de la subestación y calculando las corrientes de falla a tierra en diferentes puntos, seleccionando después el punto en que se origine la mayor corriente de la falla a tierra. ( De aquí en adelante, llamaremos "MALLA" al sistema de tierra de la subestación, formado por conductores y varillas de tierra; y llamaremos " TIERRA " al punto en el cual el potencial se hace cero).

En este punto deberá calcularse el valor máximo eficaz de la corriente simétrica de la falla ( $I''$ ) que fluirá entre la malla y la tierra en el sistema de la iniciación de la misma, con la fórmula siguiente:

$$I'' = \frac{3E}{3R + 3R_f + (R_1 + R_2 + R_0) + j(X''_1 + X_2 + X_0)}$$

En la cual las literales representan los siguientes conceptos :

$I''$  = Valor simétrico eficaz de la corriente de falla a tierra en el instante de la iniciación de la falla, en amperes.

$E$  = Potencial de fase a neutro en volts.

$R$  = Resistencia estimada de la conexión a tierra de la malla -- en ohms.

$R_f$  = Resistencia mínima de la falla misma (supuesta), en ohms.

$R_1$  = Resistencia de secuencia positiva, ohms por fase.

$R_2$  = Resistencia de secuencia negativa, ohms por fase.

$R_0$  = Resistencia de secuencia cero, ohms por fase.

$X_1$  = Reactancia subtransitoria de secuencia positiva de eje directo, ohms por fase.

$X_2$  = Reactancia de secuencia negativa, ohms por fase.

$X_0$  = Reactancia de secuencia cero, ohms por fase.

La corriente así obtenida deberá corregirse multiplicándola por un factor llamado " FACTOR DECREMENTO " (D), cuyo valor puede verse en la tabla No. 1

La corriente resultante (I) estará entonces dada por la fórmula:

$$I = DI''$$

Al diseñar el sistema de tierras, deberán tomarse también en cuenta las previsiones futuras, que generalmente obligan a aumentar la capacidad del sistema de tierras.

### 3.- DISEÑO PRELIMINAR DEL SISTEMA DE TIERRAS.

Es aconsejable que la malla tenga un cable continuo que la circunde completamente, evitando en todo lo posible dejar puntas del cable sin conectar. Los cables en el interior de esta envolvente deberán colocarse paralelamente a una distancia conveniente y lo más constante posible.

El diseño preliminar deberá hacerse de tal modo que la longitud total de conductores enterrados, incluyendo varillas, sea mayor o igual a la dada por la fórmula :

$$L = \frac{K_m K_i e I \sqrt{t}}{165 + 0.25 e_s}$$

En la cual :

L = Longitud total del conductor enterrado, incluyendo las varillas, en metros.

$K_m$  = Coeficiente dado por la fórmula siguiente :-

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \ln \frac{D^2}{16hd} + \frac{1}{\pi} \ln \left[ \left( \frac{3}{4} \right) \left( \frac{5}{6} \right) \left( \frac{7}{8} \right) \dots \right]$$

- D = Separación entre los conductores de la malla, en metros.
- d = Diámetro de los conductores que forman la malla, en metros.
- h = Profundidad a la que está enterrada la malla, en metros.  
El número de factores encerrados entre paréntesis debe ser igual a  $(n-2)$ , siendo  $n$  el número de conductores paralelos en la malla básica, tomados en una sola dirección.
- $K_1$  = Factor de corrección por irregularidad, para tomar en cuenta la distribución irregular del flujo de corrientes a tierra. (Varía de 1.2 a 2 o más, dependiendo de geometría de la malla. Puede encontrarse su valor con la fórmula empírica :  $K_1 = 0.65 + 0.172n$ . Puede, también, usarse el método que se indica más adelante.
- $\rho$  = Resistividad promedio del terreno en ohms por metro.
- I = Corriente eficaz que fluirá de la malla en conjunto hacia la tierra ( ya calculada anteriormente ).
- t = Duración máxima de la descarga en segundos.
- $\rho_s$  = Resistividad del terreno en la superficie (el tipo de terreno que tocan los pies de algún operador).

La separación típica entre conductores de la malla es de 3m en un sentido y de 6 m. en el otro; colocados a una profundidad de 0.30 a 0.50 m.; la malla deberá extenderse en toda el área que ocupa la subestación y algunas veces algo más.

El calibre de los conductores puede hallarse aplicando la fórmula siguiente :

$$A = \frac{I}{\sqrt{\log \frac{T_m - T_a}{\frac{234 + T_a}{335}}}}$$

En la cual :-

- A - Area de la sección recta del conductor, en C. M.
- I - Corriente máxima en amp. ( Ya calculada anteriormente )
- T<sub>m</sub> - Temperatura máxima permisible de los conductores de la malla en grados centígrados. (Para uniones soldadas es de 450°C y para uniones atornilladas es de 250°C).
- T<sub>a</sub> - Temperatura ambiente máxima.
- S - Tiempo durante el cual se aplica la corriente I, en -- segs.

En la actualidad, puede considerarse como normal un -- tiempo de 4 segs., que cubre con amplitud el tiempo má ximo total en el que una protección moderna puede ope-- rar.

Es aconsejable colocar, en las máquinas importantes como - - - - transformadores, generadores, etc., más de una trayectoria de conexión - a la malla y conectarse a ella en puntos diferentes.

Cuando adquiere importancia la cantidad de materiales férreos - o conductores, enterrados en las cercanías de la malla, o cuando existan problemas de corrosión por algún otro motivo, es conveniente estañar los conductores y varillas que forman la malla.

Para no dar lugar a fallas mecánicas de los conductores, es -- conveniente limitar el calibre del conductor de la malla a un mínimo -- de 2/0 AWG, debiendo tomarse esto en cuenta para las salidas o interco-- nexiones entre la malla y los aparatos.

Para poder aplicar la fórmula que nos da la longitud mínima del conductor, debemos determinar los coeficientes  $K_m$  y  $K_1$ . Estos coefi- - cientes se pueden determinar con bastante aproximación, de la siguiente ma-- nera:-

Si la malla es uniformemente espaciada, puede hacerse la determinación empírica, aplicando las fórmulas vistas anteriormente.

Si la malla no está uniformemente espaciada, puede encontrarse el producto  $K_m \times K_i$ , para formas geométricas que se aproximen a las mostradas en la figura No. 1. Deberá seleccionarse la figura que más se aproxime a la malla real que se está diseñando y se tomará en cuenta el valor máximo de  $(K_m \times K_i)$  que se muestra en esos diagramas y que representan, por tanto, el caso más desfavorable.

De los diagramas de la figura 1, se puede observar que los valores de  $(K_m \times K_i)$  más desfavorables se encuentran en las esquinas y en las salientes de las mallas, por lo que hay que poner mayor atención a estas zonas. Es recomendable emplear conductores para cerrar las células de las esquinas de las mallas, y con ello disminuir el valor de  $(K_m \times K_i)$ , como se muestra en la figura No. 2

Con los datos ya encontrados, se procede al diseño básico de la malla, tomando en cuenta la topografía del terreno y la localización de todos y cada uno de los aparatos y estructuras metálicas que han de conectarse a tierra.

#### 4.- CALCULO DE LA RESISTENCIA DEL SISTEMA DE TIERRAS.

Una vez diseñada la malla de tierras, se necesita calcular la resistencia de conexión a tierra de la malla en el caso de que la malla esté solamente colocada en la superficie del terreno, aún incluyendo las varillas, como es el caso de las subestaciones, se puede considerar con mucha aproximación toda la malla equivalente a una superficie conductora circular, con una área igual al área cubierta por la malla.

Deberá encontrarse el radio de un círculo cuya superficie sea igual a la superficie total encerrada por la malla, con la siguiente fórmula :-

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}}$$

r - Radio de la lámina conductora circular equivalente ( m. )

A - Area total encerrada en la malla ( m<sup>2</sup> )

Después se encuentra la resistencia de conexión a tierra de la lámina conductora circular equivalente, con la siguiente fórmula :

$$R = \frac{\rho}{4r} + \frac{\rho}{L}$$

En la cual.-

R - Resistencia aproximada de conexión a tierra de la lámina circular equivalente en ohms.

- Resistividad del terreno, en ohms x metro

r - Radio del círculo con área igual a la de la malla diseñada, en metros.

L - Longitud total del conductor enterrado, incluyendo la longitud total de las varillas, en metros.

#### 5.- CALCULO DEL MAXIMO AUMENTO DE POTENCIAL EN EL PISO DENTRO DE LA MALLA DE CONDUCTORES.

El aumento máximo de potencial en el piso dentro de la malla, es el mismo que el de la propia malla, y éste se calcula aplicando simplemente la Ley de Ohm :  $E = R I$

E - Potencial máximo al que llega la malla respecto a tierra - en volts.

R - Resistencia aproximada de la malla a tierra ( calculada en el punto 4 ) en ohms.

I - Máxima corriente de falla ( valor eficaz ) que circulará de la malla a tierra, en amperes.

Si el potencial encontrado en esta forma no excede de la tensión máxima  $E_D$  que puede soportar una persona sin sufrir daño alguno, el diseño de la malla está correcto y no se necesitarán hacer cálculos posteriores, - excepto comprobar en el campo la resistividad real de conexión de la malla a tierra, habiéndolo instalado completamente la misma.

La tensión máxima  $E_D$  se puede calcular con la fórmula siguiente :

$$E_D = \frac{165 + 0.25 e_s}{t}$$

En la cual :

$E_D$  - Tensión máxima a la que una persona puede recibir una descarga sin sufrir daño alguno.

$e_s$  - Resistividad del terreno que está en contacto directo con los pies de la persona.

$t$  - Máxima duración de la descarga, en segundos.

Un valor típico de la tensión  $E_D$ , en condiciones normales, es de 150 volts eficaces.

Como en la gran mayoría de los casos que se presentan en la práctica, la tensión de la malla sobrepasa ampliamente a la tensión calculada -  $E_D$ , deberá investigarse lo que se indica en los puntos siguientes :

#### 6.- CALCULO DE LAS TENSIONES DEL PISO EN EL EXTERIOR DE LA MALLA DE TIERRAS.-

El cálculo de esta tensión se lleva a cabo aplicando la siguiente ecuación :

$$E_s = K_s K_i \frac{I}{L}$$

En la que :

$E_s$  - Tensión que se presenta entre los pies de una persona al dar un paso largo, cuando está circulando la corriente máxima de la malla hacia la tierra.

$K_s$  - Coeficiente que toma en cuenta las características del conductor como diámetro, separación, etc., ( $n$ ,  $D$ ,  $h$  y  $d$ , que ya se definieron anteriormente, ver fig. No. 3). Este coeficiente puede encontrarse con la siguiente fórmula :

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left( \frac{1}{2h} + \frac{1}{2D} + \frac{1}{3D} + \frac{1}{4D} + \dots \right)$$

El número de términos dentro del paréntesis debe ser igual a " $n$ ".

Las letras  $n$ ,  $K_i$ ,  $P$ ,  $I$  y  $L$ , ya se definieron anteriormente.

El valor encontrado para  $E_s$ , no debe ser mayor que el que se encuentra de aplicar la fórmula siguiente :

$$E_s = \frac{165 + e_s}{t}$$

En la que los valores son los siguientes :

- s - Resistividad del terreno que se encuentra inmediatamente bajo los pies, en ohms x metro.
- t - Tiempo máximo de duración de la descarga, en segundos.

La constante  $K_i$  para la zona anterior inmediata a la malla, - - tiene el mismo valor que se indica como máximo en los arreglos típicos -- vistos en la figura No. 1. Este valor máximo es el que se encuentra en - las esquinas.

Para evitar problemas con las descargas accidentales que pudie-- ran sufrir algunas personas debido a las tensiones originadas en las cer-- cas de alambrado por alguna falla, es recomendable ampliar la malla del - sistema de tierras 1.50 m. como mínimo, de modo que en todos los puntos - la cerca quede en el interior de la malla y así se pueda obligar, sin - - peligro, a que la tensión de la cerca o alambrado sea la misma que - la de la malla, conectándola a ésta. Si la cerca o alambrado se coloca fuera de la zona protegida por la malla, en ningún caso deberá unirse - - eléctricamente la cerca con la malla principal; cuando más, deberán in-- troducirse varillas en el terreno, aisladas de la malla principal y conec-- tadas a la cerca, de tal modo que se forme un sistema de tierras diferen-- te y exclusivo para la cerca.

Si el valor obtenido para  $E_s$  supera al obtenido con la últi-- ma ecuación, deberá rediseñarse la malla, aumentando la longitud efecti-- va de los conductores, de tal modo que esta tensión  $E_s$  se reduzca hasta el valor máximo aceptable, encontrado con la última ecuación.

#### 7.- INVESTIGACION DE LOS POTENCIALES DE TRANSFERENCIA Y PUN-- TOS DE MAYOR PELIGRO.

Los potenciales de transferencia son aquellos que se originan

en algún punto que tiene que ser tocado, ya sea en forma ocasional o repetida, por alguna persona u operador, y que al ser tocado por ésta, produzca una descarga a través de su cuerpo al piso o a cualquier otro conductor conectado al sistema de tierras. Deberán investigarse en cada caso los puntos de mayor potencial de transferencia y evitar que lleguen a sobrepasar los valores máximos admisibles.

Deberá ponerse especial atención a todas aquellas líneas auxiliares que se proyecten fuera de la subestación y que puedan tener contacto con personas alejadas de la subestación; entre estas líneas se encuentran las líneas telefónicas, las líneas de alimentación a campamentos, los rieles de ferrocarril, las tuberías de conducción de agua, edificios cercanos con estructuras de acero, etc.

Habrá que prestar también mucha atención a los hilos de guarda de las líneas de transmisión de alta tensión. Estos se conectan generalmente a la malla de tierras de la subestación y a todas las torres a lo largo de la línea; deberá colocarse una malla de tierras individual debajo de cada torre, con el fin de evitar accidentes a las personas que ocasionalmente estén en contacto con alguna torre en el momento que se produzca la falla. En algunos casos será suficiente colocar una varilla en el lugar más cerca de cada punto de anclaje de la torre; en otros será necesario hacer una malla individual para cada torre y en los puntos extremos, generalmente las primeras torres que parten de una subestación, donde el gradiente de potencial de la tierra será más grande en el caso de una falla, deberá colocarse una cerca para evitar el acceso de personas a la base de las torres.

#### 8.- CORRECCION O REFINAMIENTO DEL DISEÑO PRELIMINAR COMO RESULTADO DE LOS PASOS 6 Y 7.-

Si con el estudio de los incisos 6 y 7 aparecen puntos peligrosos, deberá reacomodarse la malla de tal modo que se elimine ese peligro

llevando la tensión originada por una falla por debajo del límite máximo permisible. Esto puede lograrse aumentando la longitud del conductor enterrado, colocando varillas de tierra, pasando un conductor o aún una malla, por debajo del punto o puntos críticos.

En los casos de líneas telefónicas o de otro tipo que se proyectan fuera de la subestación, podrá eliminarse el peligro utilizando transformadores de aislamiento para la tensión adecuada, colocando fusibles en dicha línea y un sistema de protección adecuado en el extremo lejano, o alguna otra solución que se adapte mejor al caso particular.

#### 9.- CONSTRUCCION DEL SISTEMA DE TIERRAS.

Después del diseño y refinamiento descritos, puede procederse a la construcción del sistema de tierras en el campo, de acuerdo con las técnicas usuales, procurando que el cable no sea dañado, raspado, etc., limpiándolo bien en los lugares donde deban colocarse conectores, ya sean soldados o atornillados, para asegurar la máxima conductividad en todas las uniones.

#### 10.- MEDICION EN EL CAMPO DE LA RESISTENCIA DE CONEXION A TIERRA DEL SISTEMA DE TIERRAS, FORMADO POR MALLA DE TIERRA Y VARILLAS.

Una vez construída la malla completa, deberá procederse a medir la resistencia eléctrica que presenta al paso de las corrientes a tierra. Esta medición deberá hacerse en el campo, preferiblemente en tiempo seco y procurando que se presenten, intencionalmente, las condiciones más adversas para el funcionamiento del sistema. La medición se hará usando los aparatos convencionales.

#### 11.- REVISION DE LOS PASOS 5, 6, 7 Y 8, BASANDOSE EN LOS DATOS TOMADOS EN EL CAMPO.

Conocida la resistencia verdadera entre la malla y la tierra, deberá calcularse el nuevo máximo aumento de potencial de la malla respecto a tierra ( paso No. 5 ). Si la tensión calculada  $E$  no sobrepasa a la tensión máxima permitida  $E_D$ , el problema termina aquí; pero si la tensión  $E$  es mayor de que  $E_D$ , deberá proseguirse con los pasos 6, 7 y 8, como ya se ha indicado.

12.- MODIFICACION DEL SISTEMA DE TIERRAS Y/O ADICION DE MALLA Y VARILLAS, SEGUN LOS RESULTADOS DEL INCISO 11.

Deberá llevarse a cabo en el campo el aumento de la longitud de los conductores enterrados, ya sea aumentando efectivamente el conductor de la malla o colocando mayor número de varillas de tierra.

El efecto de las varillas de tierra en un terreno homogéneo es solamente aumentar la longitud efectiva del conductor de la malla y para na interviene la profundidad a la que se coloquen éstas. Sin embargo, - en la mayoría de los terrenos se encuentra que a los dos o tres metros - de profundidad, la humedad del terreno es mucho mayor, con lo que la resistividad se reduce; en estos casos es muy conveniente enterrar varillas hasta esa profundidad, con lo que se consigue aumentar la profundidad efectiva de la malla y aumentar, con ella, la seguridad del sistema de tierras.

B I B L I O G R A F I A

---

GUIDE FOR SAFETY IN ALTERNATING-CURRENT SUBSTATION GROUNDING.

Publicación del A. I. E.E. número 80, marzo 1961.-

ELECTRICAL ELEMENTS OF POWER TRANSMISSION LINES. H.B. DWIGHT

NEUTRAL GROUNDING IN HIGH VOLTAGE TRANSMISSION.

R. WILLHEIN and M. WATERS.

## 5.- Ejemplos de cálculo de la red de tierras.

Como ilustración de los cálculos antes descritos, se dan como ejemplos los pasos seguidos en el diseño de la red de tierras de la S.E. Santa Cruz de 400/230 KV.

### 5.1.- Cálculo clásico :

Se toma como área básica, la ocupada unicamente por el equipo, con la cual se diseña la red de tierras.

#### a).- Diseño preliminar

El área cubierta por la red de tierras es de 510 m. de largo por 240 m. de ancho.

Los conductores transversales (los de menor longitud) estarán espaciados cada 50 m. Los conductores paralelos (los de mayor longitud) estarán espaciados cada 40 m.

Superficie  $F = 240 \times 510 = 122,400 \text{ m}^2.$

Radio equivalente de la superficie total.

$$r_s = \sqrt{122,400/3.1416} = 197 \text{ m.}$$

Longitud del cable :

Resultan 11 conductores transversales y 7 conductores paralelos, y 7 conductores paralelos.

$$11 \text{ cond. de } 240 \text{ m.} = 2640 \text{ m}$$

$$7 \text{ cond. de } 510 \text{ m.} = \underline{3570} \text{ m}$$

$$L = 6210 \text{ m}$$

Tiempo de duración de la falla :

Se toma como tiempo de apertura de los interruptores 3 ciclos y -- un tiempo total de duración de la falla entre 0.1 y 0.2 segs.  $t=0.1 \text{ seg.}$

Corriente de circuito corto a tierra.

La potencia de circuito-corto calculada hasta 1980 es de :

$$MVA_{CC} = 7500 \text{ MVA} \quad (\text{Trifásica y a tierra})$$

y el voltaje crítico en la S.E.  $V = 230 \text{ KV.}$

$$I_{CC} = 18,900 \text{ Amperes,}$$

que es la corriente máxima de circuito-corto que se tiene en la S.E.

Factores :

Utilizando como factor de decremento D para  $t = 0.1 \text{ seg.}$  (según tabla 1)  $D = 1.25$

Factor crecimiento del sistema  $= 1.50$

La corriente de circuito-corto para el diseño de la red es :

$$I'' = D \times f \times I_{CC} = 1.25 \times 1.50 \times 18900 = 35,400 \text{ Amp.}$$

Áreas de los conductores:-

Área del conductor para duración de la falla de 0.5 seg. con uniones con abrazadera  $= 8.5 \text{ CM/Amp.}$

Área del conductor  $= 8.5 \times 35,400 = 300,000 \text{ circ. mils.}$  Para los conductores de conexión al equipo se utiliza un calibre de 300,000 CM.

Para los conductores de la malla, haciendo las conexiones en los nodos; se utiliza cable de Cu desnudo (211,600 CM) o # 4/0 AWG.

Diámetro del cable de 4/0 AWG.  $d = 13.4 \text{ mm.}$

Resistencia de la Red :

Resistividad del terreno medido  $\rho_s = 35 \Omega - \text{m.}$

Si se coloca roca triturada en la superficie,  $\rho_s = 3000 \text{ ohms} - \text{m.}$

Se supone inicialmente una longitud de la red de  $L = 30\,000 \text{ m.}$

$$R = \frac{\rho_s}{4 r_s} + \frac{\rho_s}{L} = \frac{35}{4 \times 197} + \frac{35}{30,000} = 0.0444 + 0.0012$$

$$R = 0.0456 \text{ Ohms.}$$

Efecto de los hilos de guarda:-

El número de los hilos de guarda que llegan a la subestación son 10, pero conservadoramente se toman 8.

Si el hilo de guarda es de acero de 3/8", su resistencia es :

$$Z_1 = 1.8 \text{ ohms/Km.}$$

Resistencia equivalente de los hilos de guarda:-

$$\text{Base de las torres} = 8 \times 8 = 64 \text{ m}^2$$

$$\text{radio equivalente : } B = \sqrt{64/3.1416} = 4.51 \text{ m.}$$

Resistencia aproximada de la torre:-

$$\text{Resistencia de la torre : } R_{\text{torre}} = \frac{\rho}{2\pi B} = \frac{35(\text{medida})}{6.28 \times 4.51} \approx 1.22 \text{ ohms.}$$

Habiendo 3 torres/Km.

$$R_2 = \frac{1.22}{3} = 0.41 \Omega$$

La impedancia equivalente ( hilos de guarda-torres )

$$Z = \sqrt{Z_1^2 + R_2^2} = \sqrt{1.8^2 + 0.41^2} = 0.86 \text{ ohms.}$$

8 hilos de guarda representan:

$$Z = \frac{0.86}{8} = 0.11 \text{ ohms.}$$

Porción de corriente que circulará por la red de tierras :

$$\frac{0.11}{0.11 + 0.0456} = 0.707 = 70.7 \% \text{ de } I''$$

Luego :

$$I_{\text{red}} = 0.707 \times 35400 = 25,000 \text{ Amps.}$$

Elevación de tensión de la red :

$$E = 25000 \times 0.0342 = 860 \text{ Volts.}$$

b).- Cálculo del potencial de malla de la red.

Con el diseño original, usando 11 conductores transversales, espaciamento  $D = 50 \text{ m.}$  y profundidad de enterramiento  $h = 0.50 \text{ m.}$  y

( profundidad de enterramiento ) resulta una longitud  $L = 6,210 \text{ m.}$

Potencial de malla :

$$E_{\text{malla}} = K_m K_i e \frac{I}{L}$$

$$\text{donde } K_m = \frac{1}{2\pi} \ln \frac{(50)^2}{16 \times 0.50 \times 0.0134} + \frac{1}{\pi} \ln 0.371$$

$$K_m = 1.28$$

Con un factor de  $K_i = 2.00$

$$E_{\text{malla}} = 1.28 \times 2.00 \times 35 \times \frac{27000}{6211} = 390 \text{ Volts.}$$

c).- Potenciales tolerables al cuerpo humano.

$$E_{\text{paso tierra}} = \frac{165 + 35}{\sqrt{0.1}} = \frac{200}{\sqrt{0.1}} = 630 \text{ Volts}$$

$$E_{\text{paso c/roca}} = \frac{165 + 3000}{\sqrt{0.1}} = \frac{3165}{\sqrt{0.1}} = 10,000 \text{ Volts}$$

$$E_{\text{contacto c/tierra}} = \frac{165 + (0.25 \times 35)}{\sqrt{0.1}} = \frac{173.75}{\sqrt{0.1}} = 550 \text{ Volts.}$$

$$E_{\text{contacto c/roca}} = \frac{165 + 0.25 \times 3000}{\sqrt{0.1}} = \frac{915}{(0.1)^{1/2}} = 2900 \text{ Volts.}$$

d).- Cálculo de la longitud del cable necesario para tener seguridad dentro de la subestación.

A partir de la ecuación ( 17 )

$$L = \frac{K_m K_i e I \sqrt{t}}{165 + 0.25 e_s}$$

Utilizando roca en la superficie :

$$L_{\text{c/roca}} = \frac{1.28 \times 2.0 \times 35 \times 27,000 \times \sqrt{0.1}}{165 + (0.25 \times 3000)} = 840 \text{ m.}$$

Sin utilizar roca en la superficie:-

$$L_{\text{tierra}} = \frac{128 \times 2.0 \times 35 \times 27,000 \times \sqrt{0.1}}{165 + (0.25 \times 35)} = 4330 \text{ m.}$$

e).- Cálculo del potencial de paso fuera del perímetro de la malla.

$$E'_{\text{paso}} = K_s K_i e \frac{I}{L}$$

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left[ \frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{2D} + \dots + \frac{1}{10D} \right]$$

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left[ \frac{1}{2 \times 0.5} + \frac{1}{50 \times 0.5} + \frac{1}{2 \times 50} + \frac{1}{3 \times 50} + \dots + \frac{1}{10 \times 50} \right]$$

$$K_s = 0.343 \quad \text{con } K_i = 2$$

$$E' \text{ paso } = 0.343 \times 2 \times 35 \times \frac{27000}{6210} = 104 \text{ Volts.}$$

f).- CONCLUSIONES:-

De los resultados antes obtenidos, comparando la máxima elevación de potencial de la red ( $E_{\text{malla}}$ ) con el potencial mínimo tolerable al cuerpo humano ( $E_{\text{cont. tierra}}$ ).

$$E_{\text{malla}} = 390 \text{ V} < E_{\text{cont. tierra}} = 550 \text{ V}$$

Se ve que la red de tierras es segura.

También se deduce que la malla es segura, al comprobar que la longitud necesaria para estar dentro de la seguridad es menor que la longitud del diseño original.

$$L_{\text{seg}} = 4330 \text{ m} < L_{\text{malla}} = 6210 \text{ m.}$$

Al comprobar también que la elevación del potencial de paso fuera de la malla ( $E_{\text{paso}} = 104 \text{ V}$ ) es menor que el tolerable por el cuerpo humano, con tierra natural ( $E_{\text{paso tierra}} = 630 \text{ V}$ ) se deduce que hay

seguridad y no es necesario adoptar medidas especiales para reducir las elevaciones de tensión.

Con relación a los potenciales transferidos, se deberán adoptar las precauciones necesarias para no tener elevaciones de potencial altas, ya que la elevación total de la red es de :

$$E = 860 \text{ Volts.}$$

Para que la corriente de soltar quede dentro del límite de 9 m. A, se necesita que la corriente permanente satisfaga :

$$K_m K_i e \frac{I}{L} < (1000 + 1.5 e_s) \cdot \frac{9}{1000}$$

$$I < \frac{(1 + 1.5 e_s / 1000) 9 L}{K_m K_i e}$$

$$I \frac{\left[ I + 1.5 \frac{35}{1000} \right] 9 \times 6210}{1.28 \times 2 \times 35}$$

$I < 660$  Amperes

que nos indica el valor del ajuste mínimo necesario para la operación correcta de los relevadores de tierra.

## CALCULO DE NOMOGRAMAS PARA EL DISEÑO DE REDES DE TIERRA

Ecuaciones de la forma  $f_1(u)/f_2(v) = f_3(w)/f_4(q)$  intercepción de dos líneas índices.

Un gran número de ecuaciones considerando 4 variables pueden escribirse en la forma anterior.

Ecuaciones tales como :  $f_1(u) \cdot f_2(v) \cdot f_3(w) = f_4(t)$

ó

$$f_1(u) \cdot f_2(v) \cdot f_3(w) = f_4(t) \text{ etc.}$$

Sean AX, BY y AZ, BT dos pares de ejes paralelos, en donde AZ puede coincidir con AX o Az puede formar cualquier ángulo conveniente con AX figs.

(a) y b. Y en donde AB es una transversal común.

A través de cualquier punto P sobre AB dibujemos dos líneas índices cortando los ejes en los puntos u, v, w, q tal qué :

$$au=x, Bv=y, aw=z \text{ y } Bq=t$$

Veámos ahora cómo están relacionados x, y, z y t de los triángulos semejantes en esas figuras, tenemos :

$$x : y = AP : PB \text{ y,}$$

$$z : t = AP : PB \text{ por lo tanto : } x:y = z:t$$

Ahora si, AX, BY, BT llevan las escalas

$$x = m_1 f_1(u), y = m_2 f_2(v), z = m_3 f_3(w), t = m_4 f_4(q)$$

En donde:  $m_1 : m_2 = m_3 : m_4$  la relación quedará :

$$f_1(u) : f_2(v) = f_3(w) : f_4(t) \text{ y dos líneas índices inter---}$$

ceptándose con un punto sobre AB deberán cortar valores de (u) (v), y (q) que satisfagan la ecuacion.

Para construir la carta o Nomograma anterior proceder como sigue :

A través de los extremos de un segmento  $AB$  de cualquier longitud conveniente dibujar los ejes paralelos  $AX$  y  $BY$  y los ejes paralelos  $Az$  y  $BT$  en donde  $Az$  puede coincidir o formar cualquier ángulo conveniente con  $AX$ . Sobre esos ejes construir las escalas.

$$x = m_1 f_1(u), \quad y = m_2 f_2(v), \quad z = m_3 f_3(w), \quad t = m_4 f_4(q)$$

En donde los módulos son arbitrarios excepto para la relación

$$m_1 : m_2 = m_3 : m_4$$

Para leer la carta, usamos dos líneas índices una uniendo  $(u)$  y  $(v)$  y la otra uniendo  $(w)$  y  $(q)$  e interceptándose en un punto sobre  $AB$ .

ECUACION DE LA FORMA  $f_1(u)/f_2(v) = f_3(w)/f_4(q)$  INTERSECCION  
DE DOS LINEAS INDICES

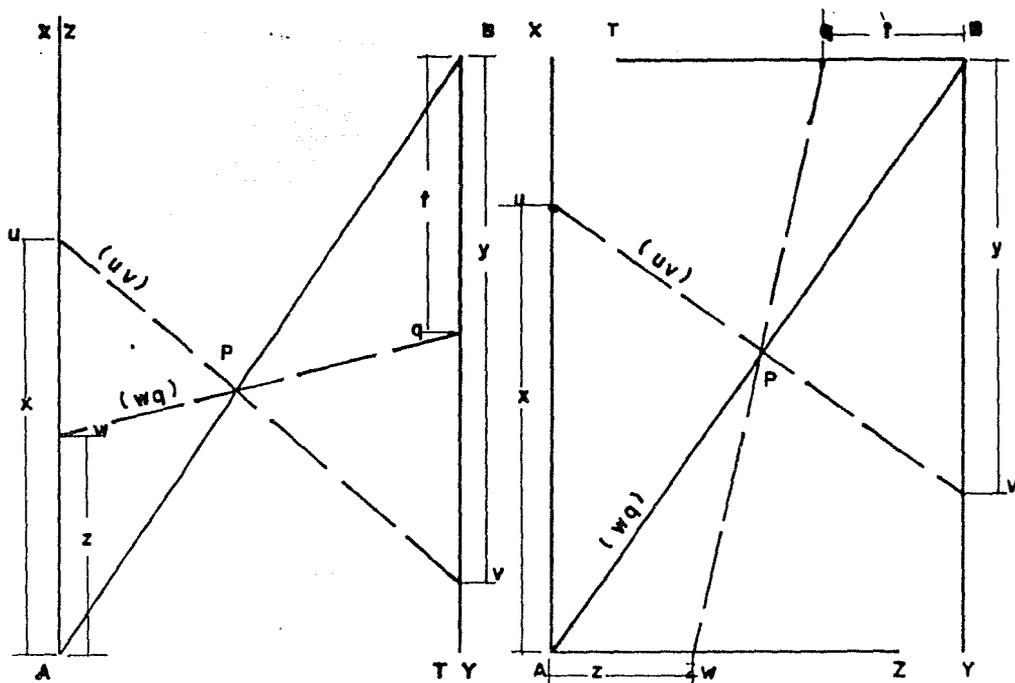


Fig. a

Fig. b



ROMOGRAMA PARA EL CALCULO DE LA RESISTENCIA DE LA RED DE TIERRAS

AREA BASICA = L (m) (largo) x A (m) (ancho)  
9 000

Radio equivalente de la Sup. total ( r ) m.  
13

$r = \sqrt{\text{Area} / 3.1416}$  m

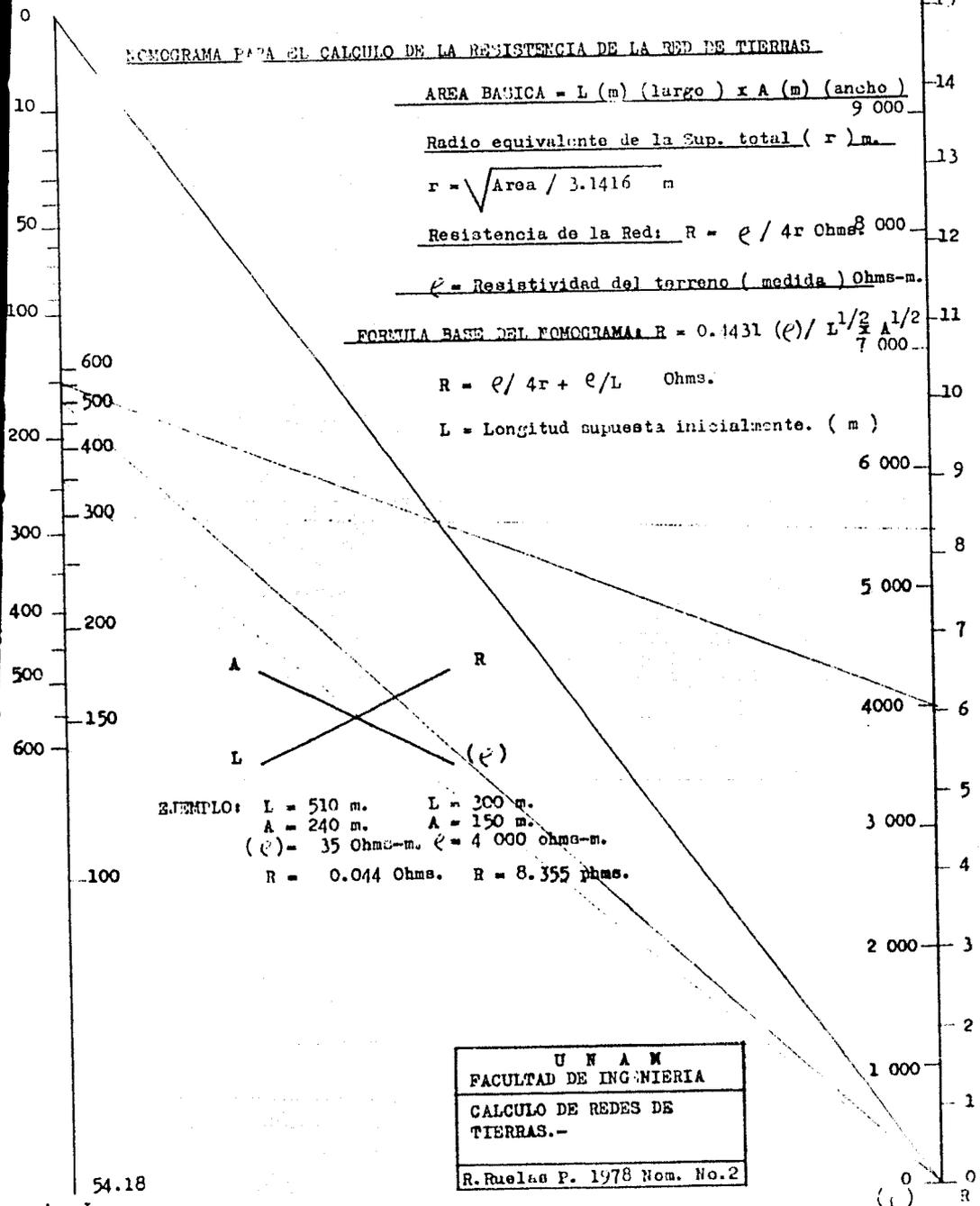
Resistencia de la Red: R =  $\rho / 4r$  Ohms  
8 000

$\rho$  = Resistividad del terreno ( medida ) Ohms-m.  
11

FORMULA BASE DEL ROMOGRAMA: R = 0.1431 ( $\rho$ ) / L<sup>1/2</sup> A<sup>1/2</sup>  
7 000

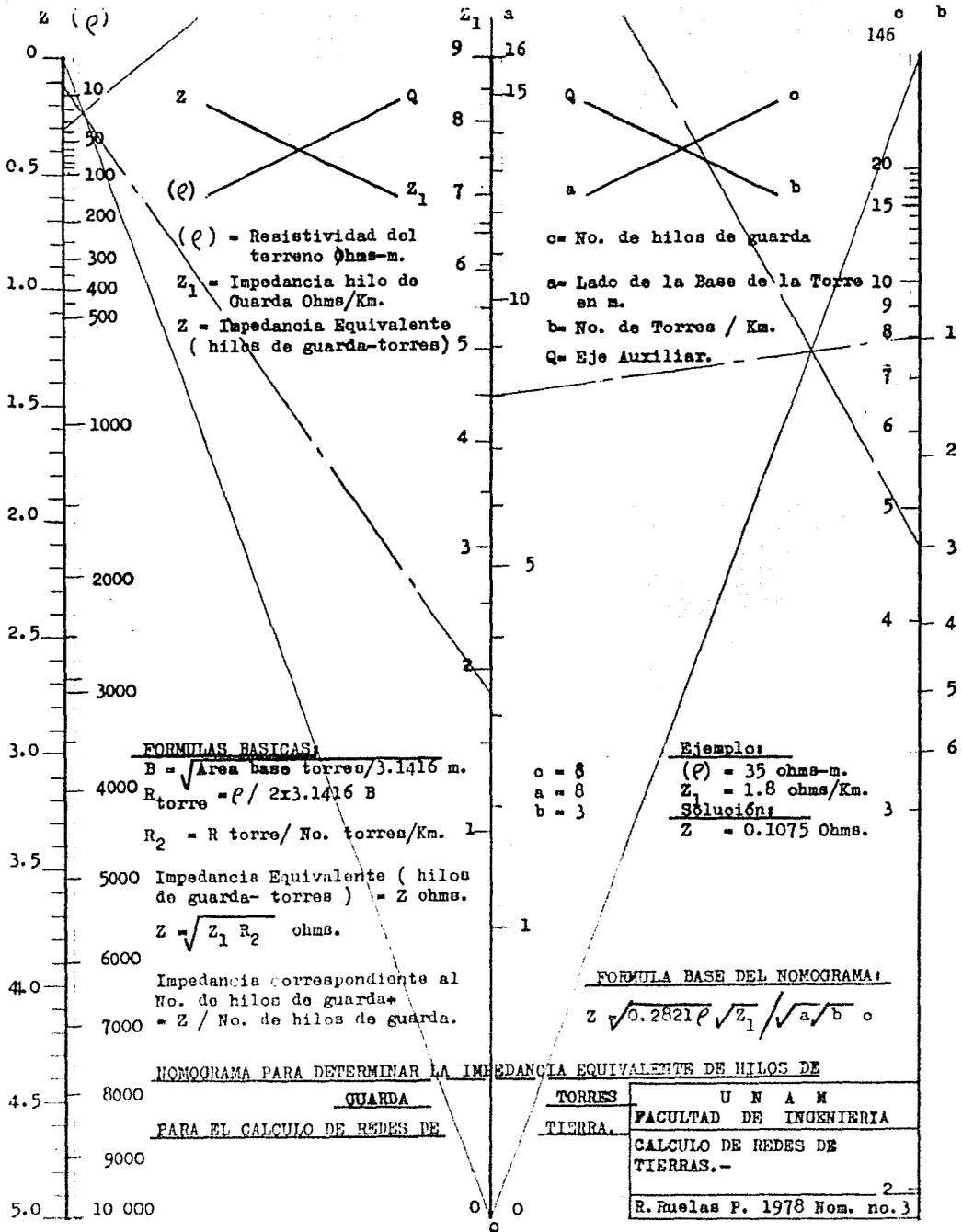
R =  $\rho / 4r + \rho / L$  Ohms.

L = Longitud supuesta inicialmente. ( m )



EJEMPLO: L = 510 m.      L = 300 m.  
 A = 240 m.      A = 150 m.  
 (ρ) = 35 Ohm-m.    ρ = 4 000 ohm-m.  
 R = 0.044 Ohms.    R = 8.355 phms.

U N A M  
 FACULTAD DE INGENIERIA  
 CALCULO DE REDES DE  
 TIERRAS.-  
 R. Ruelas P. 1978 Nom. No.2



$(\rho)$  = Resistividad del terreno Ohms-m.  
 $Z_1$  = Impedancia hilo de Guarda Ohms/Km.  
 $Z$  = Impedancia Equivalente ( hilos de guarda-torres)

$o$  = No. de hilos de guarda  
 $a$  = Lado de la Base de la Torre en m.  
 $b$  = No. de Torres / Km.  
 $Q$  = Eje Auxiliar.

**FORMULAS BASICAS:**

$B = \sqrt{\text{Area base torres} / 3.1416 m.}$   
 $R_{\text{torre}} = \rho / 2\pi \times 3.1416 B$

$R_2 = R_{\text{torre}} / \text{No. torres/Km.}$

Impedancia Equivalente ( hilos de guarda-torres ) =  $Z$  ohms.

$Z = \sqrt{Z_1 R_2}$  ohms.

Impedancia correspondiente al No. de hilos de guarda =  $Z / \text{No. de hilos de guarda.}$

**NOMOGRAMA PARA DETERMINAR LA IMPEDANCIA EQUIVALENTE DE HILOS DE GUARDA**

PARA EL CALCULO DE REDES DE TIERRAS.

**Ejemplo:**

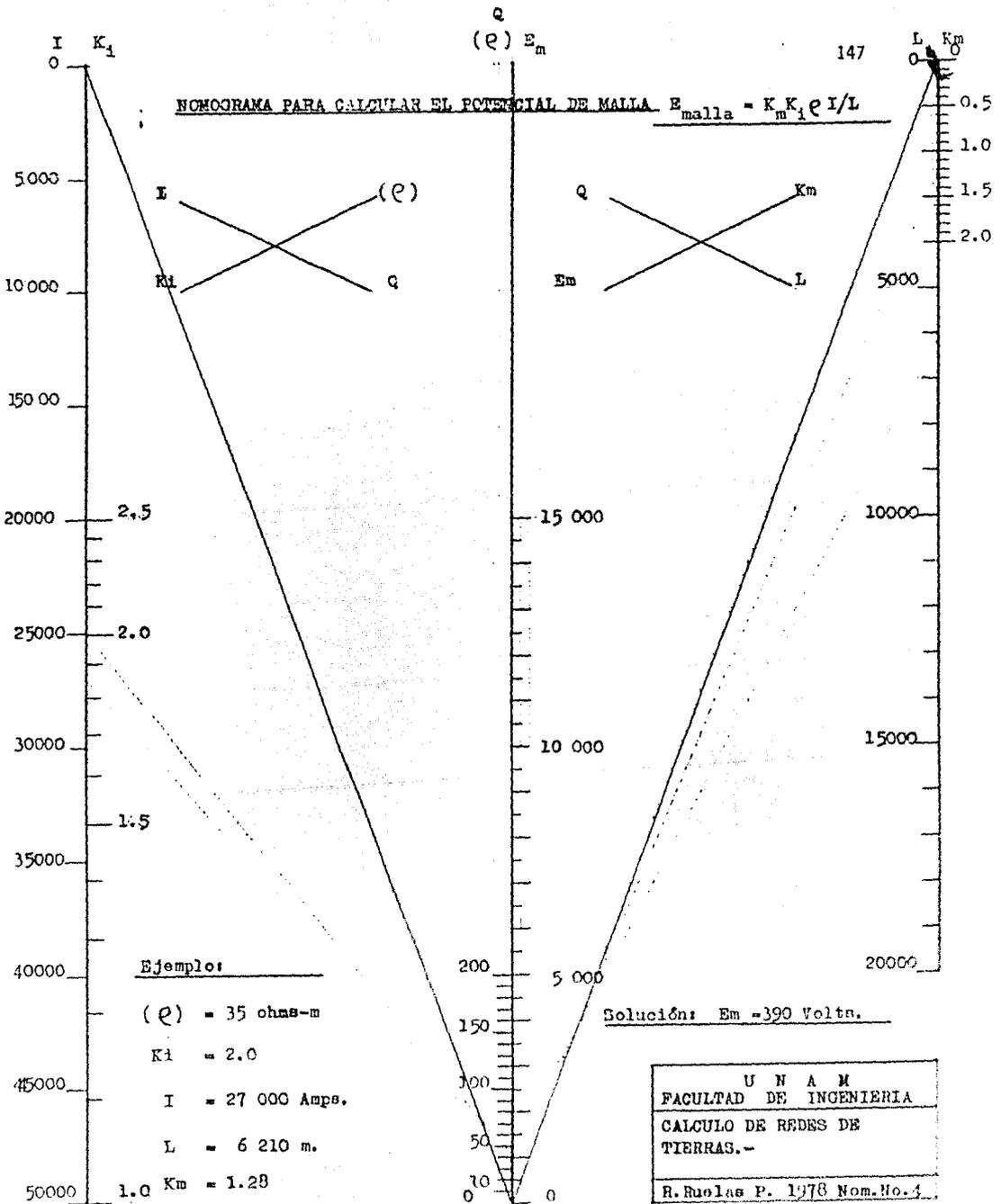
$o = 8$   
 $a = 8$   
 $b = 3$   
 $(\rho) = 35$  ohms-m.  
 $Z_1 = 1.8$  ohms/Km.

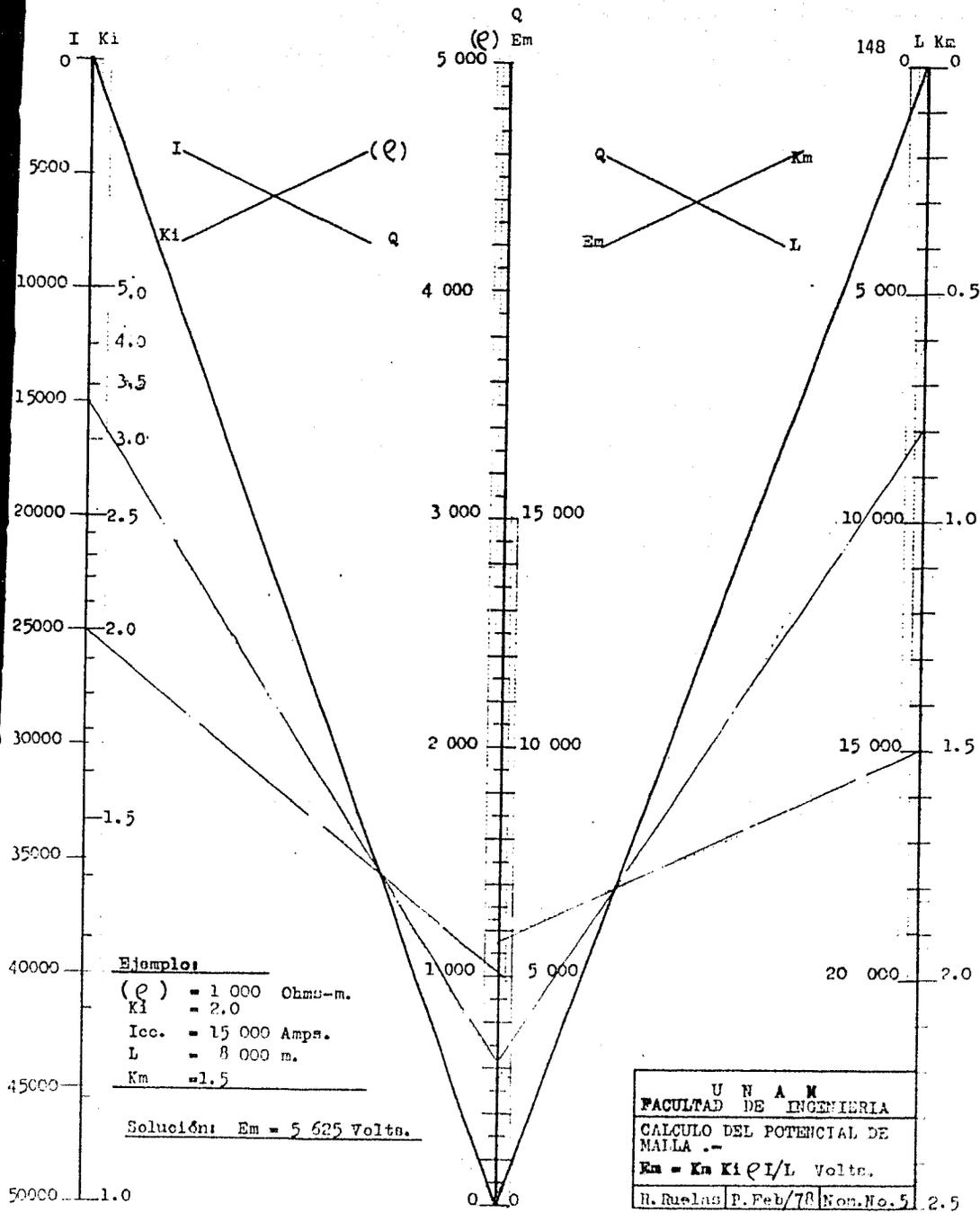
**Solucion:**  
 $Z = 0.1075$  Ohms.

**FORMULA BASE DEL NOMOGRAMA:**

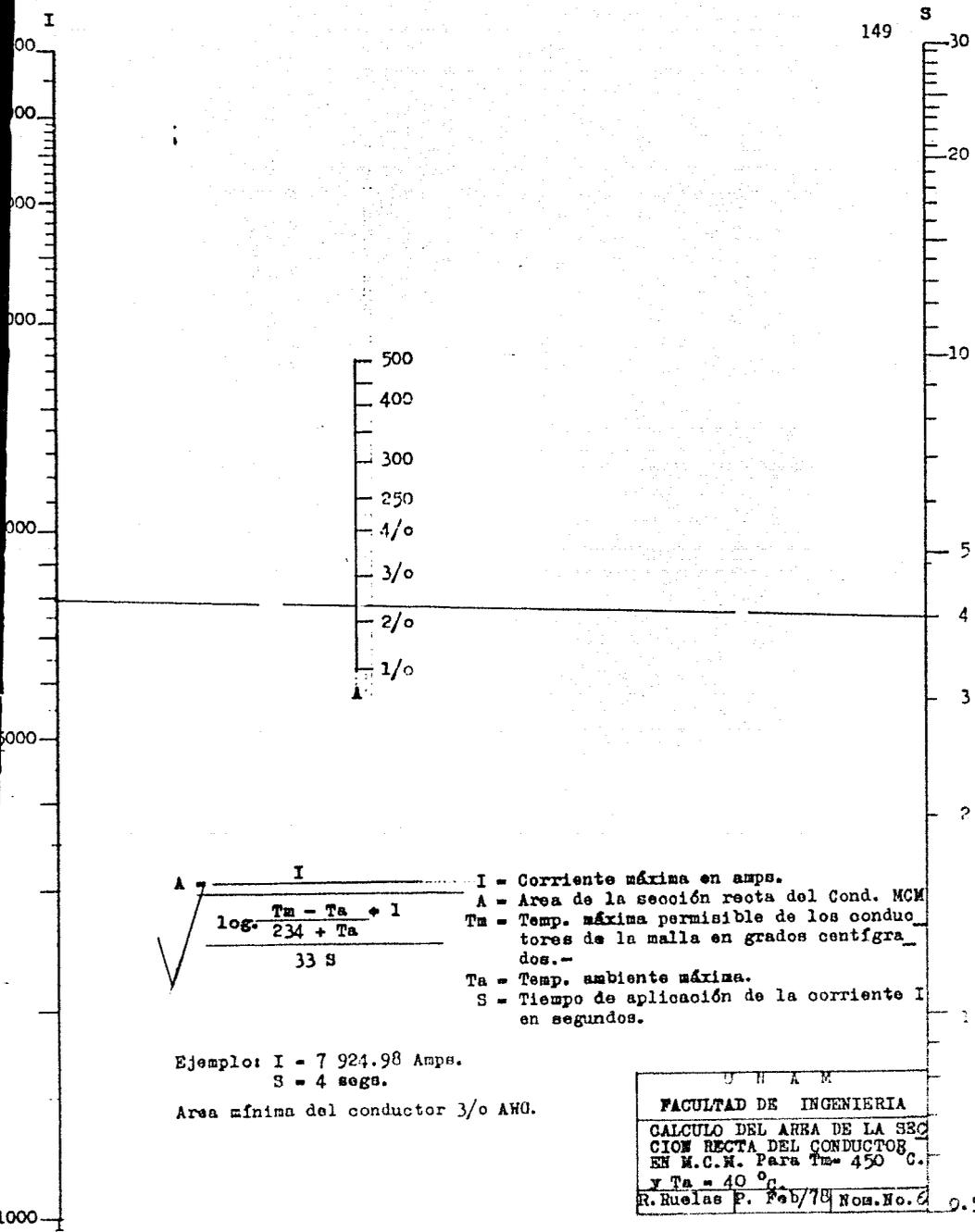
$Z = \sqrt{0.2821 \rho \sqrt{Z_1} / \sqrt{a/b} o}$

TORRES	UNAM
TIERRAS.	FACULTAD DE INGENIERIA
	CALCULO DE REDES DE TIERRAS.-
	2
	R. Ruelas P. 1978 Hom. no. 3





U N A M	
FACULTAD DE INGENIERIA	
CALCULO DEL POTENCIAL DE MAILLA .-	
$Em = Km Ki \rho I / L$ Volts.	
R. Ruelas	P. Feb/78 Nom. No. 5



$$A \sqrt{\frac{I \cdot \log \frac{T_m - T_a + 1}{234 + T_a}}{33 S}}$$

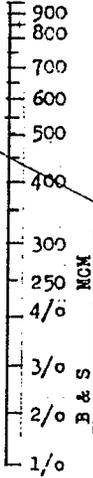
- I = Corriente máxima en amps.
- A = Area de la sección recta del Cond. MCM
- T<sub>m</sub> = Temp. máxima permisible de los conductores de la malla en grados centígrados.-
- T<sub>a</sub> = Temp. ambiente máxima.
- S = Tiempo de aplicación de la corriente I en segundos.

Ejemplo: I = 7 924.98 Amps.  
 S = 4 segs.  
 Area mínima del conductor 3/0 AWG.

U N A M	
FACULTAD DE INGENIERIA	
CALCULO DEL AREA DE LA SECCION RECTA DEL CONDUCTOR EN M.C.M. Para T <sub>m</sub> = 450 C. y T <sub>a</sub> = 40 °C.	
R. Ruelas P.	Feb/78 Nom. No. 6

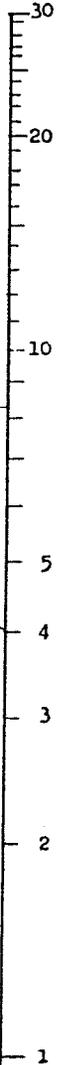
I = CORRIENTES MAXIMA EN AMPS.

A = Area seccion recta conductor



150

S = Tiempo de aplicación de la corriente en Segundos



$$A = \frac{I}{\sqrt{\log \left( \frac{T_m - T_a}{234 + T_a} + 1 \right)}} \quad \text{B \& S } \delta \text{ MCM}$$

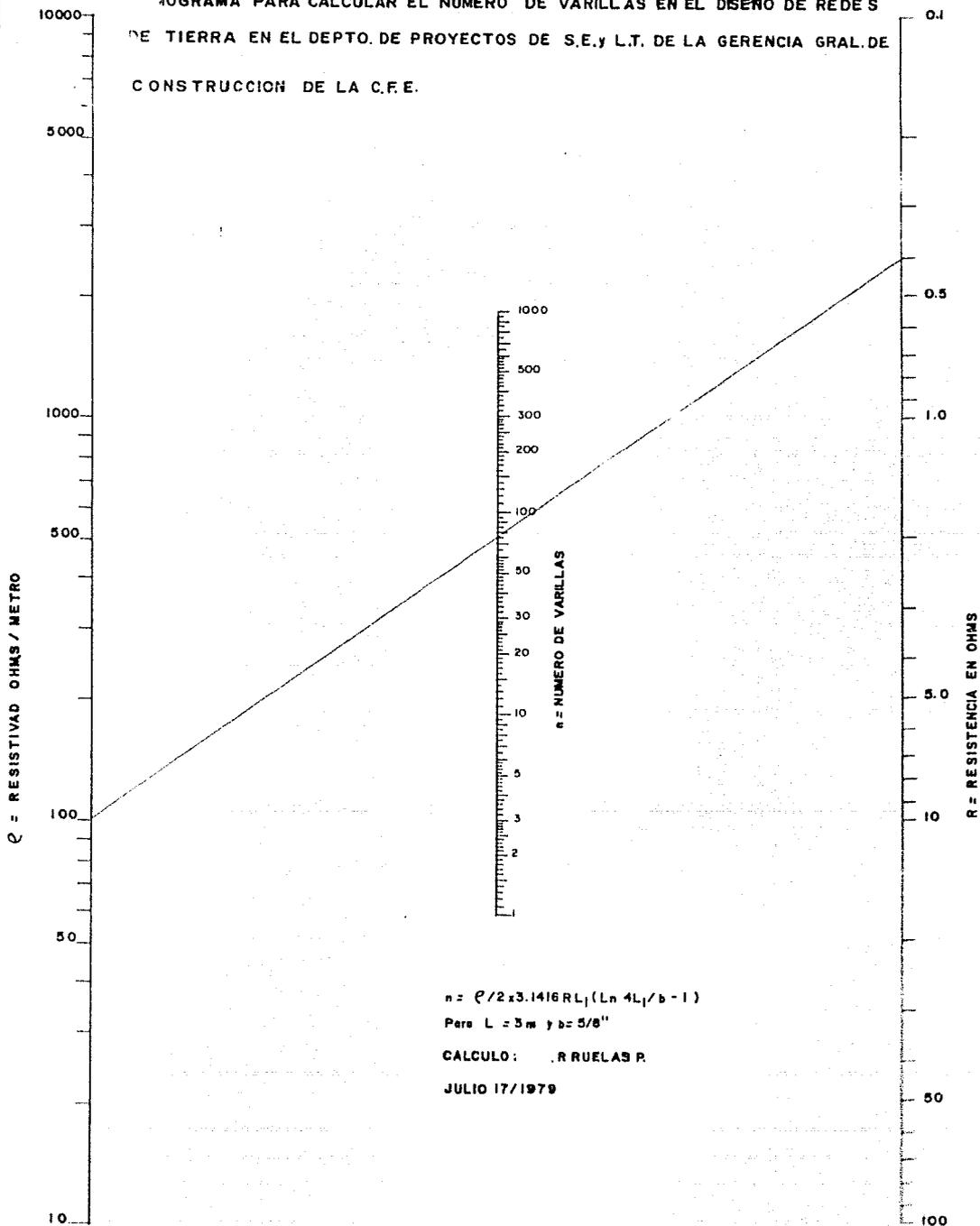
$$\sqrt{\frac{\log \left( \frac{T_m - T_a}{234 + T_a} + 1 \right)}{33 S}}$$

Ejemplo: I = 33 000 amps.  
S = 4 segs.  
A = 459.157 MCM.

U N A M
FACULTAD DE INGENIERIA
CALCULO DEL AREA DE LA SECCION RECTA DEL CONDUCTOR
T <sub>m</sub> = 1083°C. T <sub>a</sub> = 40°C

R. Ruelas P. Feb/78 | Nom. No. 7 0.5

PROGRAMA PARA CALCULAR EL NUMERO DE VARILLAS EN EL DISEÑO DE REDES DE TIERRA EN EL DEPTO. DE PROYECTOS DE S.E. Y L.T. DE LA GERENCIA GRAL. DE CONSTRUCCION DE LA C.F.E.



### 2.3 Determinación del FACTOR DE POTENCIA de un generador, (a diferentes cargas).

NOMOGRAMAS PARA DETERMINAR EL FACTOR DE POTENCIA EN LAS UNIDADES DE LA PLANTA TERMoeLECTRICA " GUAYMAS I " DE LA C.F.E. EN LA DIVISION NOROESTE.-

- 1.- Nomograma para determinar el factor de Potencia de la Unidad Núm. 3
- 2.- Nomograma para determinar el factor de Potencia Mínimo en -- las Unidades 1 y 2
- 3.- Determinación del Factor de Potencia en las Unidades 1 y 2 - en función de la corriente de generación y la potencia en -- MW.
- 4.- Cálculo del Factor de Potencia en Unidades 1 y 2 dada la corriente de generación, la carga en MW. para un voltaje de -- generación de 13.8 KV.

CALCULO DEL NOMOGRAMA TIPO "Z" PARA DETERMINAR EL FACTOR DE POTENCIA DE LA UNIDAD No. 3 DE LA PLANTA TERMoeLECTRICA " GUAYMAS I " DE LA C.F.E.

Del Triángulo de Potencia de la Fig. 2 se deducen las siguientes relaciones :

$$\text{Factor de Potencia} = FP = KW / KVA = \cos \theta$$

$$\text{Potencia Reactiva} = Wc = KW \tan \theta = KW ( 1 - FP^2 )^{1/2} / FP$$

$$\text{Potencia Reactiva} = Wc = KW ( 1 - FP^2 )^{1/2} / FP$$

La ecuación anterior es de la forma :

$$f_1(u) = f_2(v) \times f_3(w) \quad \text{ó} \quad f_1(u) = f_2(v)^{f_3(w)} \quad \text{CARTA "Z"}$$

La segunda forma de la Ecuación anterior puede ser cambiada a la primera forma tomando Logaritmos de ambos miembros.

Usaremos tres Escalas Naturales, en este caso dos paralelas y una tercera oblicua a ellas.

En la Fig. 1 sean AX y BY dos Ejes Paralelos y AZ cualquier eje -- oblicuo a ellos cortándolos en A y B respectivamente.

Dibujar cualquier línea Índice cortando a los Ejes en los Puntos -- u, v, y w tal que :

Au = x, Bv = y Aw = z Nótese que Au y Bv están dirigidos en dirección opuesta.

Veamos como están relacionados x, y, z

Sea AB = K Luego en los Triángulos Semejantes :

$$Auw \text{ y } Bvw, Au:Bv = Aw:wB$$

$$\text{ó } x:y = z : K-z \quad \text{ó} \quad x + ( z / K-z ) y \dots \dots \dots (a)$$

Ahora si AX y BY llevan las escalas :

$$x = m_1 f_1 ( u ) , y = m_2 f_2 ( v )$$

La Ecuación (a) nos queda :

$$f_1 ( u ) = m_2 z / m_1 (K-z) \quad f_2(v) \text{ y si AZ lleva una escala para } (w)$$

tal que :

$$m_2 z / m_1 (K-z) = f_3(w) \quad \text{ó} \quad z = K ( m_1 f_3(w) / m_1 f_3(w) + m_2 )$$

$$\text{LA ECUACION NOS QUEDA FINALMENTE : } f_1(u) = f_2(v) \cdot f_3(w)$$

Y CUALQUIER LINEA INDICE DEBERA CORTAR LOS EJES EN 3 PUNTOS CON VALORES u, v, w, QUE SATISFAGAN ESTA ECUACION.-

CONSTRUCCION EN NOMOGRAMA :

Dibujar 3 Ejes AX, BY y AZ en donde AX y BY son paralelos y directamente opuestos y AB es de cualquier longitud conveniente K

Con A y B como Orígenes, construir sobre esos Ejes las escalas :

$$x = m_1 f_1(u), y = m_2 f_2(v) \text{ y } z = K (m_1 f_3(w) / m_1 f_3(w) + m_2)$$

Nótese que para la construcción de la escala (w) es necesario calcular el valor de z para cada valor de (w) que deba aparecer en la carta.-

Para evitar este cálculo procédase como sigue :

Sobre BY tómesese un punto fijo (F) a cualquier distancia conveniente (1) a partir de B. Fig. 2

Sobre AX construir la escala :

$$AC = x' = 1 (m_1/m_2) f_3(w)$$

Desde (F) como centro, proyectar los puntos C sobre el Eje AZ

Sea (FC) cortar (AZ) en (w) y sea  $Aw = z$

Luego en los Triángulos Semejantes :

ACw y B F w

$$z: K-z = x' : 1 \text{ ó } z = Kx' / 1 + x' = K (m_1 f_3(w) / m_1 f_3(w) + m_2)$$

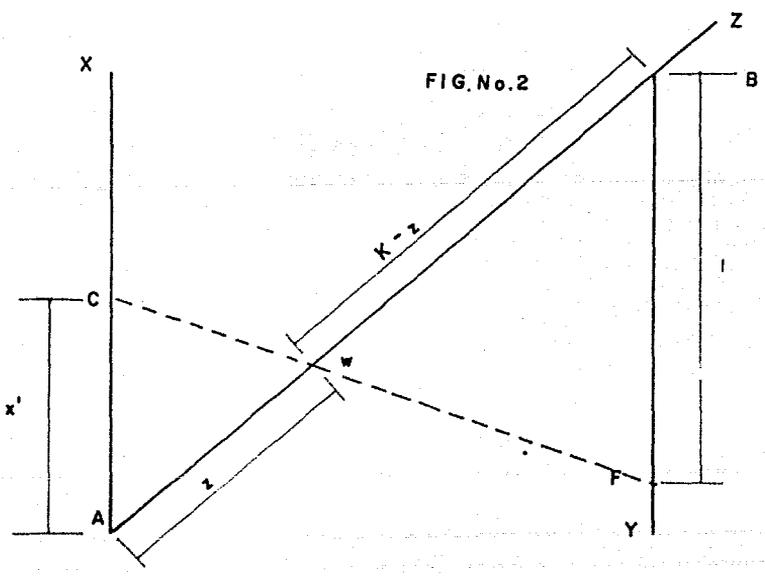
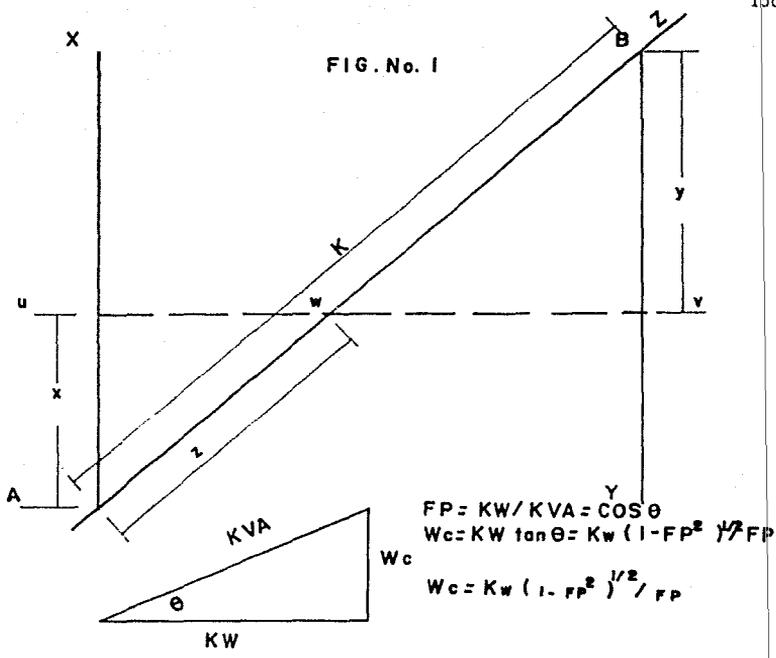
Por lo tanto para construir la Escala :

$$z = K (m_1 f_3(w) / m_1 f_3(w) + m_2)$$

Construir primero la Escala :

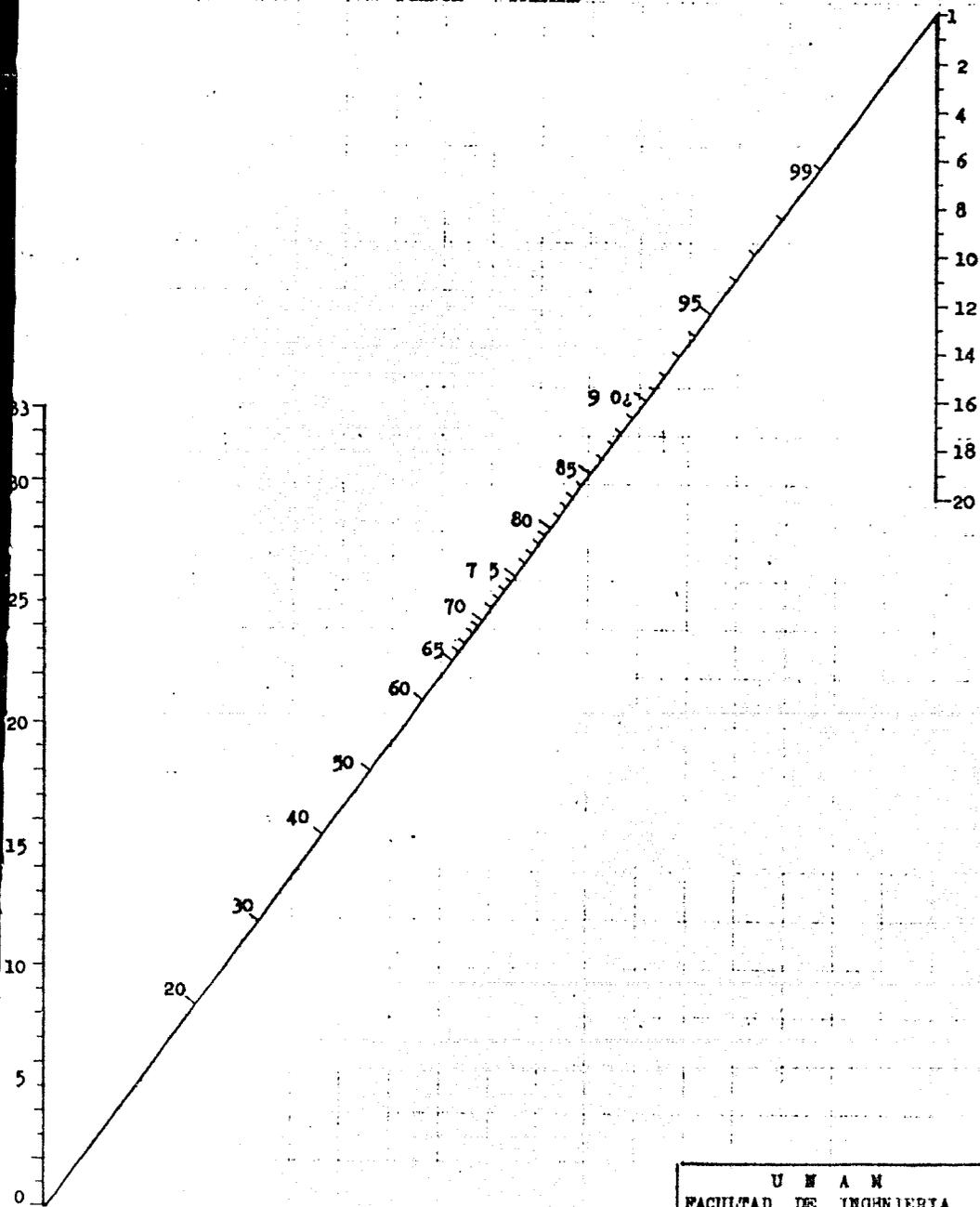
$x' = 1 (m_1/m_2) f_3(w)$  sobre AX y luego proyectar esta Escala desde el punto fijo (F) en BY en donde BF = 1 al Eje AZ marcando los puntos correspondientes con el mismo valor de (w).

-----

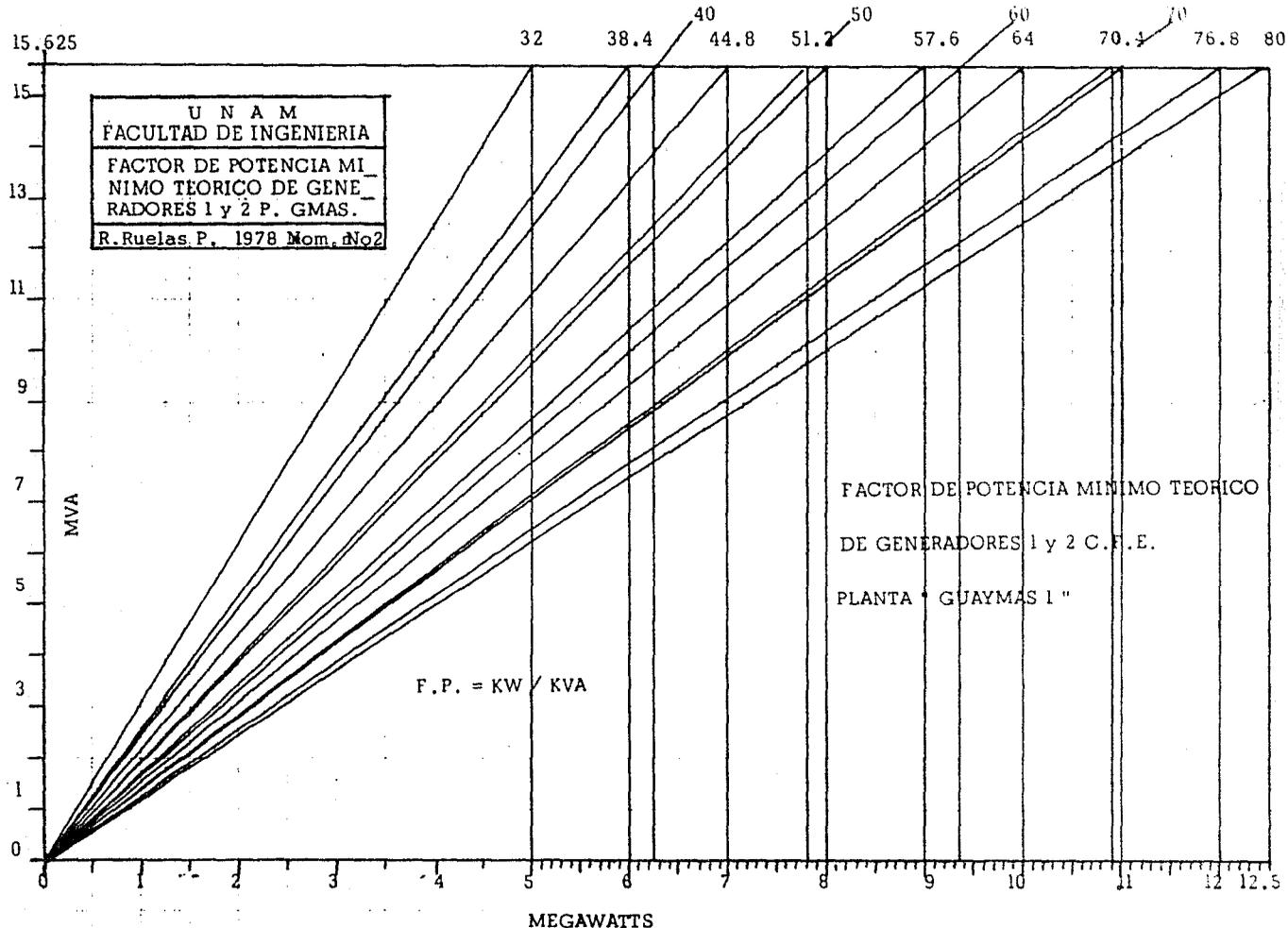


## DETERMINACION DEL FACTOR DE POTENCIA UNIDAD No. 3

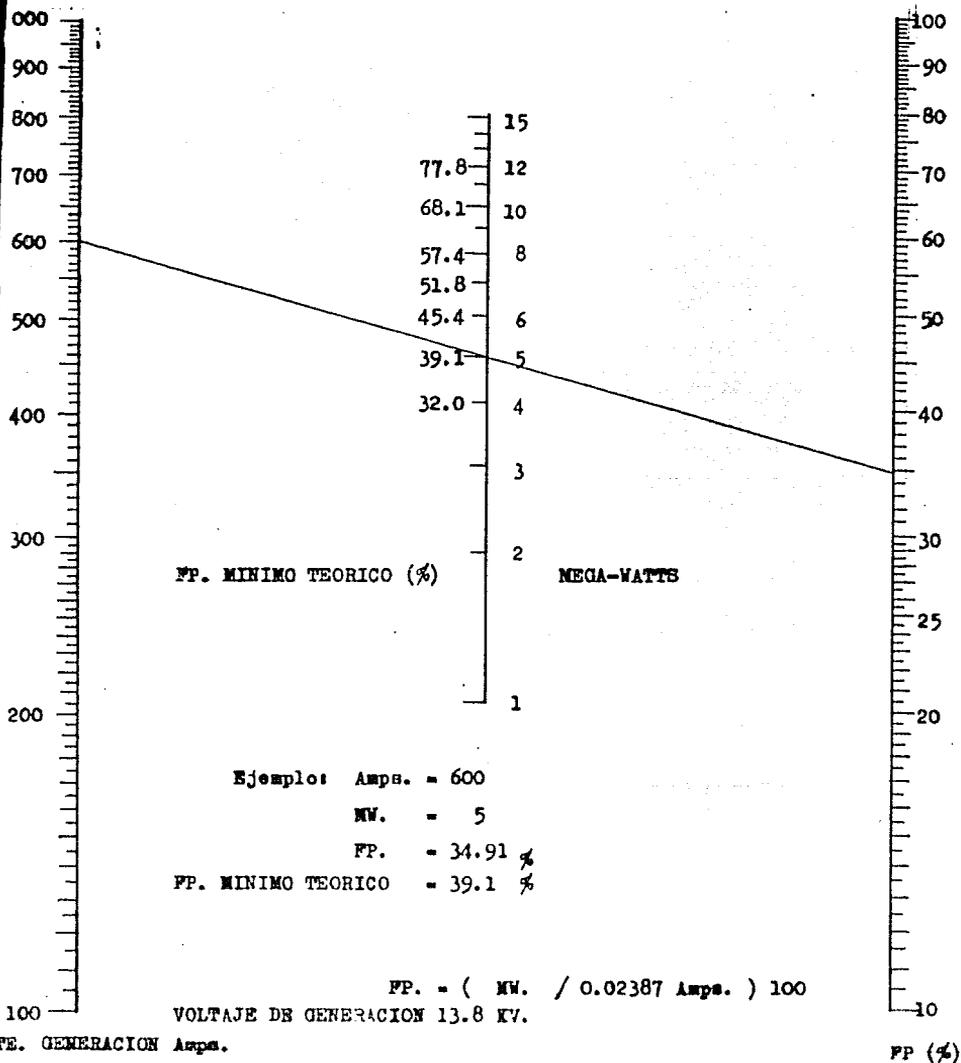
PLANTA " GUAYMAS "



U N A M
FACULTAD DE INGENIERIA
CARTA PARA DETERMINAR EL
FACTOR DE POTENCIA
H. Ruelas P. 1978 Nov. No. 1

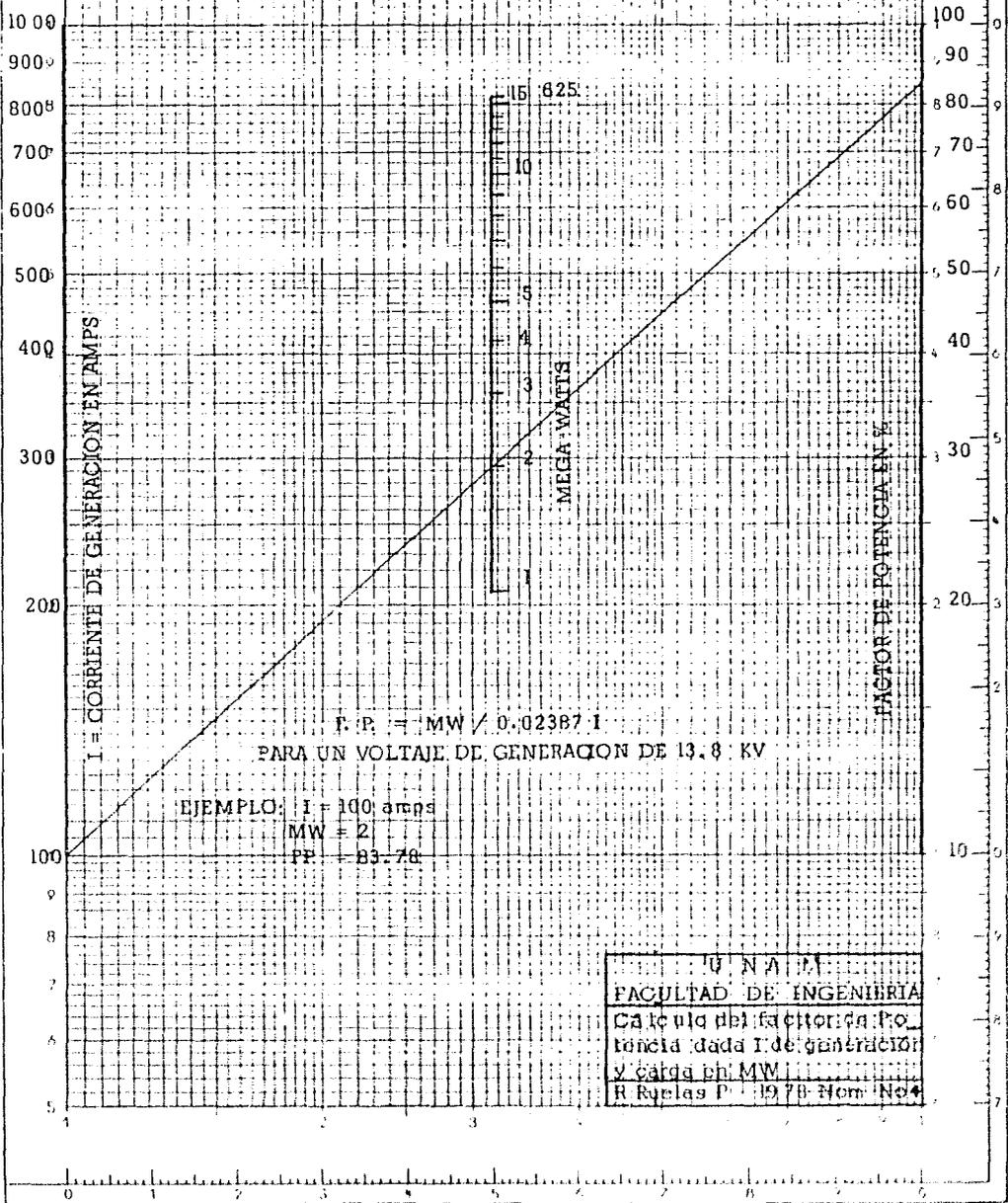


DETERMINACION DEL FACTOR DE POTENCIA UNIDADES 1 y 2 PLANTA  
 " GUAYMAS " 1  
 C. F. E.



U N A M
FACULTAD DE INGENIERIA
DETERMINACION DEL FACTOR
DE POTENCIA EN UNIDADES
1 y 2 PTA. GUAYMAS 1 CFE.
R. Hidalgo P. 1978 Nom. No. 1

DETERMINACION DEL FACTOR DE POTENCIA UNIDADES 1 y 2  
PLANTA GUAYMAS I  
C.F.E.



NA4  
8123  
xlog  
del 160

## 2.4 Determinación de las CURVAS DE CAPABILIDAD de los generadores de una Central Eléctrica.

**DETERMINACION DE LAS CURVAS DE CAPABILIDAD DE LAS UNIDADES**

**1, 2 Y 3 DE LA PLANTA TERMoeLECTRICA " GUAYMAS I " DE LA C.F.E. DIVISION NOROESTE.**

- 1.- Curva de Capabilidad de la Unidad No. 3**
- 2.- Curva de Capabilidad de la Unidad No. 1 y Unidad No. 2**

CURVAS DE CAPABILIDAD PARA LAS UNIDADES 1,2 y 3 DE LA PLANTA TERMoeLEC-  
TRICA " GUAYMAS I " DE LA COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD.-

-----  
DATOS PARA LA UNIDAD No. 3

$$X_d = 140 \%$$

$$e_t = \text{VOLTAJE RECEPTOR} = 13\ 800 \text{ Volts.}$$

$$e_d = \text{VOLTAJE TRANSMISOR} = \text{CONSTANTE}$$

$$\text{FACTOR DE POTENCIA} = 85 \%; \ 60 \text{ c.p.s.}$$

$$\text{POTENCIA} : 33 \text{ MW. ; } 38\ 823 \text{ KVA.}$$

EL CIRCULO DE POTENCIA DE UNA LINEA DE TALES CARACTERISTICAS TIENE SU CEN-  
TRO EN EL EJE DE POTENCIA REACTIVA (-) A UNA DISTANCIA  $e_t^2 / X_d$  y SU VOLTAJE  
INTERNO ( $e_d$ ) DEBE SER TAL QUE SU RADIO  $e_d e_t / X_d$  PASE A TRAVES DEL PUN-  
TO DE POTENCIA REAL Y POTENCIA REACTIVA PLENA.-

Emplearemos las siguientes Fórmulas :

$$\text{Ohms} = \% (10 \text{ KV}^2 / \text{KVA})$$

$$\text{Ohms} = 140 (10 \times 13.8^2 / 38\ 823) = 6.92$$

$$z = r + j x = 0 + j 6.92 = 6.92 \quad 90^\circ$$

$$e_t^2 / X_d = 13.8^2 / 6.92 \quad 90^\circ = 190.44 \quad -90^\circ / 6.92 = 27.6 \quad -90^\circ$$

$$e_t^2 / X_d = 27.6 \quad -90^\circ$$

PARA LAS UNIDADES 1 y 2 :

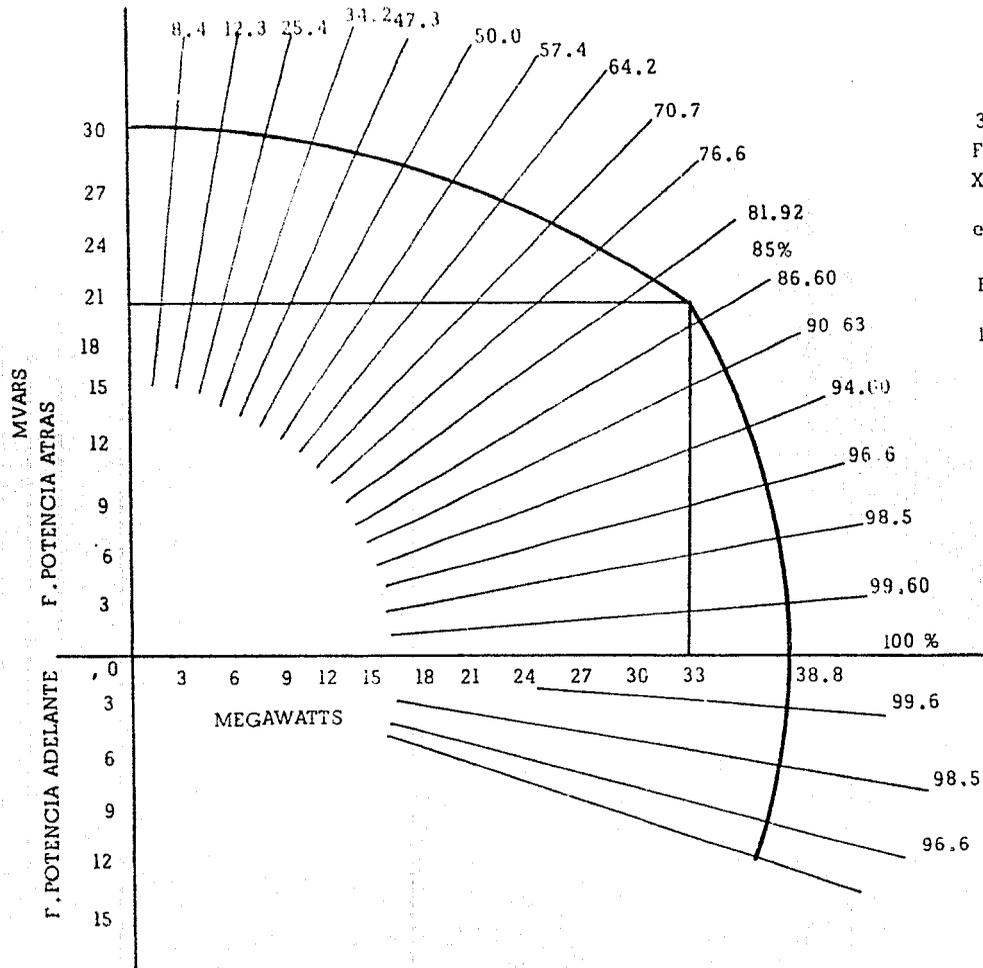
$$X_d = 1.155 \text{ p/u. ; } 15\ 625 \text{ KVA} - 80 \% \text{ fp.}$$

$$\text{Ohms} = 115.5 (10 \times 13.8^2 / 15\ 625) = 14.07 \quad z = r + jx = 0 + j 14.07$$

$$X_d = 14.07 \quad 90^\circ \text{ Ohms.}$$

$$e_t^2 / X_d = 13.8^2 / 14.07 \quad 90^\circ = 13.53 \text{ MVARs}$$

$$e_t^2 / X_d = 13.53 \quad -90^\circ$$



38 823 KVA.  
 FACTOR DE POTENCIA  $\approx$  5 %  
 $X_d = 140 \%$   
 $e_t^2 / X_d = -j 27.23$  MVARs

ESCALA:  
 1 Cm. = 3 MW = 3 MVARs

U N A M
FACULTAD DE INGENIERIA
CURVA DE CAPABILIDAD
UNIDAD No. 3
PLANTA "GUAYMAS" I
R. Ruelas P. 1978 Nom. No 1

GENERADORES 1 y 2 PLANTA GUAYMAS 1

C.F.E. DIVISION NOROESTE

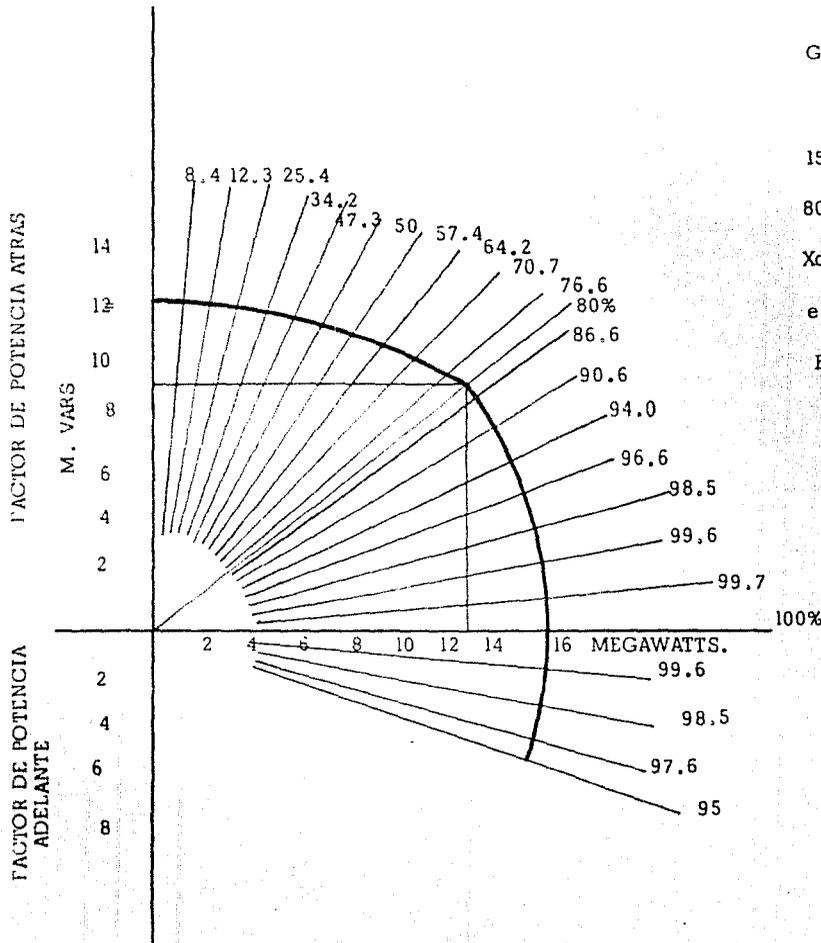
15.625 MVA

80 % FACTOR DE POTENCIA

$X_d = 1.155 \text{ p/u.}$

$e / X_d = -j 13.53 \text{ MVARs}$

ESCALA: 1 cm. = 2 MW. = 2 MVARs.



U N A M
FACULTAD DE INGENIERIA
CURVA DE CAPABILIDAD PA RA UNIDADES 1 y 2 PLANTA GMAS 1
R Ruelas P. 1978 Nom.No2

## **2.5 Determinación de la DENSIDAD ESPECIFICA del aire $K_d$ y NIVEL BASICO DE AISLAMIENTO CORREGIDO.**

**NOMOGRAMAS PARA DETERMINAR :**

- 1.- Densidad específica del aire (  $K_d$  ) y Nivel Básico de Impulso Corregido.- ( BIL )
- 2.- Determinación de la Densidad Específica del aire (  $K_d$  )

**N O T A.-**

El Nomograma Número 1 está dedicado a la memoria del Sr. Belermino - Arredondo Villanueva ( q.e.p.d. ) ya que fué un condicípulo mío en la Facultad de Ingeniería a quien también llamó la atención la Nomografía, tema de la presente TESIS.

## OBTENCION DEL NOMOGRAMA PARA CALCULAR LA DENSIDAD ESPECIFICA DEL AIRE

( Kd ), y BIL ( CORREGIDO )

En la fórmula para la densidad específica.

$$Kd = 0.393 b / 273 + t^{\circ}C$$

En donde :        b = presión barométrica en mmHg.

t = temperatura en °C

Kd = densidad específica

Nuestra primera incógnita lo es la presión barométrica (b) misma que calculamos con la fórmula :

$$\log. b = 2.88081 - 0.0000512 H$$

En donde H = altura en metros

$$\text{Hagamos : } \log b / 0.0000512 = 2.88081 / 0.0000512 - H$$

$$\log b = 0.0000512 (56266 - H)$$

De donde

$$b = 10^{0.0000512 (56266 - H)}$$

Substituyendo este valor de (b) en la fórmula que nos da la densidad,

$$Kd = 0.393 \times 10^{0.0000512(56266-H)} / 273 + t^{\circ}C$$

Tomando logaritmos :

$$\log. kd = \log. 0.393 + 0.0000512 (56266-H) - \log. (273 + t^{\circ}C)$$

$$\log. Kd - \log. 0.393 - 2.8808 = - 0.0000512H - \log. (273 + t^{\circ}C)$$

finalmente tendremos :

$$\log. Kd - 2.4752 = - 0.0000512H - \log (273 + t^{\circ}C)$$

$$\log. Kd = 2.4752 - 0.0000512H - \log (273 + t^{\circ}C)$$

Tomaremos la fórmula anterior para el trazo del Nomograma y en la misma despreciaremos el término 2.4752 dado que la graduación de -- la escala para ( Kd ) se hará calculando un punto de la misma para un valor de H (m) y otro para t°C y a partir del valor encontrado

para (Kd), de acuerdo con el módulo de la misma, se hará la graduación correspondiente.

Sean las escalas :

$$x = - m_1 (0.0000512 H) ; H \text{ varía de } 0 = 3\ 000 \text{ mts.}$$

$$y = - m_2 \log T. \text{ en donde } T \text{ } ^\circ\text{K} = 273 + t \text{ } ^\circ\text{C.}$$

$$z = m_3 \log. Kd.$$

$$x = - m_1 (0.1536) = 30 \text{ cm.} = 11.8."$$

$$m_1 = \frac{11.81}{0.1536} = 76.89"$$

$$m_1 = 76.89 \text{ pulgs.}$$

$$x = 76.89 (H)$$

$$y = - m_2 \log. (273 + t \text{ } ^\circ\text{C}) \quad t \text{ varía de } 10 \text{ a } 35^\circ\text{C}$$

$$\log. (273 + t^\circ\text{C}) \text{ varía de : } \log. 283 = 2.4518$$

$$\log. 308 = \frac{2.4886}{0.0368}$$

$$y = - m_2 \log (T) = 9.35 \text{ cm} = 3.68"$$

$$m_2 = 3.68/0.0368 = 100"$$

$$m_2 = 100"$$

$$z = m_3 \log Kd ; Kd \text{ varía de } 0.60 \text{ a } 1.0$$

$$\log. Kd \text{ varía de } 0 \text{ a } -0.2218$$

$$m_3 = m_1 \cdot m_2 / m_1 + m_2 = 76.89 \times 100 / 176.89 = 43.467"$$

$$m_3 = 43.467"$$

$$z = 43.467 (0.2218) = 0.643" = 24.493 \text{ cm.}$$

Separación entre escalas.

$$x - y = 30 \text{ cm.} ; m_1 : m_2 = 76.89" : 100"$$

$$\frac{30}{176.89} = 0.1696 \times 7589 = 13.04 \text{ cm.}$$

$$0.1696 \times 100 = 16.96 \text{ cm.}$$

Por lo tanto el eje (Z) quedará a 13.04 cm. del eje X.-

Se agregaron a este mismo Nomograma las escalas para el BIL a 1000 m.s.n.m. y BIL corregido, y de acuerdo con la fórmula :

$$\text{BIL corregido} = \text{BIL}_{1000 \text{ m.s.n.m.}} / K_d$$

Se construyó el Nomograma para el mismo :

$$\log \text{BIL} = \log \text{BIL}_{1000 \text{ m.s.n.m.}} - \log K_d$$

Variación del BIL a 1000 m.s.n.m. de 200 a 2400 KV.

Según NORMAS IEC/ 71.-

El log. del BIL Varía de :

$$\log. 200 = 2.3010 \text{ a}$$

$$\log. 2400 = \frac{3.3802}{1.0792} \text{ es decir una variación de,}$$

De acuerdo con lo anterior se construyó la escala :

$$\text{BIL}_{1000 \text{ m.s.n.m.}} = m_4 \log. \text{BIL}$$

$$\text{Tomando } m_4 = 10 "$$

y finalmente, la escala para BIL corregido,

$$\text{BIL corregido} = m_5 \log \text{BIL corregido}$$

$$\text{en donde } m_5 = m_3 \cdot m_4 / m_3 + m_4 = 8.1297 "$$

$$\text{BIL corregido} = 8.1297 \log. \text{BIL corregido}$$

-----

## EJEMPLO :

Calcular las características de aislamiento de una línea de transmisión de 230 KV que tendrá una distancia interpostal (claro) medio de - - 300 m, un nivel de protección estandar de 100 KA, un nivel isoceraunico de 30 y va a operar con una temperatura media ambiente de 25°C con una longitud total de 200 Km que tendrá en su trayectoria de altitud sobre el nivel del mar las etapas indicadas :

Etapa A A O M.S.N.M.

Etapa B A 1500 M.S.N.M.

Conductor ACSR de 900 MCM, 54/7, 29.5 mm de radio exterior.

Aisladores de suspensión estandar de 254 x 145 mm. ( 10 x 5 3/4 PLG).

Con distancia de fuga de 30.5 cada aislador.

### SOLUCION

---

#### AISLAMIENTO POR RAYO

Se considera que la línea tiene un nivel básico al impulso ( NBI ) --- de 1050 KV.

Para sobretensiones por rayo se ha encontrado que la relación entre - - la tensión crítica de flameo ( VCF ) y el nivel básico del impulso - ( NBI ) está dado como :

$$NBI = VCF (1.0-1.3 F)$$

Según la publicación 71 del comité electrotécnico internacional.

Dode = desviación Estandar

El término dentro del paréntesis da la probabilidad de falla y el - - valor de depende de cada criterio aplicado y se puede obtener -

de estudios experimentales por computadora o con un tablero analizador de transitorios.

Para una  $\alpha = 0.03$

$$NBI = VCF (1.0 - 1.3 \times 0.03)$$

$$NBI = 0.961 VCF$$

Considerando un NBI = 1050 KV la tensión crítica al impulso a 0 MSNM es :

$$VCF = \frac{NBI}{0.961}$$

$$VCF = \frac{1050}{0.961} = 1092.61 \text{ KV}$$

Por lo tanto el número de aisladores tipo standard de 254 x 146 mm -- es de 12 ( de acuerdo a la tabla 5.6., columnas 1 y 2 )

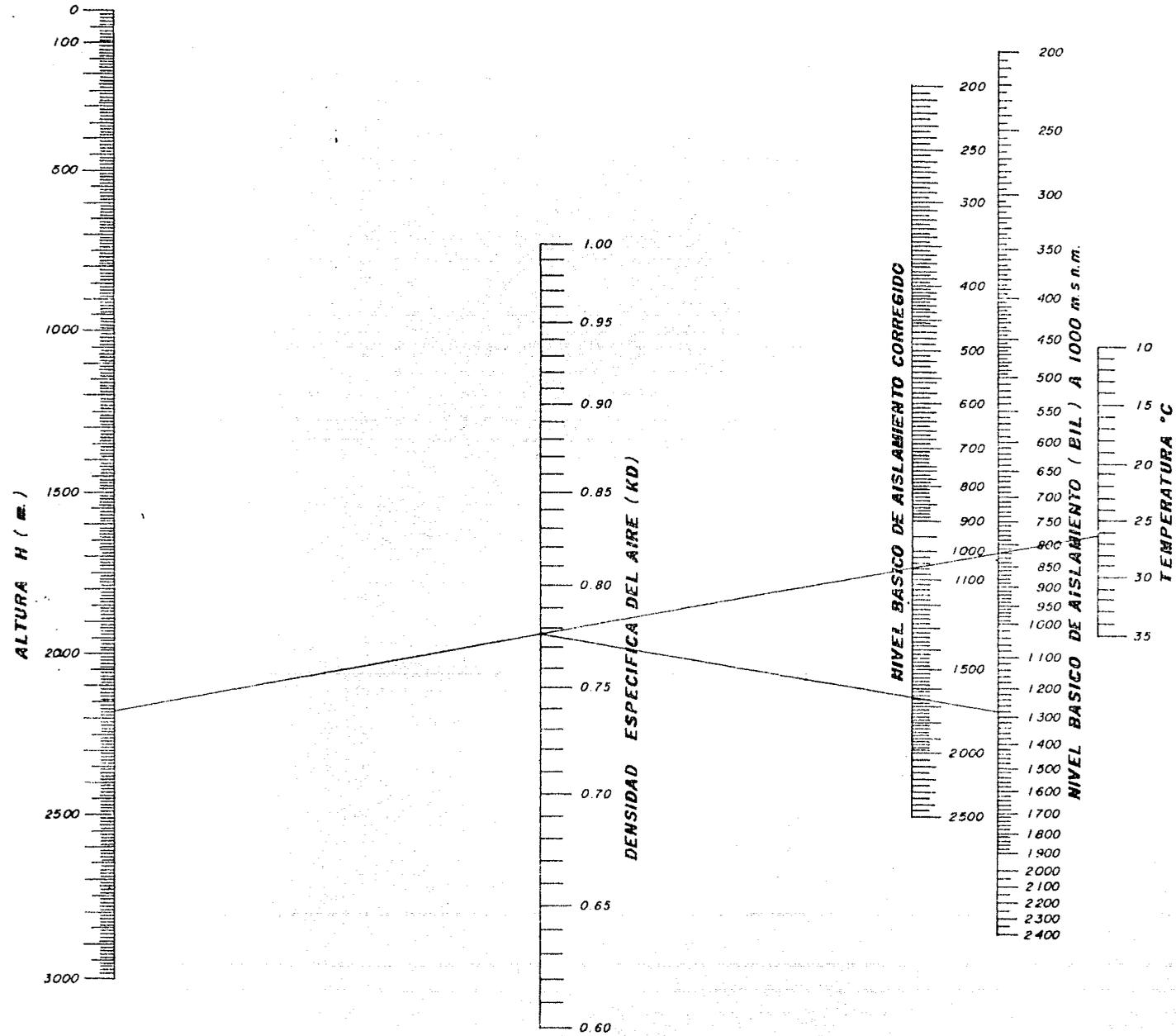
#### ETAPA B

Suponiendo el mismo NBI a la altura de 1000 MSNM el valor corregido --- del BIL será :

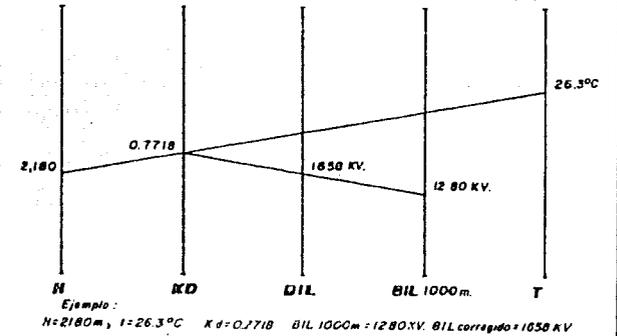
$$BIL \text{ CORREGIDO} = BIL \text{ 1000 MSNM/Kd} = 1050/0.833 = 1260.50 \text{ KV.}$$

**CALCULO DE LA DENSIDAD " Kd " DEL AIRE****NOMOGRAMA NUM. 1**

# NOMOGRAMA "BELERMINO ARREDONDO V"

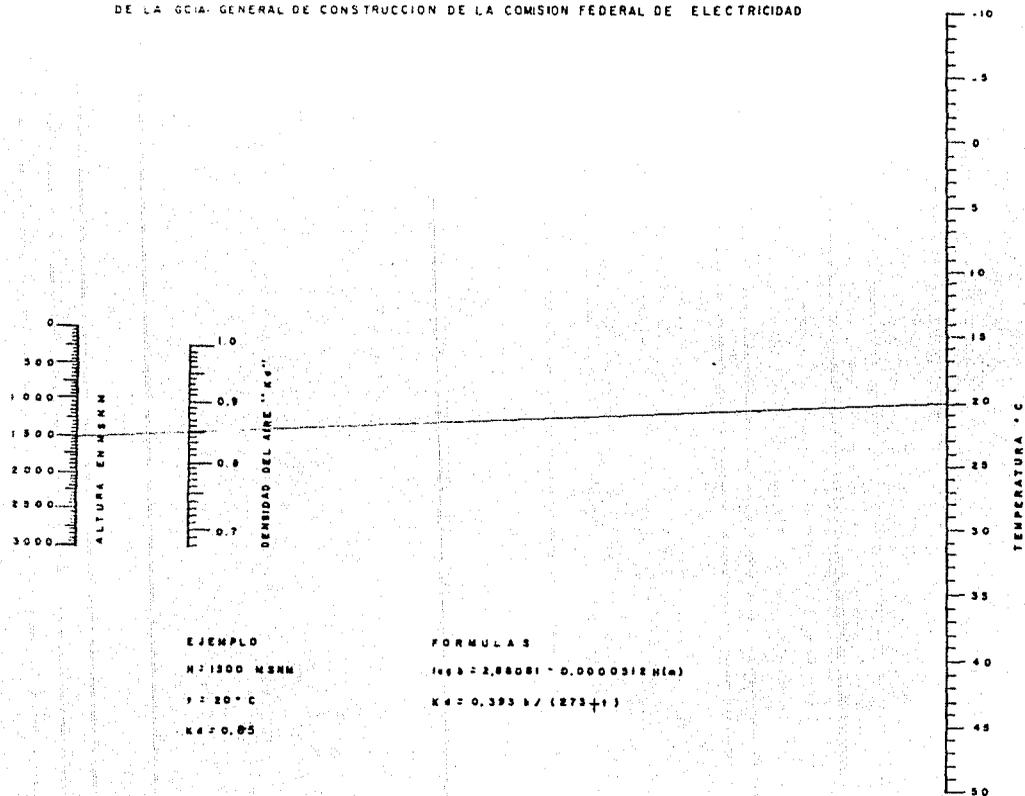


$\log. b_x = 2.88081 - 0.0000512 H$   
 $Kd = 0.393 b / 273 + 1$   
 $BIL \text{ (corregido)} = BIL(1000m) / Kd$   
 $\log. Kd = 2.4752 - 0.0000512 H - \log. (273 + 1)$



U N A M
FACULTAD DE INGENIERIA
DETERMINACION DE Kd y BIL CORREGIDO
RICARDO RUELAS P. 1978 NOM. No.1

NOMOGRAMA PARA CALCULAR LA DENSIDAD RELATIVA DEL AIRE "Kd" EN EL DEPTO. DE PROYECTOS DE S.E.Y.L.T.  
DE LA GCIA. GENERAL DE CONSTRUCCION DE LA COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD



## EJEMPLO

H = 1500 MSNM

T = 20 °C

Kd = 0.85

## FORMULAS

$$\log h = 2.88081 - 0.0000312 H(m)$$

$$Kd = 0.393 h / (273 + t)$$

U N A M
FACULTAD DE INGENIERIA
DETERMINACION DE DENSIDAD ESPECIFICA DEL AIRE "Kg"
REGLAS P. 1979 NOM. No. 2

## 2.6 DISEÑO DE ALUMBRADO EXTERIOR DE SUBESTACIONES.

NOMOGRAMAS PARA EL CALCULO DE ALUMBRADO EXTERIOR DE  
SUBESTACIONES

- 1.- Nomograma para determinar los Angulos Verticales y Horizontales de una Unidad Reflectora.
- 2.- Nomograma para determinar los Angulos Verticales y Horizontales de una Unidad Reflectora.-
- 3.- Nomograma para determinar el Calibre del conductor en los circuitos de Alumbrado para caídas de tensión de 1 a 3 % y - - - 220 volts. entre fases.
- 4.- Nomograma para determinar el Calibre del conductor en los - - circuitos de Alumbrado para una caída de tensión de 3 % y - - 220 volts entre fases.

## METODO PARA DETERMINAR LOS LUMENS EFECTIVOS DISPONIBLES DE UNA UNIDAD REFLECTORA.-

Este método nos conduce a una solución considerando la unidad como un conjunto ( Iluminación promedio ) y no entra en detalle la iluminación específica en un punto.

Aunque es aplicable a cualquier unidad, es más efectivo con el equipo de tipo abierto en el cual la luz es ampliamente dispersada y el coeficiente de utilización es bajo. Este método es de un valor especial cuando el haz entero no cae sobre el área considerada y debe determinarse la efectividad de parte de la salida del reflector.

Calculando los ángulos verticales y horizontales en los puntos -- que deberán delinear el área, es posible colocar la superficie en el diagrama de distribución de Lumens de tal manera que los lumens que inciden dentro del área pueden ser determinados. Esos lumens divididos por el área nos deberán dar la iluminación promedio a ser esperada.

Ensayando varios ángulos de incidencia y deferentes localizaciones del reflector, es posible encontrar tanto el ángulo como la posición -- que nos dará el mejor factor de Utilización y la mayor Intensidad.

Cambiando la inclinación del haz se desplaza el diagrama del área el número necesario de grados hacia abajo o hacia arriba sobre el diagrama de distribución de lumens, mientras que relocalizando el montaje de las unidades requiere la relocalización de los puntos que delínean el área sobre el diagrama.



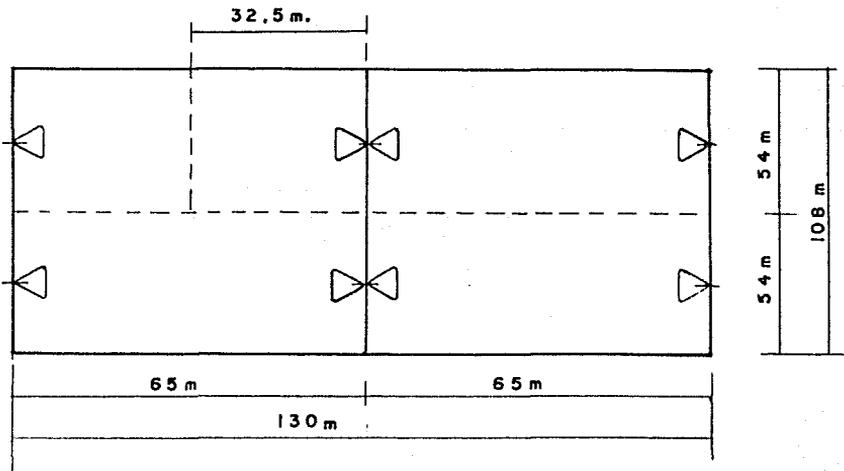
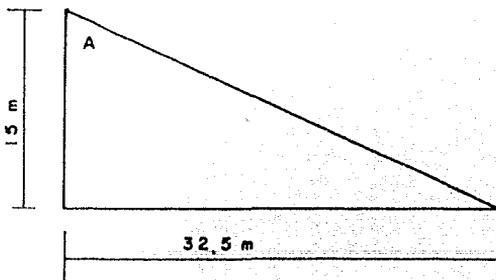


FIG. 2



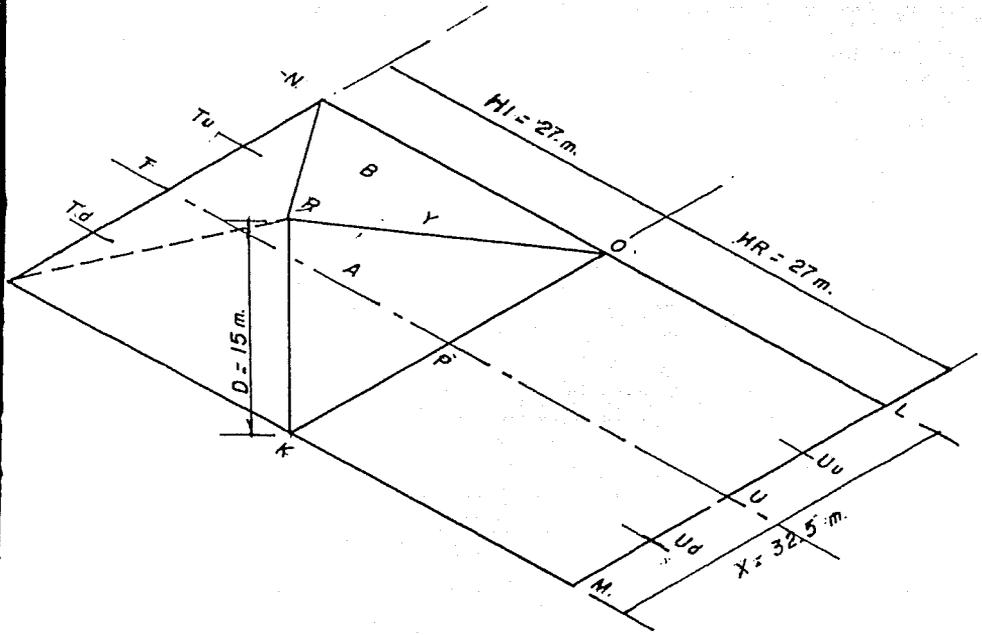


Fig. 3.0

PROYECTO DE ALUMBRADO EXTERIOR PARA LA SUBESTACION HUILE, C.F.E.

Usando los datos de la Fig. 1.0 y los tabulados enseguida, determinar los lúmenes efectivos sobre la superficie de un reflector localizado como se muestra en la Fig. 2.- La posición del equipo con respecto a la línea central de la superficie es mostrado en la Fig. 3.0

$$FM = NL = 65 \text{ m.} \quad KO = X = 32.5 \text{ m.}$$

$$KR = D = 15.0 \text{ m.} \quad FN = ML = 32.5 \text{ m.}$$

$$OL = HR = 27.0 \text{ m.} \quad ON = HL = 27.0 \text{ m.}$$

REFLECTOR ML 3005 TIPO MV 430 MARCA CROUSE HINDS

ANGULO HORIZONTAL 125.5 ° ANGULO VERTICAL 142.7 °

De los datos de la Fig. No. 2 notamos que la S.E. cuenta con cuatro bahías de 65 x 54 m. c/u.

Si tratamos de iluminar c/u de las bahías con un solo reflector tendríamos :

$$\tan A = X/D = 65/15 = 4.33 \text{ de donde } A = 77^\circ$$

Notamos que el ángulo vertical es mayor que el que nos proporciona el reflector seleccionado de antemano que es de  $142.7/2 = 71.35^\circ$

Fué por esto que se optó en dividir las bahías de 65 x 54 m. en dos de 32.5 x 54 m. y con base a esto se efectuaron los cálculos.-

Cada uno de los puntos de la periferia de la superficie debe estar localizado por un ángulo vertical y uno horizontal por ejemplo, el punto N es localizado por el ángulo A. el cual es dado por :

$$\tan A = X/D \text{ determinado por cálculo o bien empleando el Nomograma 1 ó 2.}$$

El ángulo horizontal deberá ser el ángulo B, el cual es dado por :

$\tan B = HL \cos A / D$  determinado por cálculo o empleando cualquiera de los Nomogramas 1 ó 2 .-

Aplicando las expresiones anteriores el valor para :

$$\tan A = 32.5 / 15 = 2.1667 ; A = 65.22 \text{ y } \cos A = 0.4191$$

$$\tan B = HL \cos A / D = 27 \times 0.4191 / 15 = .7544 \text{ B} = 37.03^\circ$$

Por este procedimiento los ángulos verticales y horizontales son determinados para los puntos en las cuatro esquinas y sobre la línea cero del eje del haz, y son necesarios cuatro puntos más para localizar definitivamente la periferia de la superficie. Ya sea por cálculo o bien empleando los Nomogramas los valores obtenidos deben ser tabulados como se muestra a continuación.-

PUNTO	ORDENADA	DIRECCIÓN	ANGS. VERTICALES		HR o HL	D	ANGS HORIZONTALES	
			ANG. A	COS A	m	m	TAN B	ABSCISA-B
L	32.61	Up	65.22	0.4191	27	15	0.7544	37.03
U <sub>v</sub>	16.30	"	48.91	0.6572	27	15	1.1830	49.79
U	- - -	----	32.61	0.8424	27	15	1.5163	56.59
U <sub>D</sub>	16.30	Down	16.30	0.9598	27	15	1.7276	59.94
M	32.61	"	0	1.0000	27	15	1.8000	60.94
O	32.61	Up	65.22	0.4191	--	--	- -	--
P	- - -	----	32.61	0.8424	--	--	- -	--
K	32.61	Down	0	1.0000	--	--	- -	--
N	32.61	Up	65.22	0.4191	27	15	0.7544	37.03
T <sub>u</sub>	16.30	"	48.91	0.6572	27	15	1.1830	49.79
T	- - -	----	32.61	0.8424	27	15	1.5163	56.59
TD	16.30	Down	16.30	0.9598	27	15	1.7276	59.94
F	32.61	"	0	1.0000	27	15	1.8000	60.94

PHOTOMETRIC TEST REPORT

GRUSE-HINDS COMPANY  
SYRACUSE 1, N. Y., U. S. A.  
PHOTOMETRIC LABORATORY

CURVE NO. 4561-A

EQUIPMENT TESTED

NOMINAL LAMP DATA

TEST RESULTS

Test No. **PLAS 61**  
Tested **VEST**  
Checked **VEST**  
Approved **VEST**  
Date **5/12/54**

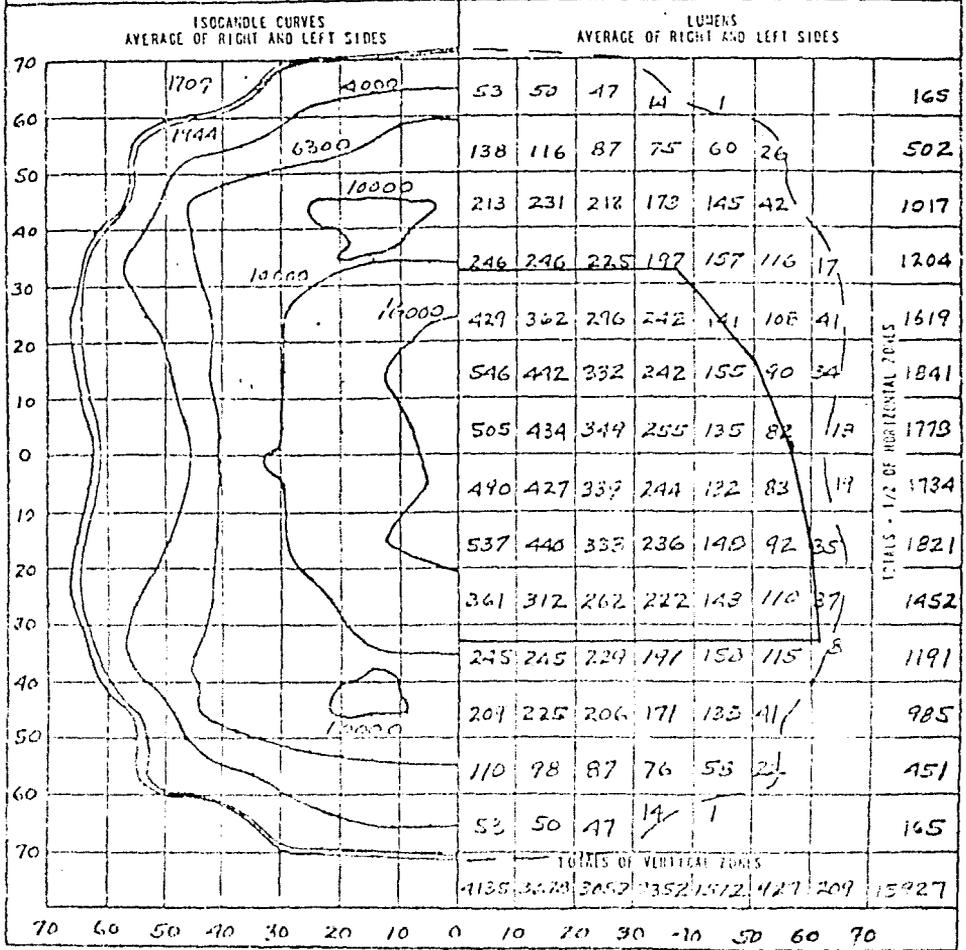
Type **A1V-730**  
Collector **A1Z-3005**  
Lens **250B-BH**  
Aux. **ADME**  
**1/2 LAMP HALDEN SPENCER**

Ordering **L1400/120**  
Watts **400**  
Voltage  
Bulb **E-18**  
Base **MOG-5C**

Lumens **50000**  
C.P.L. **5 3/8**  
Fid. **1/16"**  
Solv. **GEN. 276**

Av. Max. C.P. **17086**  
Max. C.P. **19440**  
Peak Lumens **31254**  
beam LIT. **63.7**  
Beam (Hor.) **125.5°**  
Spread (Vert.) **142.7°**

Tested in Accordance with IESNA-IES Guide  
MAR.C.D. DATA  
BEAM EFF. - **63.4%**  
MEAN SPREAD - **122.6 HEMISP.**



Los puntos para los cuales han sido calculados los ángulos verticales y horizontales en la tabulación anterior son dibujados en el diagrama de distribución de lumens del reflector seleccionado, tal y como se indica en dicho diagrama.-

El área encerrada entre los puntos dibujados en el diagrama de distribución de lumens representa la distribución de la luz a la izquierda y a la derecha provenientes de la unidad reflectora.

La suma de los lumens dentro de esta área deberán dar los lumens efectivos a partir de la unidad.

La siguiente tabla enlista la suma de los cuadrados y la parte proporcional de los mismos dentro del área como lo muestra el diagrama de distribución de lumens.

Z O N A - H O R I Z O N T A L

0	10	20	30		0	-10	-20	-30
10	20	30	40		-10	-20	-30	-40

CAMPO A LA DERECHA DE LA UNIDAD ZONA VERTICAL

0	-10	505	546	429	49	490	537	361	49
10	-20	434	442	362	49	427	440	312	49
20	-30	349	332	296	45	339	333	262	46
30	-40	255	242	230	29	244	236	222	14
40	-50	135	108	42	--	132	148	148	32
50	-60	29	---	---	--	66	83	110	23
		1707	1670	1359	172	1698	1777	1415	213

( 4 908 )

( 5 103 )

Suma total de lumens = 4 908 + 5 103 = 10 011

Area = 27 x 32.5 = 877.5 m<sup>2</sup> x 10.76 = 9 441.9 pies<sup>2</sup>

Estos lumens corresponden al campo a la derecha de la Unidad, como la superficie es simétrica los lúmens en el campo a la izquierda de la unidad serán los mismos.

Esos lumens son efectivos y están incluidos en los cuadrados encerrados dentro del área.

Dividiendo los lumens por el área,

10 011 / 9 441.9 = 1.06 ft-c

1.06 x 10.7 = 11.34 Lux. Para el campo a la derecha de la unidad, por lo tanto los Luxes a la izquierda de la unidad como se mencionó anteriormente serán los mismos.

El método anterior permite un rápido análisis del equipo, localización y -- ajustes para obtener el mejor Factor de Utilización e Intensidad.

Si se consideran varios reflectores para iluminar una misma área, únicamente será necesario sumar los luxes de los reflectores localizados similarmente con los luxes de aquellos reflectores que hayan necesitado un tratamiento especial.

Para controlar la distribución uniforme de la iluminación, será necesario tener suficientes unidades para dar la intensidad requerida. La intensidad del área cubierta por esas unidades deberá ser así uniforme.

Para las unidades reflectoras del tipo abierto, el espaciamiento entre las mismas no debe ser mayor de una y media veces la altura de montaje, cuando la altura de montaje es ajustada para cubrir el área en la dirección del ángulo vertical.

En el ejemplo anterior, se consideró que el reflector fué dirigido directamente a través del área y que los ángulos  $g_1$  y  $g_2$  son iguales. También se consideró que el área es un polígono regular. Estas consideraciones son arbitrarias, para cualquier superficie cualquier dirección del eje del haz -- puede considerarse. Cuando se presente un problema no conformando simetría, es necesario determinar un gran número de puntos, pero el método general es el mismo.

El método anterior se emplea únicamente para determinar la Iluminación Promedio, y cuando se desea determinar la iluminación en un punto específico, el método de punto por punto resulta ser el indicado.

Empleando los Nomogramas en el cálculo de alumbrado exterior de Subestaciones en nuestro caso particular la tabulación de la página se reduce únicamente a cuatro columnas como se muestra a continuación :

PUNTO	ORDENADA	ANGULO VERTICAL (A)	ANGULO HORIZONTAL (B)
L	32.61	65.22	36.0
U <sub>u</sub>	16.30	48.91	48.5
U	32.61	32.61	56.0
U <sub>D</sub>	16.30	16.30	59.0
M	32.61	0.0	60.0
O	32.61	65.22	-- -
P	-- -	32.61	-- -
K	32.61	0.0	-- -
N	32.61	65.22	36.0
T <sub>u</sub>	16.30	48.91	48.5
T	-- -	32.61	56.0
T <sub>D</sub>	16.30	16.30	59.0
F	32.61	0.0	60.0

Los pasos siguientes para la obtención de los Lumens y posteriormente los luxes son los mismos.

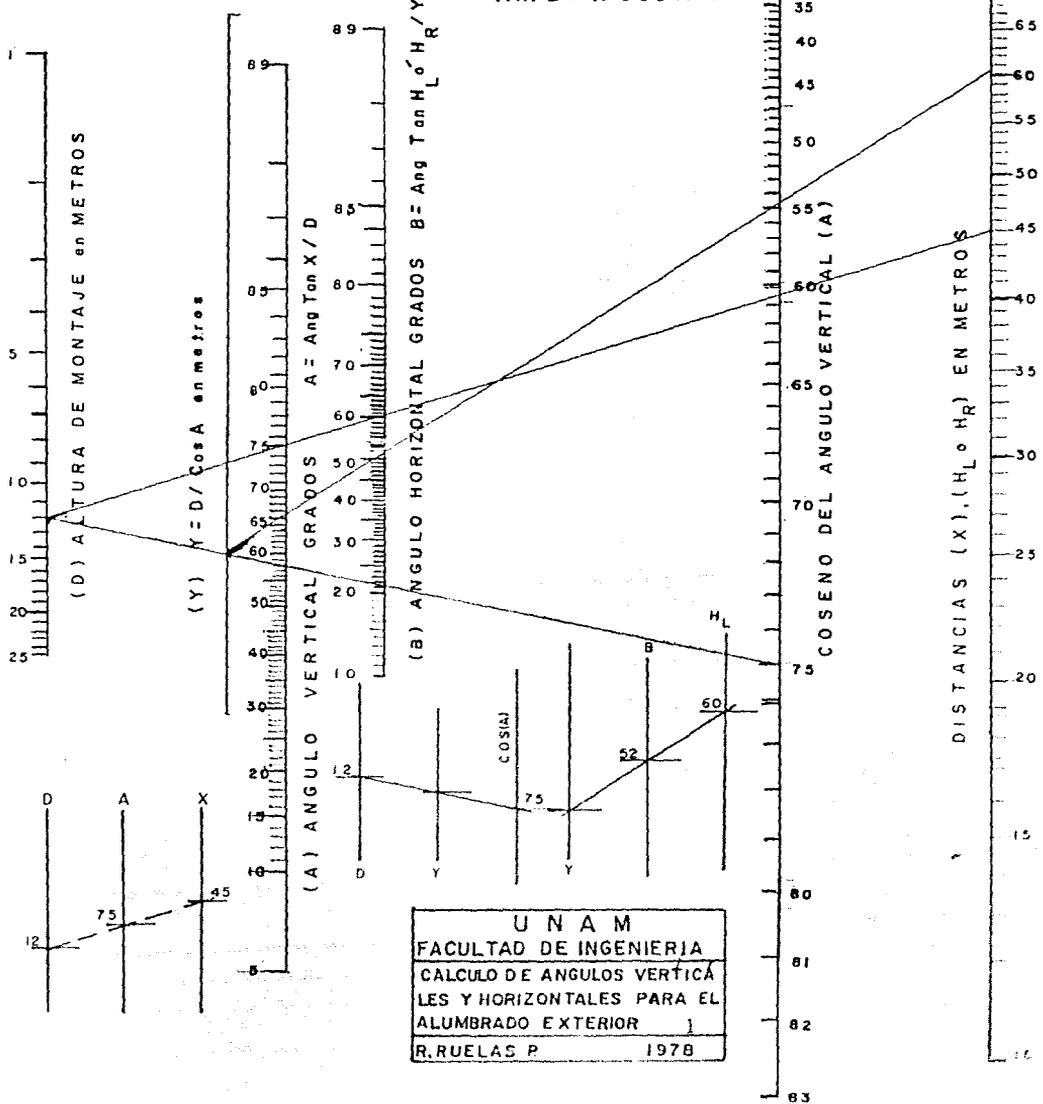
NOMOGRAMA PARA DETERMINAR LOS ANGULOS VERTICAL Y HORIZONTALES DE  
 DE UNA UNIDAD REFLECTORA EN EL CALCULO DEL ALUMBRADO EXTERIOR EN  
 EL DEPTO. DE PROYECTOS DE S.E. y L.T. DE LA GCIA. GRAL. DE CONST. DE LA

COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD

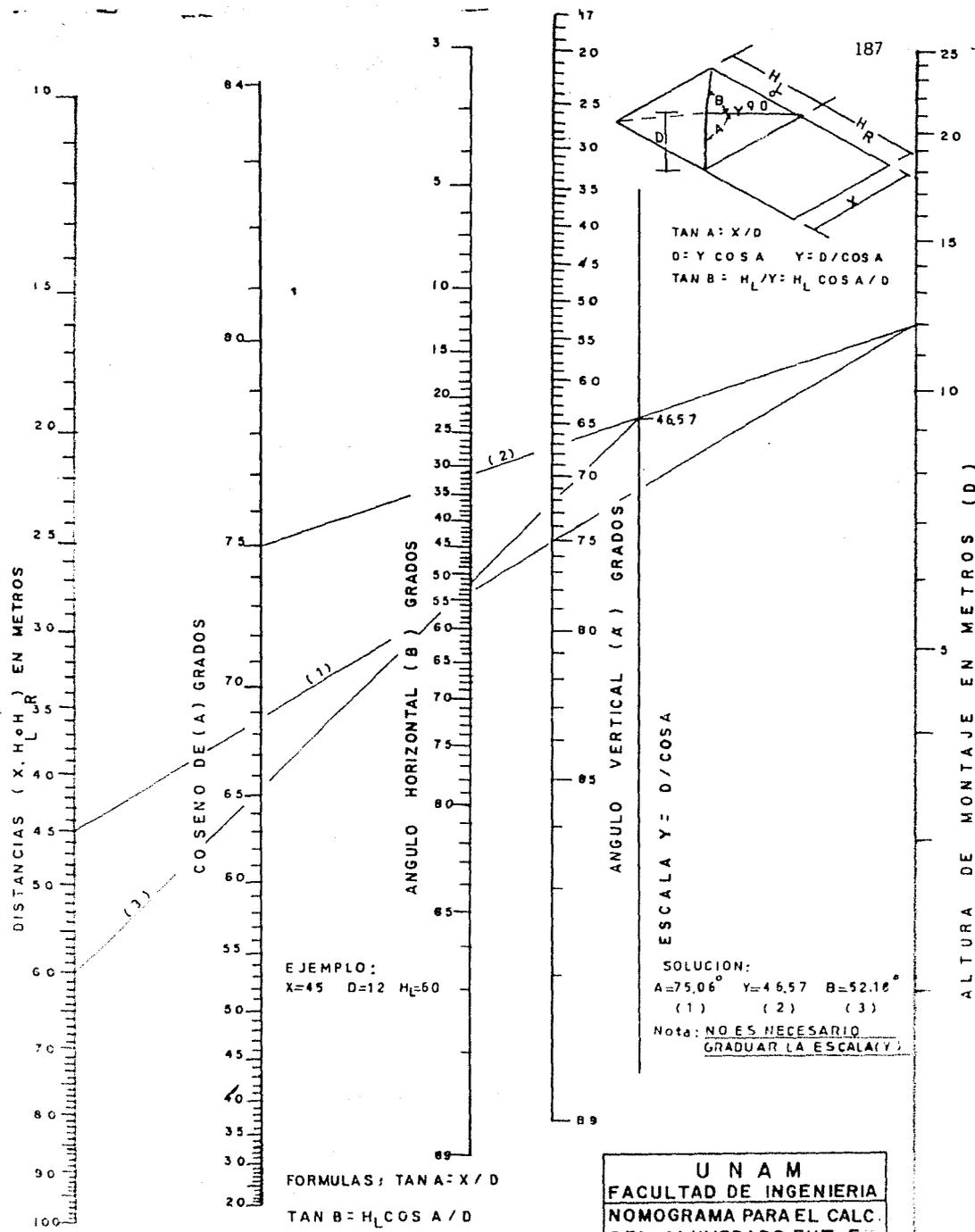
FORMULAS:

$TAN A = X/D$

$TAN B = H \cos A / D$



U N A M  
 FACULTAD DE INGENIERIA  
 CALCULO DE ANGULOS VERTICA  
 LES Y HORIZONTALES PARA EL  
 ALUMBRADO EXTERIOR  
 R. RUELAS P. 1978



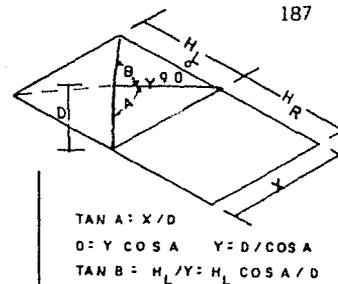
DISTANCIAS ( X, H, H<sub>L</sub>, H<sub>R</sub> ) EN METROS

CO SEN O DE ( A ) GRADOS

ANGULO HORIZONTAL ( B ) GRADOS

ANGULO VERTICAL ( A ) GRADOS

ALTURA DE MONTAJE EN METROS ( D )



TAN A = X / D  
 D = Y COS A    Y = D / COS A  
 TAN B = H<sub>L</sub> / Y = H<sub>L</sub> COS A / D

EJEMPLO:  
 X=45    D=12    H<sub>L</sub>=50

SOLUCION:  
 A=75,06°    Y=46,57    B=52,10°  
 (1)        (2)        (3)

Nota: NO ES NECESARIO GRADUAR LA ESCALA ( Y )

FORMULAS: TAN A = X / D  
 TAN B = H<sub>L</sub> COS A / D

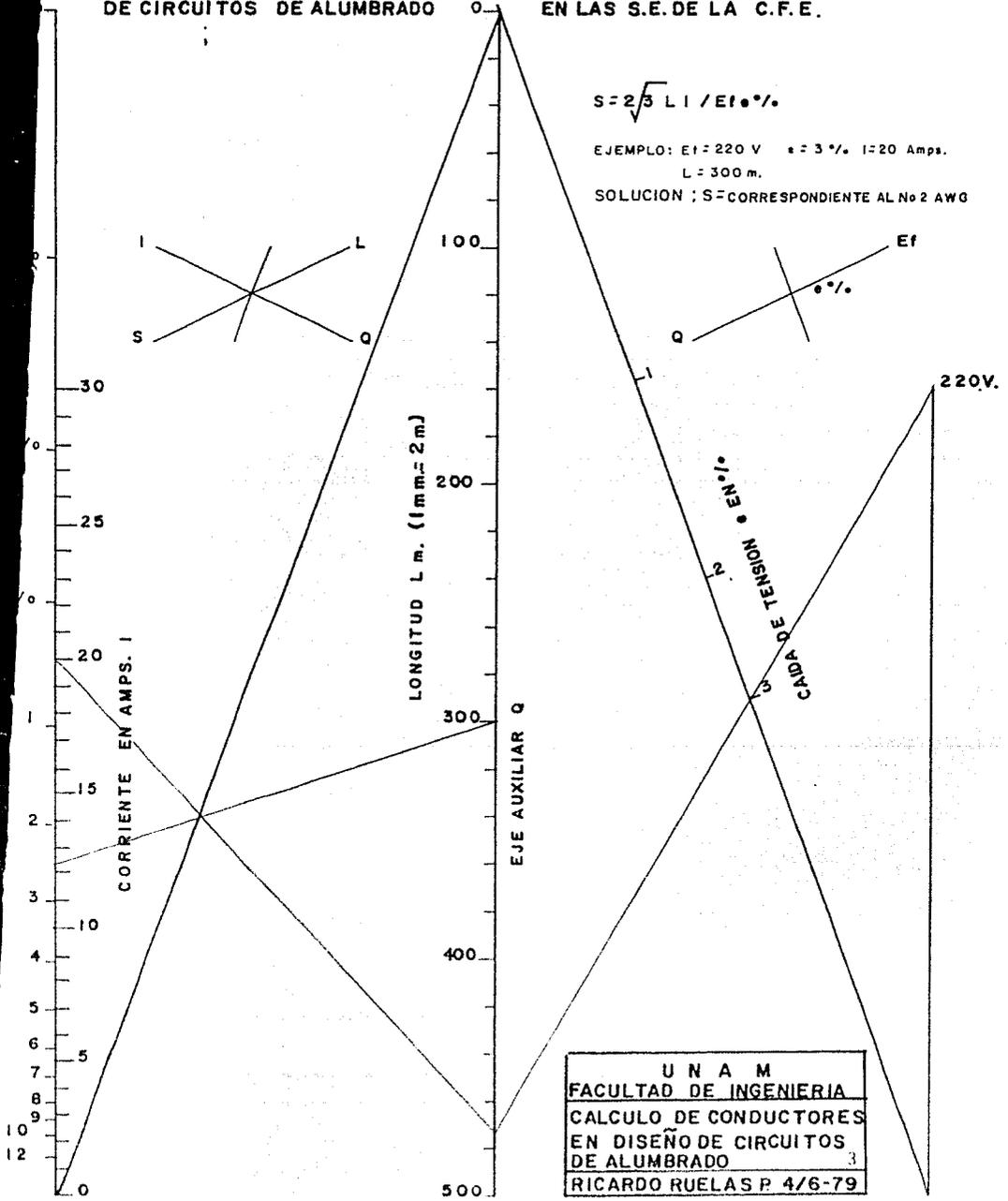
UNAM  
 FACULTAD DE INGENIERIA  
 NOMOGRAMA PARA EL CALC.  
 DEL ALUMBRADO EXT. EN  
 LAS SE. DE LA C.F.E.  
 R. RUELAS P. 1978

**NOMOGRAMA PARA DETERMINAR EL CALIBRE DEL CONDUCTOR EN DISEÑO DE CIRCUITOS DE ALUMBRADO EN LAS S.E. DE LA C.F.E.**

$$S = \sqrt[3]{L I / E f \cdot \%}$$

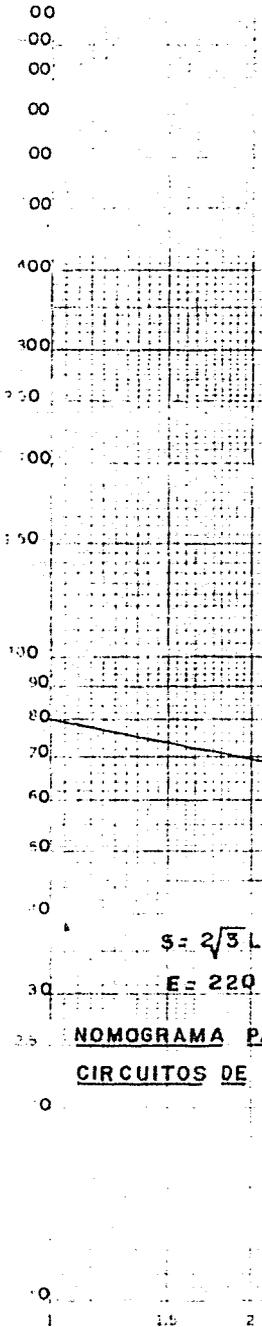
EJEMPLO: E = 220 V    e = 3 %    I = 20 Amps.  
L = 300 m.

SOLUCION ; S = CORRESPONDIENTE AL No 2 AWG

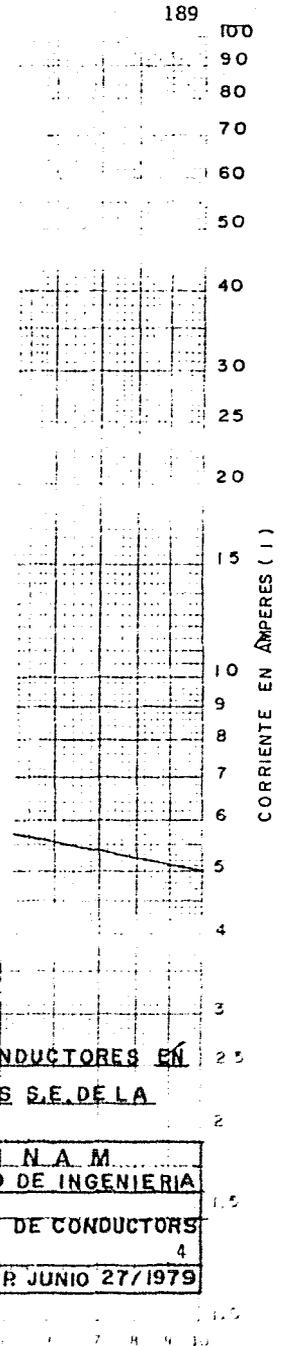


U N A M
FACULTAD DE INGENIERIA
CALCULO DE CONDUCTORES
EN DISEÑO DE CIRCUITOS
DE ALUMBRADO <span style="float: right;">3</span>
RICARDO RUELAS P 4/6-79

(D) DISTANCIA EN METROS



CALIBRE AWG o M.C.M.



$$S = 2\sqrt{3} LI / E \rho \cdot \% \text{mm}^2$$

$$E = 220 \text{ V. } \rho = 3\%$$

**NOMOGRAMA PARA CALCULO DE CONDUCTORES EN  
CIRCUITOS DE ALUMBRADO EN LAS S.E. DE LA  
C.F.E.**

U. N. A. M.
FACULTAD DE INGENIERIA
CALCULO DE CONDUCTORES
4
R. RUELAS R JUNIO 27/1979