



207

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
ACATLAN**

**ANALISIS ESTOCASTICO DEL AGUA
SUBTERRANEA EN FLUJO
TURBULENTO**

**TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A
ELOY CORNEJO PEREZ**

MEXICO, D. F.

1992

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



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 está 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.

INDICE

INTRODUCCION	1
I .- TEORIA ELEMENTAL DEL MOVIMIENTO DEL AGUA SUBTERRANEA	
I.1.- ACUIFERO, ACUIFUGO, ACUITARDO, ACUICLUDO.....	4
I.2.- DIVERSOS TIPOS DE ACUIFEROS	4
I.3.- FLUJO LAMINAR Y FLUJO TURBULENTO	5
I.4.- LEY DE DARCY	6
I.5.- TRANSMISIVIDAD	9
I.6.- ALMACENAMIENTO ESPECIFICO Y COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO	10
I.7.- ECUACION DE BALANCE DE AGUAS SUBTERRANEAS	12
II.-FUNDAMENTOS DEL BALANCE DEL AGUA SUBTERRANEA	
II.1.- PRECIPITACION	16
II.2.- RECARGA VERTICAL	18
II.3.- FLUJO HORIZONTAL SUBTERRANEO	19
II.4.- EVAPOTRANSPIRACION	21
II.5.- BOMBEO	25
II.6.- ESCURRIMIENTOS SUPERFICIALES	26
III .- ANALISIS ESTOCASTICO PARA EL ESTUDIO DEL FLUJO SUBTERRANEO TURBULENTO	
III.1.- PARAMETROS ESTADISTICOS	28
III.2.- REGRESION Y CORRELACION	30
III.3.- SOLUCION SISTEMATICA A LA TRANSFORMADA DE FOURIER	43
III.4.- ESPECTROS DE FOURIER	46
IV .- EJEMPLO DE APLICACION AL ACUIFERO DE MINA, EDO. DE NUEVO LEON	
IV.1.- MARCO DE REFERENCIA	48
IV.2.- NIVELES ESTATICOS	60
IV.3.- ESPECTROS DE LOS FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL COMPORTAMIENTO HIDRAULICO DEL AGUA SUBTERRANEA ...	62
IV.4.- CORRELACION Y PREDICCION ESPECTRAL	67
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	74
ANEXOS	76
BIBLIOGRAFIA	88

INTRODUCCION

El aprovechamiento del agua subterránea en México, ha tenido un desarrollo muy acelerado a partir de las últimas cuatro décadas, porque siempre cumple con las normas de calidad para lo que sea requerido y se ha perfeccionado la técnica de pozos profundos.

La explotación del agua subterránea se ha vuelto muy importante, requiriendo de estudios científicos para la predicción de la potencialidad del acuífero. Para esto se deberá conocer a detalle las características geológicas, hidráulicas, e hidrológicas y en función de ellas, su comportamiento ante acciones externas a las que se sujeta el acuífero.

A todo este estudio, se le llama estudio "Geohidrológico" y consiste en tres etapas: prospección, cuantificación y predicción. La prospección del acuífero significa que se deberá determinar si el subsuelo almacena y transmite agua, además de determinar su Geología y su geometría.

Por otra parte se identifica si el acuífero se comunica con otros cuerpos de agua, con los cuáles tenga un intercambio, ya sea descargando o recibiendo. A esto se le llama estudio de cuantificación del flujo y de la cantidad de agua recuperable.

Finalmente viene la etapa de predicción y comportamiento del acuífero. Esta etapa se basa en los resultados de los estudios anteriores, en la cuál se hacen cálculos para determinar los efectos de recarga o extracción del agua subterránea.

Para la "Predicción" se han sistematizado modelos de simulación, que pueden ser físicos, analógicos o numéricos.

Los métodos numéricos se han aplicado con muy buenos resultados a la hidráulica subterránea. Existen modelos numéricos como son: PLASMER4, HIDRO, entre otros; los cuáles se rigen por la Ley de Darcy, es decir, son válidos hasta un número de Reynolds menor a 10 en medios porosos.

Sabemos que la Ley de Darcy se limita a un flujo laminar, porque a un número mayor a 10 el flujo deja de ser laminar y comienza el flujo turbulento.

El caso de este estudio se refiere a los acuíferos con régimen de flujo turbulento, donde la Ley de Darcy ya no tiene validez, y por lo tanto ya no es aplicable los paquetes de simulación numérica antes

mencionado.

El objetivo planteado es: "llegar a determinar las Elevaciones del Nivel Estático en que se encuentra una serie de pozos de un acuífero de régimen turbulento, mediante el uso de la estadística.

Sabiendo que una señal aleatoria cualquiera puede ser transformada con Fourier, posteriormente elaborar u obtener las ondas senoidales principales y si se suman estas ondas senoidales, reconstruimos entonces la señal antes de ser transformadas. Se aprovechan entonces todas estas características de la Transformada de Fourier para elaborar la estrategia de este estudio.

El procedimiento consiste (una vez seleccionados los pozos piloto), en calcular o recopilar información a cerca de las variables que intervienen en el comportamiento del nivel estático del agua subterránea, obtener las transformadas y respectivos espectros de las variables antes determinadas, descomponer en sus ondas de tipo senoidal a los espectros anteriores, posteriormente correlacionar estas ondas senoidales para obtener un modelo matemático de cada pozo piloto, con el cual se podrá hacer la predicción del nivel estático del agua en cada uno de los pozos.

Antes de hacer la predicción deberá de verificar la calibración de cada uno de los modelos. Primeramente se verifica que la reconstrucción de cada variable sea la adecuada, y si la reconstrucción de las variables resulta ser aceptable, entonces, la predicción será certera.

Si se tiene el modelo matemático, se puede estimar valores a futuro de la señal dependiente cuando se fijen o sustituyan valores a las variables independientes.

En el siguiente capítulo se definen los conceptos básicos de la hidráulica subterránea, como son por ejemplo: flujo laminar, flujo turbulento, acuífero, acuífugo, acuífardo, acuícludo, ley de Darcy y sus alcances, permeabilidad, transmisividad, coeficiente de almacenamiento, etc.

En el segundo capítulo se tratan los factores que intervienen en el comportamiento del agua subterránea, tanto pérdidas como aportaciones en la ecuación de balance hídrico.

En el tercer capítulo se plantea una base matemática para elaborar espectros de la precipitación por ejemplo, y de alguna manera llegar a relacionar la influencia de la precipitación con el comportamiento del acuífero; es decir, si se sabe cuánto llueve,

entonces, se sabe cuanto se recarga; pero el objetivo no sólo contempla la precipitación, sino que conjuga a todos los fenómenos cómo són: precipitación, evapotranspiración, bombeo, flujo horizontal, e infiltraciones.

En el capítulo cuarto se aplica la base matemática antes desarrollada para resolver el caso de tres pozos de extracción del acuífero de Mina; este acuífero es de un régimen turbulento, porque se trata de rocas calcáreas fracturadas o fisuradas, en las cuáles el flujo no puede ser láminar, debido a que el agua fluye a través de grandes fracturas y a grandes velocidades.

Al final del capítulo se correlacionan las ondas senoidales espectrales para saber las elevaciones del nivel estático.

Posteriormente se hacen las conclusiones para afirmar si se cumple o no el objetivo de este trabajo.

Se presenta la bibliografía usada para la realización de este trabajo, por orden de importancia.

Finalmente se presentan los anexos, en donde se desarrolla un programa de cómputo para resolver la Transformada de Fourier que nos lleva a la realización del Espectro, posteriormente se describen las instrucciones básicas de un paquete econométrico llamado TSP, con el cual se hacen las regresiones múltiples de las ondas senoidales.

I. - *TEORIA ELEMENTAL DEL MOVIMIENTO DEL AGUA SUBTERRANEA*

I.1. - *ACUIFERO, ACUIFUGO, ACUICLUDO Y ACUITARDO*

El agua situada por debajo de la superficie freática es denominada agua subterránea y se dice que ésta se encuentra en la zona de aguas freáticas. Esta zona está limitada en su parte inferior por una capa impermeable de suelo, es decir, una capa de material con muy pocos poros y estos, no están comunicados entre sí, y por lo tanto el agua no puede emigrar a mayores profundidades.

De todas las zonas freáticas, sólo una pequeña parte puede darnos agua en cantidades significativas. Las zonas que poseen y pueden darnos agua en cantidades económicamente aprovechables se llaman *acuiferos*.

Si la zona se trata de un material que no almacena, ni transmite agua, entonces, se dice que tenemos un *acuifugo*.

Existen zonas subterráneas con capacidad de almacenar agua, pero no pueden transmitir en cantidades significativas, es decir, se trata de un material poroso, pero sus poros no están comunicados entre sí. A estas zonas se les llama *acuicludo*.

El término *acuitardo*, se refiere a zonas que sí almacenan agua, pero al transmitir las, se afecta un balance regional de agua subterránea y no se pueden aprovechar directamente mediante pozos, porque, esta agua no es suficiente para abastecerlo instantáneamente.

En México y en otras partes del Mundo se tienen acuiferos con altos rendimientos sobre todo aquellos que están en sedimentos no endurecidos, en sedimentos marinos karstificados y en rocas volcánicas extrusivas; pero por la escasez de agua no se puede despreciar el agua de otras formaciones.

I.2. - *DIVERSOS TIPOS DE ACUIFEROS*

Un acuifero que tiene como límite superior el nivel freático es denominado *acuifero libre*, en estos acuiferos, la superficie superior se encuentra a presión relativa cero. En otras palabras, el agua de

estos acuíferos se encuentra en contacto directo con la atmósfera a través de los espacios de una masa permeable.

Otro tipo de acuífero es el *acuífero confinado* o *acuífero artesiano*, y este se encuentra bajo una presión mayor a la atmosférica o a presión relativa mayor que cero. Para darse las condiciones confinantes se deberá tener un estrato impermeable por encima y por abajo de la zona acuífera, de tal forma que, estos dos estratos no permitan el escape de la presión de agua, y luego entonces compriman o confinen a la masa acuífera.

Los acuíferos artesianos por lo general tienen áreas de recarga relativamente pequeñas en comparación con los acuíferos libres y comúnmente rinden o dan menos agua. En el aspecto económico estos acuíferos son más favorables que los freáticos, por el hecho que transmiten agua a distancias importantes y la entregan arriba del nivel freático, reduciendo así los costos de bombeo.

Con la perforación de pozos en los acuíferos artesianos, estos pueden ser: pozo artesiano surgente o pozo artesiano no surgente; es decir, si la cota topográfica del terreno es menor al nivel piezométrico entonces tenemos un pozo artesiano surgente, si por el contrario el nivel del terreno es superior al nivel piezométrico entonces el pozo será artesiano no surgente. En la figura I.2.A se aprecian estos tipos de pozos así como el acuífero libre y el acuífero confinado.

Cuando se sobreexplota un acuífero confinado y el nivel piezométrico se abate hasta llegar abajo del estrato confinante, éste acuífero se convierte en acuífero libre, y esto es un proceso irreversible en la naturaleza, porque ahora el nivel piezométrico coincide con el nivel freático y está a una presión relativa cero.

Las condiciones intermedias entre un acuífero libre y un acuífero confinado corresponderá entonces a un *acuífero semiconfinado*. Este tiene una presión mayor a la atmosférica pero menor a la del acuífero confinado.

I.3. -

FLUJO LAMINAR Y FLUJO TURBULENTO

Se dice que el flujo de un fluido es laminar cuando las venas líquidas adyacentes del fluido se desplazan paralelas entre sí y en

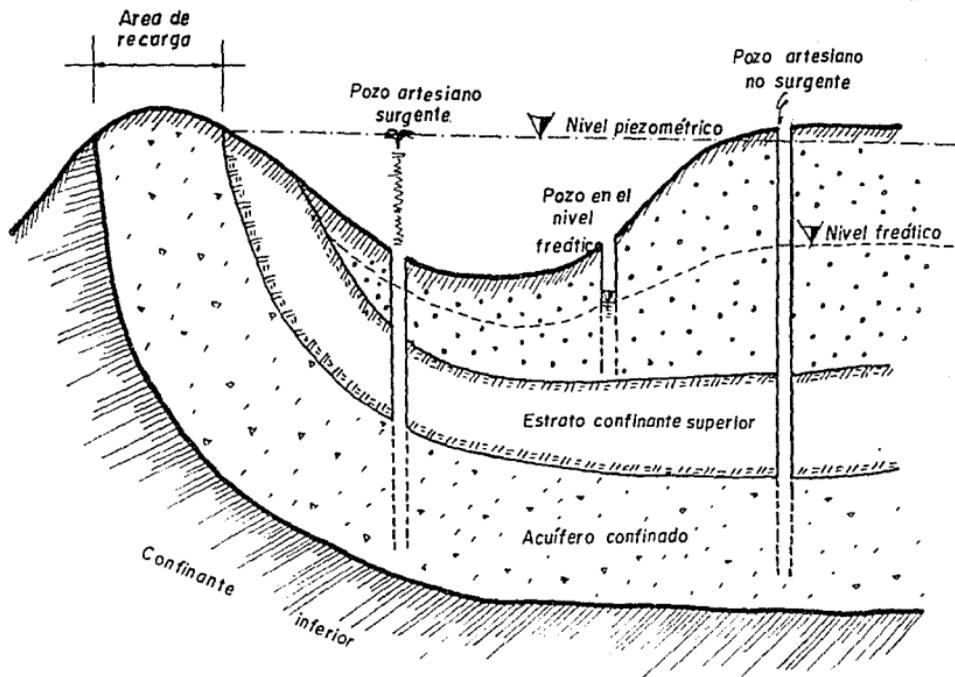


FIG. 1.2.A.- Acuífero libre y acuífero confinado. Si cambiamos el estrato confinante superior por un estrato semiconfinante, tendremos entonces un acuífero semiconfinado.

ENEP ACATLAN
TESIS PROFESIONAL
Fig. 1.2.A.- Tipos de acuíferos
ELOY CORNEJO PEPEZ

una sola dirección, no hay velocidades transversales de la corriente, no hay remolinos y en particular la velocidad es pequeña.

El régimen de flujo turbulento se caracteriza por altas velocidades, presencia de remolinos, velocidades transversales que provocan estos remolinos o torbellinos.

Físicamente estos fluidos se pueden diferenciar si a una corriente transparente se le inyecta cuidadosamente un fluido colorante. Si se ve que el colorante se desplaza en placas o láminas paralelas entre sí, entonces, tenemos un flujo laminar; si por el contrario, se aprecia que el colorante tiene velocidades transversales y éste se vuelve ramificado, tenemos entonces turbulencia.

Por otro lado podemos definir el tipo de régimen utilizando el número de Reynolds. Este es un parámetro adimensional, el cual nos sitúa en régimen turbulento o en régimen laminar, dependiendo de la velocidad que lleve el fluido, del diámetro en el cual se conduce y especialmente de la viscosidad del fluido.

$$Re = \frac{V \cdot d}{\nu} = \frac{\text{(Velocidad)} \text{ (Diámetro)}}{\text{Viscosidad cinemática}}$$

El número de Reynolds a partir del cual el flujo se considera turbulento en medios porosos es de 10 y, en flujo donde se considere la carga de velocidad, éste número es 4,000.

Existe una gran diferencia en este punto del número de Reynolds, de 10 a 4,000, y esto a que el número 10 fué determinado sin considerar las fuerzas de inercia, tal como lo plantea Bernoulli en su ecuación de balance de energía.

I.4.-

LEY DE DARCY

El movimiento del agua subterránea se debe a la diferencia de niveles y diferencia de presiones entre dos puntos cualesquiera del acuífero. Estas diferencias provoca que el movimiento del fluido tienda a ser siempre descendente.

Al hacer un balance de energía en medios porosos para cuantificar el gasto Q, las cargas de velocidad són muy pequeñas.

A esto Darcy descubrió que, el gasto Q que fluye verticalmente a través de lechos estratificados de arena es inversamente proporcional

a la distancia recorrida y directamente proporcional a la pérdida de energía, a un coeficiente K (dependiente de la naturaleza del medio) y a la sección transversal de la arena ; tal como se ve en la ecuación I.4.1

$$Q = K A \frac{dh}{dl} \quad \dots \text{ I.4.1}$$

el esquema probable del experimento de Darcy se muestra en la fig. I.4. A

El coeficiente K, es la conductividad hidráulica y éste depende de la naturaleza del medio poroso, y de las propiedades del fluido. Este coeficiente nos dice que tanto se permite el flujo a través de las grietas o poros.

De la ecuación I.4.1 obtenemos que K tiene unidades de velocidad, tal como podemos ver el siguiente desarrollo, a partir de la misma ecuación I.4.1

$$Q = K \frac{dh}{dl} A$$

Sabemos que: $V = \frac{Q}{A}$ $t = \frac{dh}{dl}$ CADIMENSIONAL

$$Q = K \cdot t \cdot A$$

$$K = \frac{Q}{A \cdot t}$$

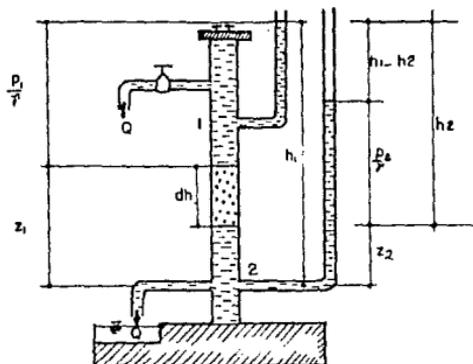
Entonces; $K = \frac{V}{t}$

Por lo tanto $K = \left[\frac{L}{t} \right]$

Como podemos observar; a mayor Conductividad Hidráulica K, mayor será el gasto obtenido; esto indica la capacidad que tiene el fluido de conducirse a través del medio poroso.

En la tabla I.4.A, la conductividad Hidráulica K, en rocas calizas sanas es muy pequeña; pero se tiene conocimiento de acuíferos

EXPERIMENTO DE DARCY



E. N. E. P. ACATLAN

TESIS PROFESIONAL

Fig. 1.4.A. - Dispositivo para demostrar la Ley de Darcy (segun Hubbert).

ELOY CORNEJO PEREZ

CLASIFICACION GEOLOGICA		K	$\frac{cm}{seg}$
CALIZA	ARCILLOSA	8.58×10^{-18}	
CALIZA		1.18×10^{-6}	
ARENISCA	LIMOSA	2.24×10^{-8}	
ARENISCA	DE GRANO GUESO	9.39×10^{-6}	
ARENISCA		2.86×10^{-5}	
ARENISCA	MUY FINA UNIFORME	6.58×10^{-5}	
ARENA	DE GRANO MEDIO UNIFORME	2.17×10^{-3}	
ARENA	DE GRANO GUESO UNIFORME	2.74×10^{-2}	
GRAVA		3.72×10^{-1}	
ARCILLA	MONTMOROLONITICA	4.72×10^{-11}	
ARCILLA	CAOLINITICA	4.72×10^{-9}	

TABLA I-4.0 CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA K, PARA DIFERENTES MATERIALES
 DATOS CALCULADOS POR LA C.F.E.

calcáreos que proporcionan grandes gastos, y esto, debido a que las rocas calcáreas sufren grandes disoluciones provocando la existencia de cavernas y fracturas en dónde fluye el agua a grandes velocidades. La Ley de Darcy en estos extremos ya no tiene validez.

Para poder definir el alcance o dominio de la Ley de Darcy, basta definir un número de Reynolds crítico, es decir, un valor en el que se establezca una frontera entre el flujo laminar y flujo turbulento; pero antes de esto y por dificultad de medir la velocidad en un acuífero, es más fácil recordar que, en flujo turbulento se tienen velocidades altas, y por tanto, ya no se debe desprestigiar la carga de velocidad: así que, en flujo turbulento la Ley de Darcy ya no tiene validez, porque esta no considera la fuerza de inercia de la masa de fluido.

Al tratar de aplicar la ley de Darcy al estudio hidráulico de un acuífero con flujo en régimen turbulento, no se puede llegar a un resultado confiable, pues ésta Ley presenta trascendentes desviaciones a los resultados reales.

Para el estudio hidráulico de un acuífero, comunmente se hace bajo el régimen de la Ley de Darcy. Resulta sin embargo, que en la práctica tenemos acuíferos con flujo turbulento; los cuáles no deben ser tratados con esta Ley.

Castany propone tratar al régimen turbulento con esta misma Ley pero haciendo algunas modificaciones como se ve en la siguiente ecuación:

$$i = K \cdot V^m \quad \dots I.4.2$$

Donde m depende de las propiedades de la roca y del régimen de la corriente. Varía entre 1 y 2 en los terrenos permeables del tipo granular y entre 1.75 y 2 en las rocas fisuradas.

Observamos que estos parámetros de m son demasiado arbitrarios, y dependen mucho de la gran experiencia del Ingeniero, no existe mayor clasificación del subsuelo, es decir, del grado de permeabilidad para poder clasificar cuando $m=1$ y cuando $m=2$. También es muy conocido que existen medios carsticos, en donde la disolución de la roca llega a tal grado que se han formado verdaderos ríos subterráneos y además existen bloques de esta misma roca que tienen pocas fisuras.

Este mismo autor (Castany), muestra la siguiente ecuación:

$$V = K \cdot i^{1/2}$$

... I.4.3

"En régimen turbulento, la velocidad del flujo es proporcional al gradiente hidráulico elevado a la un medio".

Si despejamos el término i , a partir de la ecuación I.4.3, observamos que este es totalmente diferente a la ec. I.4.2:

$$i = \left(\frac{V}{K} \right)^2 \quad \text{es diferente a} \quad i = K \cdot V^m$$

Por otro lado el Autor "Kashef A.I.", nos da otra relación para el flujo turbulento:

$$V^n = C' \cdot i \quad \dots \text{I.4.4}$$

"Cuando $2.0 > n > 1.70$ (Taylor, 1948); el valor de n (adimensional) depende del grado de turbulencia, y C' es una constante que depende de la velocidad"

El problema es saber cuanto vale C' y cómo valuar a n con respecto a Reynolds.

Debido a la falta de claridad y respaldo a las situaciones anteriores, no existen estudios formales de la cuantificación y predicción del agua subterránea en régimen turbulento.

I.5

TRANSMISIVIDAD

Aceptando que en un acuífero existe un movimiento bidimensional del agua, pero debido a que la distancia horizontal del acuífero es 2 ó 3 veces más grande que su distancia vertical; se tiene entonces que el coeficiente de transmisividad T es la capacidad del acuífero para transmitir agua horizontalmente en todo su espesor y se define como el producto del coeficiente de permeabilidad K por el espesor saturado del acuífero b . La ecuación que define el coeficiente de Transmisividad es la ec. I.5.1

$$T = K \cdot b \quad \dots \text{I.5.1}$$

En otras palabras; la Transmisividad, es la cantidad de agua que atravieza por una franja vertical de ancho unitario y altura igual al

espesor saturado del acuífero, cuando el gradiente hidráulico es unitario. En la figura I.5.A se aprecia más claramente esta definición:

De la figura se obtiene que:

$$i = \frac{h_1 - h_2}{L}$$

Se debe cumplir que:

$$i = \frac{dh}{L} = 1.00$$

$$h_1 - h_2 = L$$

La transmisividad tiene unidades de

$$\frac{L^2}{T}$$

I.6.-ALMACENAMIENTO ESPECIFICO Y COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO

El almacenamiento específico S_s , es el volumen de agua que sale por unidad de volumen de un acuífero cuando el potencial hidráulico disminuye en una unidad. La ecuación del almacenamiento específico tiene la siguiente forma:

$$S_s = \rho g \alpha (1-n) + \rho g n \beta \quad \dots I.6.1$$

Donde:

n =Porosidad

g =Gravedad

α =Compresibilidad del acuífero

β =Compresibilidad del fluido

p =Presión intersticial o presión experimentada por el agua en los poros.

Siendo:

$$\alpha = \frac{1}{K_s} ; \quad \beta = \frac{1}{K_v}$$

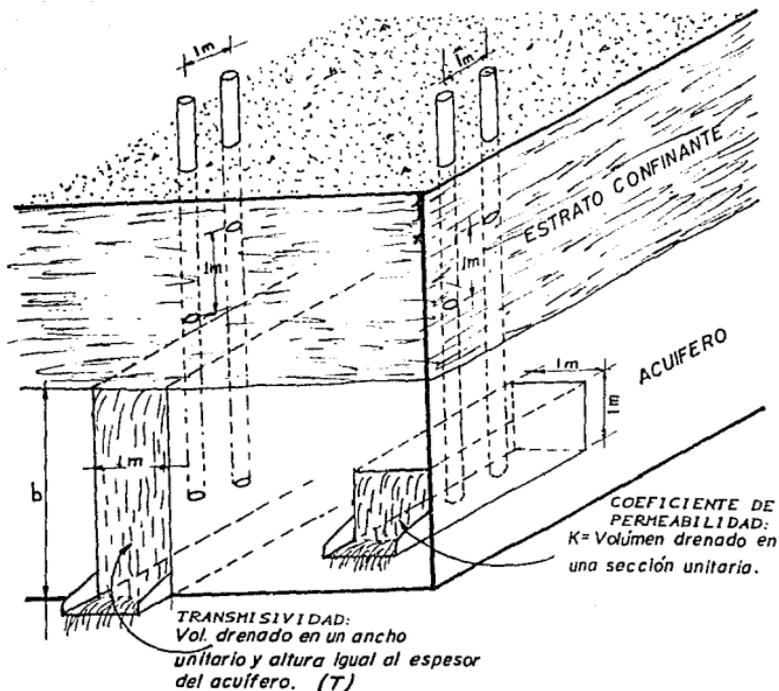


FIG. 1.5.A.— Concepto gráfico del coeficiente de permeabilidad y transmissividad.
 El coeficiente de permeabilidad multiplicado por el espesor del acuífero es la transmissividad.

E. N. E. P. ACATLAN	
TESIS PROFESIONAL	
Fig. 1.5.A.—	Coeficiente de permeabilidad y transmissividad
ELOY CORNEJO PEREZ	

Donde: K_s = Módulo de elasticidad cúbica de la estructura

K_w = Módulo de elasticidad del fluido

Las componentes de la ec. I.6.1 expresan que el almacenamiento específico es la suma del agua liberada por compresión y expansión de la estructura molecular del acuífero; como puede verse a continuación.

$\rho g \alpha (1-n)$ = Agua almacenada liberada por unidad de volumen, debido a la compresión del esqueleto intergranular cuando la carga hidráulica disminuye una unidad.

$\rho g n \beta$ = Agua almacenada, liberada por unidad de volumen, debido a la descompresión o expansión del agua, cuando el nivel piezométrico desciende en una unidad.

Por otro lado el coeficiente de almacenamiento S es la cantidad de agua almacenada que es liberada por una columna de acuífero de área horizontal unitaria y altura igual al espesor saturado del acuífero, cuando la carga hidráulica desciende en una unidad. El término S tiene unidad adimensional.

El valor del coeficiente de almacenamiento S , para acuíferos confinados es del orden de 10^{-2} a 10^{-5} ; esto es un valor muy pequeño, en cambio para los acuíferos libres el valor de S va de 0.05 a 0.30 y es prácticamente igual al rendimiento específico S_y del material situado en el nivel freático.

Se tienen las siguientes ecuaciones del coeficiente de almacenamiento para acuíferos libres (a) y confinados (b):

$$a) S = S_y \cdot b \qquad b) S = S_y + S_s \cdot b \qquad \dots \text{Ec. I.6.2}$$

Donde: S_y = Rendimiento específico
 b = Espesor saturado del acuífero

$$\text{Siendo: } S_y = \frac{\text{VOL. AGUA DRENADA POR GRAVEDAD}}{\text{VOL. TOTAL DE SUELO}}$$

En la fig. I.6.A. se muestra el significado físico de S.

I.7.- ECUACION DE BALANCE DE AGUAS SUBTERRANEAS

Para poder hacer un balance de aguas subterráneas, debemos primeramente tener en cuenta la Ley de la conservación de la masa, considerar luego un intervalo fijo de tiempo y un volumen también fijo de acuífero; el cuál puede ser arbitrario, de preferencia donde se tenga mayor información.

La forma más simple y general de representar un balance de agua subterránea es, unicamente considerando que el cambio de masa de agua almacenada en un volumen constante es igual a la entrada neta de agua menos la salida.

ENTRADA NETA DE AGUA - SALIDA = VARIACION DE VOLUMEN ALMACENADO

En otras palabras, el cambio de volumen almacenado es igual a la diferencia de entradas y salidas de agua al acuífero. La ecuación que representa este balance es la siguiente:

$$E_h + I - S_h - E_s - B - E_v = \Delta V \quad \text{Ec. I.7.1}$$

Donde :

E_h = Entradas horizontales subterráneas

I = Entrada por infiltración

S_h = Salidas horizontales subterráneas

E_s = Salidas por escurrimientos superficiales (horizontales), como puede ser un río, lago, manantial, etc.

B = Bombeo

E_v = Salida por evapotranspiración

ΔV = Cambio en el volumen de agua almacenada

Para poder determinar cada uno de los elementos que intervienen en la ecuación I.7.1 se procede de la siguiente manera:

a) *Entradas y salidas horizontales subterráneas*

Primeramente, debemos tener suficientes registros piezométricos,

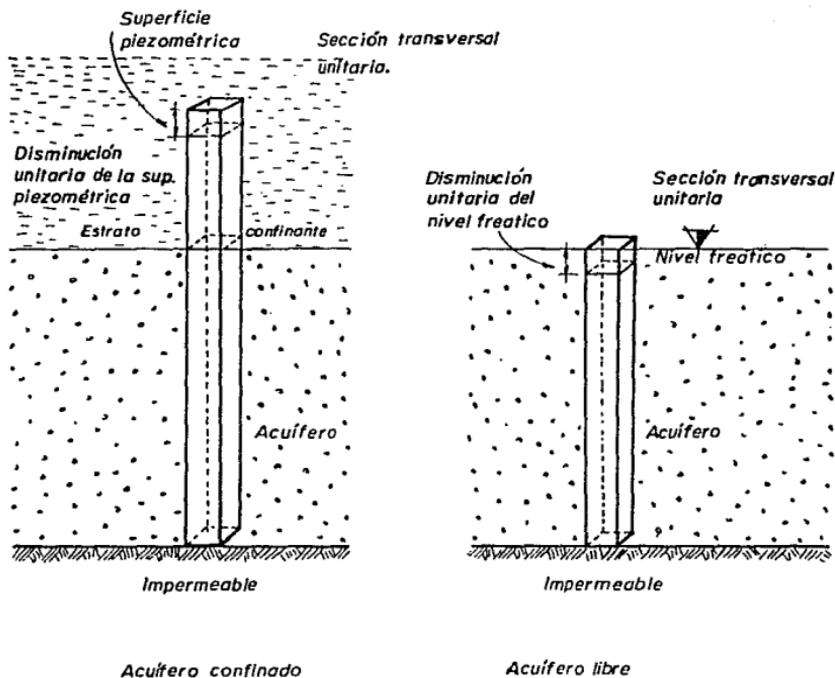


FIG. 1.6.A. Definición del coeficiente de almacenamiento.

E.N.E.P. ACATLAN
TECNOLOGO PROFESIONAL
Fig. 1.6.A
Coeficiente de almacenamiento.
ELOY CORNEJO PEREZ

para poder trazar las líneas equipotenciales y así definir el sentido del flujo subterráneo. Se obtiene el gradiente hidráulico, esto es, haciendo el cociente de la diferencia de alturas de carga de agua entre dos líneas equipotenciales y la distancia que las separa; el sentido de las flechas indica el sentido de la corriente.

En la figura I.7.A se muestra esquemáticamente lo anterior. El gasto Q se obtiene de la siguiente forma:

$$Q = T \frac{dh}{L} B \quad \text{I.7.2}$$

Donde:

Q= Gasto que circula horizontalmente

dh=Diferencia de carga piezométrica entre dos líneas

L =Distancia que separa las dos equipotenciales escogidas

B =Ancho de la sección del flujo (entre las dos líneas de flujo)

T =Transmisividad media de la sección de flujo

A manera de ejemplo. Si quisieramos determinar el gasto que lleva la banda formada en las dos líneas de flujo elegidas, y el valor

de $T=7 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{seg}$; entonces sería:

$$Q = 7 \times 10^{-3} \frac{145-120}{50} \times 1.00 = 3.5 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{seg}}$$

Dependiendo del sentido del flujo, el gasto Q representa un gasto que entra E_h o un gasto que sale S_h .

Para obtener todo el gasto que entra o que sale del acuífero se obtienen tales gastos en cada franja de flujo y la suma de estos representa el gasto total (Q): E_h o S_h .

El cambio de almacenamiento se puede determinar con el uso de las curvas de evolución piezométrica cuando se multipliquen sus valores puntuales por el correspondiente coeficiente de almacenamiento, luego integrarlos para obtener el diferencial de volumen ΔV .

El proceso de integración se puede hacer con algún método gráfico o con la obtención del área entre curvas de isovalores por $(S)(\Delta h)$, siendo:

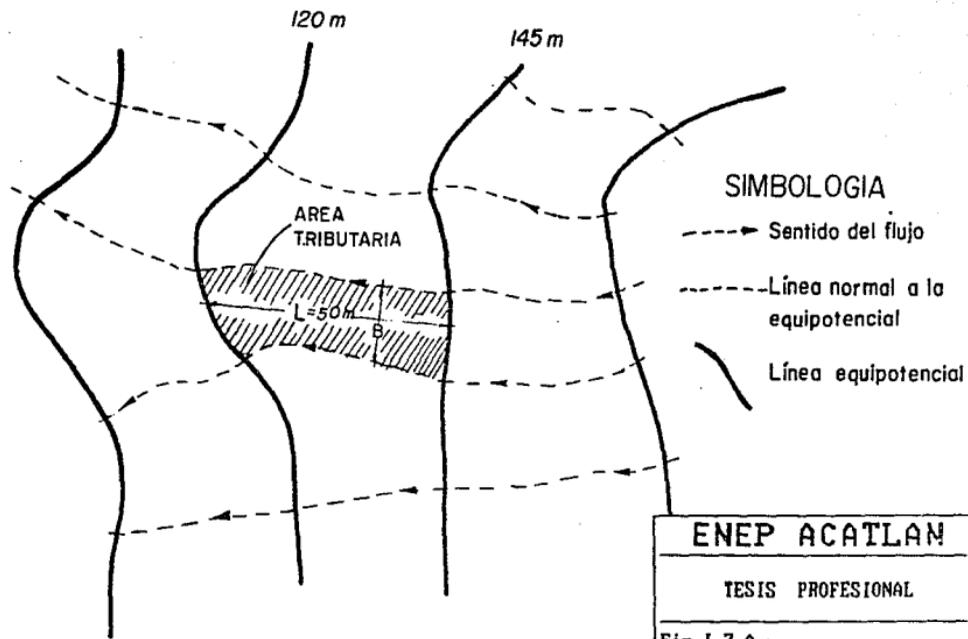


FIG. I.7.A.- Gasto de entradas y salidas horizontales de agua.

(Ah) la evolución piezométrica y (S) coeficiente de almacenamiento. Con la multiplicación de (S).(Ah) por el área entre dos curvas se obtiene el volumen de agua de esa franja. Con la suma de todos los volúmenes de cada una de las franjas se obtiene el volumen total de agua (ΔV) de la cuenca.

Obtener el término S, es muy difícil y lo que se hace comunmente es trabajar con un coeficiente regional. Siendo entonces que, el cambio de almacenamiento estará dado por la integral de las curvas de evolución piezométrica multiplicado por el coeficiente de almacenamiento S.

b) *Infiltración*

Para determinar el término de infiltración, se usan comunmente las siguientes métodos empiricos:

- criterio de capacidad de infiltración media
- criterio del coeficiente de escurrimiento
- criterio del United States Soil Conservation Service (USSCS)
- criterio del índice de precipitación antecedente
- El método de los números de escurrimiento.

Algunos intentos que se han hecho por representar el proceso de infiltración por alguna fórmula matemática son los métodos de A.N. Kostiaikov, Green-G. A. Ampt, y R.E. Horton.

Debido a que la infiltración depende en gran parte de la precipitación, esta no se considera cuando el periodo de balance corresponde a estiaje, y además no existen cuerpos superficiales de agua como lagos, lagunas, rios, canales descubiertos, etc.

c) *Escurremientos superficiales*

La relación lluvia-escurremiento puede analizarse a partir de los siguientes métodos: el método de las envolventes, el metodo racional Americano y el método de histogramas unitarios.

En México, es sumamente común que no se cuente con registros adecuados de escurremiento en el sitio de interés y lo que hace comunmente es dejarlo como incognita y resolver con la mejor estrategia la ecuación de balance.

Al igual que la infiltración, si el periodo de balance corresponde a tiempos de estiaje y no existen manantiales efluentes, entonces, las salidas por escurremientos superficiales no se consideran.

d) Bombeo

El bombeo, es un parámetro del balance sumamente importante, es la principal causa por la que el acuífero pierda potencialidad. Comúnmente se tienen censos de aprovechamientos de pozos, en los cuáles se detalla el tipo de pozo, diámetro, uso del mismo (agrícola, doméstico, industrial o turístico), gasto anual ($m^3/año$), gasto en lps y tiempo de operación del pozo -entre otros-.

Con los datos anteriores, es posible determinar un volumen de agua extraído, en el periodo comprendido para el balance.

e) Salidas por evapotranspiración

Para determinar la evapotranspiración, normalmente se determina el uso consuntivo de la zona. La determinación de este parámetro es sumamente importante y existen diversos métodos para su cálculo; como son el método de Thornthwaite, el método de Turc, Blaney-Criddle entre otros. En el siguiente capítulo se detallan estos métodos.

II .- FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL COMPORTAMIENTO DEL AGUA SUBTERRANEA

II.1.- PRECIPITACIONES

La precipitación forma parte del ciclo Hidrológico, y se presenta cuando los cambios de presión y temperatura de la masa de aire, junto con los desplazamientos de las masas atmosféricas, originan un acumulación hasta la saturación del vapor de agua en la atmósfera.

Estas partículas de vapor de agua se condensan al rededor de partículas sólidas en suspensión atmosférica, formando las llamadas nubes. Las nubes entonces son masas de vapor de agua condensadas al rededor de partículas sólidas.

Para que se presente el fenómeno de precipitación, será necesario que estas masas cálidas y ligeras se enfrien, por algún motivo meteorológico como puede ser: a) Por movimientos ciclónicos de la masa de aire cálido sobre la masa de aire frío, y esto provoca la condensación de las partículas de vapor de agua hasta que alcancen un peso de su volumen mayor al peso volumétrico de la masa de aire y por gravedad caigan estas gotas de agua; b) Por diferencia de pesos volumétricos de las masas de aire cálido y aire frío. Las masas cálidas tienden a subir por su ligero peso y esto provoca que una masa fría deba bajar y ocupar el espacio de la masa cálida, bien, esta masa fría se puede tratar de nubes; c) Por orografía también se suceden las precipitaciones, cuando una nube viaja cerca de las montañas muy elevadas, estas se enfrían adiabáticamente, y entonces se condensan las partículas de vapor hasta alcanzar un volumen y peso que por fenómenos gravimétricos estas gotas caen en forma de lluvia.

En México existen dos formas de medir la Precipitación, con Pluviómetros y con Pluviógrafos

Los pluviómetros son aparatos sencillos que constan de ser un recipiente en forma de embudo que capta el agua precipitada, se acostumbra a tomar lecturas todos los días.

Los pluviógrafos son aparatos mas elaborados , estos registran gráficamente la altura de lluvia en una hoja de papel.

Con el pluviógrafo y el pluviómetro se mide en forma puntual la altura de lluvia; pero es bien sabido que la altura de lluvia que cae

en un sitio es diferente a la que cae en sus alrededores, por cercanos que sean.

Para los cálculos en la Ingeniería, es indispensable conocer la lluvia media en la zona de estudio; de no hacerse esto los resultados esperados serán erráticos o poco precisos.

Basicamente existen tres formas de conocer la lluvia media; son el método aritmético, los poligonos de Thiessen y el método de las Isoyetas.

a) Método aritmético

Este consiste en hacer un promedio aritmético de las alturas de precipitación registradas en las estaciones más cercanas entre si.

b) Poligonos de Thiessen

Para este método de deberan definir las zonas de influencia de cada estación pluviométrica. Estas zonas se delimitan al trazar las bicectricas de las líneas que unen a las estaciones más cercanas entre si. Ver figura II.1.A

La altura de lluvia media se cálcula con la siguiente ecuación:

$$\overline{hp} = \frac{1}{AT} \sum_{i=1}^i A_i hp_i \quad \dots II.1.1$$

donde : A_i = Area de influencia de la estación i

AT = Area total de la cuenca

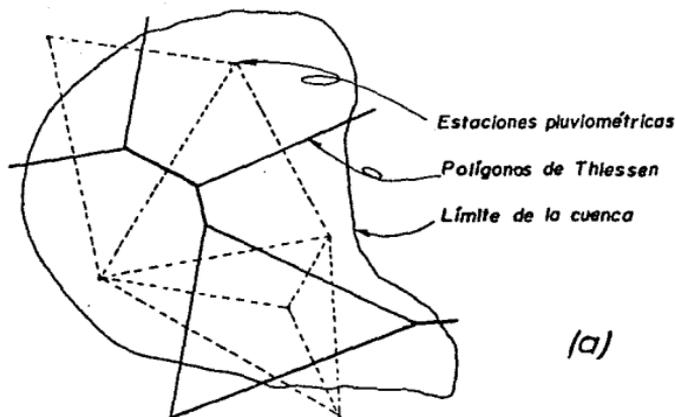
hp_i = altura de lluvia correspondiente a la estación i

c) Método de la isoyetas

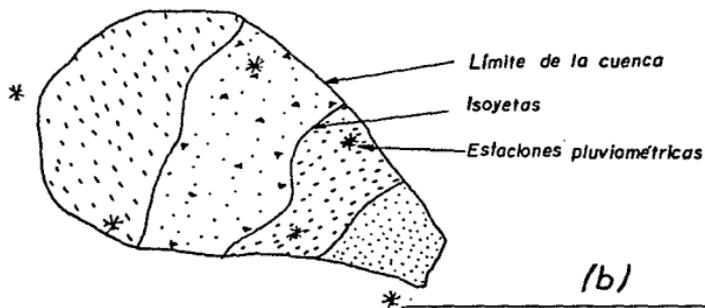
Se deberán trazar curvas de igual altura de lluvia llamadas isoyetas; la altura media de lluvia se cálcula con la siguiente ecuación:

$$\overline{hp} = \frac{1}{AT} \sum_{i=1}^i (hp_i A_i') \quad \dots II.1.2$$

Donde A_i' es el área delimitada entre dos isoyetas y el parteaguas de la cuenca. Ver figura II.1.B.



(a)



(b)

ENEP ACATLAN
TESIS PROFESIONAL
Fig.II.1.A.-Formas de medir la altura media de la precipitación (en mm)
ELOY CORNEJO PEREZ

II.2.-RECARGA VERTICAL

La recarga vertical de un acuífero se debe a la filtración ; y ésta se debe principalmente a la precipitación. Pero la infiltración también se presenta cuando hay escurrimiento o cualquier cuerpo superficial de agua, como por ejemplo un lago, un arroyo, un río, un canal no revestido o por retorno de riego.

A la diferencia entre los volúmenes aforados en una corriente superficial en la Ingeniería Hidrológica se le conoce con el nombre de "pérdidas". Las pérdidas se constituyen de volumen filtrado, volumen atrapado por plantas, u otros cuerpos receptores, volumen evaporado y un pequeño volumen de agua que se constituye en los minerales.

La filtración juega el papel más importante de estas pérdidas.

El proceso de filtración o recarga vertical al acuífero se da de la siguiente manera:

Físicamente puede verse que al inicio de una tormenta, el suelo está tan seco que es capaz de absorber el agua en un tiempo corto. Hasta aquí se dice que la capacidad de filtración es mayor que la intensidad de lluvia, y por lo tanto, en estos primeros instantes toda el agua precipitada se filtra, es decir:

Si $i < f_p$, entonces $f = i$

donde : f = filtración

f_p = capacidad de filtración

i = intensidad de lluvia

En esta parte del proceso, las fuerzas producidas por la capilaridad, predominan sobre las gravitatorias.

Si la lluvia permanece constante a medida que pasa el tiempo, entonces, el suelo comienza a saturarse, en una capa delgada. A partir de estos momentos el agua se encharcará y posteriormente comienza también a producirse flujos sobre la superficie. A estas alturas del proceso se dice que tenemos el tiempo de encharcamiento t_p .

Si la lluvia prosigue después del tiempo de encharcamiento, el contenido de humedad del suelo aumenta y disminuyen las fuerzas capilares, para aumentar las fuerzas gravitatorias; así con esto, la capacidad del suelo de transmitir agua o el valor de la conductividad hidráulica disminuye.

Sin variar estas condiciones, la capa del suelo saturada,

aumentará en su frente inferior y la capacidad de filtración se hace constante.

Para un tiempo sumamente extenso de lluvia, podemos hacer analogía con un río, o un lago, en donde se considerará que tenemos una capacidad de filtración constante.

Al aplicarse un coeficiente de infiltración en las áreas calizas, se obtendrá el volumen probable de agua que se infiltra, pero a esto debe tomarse en cuenta que el incremento de agua es sólo temporal, puesto que después de una lluvia intensa aumentan los niveles piezométricos, aumentan también los caudales en los manantiales temporales y permanentes, en muchos casos después de una lluvia abundante aparecen manantiales efímeros (de corta duración) con caudales muy importantes que descargan rápidamente las porciones superiores de las calizas y que no forman parte del almacenamiento del acuífero. En otras palabras aparece muy rápido el tiempo de echarcamiento tp, y el volumen de agua excedente se descarga por medio de manantiales.

La cuantía de los volúmenes de agua que se infiltra y quedan retenidos en la zona de acuífero libre dependerá de la capacidad del almacenamiento que se encuentre libre antes del periodo de lluvias. Un índice de esta capacidad libre lo harán los niveles piezométricos.

En forma más general los factores que afectan a la infiltración son los siguientes:

- a) Textura del suelo
- b) Capacidad de almacenamiento en que se encuentre libre el acuífero antes del periodo de lluvias
- c) Cobertura vegetal
- d) Uso del suelo
- e) Aire atrapado
- f) Lavado de material fino
- g) Compactación
- h) Temperatura

II.3.- *FLUJO HORIZONTAL SUBTERRANEO*

A la diferencia de niveles entre dos puntos de una cuenca corresponde a un gradiente hidráulico i . Esto implica que el agua desciende debido a las fuerzas gravitatorias.

Cada partícula de agua va a fluir prácticamente en forma

horizontal en el medio poroso. Se dice "prácticamente horizontal", debido a que la longitud "L" de la cuenca es muy grande y la diferencia de alturas en la capa impermeable se considera de menor longitud.

El flujo de las partículas de agua a través del medio poroso será más horizontal si se trata de un acuífero con su nivel de agua casi constante al cual se le está succionando por medio de un pozo. Se representan estas condiciones en la figura No. II.3.A.

En la figura anterior se aprecia muy claramente que el flujo del agua será en forma horizontal; debido a que la succión de la bomba en el pozo arrastrará las partículas de agua adyacentes al pozo. Si una partícula es succionada por la bomba, entoces, esta dejará un hueco, el cual será sustituido por la partícula adyacente a la primera; esto será un proceso iterativo mientras dure el bombeo. En otras palabras, se dice que el agua aportada para el bombeo llegará en forma radial al pozo.

Cada pozo tendrá un radio de influencia $r=1.5 (T.t/S)^{1/2}$; (donde T es la transmisividad, t es el tiempo de duración del bombeo, y S es el coeficiente de almacenamiento), y considerando que se tienen muchos pozos cercanos entre sí, se tendrá entonces el movimiento de una gran masa de agua cuando estos entran en operación de bombeo y se provocará un gran abatimiento en la región de pozos.

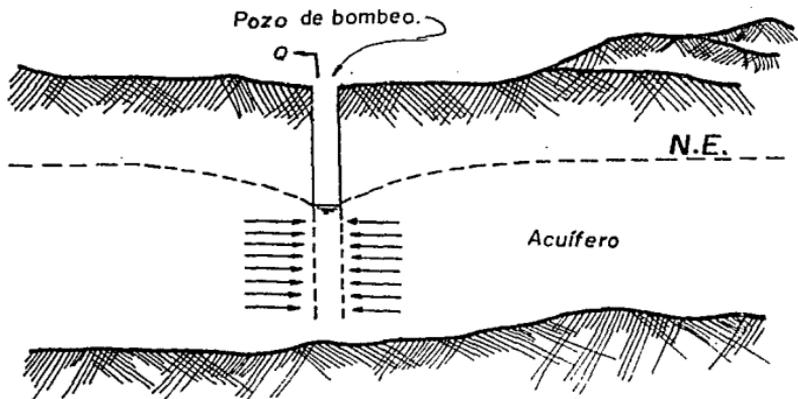
Se pueden trazar las curvas del nivel estático inicial y las curvas del nivel dinámico para diferentes períodos de bombeo. A través de estas curvas se podrá delimitar la evolución piezométrica. Estas curvas se pueden trazar haciendo la diferencia del nivel del agua N1 contra el nivel N+1.

El sentido del flujo se puede delimitar trazando líneas normales a las líneas equipotenciales; y la dirección del flujo será descendente al valor de las equipotenciales.

Otro motivo que provoca flujo horizontal del agua es el caso de un manantial o un río efluente.

En la figura II.3.B se muestra cómo se abastece un río efluente. El agua superficial esta en constante movimiento, lo que provoca más descarga subterránea del acuífero.

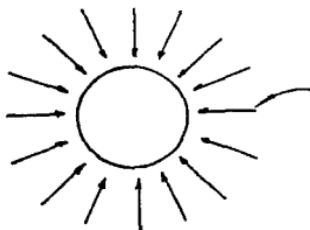
Se entiende que el volumen de la sección transversal del río estará en constante desplazamiento debido a la topografía de la región. Y si esto sucede, el agua desplazada tendrá que ser repuesta



C O R T E

N.E. = Nivel Estático

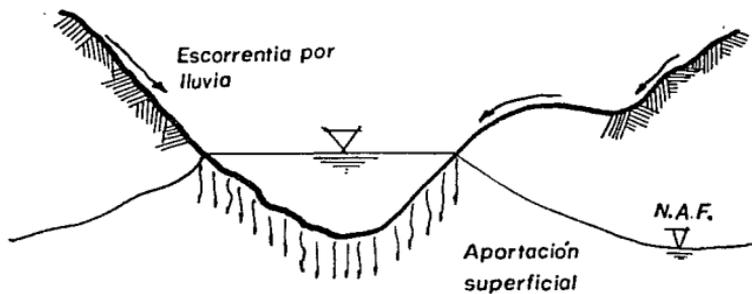
Q = Gasto de Bombeo



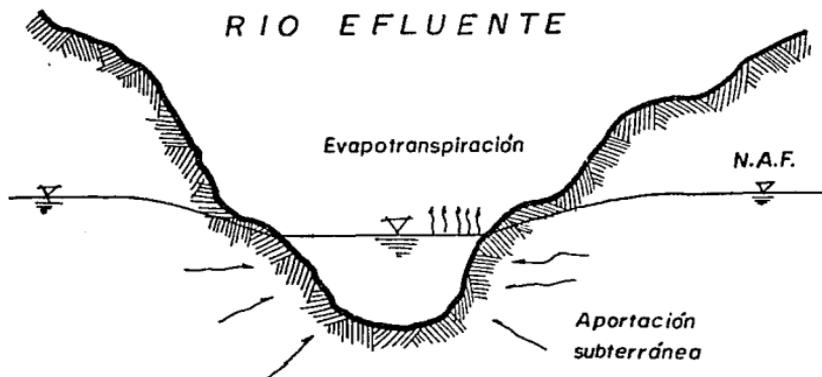
P L A N T A

ENEP ACATLAN
TESIS PROFESIONAL
Fig. II.3.2.-Flujo horizontal del agua a través del medio poroso.
ELOY CORNEJO PEREZ

RIO INFLUENTE



RIO EFLUENTE



N.A.F. - Nivel de Aguas Freáticas

ENEP ACATLAN

TESIS PROFESIONAL

Fig. II.3.3.-Infiltración en el río influyente, y flujo horizontal en el río efluente

ELOY CORNEJO PEREZ

por el acuífero y esto va a provocar un flujo horizontal.

En un balance hídrico es importante determinar la cantidad de agua que fluye horizontalmente entrando a la cuenca o saliendo de ella.

En la figura II.3.C se muestra una cuenca en donde existe un volumen de entrada y un volumen de salida de agua.

En la figura se presenta una cuenca subterránea exorreica, en la cual se aprecia la entrada de agua y salida de esta al observar el desnivel de las curvas equipotenciales.

La cantidad de agua que entra no podrá ser igual a la cantidad de agua que sale, a menos que no existan pérdidas por bombeo, por evapotranspiración o por escurrimiento superficial y que no existan otras aportaciones como filtración, recarga artificial, etc. Parte del agua que entra podrá quedar en el volumen almacenado.

El flujo subterráneo horizontal está considerado como aportación o pérdidas en la ecuación de balance hídrico. Tendrá signo positivo cuando sea una aportación o entrada de agua, y tendrá signo negativo cuando sea descarga o salida de agua.

En el subcapítulo I.7 se indica la forma de calcular el flujo subterráneo de agua (ecuación de balance hídrico).

II.4.-

EVAPOTRANSPIRACION

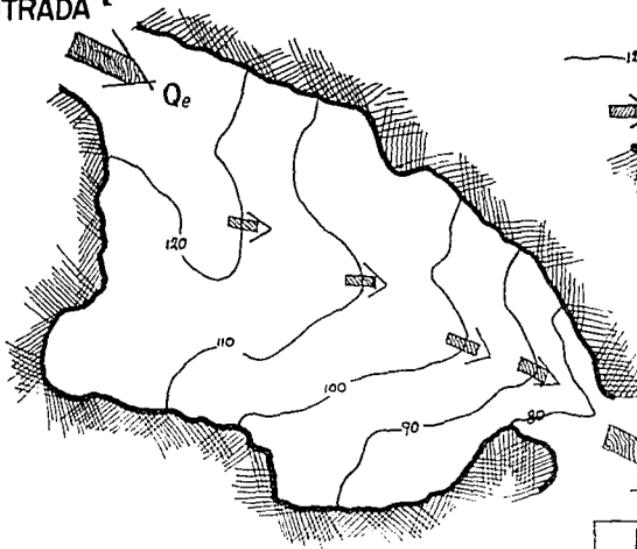
La evapotranspiración entra en el término de pérdidas en la ecuación de balance del agua subterránea.

Es difícil medir la evaporación y la transpiración por separado, y lo que se hace comúnmente es medir "evapotranspiración". Por lo difícil que es medir la evapotranspiración no es justificable ignorarla en el ciclo hidrológico; pues en muchos lugares del mundo va de un 70 a un 90%.

Para comprender el término evapotranspiración será necesario hablar de los términos evaporación y transpiración por separado, así como de los factores que intervienen para la variación de estos fenómenos.

1.- La evaporación es el resultado físico por el cual el agua cambia de estado líquido al estado gaseoso, retornando, directamente a la

ENTRADA



SIMBOLOGIA

-  Elev. de N.E.
 -  Sentido del flujo
 -  Parteaguas de la cuenca
 - Q_e Gasto de entrada
 - Q_s Gasto de salida
- SALIDA
- Q_s

Cuenca exorreica, donde existe un gasto de entrada y un gasto de salida.

ENEP ACATLAN

TESIS PROFESIONAL

FIG.11.3.C.- Flujo horizontal subterráneo en una cuenca exorreica.

ELOY CORNEJO PEREZ

átmosfera en forma de vapor.

Si el agua en estado sólido pasa al estado gaseoso, se tiene el fenómeno llamado sublimación; el cuál entra en la cuantificación de la evaporación.

Para que se suceda la evaporación, las moléculas de agua deberán elevar su temperatura por radiación solar y si esto sucede, entonces cada molécula gana energía cinética y se libera de la fuerza de atracción de las moléculas adyacentes pasando así a la fase gaseosa. Este vapor de agua llega a la masa de aire inmediata y si éste se satura, entonces, se produce el fenómeno de condensación y el vapor de agua regresa en forma líquida. Si la masa de aire no llega a saturarse y el vapor de agua sigue elevandose, este abandona el cuerpo líquido del cuál se originó.

A lo anterior se hace notar que la evaporación debe ser la diferencia del agua que abandona contra el agua que regresa. Si esta diferencia es positiva se está produciendo evaporación, si es negativa, condensación.

Los factores que afectan a la evaporación són los siguientes:

AD La radiación solar.- Fuente de calor para alcanzar mayor energía cinética.

BD Las corrientes de aire.-Ayuda a la renovación de la masa de aire para que ésta no se sature.

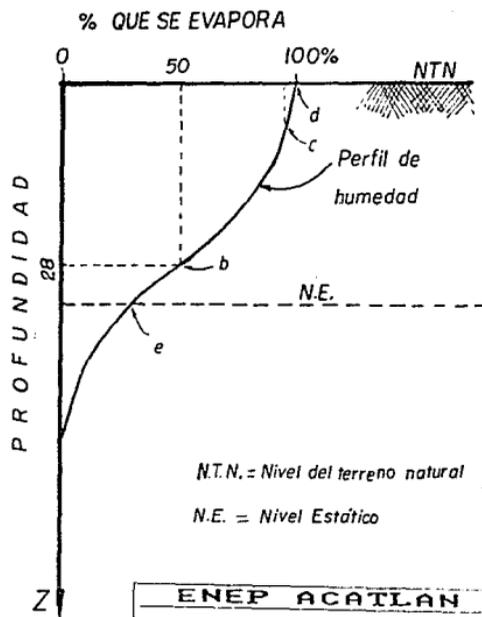
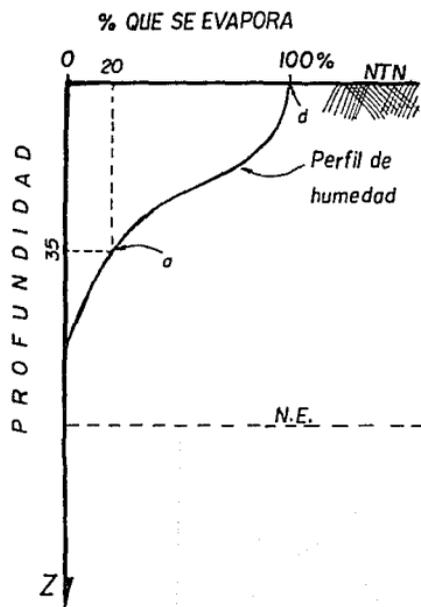
CD Presión atmosférica.- La evaporación crece al decrecer la presión atmosférica.

DD.-Pureza del agua.-Con el aumento de sólidos menor evaporación.

ED.-Superficie evaporante.-Esta puede ser superficie libre de agua, sólidos mojados o suelo saturado.

En suelos la evaporación puede alcanzar profundidades muy considerables y en ocasiones la evaporación será permanente. En la figura II.4.A se han trazado las curvas que representan las características de un suelo en particular.

El punto "a" indica que existe un 20% de evaporación (respecto a la cantidad de agua del suelo) a una profundidad de 35.00 mts. El punto "b" se refiere a otro tipo de suelo, representa un 50% de evaporación a una profundidad de 28.00 mts. El punto "c" representa un 80% de evaporación a 1.00 mts. de profundidad. El punto "d" indica que la evaporación es al 100% .



N.T.N. = Nivel del terreno natural

N.E. = Nivel Estático

ENEP ACATLAN
TESIS PROFESIONAL
FIG. II.4.8. - Perfiles de evaporación en el subsuelo.
ELOY CORNEJO PEREZ

Si la curva llega a atravesar el nivel estático, entonces la evaporación será permanente a menos que se abata el nivel del agua por debajo de la curva, como es el caso del punto "e".

Cada una de las curvas representa un tipo de suelo. A mayor profundidad, la evaporación es menor, excepto cuando la curva atraviesa el Nivel Estático (N.E).

2.- La transpiración es el resultado del proceso físico-biológico, por el cual el agua cambia de estado líquido a gaseoso, a través del metabolismo de las plantas y animales, y pasa a la atmósfera.

Existen cuatro tipos de plantas de interés práctico para el cálculo de la transpiración; estas son: las hidrófitas que viven total o parcialmente sumergidas en agua, las mesófitas y xerófitas que toman agua de la zona no saturada de suelo, y finalmente las freatófitas que pueden alternativamente tomar agua de la zona no saturada o de la zona saturada de suelo.

Los factores que afectan la transpiración son en su mayoría los mismos que afectan a la evaporación.

A la vez intervienen otros factores como son:

- A) Factores meteorológicos.- Iluminación, temperatura y humedad del aire.
- B) Humedad del suelo.- Si el contenido de humedad del suelo no es suficiente la planta muere.
- C) Aspecto biológico.- Incluye la edad de la planta, tipo de follaje y profundidad radicular.

Regresando al tema de evapotranspiración; podemos decir que el término evapotranspiración es sinónimo del término "uso consuntivo", puesto que el uso consuntivo es la combinación de evapotranspiración y el agua que las plantas retienen para su nutrición. Pero esta última cantidad es aproximadamente el 1 % diferente de la evapotranspiración, y en términos generales esta pequeña cantidad no afecta.

En México se usan básicamente dos métodos para el cálculo de evapotranspiración o uso consuntivo: el de Thorntwaite y el de Turc.

A continuación se presenta el desarrollo de estos dos métodos:

a) METODO DE THORNTWAITE

Este es un método empírico desarrollado en 1944, que calcula el uso consuntivo mensual como una función de las temperaturas medias

mensuales: La fórmula es la siguiente:

$$U_j = 1.8 K_a \left(\frac{10 T_j}{I} \right)^a \quad \dots \text{II.4.1}$$

Donde: U_j = Uso consuntivo en el mes j , en cm.

T_j = Temperatura media en el mes j , en cm.

I = Índice de eficiencia

a = Constante

K_a = Constante que depende de de la latitud del mes y el año, (Tabla II.4.a).

El índice de eficiencia I tiene la siguiente ecuación:

$$I = \sum_{j=1}^{12} i_j \quad \dots \text{II.4.2}$$

Donde: $i_j = \left(\frac{T_j}{5} \right)^{1.514} \quad \dots \text{II.4.3}$

y j = número de meses

$$a = 0.75 \times 10^{-9} I^3 - 7.71 \times 10^{-7} I^2 + 1.79 \times 10^{-4} I + 0.492$$

b) METODO DE TURC

Para el año de 1958 TURC L. encontró las siguientes formulas simplificadas para determinar el uso consuntivo, aún en regiones áridas, en donde estos valores estimados por otros métodos, incluyendo el de THORNTHWAITE, son bajos.

La expresión que define la evapotranspiración en zonas no áridas, es decir, en donde la humedad relativa mensual es mayor al 5%, es la siguiente:

$$U_j = a \cdot [T / (T + 15)] (R_i + 50) \quad \text{II.4.4.}$$

Siendo: U_j = Uso consuntivo o evapotranspiración

a' = coeficiente bajo las siguientes condiciones

- para meses de 30 o 31 días = 0.40
- para meses de 28 o 29 días = 0.37
- para intervalos de 10 días = 0.13

T = temperatura media mensual en °C (cuando T = 0°C, es aceptable que Uj = 0).

Ri = radiación solar incidente media diaria del mes, en langleys/día.

Cuando la humedad relativa mensual es inferior al 50% (cuando se trata de zonas áridas), la Uj calculada con la ecuación II.4.4 se deberá multiplicar por el siguiente factor de corrección.

$$1 + [(50 - H.R.) / 70] \quad \text{II 4.5.}$$

donde:

H.R. = humedad relativa expresada en %

Este método se basa en la combinación de temperatura y radiación solar incidente, por lo que se considera de mayor aceptabilidad en zonas áridas como lo es nuestro caso de estudio.

El factor correctivo (ec. II.4.5.) define muy claramente que cuando se tiene una humedad relativa (H.R.) es menor al 50% el valor de Uj calculado con la ecuación II.4.4. será mas grande. Físicamente es muy comprensible puesto que el método toma en consideración la radiación incidente solar; y es lógico entonces, que cuando estamos en zonas áridas la planta requerirá de mayor agua para no llegar al punto de marchitez.

II.5. -

BOMBEO

Al extraer un cierto caudal a base de bombeo es preciso entonces, provocar un descenso del nivel del agua y si se trata de un suelo poco permeable, el agua obtenida proviene del almacenamiento propio del pozo, y poca del flujo transitorio, actuando éste entonces como una cisterna.

En la práctica la sección del pozo aumenta, debido a cavidades y galerías durante el bombeo. Esto propicia una disminución de la velocidad del abatimiento, la cuál no debe interpretarse como un aporte de agua al acuífero.

Cuando se trata del bombeo en un material permeable y el pozo es

de un grán diámetro, puede suceder lo siguiente: Si el volúmen extraído es mayor al volúmen encerrado entre los niveles de los tiempos t_1 y t_2 , entonces el efecto del almacenamiento desaparece, en otras palabras sería: si el abatimiento es muy pequeño, el efecto del almacenamiento ya no interviene y el agua obtenida proviene del flujo transitorio.

Este efecto es despreciable a partir de t_e (Según Papadópulos y Cooper 1967).

$$t_e > 25 \frac{r_p^2}{T} \quad \dots \text{II.5.1}$$

Siendo r_p el radio del pozo y T la transmisividad

En ocasiones se provocan grandes abatimientos en los niveles del agua, máxime cuando los pozos de extracción están a una distancia menor al radio de influencia.

Si suponemos un acuífero homogéneo con un cierto gasto de bombeo en pozos bien distribuidos en toda la región acuífera, entonces los abatimientos serán muy parecidos entre ellos; pero en cambio, si los pozos están muy cercanos unos a otros, el abatimiento será muy fuerte en la zona de pozos, formándose así los llamados conos de abatimiento de interferencia.

Si el bombeo es variable en el tiempo, habrá entonces oportunidad de recuperación de los niveles de agua en algunas temporadas y en otras habrá abatimiento de los mismos. Así entonces si se trata de un suelo poco permeable el agua aportada será la del almacenamiento, y en caso de ser un suelo permeable puede ser aportación del flujo transitorio o en su defecto agua almacenada.

II.8. - ESCURRIMIENTOS SUPERFICIALES

Los escurrimientos superficiales són una variable muy importante para la recarga de un acuífero.

Para evaluar el volúmen escurrido es necesario determinar el volúmen precipitado, y el volúmen conocido como pérdidas, la diferencia entre estos dos volúmenes será el volúmen escurrido.

El caso de recarga por un río influente, un arroyo, o un canal sin revestir puede determinarse aforando en dos puntos distantes comprendidos dentro de la cuenca; a la diferencia de estos dos valores

le restamos la evaporación de ese tramo del río y obtenemos la recarga subterránea.

Para el caso de un lago, laguna o una presa, simplemente aforamos al inicio y fin de un intervalo de tiempo (el tiempo comprendido para hacer un balance), a este resultado le restamos el valor de la evapotranspiración y obtenemos entonces el volumen infiltrado.

Podemos tener aportaciones superficiales de agua y tener también aportaciones subterráneas al agua superficial. Más claramente, se está hablando de ríos efluentes o influentes. Esto es muy importante porque no todo lo que es río aporta agua al subsuelo. Se dice que un río es influente cuando éste contribuye para la recarga vertical del acuífero. Cuando un río es efluente, éste no recarga al acuífero, al contrario, contribuye para que el acuífero pierda agua por evaporación o por captación del agua que lleva el río.

En la figura II.3.8 se muestra el esquema de un río influente y un río efluente.

En la parte a) se observa que el agua del río se infiltra para formar parte del agua subterránea. En la parte b), se aprecia que el río está formado debido al agua subterránea, y si el N.A.F. se abate, entonces, el tirante del río decrece.

III.- ANALISIS ESTOCASTICO PARA EL ESTUDIO DEL FLUJO SUBTERRANEO TURBULENTO

III.1.- PARAMETROS ESTADISTICOS

Los parámetros estadísticos a tratar en esta sección serán las medidas de tendencia central y las medidas de dispersión.

a).- medidas de tendencia central

Los valores que se refieren a la tendencia central de una distribución de las observaciones comunmente son la media, la moda y la mediana. El valor central, cualquiera que sea, será el representativo para cada una de las observaciones.

La *media*. - la media aritmética o promedio se define como la suma de todas las observaciones dividida entre el número de ellas. Este valor es una intuición del centro de la distribución de observaciones.

La media será designada con \bar{X} y la fórmula matemática de su obtención es la siguiente:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad \text{III.1.1}$$

La *moda*. - la moda es otro valor de tendencia central; este será el valor que se presenta con mayor frecuencia, es decir, aquel que se presenta el mayor número de veces.

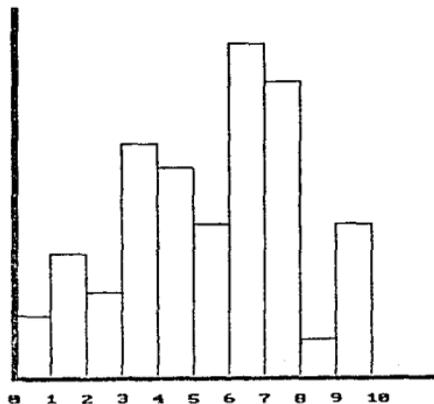
La *mediana*. - otro valor de tendencia central será la mediana; ésta se obtiene al definir el punto sobre el eje de observaciones que nos deje igual Área a la izquierda y a la derecha de un histograma. Ver figura III.1.A.

Se observa en la parte a) de esta figura, que el valor de la mediana es el valor correspondiente a la observación número 5. En la parte b), la mediana será el promedio aritmético entre la observación 5 y 6.

Para determinar el valor más apropiado, debemos de tener la menor dispersión de cada una de las observaciones con respecto a la media de tendencia central (media, moda o mediana). En ocasiones será preferente usar la mediana, o usar la moda en vez de mediana o media

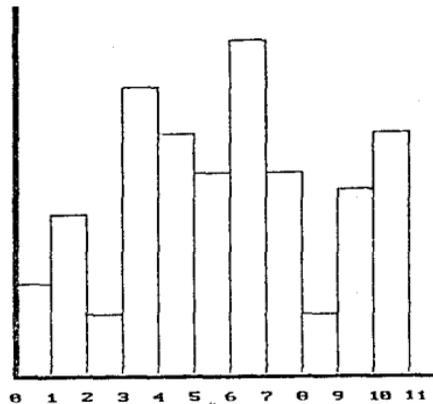
LA MEDIANA

MEDIDA DE TENDENCIA CENTRAL



LA MEDIANA

(A)



LA MEDIANA

(B)

FIG. III.1.A

ENEP ACATLAN
TESIS PROFESIONAL
FIG. III.1.A
Determinacion de la mediana
ELOY CORNEJO PEREZ

aritmética, este es el caso de un análisis estadístico que debe ser aproximado en la mayoría de las veces a la respuesta correcta.

En la figura III.1.B se muestran las tres medidas de tendencia central y puede verse una comparativa y dispersión entre estas tres.

b) *Medidas de dispersión.*

En todo análisis estocástico será necesario verificar la precisión o aceptabilidad de la media. Una medida que nos ayuda en tal propósito será la varianza. La cuál nos representa la desviación de cada una de las observaciones con respecto a la media; para su cálculo primeramente se obtiene la desviación de la primera observación con respecto a la media; $X_1 - \bar{X}$, y elevamos éste término al cuadrado, se calcula la desviación de la segunda observación, se eleva al cuadrado y el procedimiento es sucesivo para todas las observaciones, obteniendo la suma y dividiendo entre el número de observaciones menos uno.

Se hace necesario elevar los términos al cuadrado para que al obtener la suma de todos ellos no se compensen las cantidades positivas (cuando la observación $X_i > \bar{X}$) con las cantidades negativas (cuando $X_i < \bar{X}$). En términos matemáticos sería:

$$S^2 = \frac{(X_1 - \bar{X})^2 + (X_2 - \bar{X})^2 + \dots + (X_n - \bar{X})^2}{n-1} = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1} \quad \text{III.1.2}$$

La desviación estandar de cada una de las observaciones con respecto al valor medio será la raíz cuadrada de la varianza.

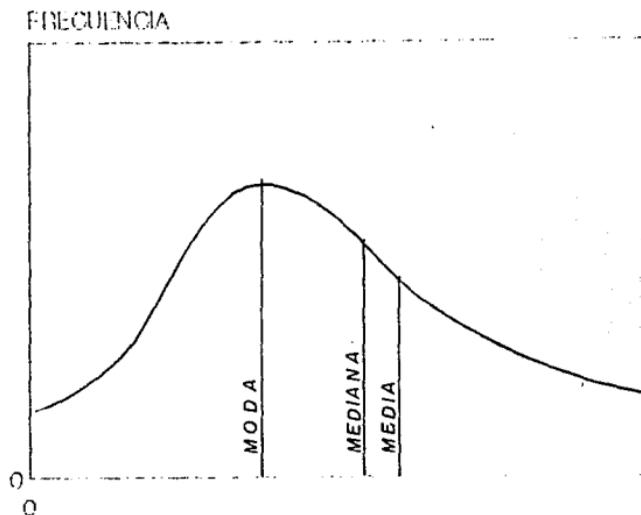
$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X}_n)^2}{n-1}} \quad \text{III.1.3}$$

El denominador para la varianza siempre será $n-1$. Si operamos sólo con "n", entonces estamos calculando el promedio de la varianza.

Si la desviación típica resulta ser un número grande esto significa que, el valor medio calculado no es muy representativo para cada una de las observaciones, y no es conveniente aceptar una media que arroja una desviación típica muy grande.

MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL

MEDIA, MEDIANA Y MODA



OBSERVACIONES

FIG. III.1.B. Posición relativa de la Media, Mediana y Moda.

ENEP ACATLAN
TESIS PROFESIONAL
FIG. III.1.B
Media, Mediana y Moda
ELOY CORNEJO PEREZ

III.2. - REGRESION Y CORRELACION

En esta sección se presentan temas de interés más elaborados para un buen logro del modelo de regresión lineal que nos ayudará a la estimación del valor del (N.E.).

Los temas a tratar son los siguientes:

- a) Regresión Lineal
- b) Mínimos cuadrados
- c) Regresión lineal múltiple
- d) Coeficiente de correlación
- e) Multicolinealidad
- f) Autocorrelación
- g) Medidas remediales

Cabe aclarar que se desarrollan los temas e) y f) debido a que se trabajara con un paquete estadístico llamado "TSP 4" el cual facilita hacer los ajustes necesarios para remediar la multicolinealidad y autocorrelación. Ver anexo B.

III.2.A) REGRESION LINEAL

El objetivo final de éste trabajo será hacer la predicción de las condiciones hidráulicas de un modelo real; éste deberá ser con la mayor precisión posible mediante una regresión múltiple. Más adelante se define lo que es una regresión múltiple.

Muy a menudo en la práctica Ingenieril, será necesario estimar el valor de una variable (variable dependiente), en función de una o más variables independientes. En ocasiones se encontrará que existe una cierta relación entre la variable dependiente Y y la variable independiente X.

La variable dependiente Y es estadística, aleatoria o estocástica, esto es, tiene una distribución de probabilidad mientras la variable independiente, es un valor medible, es explicatoria, es decir condiciona el valor que deberá tomar Y.

Por ejemplo la relación que existe entre el Nivel Estático (N.E.) del agua subterránea contra la extracción por gasto de bombeo. Si se representa gráficamente valores reales de N.E. (como variable dependiente) contra bombeo (como variable independiente), se tendría una figura como la III.2.A.

RELACION LINEAL ELEV. N.E. - BOMBEO

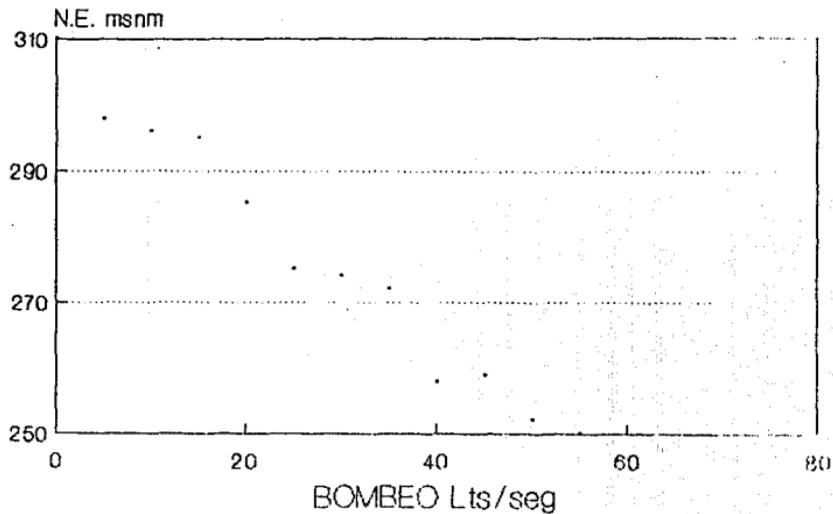


FIG. III.2.A

De la figura se observa que la relación entre el N.E. contra el bombeo, es lineal. Cuando aumenta el bombeo disminuye el N.E.

Por lo común solamente se tabulan los datos de una muestra ya que es muy difícil considerar todos los datos poblacionales. Por lo que de aquí en adelante se hablará en términos de muestras.

La función de regresión muestral se define como la función que estima el valor de la variable dependiente Y, a partir de otra variable llamada variable independiente X. Mediante esta función se predice el valor de Y cuando se fija el valor de X.

Se limita a hablar de función de regresión lineal; es decir, funciones que relacionen linealmente a X e Y. La función de regresión lineal será de la forma:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_i + e_i \quad \text{III.2.1}$$

Esta ecuación es de la forma $Y=mx + b$, en donde $\beta_0 = b$, $\beta_1 = m$ y e_i es error por dispersión. Ver figura III.2.B.

III.2.B.) MINIMOS CUADRADOS

Para el caso práctico se aplicará una regresión lineal muestral y no poblacional. La forma de representar a la regresión poblacional por medio de la regresión muestral se hará por el método de mínimos cuadrados ordinarios.

Como ya se mencionó anteriormente la ecuación III.2.1., nos define una línea recta. Esta línea se ajusta en donde los valores de dispersión e_i sean mínimos y la suma de estos valores por encima de la línea de regresión será igual a la suma de los errores o dispersiones por debajo de la misma.

Si se grafica los valores de Y_i dado X_i , se obtiene una línea que se podrá comparar con los datos de Y_i (datos reales); se observa claramente que existe un error e_i que anteriormente se definió como dispersión. Esta dispersión se debe a la falta de variables explicatorias X 's, es también llamado error estocástico o residuo (Ver fig. III.2.BD).

La teoría de los mínimos cuadrados evita la correlación entre los residuos e_i con los valores estimados de Y_i ; así mismo evita que los residuos no se correlacionen con X_i pero podemos tener problemas de

RELACION LINEAL ELEV. N.E. - BOMBEO

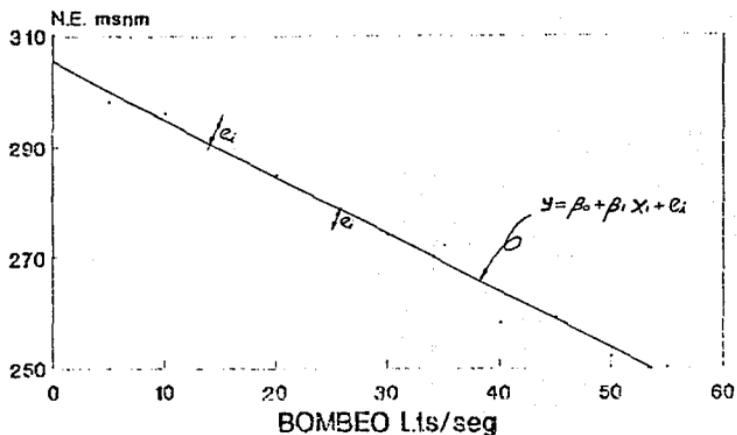


FIG. III.2.B.- Línea de regresión, se observan los errores de dispersión a falta de más variables explicatorias

autocorrelación.

Esto significa que se correlacionan los residuos e_i entre ellos mismos. En la fig. III.2.C. se presenta la distribución de los e_i ; en la parte (a) se tiene autocorrelación serial positiva, en la parte (b) tenemos autocorrelación serial negativa y en la parte (c) no hay autocorrelación.

El modelo clásico de regresión por este método, debe cumplir con las siguientes condiciones (las más propicias para nuestro modelo real):

- a) No autocorrelación
- b) No multicolinealidad

En la sección III.2.E y III.2.F se definen estos conceptos.

III.2.C.) REGRESION LINEAL MULTIPLE

Hacer un modelo de regresión lineal múltiple significa el hacer una predicción de la variable dependiente Y, dada una base de datos de 2 o más variables independientes X que condicionen el valor que deberá tomar Y.

En la práctica es inadecuado trabajar con sólo dos variables, pues el error estocástico e_i (de la ecuación III.2.1) representa la ausencia de más variables explicatorias X's. En el caso del ejemplo citado en III.2.A., en donde se hace la regresión a partir de una sola variable X; si en la realidad se aplicara éste modelo se tendría poco éxito en la predicción, al obtener grandes errores estocásticos e_i . Debido a la falta de variables X, se tendrá siempre un residuo, este valor no es observable pero representa la falta de exactitud en el modelo; en términos matemáticos e_i vale:

$$e_i = Y_i - \hat{Y}_i \quad \text{III.2.2}$$

donde:

\hat{Y}_i = valor estimado mediante una regresión.

Y_i = valor medible, valor real de la variable dependiente.

Al representar matemáticamente y en la forma más adecuada a un modelo, intervendrán en él todas las variables explicatorias necesarias.

autocorrelación.

Esto significa que se correlacionan los residuos e_i entre ellos mismos. En la fig. III.2.C. se presenta la distribución de los e_i ; en la parte (a) se tiene autocorrelación serial positiva, en la parte (b) tenemos autocorrelación serial negativa y en la parte (c) no hay autocorrelación.

El modelo clásico de regresión por este método, debe cumplir con las siguientes condiciones (las más propicias para nuestro modelo real):

- a) No autocorrelación
- b) No multicolinealidad

En la sección III.2.E y III.2.F se definen estos conceptos.

III.2.C.) REGRESION LINEAL MULTIPLE

Hacer un modelo de regresión lineal múltiple significa el hacer una predicción de la variable dependiente Y, dada una base de datos de 2 o más variables independientes X que condicionen el valor que deberá tomar Y.

En la práctica es inadecuado trabajar con sólo dos variables, pues el error estocástico e_i (de la ecuación III.2.1) representa la ausencia de más variables explicatorias X's. En el caso del ejemplo citado en III.2.A., en donde se hace la regresión a partir de una sola variable X; si en la realidad se aplicara éste modelo se tendría poco éxito en la predicción, al obtener grandes errores estocásticos e_i . Debido a la falta de variables X, se tendrá siempre un residuo, este valor no es observable pero representa la falta de exactitud en el modelo; en términos matemáticos e_i vale:

$$e_i = Y_i - \hat{Y}_i \quad \text{III.2.2}$$

donde:

\hat{Y}_i = valor estimado mediante una regresión.

Y_i = valor medible, valor real de la variable dependiente.

Al representar matemáticamente y en la forma más adecuada a un modelo, intervendrán en él todas las variables explicatorias necesarias.

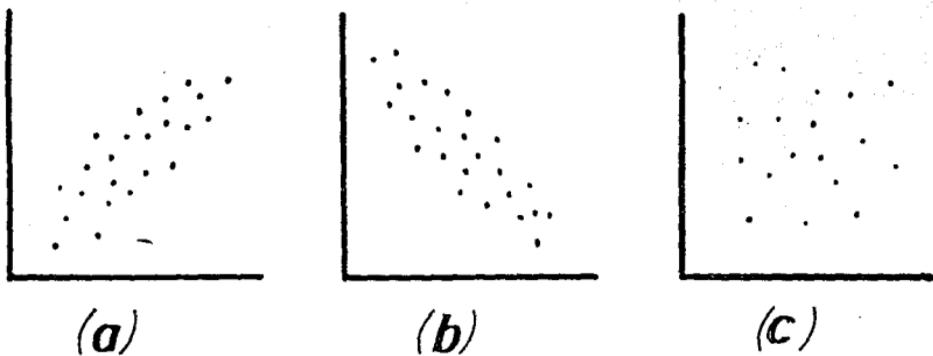


FIG. III.2.C.- (a) AUTOCORRELACION POSITIVA, (b) AUTOCORRELACION NEGATIVA,
 (c) NO HAY AUTOCORRELACION.

ENEP ACATLAN
TESIS PROFESIONAL
FIG. III.2.C
ELOY CORNEJO PEREZ

Se deberá abordar un modelo de regresión múltiple para hacer intervenir a más de dos variables; pero se tendrá cuidado en la selección del tipo de variables X's que se hagan intervenir. Si existe una relación lineal exacta entre dos variables X's, entonces no tendrá caso hacer intervenir a ambas variables en el modelo, por que se tendrá el problema de multicolinealidad. En la elaboración de un modelo de regresión múltiple, sigue siendo válida la teoría de los mínimos cuadrados ordinarios. No es común hacer una regresión múltiple con datos poblacionales y la forma más aceptable de llegar a estimar un valor de Y apartir de una muestra, sólo es con la técnica de los mínimos cuadrados ordinarios.

La ecuación de regresión de los valores \hat{Y} (valores estimados) está dada por la siguiente ecuación.

$$\hat{Y} = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n \quad \dots \text{III.2.3.}$$

A continuación se presenta el sistema de ecuaciones por medio del cual se definen los parámetros de la ecuación III.2.3.; la que representa una regresión múltiple.

$$\sum Y = \beta_0 n + \beta_1 \sum X_1 + \beta_2 \sum X_2 + \dots + \beta_n \sum X_n$$

$$\sum X_1 Y = \beta_0 \sum X_1 + \beta_1 \sum X_1^2 + \beta_2 \sum X_1 X_2 + \dots + \beta_n \sum X_1 X_n$$

$$\sum X_2 Y = \beta_0 \sum X_2 + \beta_1 \sum X_2 X_1 + \beta_2 \sum X_2^2 + \dots + \beta_n \sum X_2 X_n \quad \dots \text{III.2.4.}$$

...

$$\sum X_n Y = \beta_0 \sum X_n + \beta_1 \sum X_n X_1 + \beta_2 \sum X_n X_2 + \dots + \beta_n \sum X_n^2$$

Donde n= número de datos.

Las sumatorias a la derecha y a la izquierda del sistema III.2.4. són conocidas o se pueden conocer y por lo tanto tienen "n" número de ecuaciones con "n" incógnitas.

Ejemplo para calcular el sistema III.2.4:

Se desea saber si la Elev. de N.E., la Precipitación y la Evapotranspiración se pueden correlacionar linealmente. Los datos se presentan en la siguiente tabla:

TIEMPO	N. E.	PRECIPITACION	EVAPOTRANSPIRACION
mes	m	mm	mm
MES	Y	X1	X2
1	15.5	1.25	1.70
2	8.5	0.87	2.10
3	85.5	5.69	1.90
4	105.0	8.27	1.90
5	24.8	1.62	2.10
6	3.8	0.18	2.40
7	1.8	0.15	3.20
8	18.0	1.40	2.70
9	8.8	0.30	2.90
10	8.3	0.32	2.90
11	3.6	0.18	2.80
12	1.9	0.15	2.70
13	15.5	0.87	2.10
14	2.8	0.09	2.90

Por lo tanto el sistema III.2.4 resulta:

$$\begin{aligned}
 14.00 \beta_0 + 21.34 \beta_1 + 34.38 \beta_2 &= 304.30 \\
 21.34 \beta_0 + 108.74 \beta_1 + 43.37 \beta_2 &= 1485.94 \\
 34.30 \beta_0 + 43.37 \beta_1 + 86.99 \beta_2 &= 628.04
 \end{aligned}$$

y resolviendo el sistema resulta que:

$$\beta_0 = 2.013 ; \quad \beta_1 = 13.13 ; \quad \beta_2 = -0.12$$

por lo que el modelo regresivo queda de la siguiente manera (ec. III.2.3):

$$\hat{Y} = 2.013 + 13.13 X_1 - 0.12 X_2$$

Si en la anterior ecuación consideramos X_2 como constante, la representación de la ecuación en unos ejes Y y X_1 es una línea recta con pendiente β_1 (para este ejemplo $\beta_1=13.13$). Si se mantiene constante X_1 , la representación de Y y X_2 es una recta con pendiente β_2

(para el ejemplo $\beta_2 = -0.12$)

Expresando matemáticamente lo anterior sería:

$$\hat{Y} = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \text{constante 1}$$

$$\hat{Y} = \beta_0 + \beta_2 X_2 + \text{constante 2}$$

observando que se trata de la ecuación $Y = mx + b$; en donde $b = \beta_0$ y $m = \beta_1$ ó β_2 .

El parámetro β_1 significa la variación lineal de Y con respecto a X_1 cuando X_2 hasta X_n permanecen constantes. Podría pensarse que el hacer constante a X_2 , X_3 , hasta X_n sería imposible, porque éstas variables sí influyen en el valor de Y. Pero recordando que antes de definir a β_1 , β_2 , β_n ; se hicieron intervenir a todas las variables a la vez, por lo tanto, sí es válido relacionar a Y contra X_1 o Y contra X_2 , etc.

III.2.DD

COEFICIENTE DE CORRELACION

Casi toda la teoría de la correlación se basa en que las variables X e Y són aleatorias, mientras que en la regresión suponen casi siempre que la variable dependiente Y es estocástica y las variables X's són fijas, medibles, explicatorias ó no estocásticas.

La correlación es medir la fuerza o grado de asociación lineal entre dos variables o más; dando la proporción o porcentaje de variación total de la variable dependiente Y explicada conjuntamente por las variables X_1 , X_2 , X_n . Por ejemplo:

Determinar el grado de asociación o correlación entre las variables Precipitación, Bombeo y Evapotranspiración; como variables que expliquen el comportamiento que deberá tomar la Elev. del Nivel Estático de un acuífero.

Este problema viene a representar una correlación múltiple denominada R; pero bien se puede correlacionar parcialmente, por ejemplo, si llueve tanto, entonces, el acuífero se recarga tanto, y el coeficiente de correlación será de orden cero y se designa con "r".

Este coeficiente de correlación nos interesa mucho en el análisis de la regresión, pues se puede hacer una regresión que indique el valor de la variable dependiente al fijar a las variables independientes; pero es bueno saber si el modelo de regresión es preciso o válido, es decir, que tan representativo es tomar como cierto un valor de la

variable dependiente cuando fué calculado por medio de la regresión. Puede suceder que este valor esté muy disperso de la realidad; para saber si el valor calculado de Y es bueno, se debe asociar al coeficiente de correlación. Si el valor de la correlación es 1.00 ó -1.00, entonces el modelo de regresión es exacto, pero si el coeficiente de correlación es cero o cerca de cero, entonces la regresión no es válida o no es precisa y por lo tanto no sería confiable hacer una predicción con ese modelo.

El coeficiente de correlación simple se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$r = \beta_0 \frac{r_x}{r_y} \quad \dots \text{III.2.7.}$$

Donde:

r_x = desviación estandar de x

r_y = desviación estandar de y

β_0 = Es el correspondiente a la ecuación III.2.1

El coeficiente de correlación múltiple se calcula con la ecuación III.2.8

$$R = \left| 1 - \frac{S_{y_{1,2,n}}^2}{S_y^2} \right|^{1/2} \quad \dots \text{III.2.8}$$

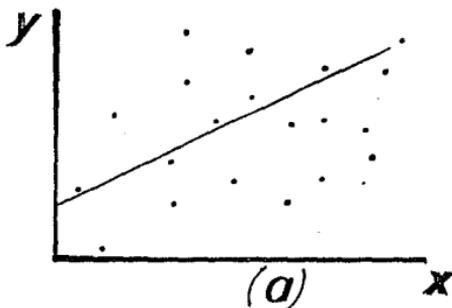
Donde: S_y = varianza de Y

$$S_{y_{1,2,n}}^2 = \frac{\sum (Y - \hat{Y})^2}{n}$$

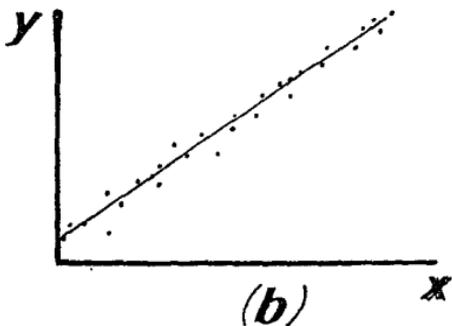
siendo \hat{Y} el valor estimado de Y, a partir de la ecuación III.2.3.

La relación gráfica que existe entre la regresión y la correlación se representa en la figura III.2.D; en la parte (a) sólo se representa una regresión simple para mayor claridad del dibujo y se observa que la línea de mínimos cuadrados no representa con precisión a los valores estocásticos de Y, por lo que se tienen grandes desviaciones "e" y a ésta figura le corresponde entonces un valor de coeficiente de

MALA CORRELACION



BUENA CORRELACION



ENEP ACATLAN
TESIS PROFESIONAL
FIG. III.2-D
Relacion practica entre la regresion y la correlacion
ELOY CORNEJO PEREZ

correlación muy lejos de 1.00. En cambio al observar la parte (b) de la misma figura, la línea de regresión de mínimos cuadrados, sí cumple para la mayoría de puntos y los errores "e" són pequeños; y a estas condiciones, se tendrá entonces un coeficiente de correlación r muy cerca de 1.00.

III.2.E.

MULTICOLINEALIDAD

Como se hizo mención en la sección III.2.C., no conviene tener multicolinealidad.

Formalmente, no multicolinealidad significa que no existe un conjunto de números λ_2 y λ_3 distintos de cero tales que:

$$\lambda_2 X_{2i} + \lambda_3 X_{3i} = 0 \quad \dots \text{III.2.7}$$

Si existe tal relación, entonces, se dice que X_2 y X_3 són colineales o linealmente dependientes y sólo debemos introducir a una de ellas en el modelo.

Si se quiere hacer caso omiso de la multicolinealidad se obtendrán valores de los parámetros de la regresión con errores estándar muy grandes o incluso el valor del parámetro será indeterminado o infinito.

La multicolinealidad puede ser perfecta o imperfecta; en la ec. III.2.8. se tiene una multicolinealidad perfecta.

$$\lambda_1 X_1 + \lambda_2 X_2 + \dots \lambda_n X_n + v_i = 0 \quad \dots \text{III.2.8}$$

donde v_i es un término estocástico de error.

Al igual que en la sección de regresión lineal múltiple (III.2.C), podemos descomponer a la ecuación III.2.3 en la forma $Y = \beta_0 + \beta_n X_n$.

Pero si sabemos que existe multicolinealidad entre las variables X_1 con X_2 ó X_1 con X_3 ; es decir; si variamos X_1 , por fuerza deberá variar X_2 ó X_3 en su defecto; entonces no podremos variar X_1 y dejar constante a X_2 ó X_3 .

El término $Y = \beta_0 + \beta_1 X_1$, como ya se había mencionado, significa la regresión de Y cuando varía X_1 y se deja constante a X_2 y X_3 . Este significado no puede ser posible cuando hay multicolinealidad entre las

variables explicatorias.

La multicolinealidad se caracteriza principalmente por tener coeficientes de correlación múltiple R y coeficiente de correlación simple r muy altas y esto puede implicar un error estandar en los coeficientes de las variables X muy altas.

El problema de la multicolinealidad realmente no es problema si el objeto de la regresión sólo es la "predicción" y tener valores altos de correlación; lo que significa que el modelo está bien elaborado, notese sin embargo que esto es válido sólo cuando la colinealidad existente entre las variables X en una muestra dada, se mantenga en el futuro.

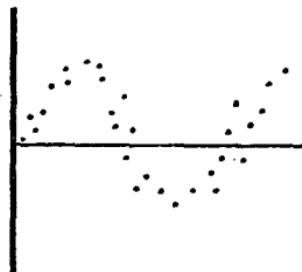
En el paquete estadístico "TSP" de computador se puede definir la multicolinealidad al obtener la covarianza. Si esta arroja un " r " muy cerca de 1.00 entre dos variables explicatorias, significa que estas variables son colineales (existe multicolinealidad), y por lo tanto se debe excluir a una de ellas de el modelo. En el anexo B existe referencia a cerca de este paquete.

III.2.F.

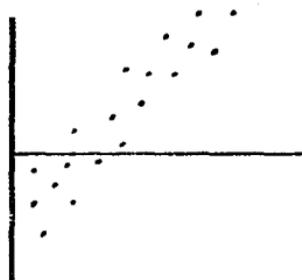
AUTOCORRELACION

Observando la gráfica de la figura III.2.E, y en referencia al modelo clásico de regresión (en donde no existe problemas de autocorrelación, entre otros), puede observarse que en la parte (a) de la figura existe una relación cíclica de las perturbaciones y en la parte (b) existe una relación lineal de las perturbaciones, más en cambio en la parte (c) no existe tal relación y luego entonces, no hay autocorrelación.

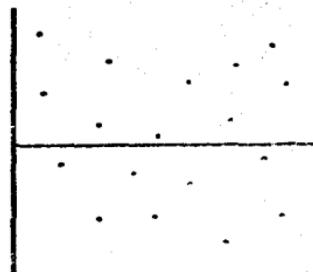
El problema de autocorrelación se define cómo la existencia de correlación entre las perturbaciones de una serie de observaciones ordenadas en el tiempo o en el espacio. El modelo clásico de los mínimos cuadrados hace el supuesto de que no existe dicha autocorrelación. En otras palabras, el modelo clásico supone que una perturbación no está relacionada con otra perturbación; de ser lo contrario, entonces sí existe autocorrelación por ejemplo, al tratar con series de tiempo mensuales sobre la regresión de la Elevación del Nivel Estático (N.E.) contra las precipitaciones y de pronto se presenta un huracán que afecta al N.E., podrían existir razones suficientes para pensar que ese huracán afectará al N.E. del siguiente mes; y de ser así entonces sí tenemos autocorrelación.



(a)



(b)



(c)

FIG. III.2.E SE MUESTRA LA RELACION EXISTENTE DE UNA PERTURBACION CON OTRA.
 LA PERTURBACION $t-1$, INFLUYE A LA PERTURBACION t .
 EN (a) SE TIENE UN COMPORTAMIENTO CICLICO DE LAS PERTURBACIONES.
 EN (b) SE TIENE UNA RELACION LINEAL DE LOS PERTURBACIONES, Y
 EN (c) NO HAY AUTOCORRELACION, NO SE RELACIONAN LAS PERTURBACIONES.

ENEP ACATLAN
TESIS PROFESIONAL
FIG. III.2.E
ELOY CORNEJO PEREZ

De acuerdo a la naturaleza de este estudio se describen a continuación algunas razones posibles de autocorrelación:

1.- *Inercia.* En una serie de tiempo la característica más importante es la inercia. Ejemplificando con una serie de tiempo cómo el N.E.; las precipitaciones y las evapotranspiraciones, como es sabido, estas variables presentan ciclos.

A partir del suceso de una tormenta, cuando sucede la precipitación las demás variables tienden a aumentar su valor, es decir, hay un impulso en la serie y continúa hasta que sucede algo (terminó la tormenta y terminó la infiltración) que los hace descender lentamente.

En este caso es muy probable que las observaciones sucesivas sean interdependientes.

2.- *El caso de las variables excluidas.* - En el análisis que se pretende se excluyen algunas variables que originalmente se incluían en el modelo como por ejemplo:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + U_t \quad \dots \text{III.2.9}$$

Donde $Y = \text{N.E.}$

$X_1 =$ Precipitación

$X_2 =$ Evapotranspiración

$X_3 =$ Bombeo

$X_4 =$ Infiltración

$U_t =$ Residuo

pero debido a la falta de material, por alguna u otra razón el modelo de regresión queda de la siguiente forma:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + V_t \quad \dots \text{III.2.10}$$

Si se sabe que la ec. III.2.9 es el modelo correcto, pero sólo podemos utilizar la ecuación III.2.10., esto equivale a decir que

$$V_t = \beta_4 X_4 + U_t$$

y a medida que el valor de la infiltración afecte al N.E., el término de error estocástico V_t reflejará un patrón sistemático, creando por consiguiente una autocorrelación.

3.- *Manipulación de los datos.* - En ocasiones se tienen datos o registros diarios, los cuales deben procesarse mensualmente sacando un valor promedio para cada uno de ellos. Este procedimiento de promediar las cifras permite uniformizarlas eliminando las fluctuaciones diarias que ofrescan. Si se grafican los registros mensuales y los registros diarios, se observa que la primera gráfica es más uniforme que la

segunda. Esto puede llevar a un patrón sistemático en las perturbaciones, introduciendo de este modo la autocorrelación.

Si a pesar de todo se continúa con el modelo sin tomar en cuenta la autocorrelación se pueden tener las siguientes consecuencias:

- a).- el intervalo de confianza será más ancho
- b).- la varianza y los errores estandar tienden a subestimar a las verdaderas varianzas y errores estandar de los estimadores de los mínimos cuadrados.
- c).- se dan conclusiones erróneas a cerca de la significación estadística de los coeficientes de regresión estimados.
- d).- para una muestra particular, tiende a dar valores distorsionados de los verdaderos valores poblacionales.

Antes de aplicar el remedio para corregir la autocorrelación, será necesario saber si el modelo presenta tal problema. Si este no presenta autocorrelación y se aplica alguna medida remedial, entonces el remedio será peor que la misma autocorrelación.

A continuación se presenta simplifcadamente el método de Durbin-Watson "d" para definir la existencia o no existencia de la autocorrelación.

$$d = \frac{\sum_{t=2}^{t=n} (e_t - e_{t-1})^2}{\sum_{t=1}^{t=n} e_t^2} \quad \dots \text{III.2.11}$$

Donde:

t = tiempo

e_t, e_{t-1} = residuos que se calculan con el método de mínimos cuadrados.

Los valores que tome "d" dependen exclusivamente del número de observaciones n y del número de variables explicatorias X's y no de los valores que tomen esas variables.

Otra forma para llegar a conocer el valor de d es estableciendo el siguiente coeficiente:

$$\rho' = \frac{\sum (e_t \cdot e_{t-1})}{\sum e_t^2} \quad \dots \text{III.2.12.}$$

ρ' = coeficiente de autocorrelación muestral de primer orden en donde:

$$d = 2(1 - \rho') \quad \dots \text{III.2.13}$$

Durbin y Watson pudieron encontrar un valor de d para el cual no se tiene el problema de autocorrelación. Tal valor se presenta en el rango de 1.66 a 2.34 para 2 variables explicatorias y 64 observaciones (para mayor referencia consultar la bibliografía de Damodar Gujarati).

Si el valor de $d = 2$, no hay autocorrelación de primer orden, ni positiva ni negativa. Entre más cerca este "d" de 2, no existe posibilidad de autocorrelación.

Si $d = 0$, existe autocorrelación serial positiva.

Si $d = 4$, entre más cerca este d de 4, mayor será la evidencia de autocorrelación negativa.

Si con la prueba Durbin, se llega a determinar la existencia de autocorrelación, habrá entonces que aplicar alguna medida remedial para contrarrestar la ineficiencia de los mínimos cuadrados en esta situación.

III.2.6) MEDIDAS REMEDIALES

Entre otras formas de corregir la autocorrelación a continuación se mencionan tres:

1) Primera medida remedial

Primeramente se deberá determinar el valor de Durbin Watson (d) y en base a éste, calcular el coeficiente de autocorrelación ρ' mediante la siguiente ecuación:

$$\rho' = 1 - \frac{d}{2} \quad \dots \text{III.2.14}$$

Se lleva a cabo una transformación del modelo original de la siguiente manera:

Suponiendo que el modelo original es el siguiente:

$$Y_t = \beta_1 + \beta_2 X_t + U_t \quad \dots \text{III.2.15}$$

donde la autocorrelación esta representada por $U_t = \rho' U_{t-1} + \epsilon_t$, esto

es, el error de ayer (periodo $t-1$ ó U_{t-1}) influye en el error de hoy. Entonces rezagamos un periodo en el modelo:

$$Y_{t-1} = \beta_1 + \beta_2 X_{t-1} + U_{t-1} \quad \dots \text{III.2.16}$$

El subíndice $t-1$ se refiere a un periodo anterior de las observaciones.

Ahora se multiplica Y_{t-1} por el valor de ρ' , esto es:

$$\rho' Y_{t-1} = \rho' \beta_1 + \rho' \beta_2 X_{t-1} + \rho' U_{t-1} \quad \dots \text{III.2.17}$$

Este resultado se resta de la ecuación original

$$Y_t - \rho' Y_{t-1} = (1 - \rho') \beta_1 + \beta_2 (X_t - \rho' X_{t-1}) + e_t \quad \dots \text{III.2.18}$$

Donde e_t satisface el supuesto de los mínimos cuadrados.

La ecuación así transformada se llama ecuación de diferencias generalizadas y ya no tiene ningún problema de autocorrelación. Esta ecuación es similar o análoga a la ecuación original III.2.17 por lo que ya se puede correr la regresión, la cuál ya fué modificada para contrarrestar la autocorrelación.

2) Segunda medida remedial

En ocasiones la variable dependiente no sólo esta en función de la variable explicatoria corriente, sino que también depende de esa misma variable explicatoria o independiente, pero en un tiempo rezagado un periodo, es decir, $Y_t = X_t + X_{t-1}$.

Para este caso, lo anterior puede explicarse de la siguiente manera:

Hablando de la PRECIPITACION, esta puede influir en el comportamiento del N.E. en el tiempo corriente, pero debido a la falta de la variable INFILTRACION entonces puede pensarse que la PRECIPITACION influye rezagadamente en la variable N.E.

El modelo de regresión puede quedar de la siguiente forma:

$$Y_t = \beta_0 + \beta_1 X_t + \beta_2 X_{t-1} + e_t \quad \dots \text{III.2.19}$$

3) Tercera medida remedial

Este es un método iterativo el cual manipula los errores estocásticos rezagandolos un periodo hasta modificar el coeficiente Durbin.

El paquete TSP tiene la capacidad de corregir la autocorrelación en esta forma iterativa, mediante la instrucción AR. Consultar el anexo B.

Cabe aclarar que el número de observaciones va disminuyendo a cada intento de corrección; inicialmente tenemos 64 observaciones y en el primer intento de corregir será necesario eliminar un renglon de observaciones de todas la variables: Esto se califica como requisito para volver a calcular los parámetros con diferentes sumatorias.

Si se tiene una muestra pequeña este método no es recomendable.

III.3. SOLUCION SISTEMATICA A LA TRANSFORMADA DE FOURIER

Las diferentes frecuencias que ocurren dentro de una señal aleatoria pueden ser usadas para describir en el tiempo el comportamiento de dicha señal.

En ocasiones el uso de la transformada facilita el cálculo numerico cotidiano a una forma más simple, pese a que posteriormente se requerirá volver a la versión original mediante una transformada inversa. Conjuntamente, en los valores transformados se observan algunas características que en los originales no se aprecian; tal es el caso de la transformada de Fourier.

La expresión que nos define la transformada de Fourier es la siguiente:

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} X(t) e^{-j2\pi ft} dt \quad \dots \text{III.3.1}$$

Donde: $X(t)$ es la parte real de la transformada

$e^{-j2\pi ft}$ es la parte imaginaria de la transformada

La ec. III.3.1 es análoga a la ec. III.3.3.

A continuación se presenta el desarrollo para resolver la ecuación III.3.1 de acuerdo al Manual de Diseño de Obras Civiles- A.2.13

Hidráulica Marítima de la C.F.E. La secuencia de cálculo es la siguiente:

- 1.- Se calcula la duración total del registro y se designa como $T^{\#}$
- 2.- Se selecciona el número de puntos que se desean analizar en el registro y se designa como "N". Se recomienda sea 2^p ; donde "p" es un número entero positivo. Se buscará que el resultado de evaluar 2^p sea un número tal que se aproxime al número total de registros que se tiene inicialmente por analizar.
- 3.- Se calcula el valor de Δt con la siguiente ecuación

$$\Delta t = T^{\#}/N \quad \dots \text{III.3.2.}$$
- 4.- Cada valor expuesto a ser transformado se designa como X_m .
- 5.- Se calcula la transformada de Fourier del registro con la siguiente ecuación:

$$X_n(f_n) = \frac{1}{N} \sum_{m=1}^{N-1} X_m e^{-j2\pi m/N} = \frac{1}{N} \sum_{m=1}^{N-1} X_m W^{mn} \quad \dots \text{III.3.3}$$

para $n=0,1,\dots,(N-1)$

donde $X_n(f_n)$ es la transformada de Fourier; siendo $j = \sqrt{-1}$
 por otra parte se cumple que:

$$W^{mn} = e^{-j2\pi mn/N} = \cos(2\pi mn/N) - j \sin(2\pi mn/N) \quad \dots \text{III.3.4}$$

6.- Se calcula para cada $X_n(f_n)$ su conjugado y se designa como $\bar{X}_n(f_n)$ el símbolo (-) indica conjugado complejo de $X_n(f_n)$.

7.- Se calcula la densidad de potencia espectral de X_m (densidad de energía) con la siguiente ecuación.

$$S_{X_n}(f_n) = \frac{X_n(f_n) \cdot \bar{X}_n(f_n)}{\Delta f} = \frac{|X_n(f_n)|^2}{\Delta f}$$

Donde: S_x = densidad de potencia espectral de X_m o también llamada

Hidráulica Marítima de la C.F.E. La secuencia de cálculo es la siguiente:

- 1.- Se calcula la duración total del registro y se designa como $T^{\#}$
- 2.- Se selecciona el número de puntos que se desean analizar en el registro y se designa como "N". Se recomienda sea 2^p ; donde "p" es un número entero positivo. Se buscará que el resultado de evaluar 2^p sea un número tal que se aproxime al número total de registros que se tiene inicialmente por analizar.
- 3.- Se calcula el valor de Δt con la siguiente ecuación

$$\Delta t = T^{\#}/N \quad \dots \text{III.3.2.}$$

4.- Cada valor expuesto a ser transformado se designa como X_m .

5.- Se calcula la transformada de Fourier del registro con la siguiente ecuación:

$$X_n(f_n) = \frac{1}{N} \sum_{m=1}^{N-1} X_m e^{-j2\pi n/N} = \frac{1}{N} \sum_{m=1}^{N-1} X_m W^{mn} \quad \dots \text{III.3.3}$$

para $n=0,1,\dots,(N-1)$

donde $X_n(f_n)$ es la transformada de Fourier; siendo $j = \sqrt{-1}$ por otra parte se cumple que:

$$W^{mn} = e^{-j2\pi mn/N} = \cos(2\pi mn/N) - j \text{SEN}(2\pi mn/N) \quad \dots \text{III.3.4}$$

6.- Se calcula para cada $X_n(f_n)$ su conjugado y se designa como $\bar{X}_n(f_n)$ el símbolo $(-)$ indica conjugado complejo de $X_n(f_n)$.

7.- Se calcula la densidad de potencia espectral de X_m (densidad de energía) con la siguiente ecuación.

$$S_{X_n}(f_n) = \frac{X_n(f_n) \cdot \bar{X}_n(f_n)}{\Delta f} = \frac{[X_n(f_n)]^2}{\Delta f}$$

Donde: S_x = densidad de potencia espectral de X_m o también llamada

densidad de energía. Tiene unidades de m^2 . Seg.

Δf = intervalo de frecuencia e igual a

$$\Delta f = \frac{1}{N\Delta t} \quad \dots III.3.6$$

8.- Se obtiene el valor de f_n que corresponde a S_x con la siguiente ecuación:

$$f = \frac{n}{N\Delta t}$$

para $n = 0, 1, \dots, (N-1)$

donde : f = frecuencia que corresponde al punto X_m . Tiene unidades de s^{-1} .
 n = número del punto m .

Si se dibujan los valores de S_x contra f_n se obtiene el espectro de Fourier de la Fig. III.3.A; se observa que ese espectro es simétrico por lo que sólo será necesario dibujar hasta:

$$f_0 = \frac{1}{2\Delta t} \quad \dots III.3.8$$

que representa la mitad del espectro.

9.- Se calcula el área bajo el espectro para $f > 0$ y se designa como m_0 . La ecuación es la siguiente:

$$m_0 = \sum_{n=0}^{N/2} S_{x_n}(f_n) \Delta f \quad \dots III.3.9$$

10.- se calcula el ancho de la banda del espectro con la siguiente ecuación:

$$E = \left[1 - \frac{(m_2)^2}{m_0^2} \right]^{1/2} \quad \dots III.3.10$$

donde: $m_2 = \sum_{n=0}^{N/2} (f_n)^2 S_{x_n}(f_n) \Delta f$

ESPECTROS DE FOURIER

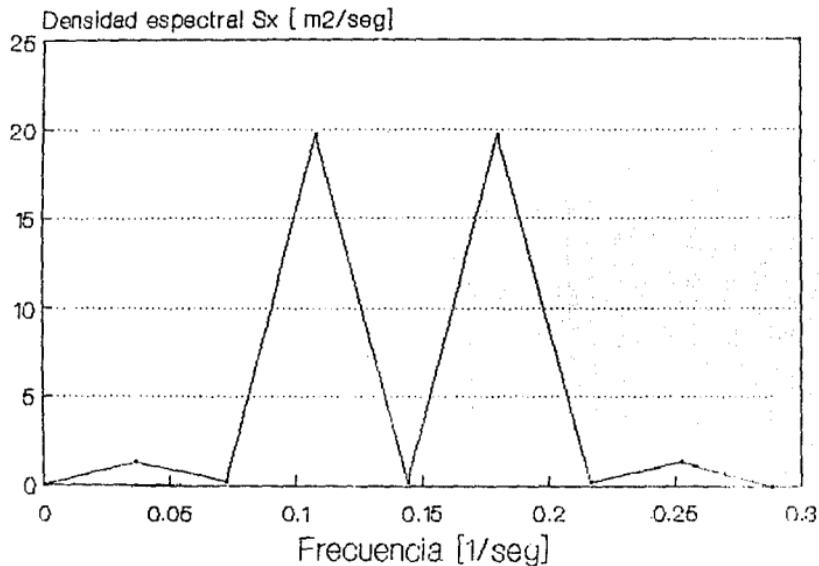


FIG.III.3.A .-ESPECTROS SIMETRICOS

E.N.E.P. ACATLAN

TESIS PROFESIONAL
ELOY CORNEJO PEREZ

$$m_4 = \sum_{n=0}^{N/2} (f_n)^4 \sum_{n=0}^{N/2} (f_n) \Delta f$$

Si el valor de E se acerca a cero, el espectro es picudo o de banda angosta.

Si el valor de E es casi uno, el espectro es de banda ancha.

11.- Para conocer las componentes de $n(t)$, (perfil de la señal antes de ser transformada) se procede de la siguiente manera:

$$a_i = |X_n(f_n)| = \sqrt{(X_{nR})^2 + (X_{nI})^2} \quad \dots \text{III.3.11}$$

$$W_i = 2 f_n$$

$$\phi_i = \text{ang tan} \left| \frac{\text{parte imaginaria de } X_n(f_n)}{\text{parte real de } X_n(f_n)} \right|$$

Estos valores calculados se sustituyen en la siguiente ecuación

$$n(t) = \text{PROM} - \sum_{t=1}^N \cos(W_i t + \phi_i) \quad \dots \text{III.3.12}$$

Donde $n(t)$ es el perfil de los datos antes de ser transformados y PROM significa el promedio aritmético de los registros.

La ecuación III.3.12 representa los espectros de la figura III.4.A. Si se suman estos espectros de forma senoidal se obtiene como resultado el perfil $n(t)$.

Cada espectro de forma senoidal nos representa en forma más clara el carácter de los registros transformados; se aprecia la frecuencia con que se presentan tales fenómenos.

En el anexo A se presenta un programa de computadora que resuelve la Transformada de Fourier.

III.4

ESPECTROS DE FOURIER

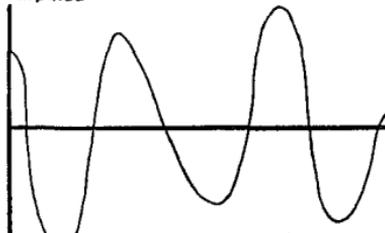
La altura que alcanza el N.E. y el periodo del mismo en un medio

ELEV. N.E. m.s.n.m.

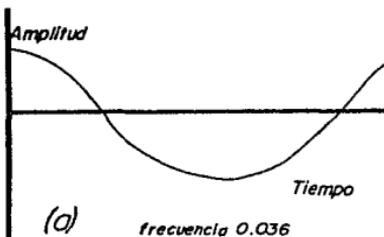


(1) REALES

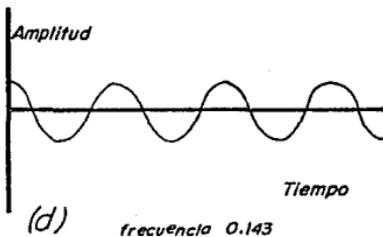
Amplitud



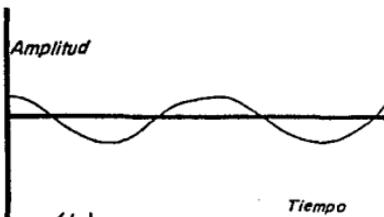
(c) frecuencia 0.107



(a) frecuencia 0.036

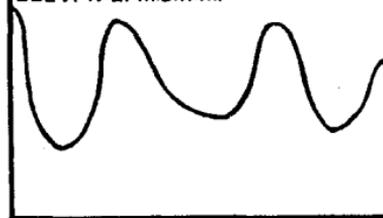


(d) frecuencia 0.143



(b) frecuencia 0.071

ELEV. N.E. m.s.n.m.



(2) RECONSTRUCCION

ENEP ACATLAN
TESIS PROFESIONAL
FIG. III. 4. A. - Descomposicion del N.E. en ondas senoidales y reconstruccion del mismo.
ELOY CORNEJO PEREZ

cárstico son aleatorios y hasta el momento no existe una técnica determinística para conocer el estado hidráulico de estos acuíferos. Por ello se trataran en base a la estadística en combinación con el medio físico. Más particularmente se trabajará con espectros de Fourier, que posteriormente serán correlacionados mediante una regresión lineal múltiple, para obtener un modelo que simule el comportamiento del N.E.

Se le llama espectro a la gráfica que presenta la separación por longitudes de onda o frecuencia de otras señales, tál es el caso de la función del tiempo que representa el N.E. del agua. Con la elaboración de estos espectros se tienen valores de la altura asociada con su frecuencia.

El espectro se dibuja cómo la curva que relaciona la densidad de energía, la que se representa por $s(f)$, con la frecuencia f . Por otra parte $f=1/T$, siendo T el periodo

La apariencia del perfil de las elevaciones del nivel del agua, o de los valores de evapotranspiración, bombeo o precipitación estará relacionado con la forma que tiene su espectro.

La persistencia de elaborar espectros y posteriormente correlacionarlos, radica en que la elaboración del espectro nos hace más marcada la característica de los registros y se visualiza más fácilmente la estructura de los datos; en cambio si aplicamos regresiones sin elaborar previamente los espectros habrá problemas por el comportamiento no lineal de las muestras, y se tendrá una deficiente precisión de la predicción.

En la figura III.4.A. se presenta el registro del N.E., el cuál se ha transformado con Fourier y posteriormente se ha descompuesto en sus ondas senoidales principales. De acuerdo a la ecuación III.3.12, con la suma de las ondas (a), (b), (c) y (d) se puede reconstruir el perfil real de N.E.; la parte (1) como se observa, es la gráfica de los valores reales de la Elev. de N.E. y la gráfica (2) es la reconstrucción del N.E. en base a la suma de ondas senoidales.

Si se observan las gráficas desde (a) hasta (d), se aprecia que cada una de estas ondas senoidales tiene diferente frecuencia, amplitud y ángulo de defasamiento (Φ).

IV. EJEMPLO DE APLICACION AL ACUIFERO DE MINA, ESTADO DE NUEVO LEON

IV.1. - MARCO DE REFERENCIA

IV.1.a. - Antecedentes

IV.1.b. - Localización

IV.1.c. - Geología

IV.1.d. - Hidrología

IV.1.a) Antecedentes

El acuífero de Mina es un acuífero confinado y está constituido por un medio cárstico, en el cuál se presupone no hay grandes abatimientos de los niveles del agua, pero esta no es razón suficiente para extraer el vital líquido sin tener de antemano un conocimiento de la predicción de la potencialidad del acuífero.

A falta de un análisis determinístico se hace necesario como alternativa un estudio estocástico para proyectar la oferta del agua en un tiempo futuro.

En este capítulo se aplica la base matemática antes descrita para elaborar un modelo matemático, con el cuál se puede estimar a futuro los niveles estáticos en el acuífero.

Esto se puede lograr si consideramos los registros de N.E. de cada pozo así como los factores que intervienen para el comportamiento de estos registros.

Cabe aclarar que el modelo será más preciso cuando:

- Se tengan mas pozos por analizar.
- Se tenga una muestra suficientemente grande de cada una de las variables.
- Se hagan intervenir más variables que determinen el N.E.

La situación presentada en este estudio se limita a trabajar solamente con tres pozos y dos variables explicatorias (Precipitación y Evapotranspiración) .

En base al periodo de muestras (para 1958 a 1963), se elabora un modelo, con el cuál se estima el N.E. para ese mismo periodo. Y si los resultados són parecidos a los datos reales, entonces el modelo si está calibrado y listo para proyectar resultados para otros tiempos.

Con el modelo calibrado para el periodo anterior, se estima el valor de las ELEV. de N.E. de los tres pozos; con esta estimación de los

valores de N.E. se verifica la calibración del modelo. Las elevaciones reales deben ser sumamente parecidas o casi iguales a las elevaciones teóricas.

Si se proyecta el valor de las variables explicatorias, mediante el método adecuado para cada una de ellas, o simplemente se supone o se propone su valor; podrá entonces estimarse o conocerse la Elev. del Nivel Estático para un tiempo posterior deseado.

El alcance de este modelo no incluye la proyección de las variables explicatorias.

IV.f.b) Localización

El acuífero de Mina está localizado en una zona desértica al noreste del Estado de Nuevo León y al norte de la República Mexicana, en las coordenadas 26° 00'00" de latitud norte y 100° 31'50" de latitud oeste.

El área se encuentra comunicada por la carretera Federal No. 53 que va de Monterrey a Monclova; y por la línea férrea de Monterrey a Torreón Coahuila.

La temperatura media anual es de 21 °C. En tiempos calurosos como en el mes de agosto rige una temperatura de 28.3 °C y en tiempos de más frío como en enero, la temperatura es de 13 °C.

La precipitación media anual es de 208 mm/año, siendo la máxima promedio 636 mm/año en el período junio a agosto y la mínima de 75.6mm/año. (datos proporcionados por la S.A.R.H. en su Depto. de Hidrometría).

Para este ejemplo de aplicación, se seleccionaron sólo tres pozos de 68 existen en el Sistema Mina; tales son el pozo 02, pozo 06 y pozo 08. Esta determinación es debida a la falta de datos de N.E. de los demás existentes.

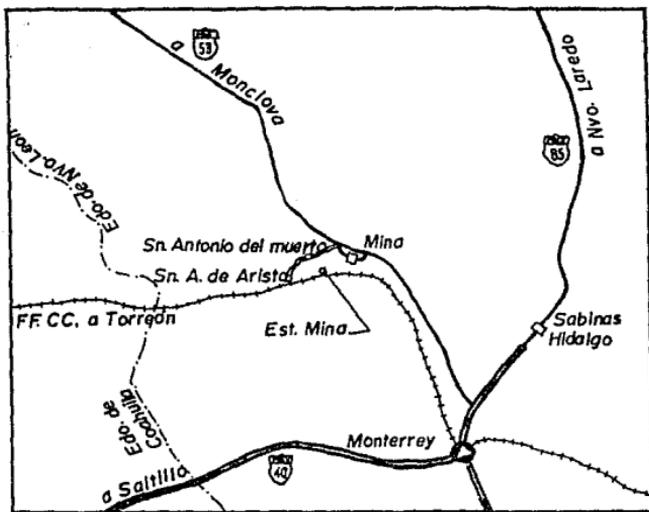
En la figura IV.1.A se localiza la zona de Mina, en el estado de Nuevo León.

IV.f.c) Geología

De acuerdo al estudio geológico regional realizado en el Estado de Nuevo León por la S.R.H., COMISION DE AGUA POTABLE DE MONTERREY, se presenta en forma resumida el estudio Geológico de la zona de Mina.

Se tratan los siguientes temas:

- 1) Fisiografía y Geomorfología
- 2) Estratigrafía y características geohidrológicas de las formaciones



ENEP ACATLAN
TESIS PROFESIONAL
FIG. IV. 1. A
Localizacion, Mina, Edo. N.L.
ELOY CORNEJO PEREZ

3D Aspectos Geohidrológicos

1).- Fisiografía y Geomorfología

Fisiografía.- Descripción de la tierra y de los fenómenos que en ella se producen.

Geomorfología.- Ciencia que describe los fenómenos terrestres.

Las características fisiográficas y geomorfológicas regionales del relieve, valles y grandes planicies, son debidos a los plegamientos de compresión de las rocas sedimentarias de la región cómo son las lutitas, calizas y areniscas.

El estado actual del relieve fisiogáfico es el resultado del proceso simultáneo de emersión y plegamientos de las formaciones sedimentarias y que debido a los distintos grados de resistencia a la erosión se hizo mas notable y destacado los altos montañosos. Estos corresponden a plegamientos anticlinales y están formados por sedimentos recientes del "cretácico", estos a su vez erosionados algunos de tal forma que afloran formaciones del "jurásico". Los cantiles y accidentes mas destacados que aparecen en los laterales de las estructuras estan formados generalmente por calizas.

La región norte y noreste de Monterrey, se caracteriza por la existencia de serranías aisladas , algunas de formación alargadas y otras de forma cómica. Este tipo de estructuras se originó, de acuerdo a Geólogos de Pemex, por los efectos combinados de compresión lateral y de probable intrusión salina como lo prueba la existencia de espesores de sal, yeso y evaporitas de probable edad "pre-jurásica", existentes en el núcleo de gran parte de las estructuras anticlinales cercanas a Monterrey, como son Minas Viejas, La Serranía de los Frailes y La Ventana.

2).-Estratigrafía y características Geohidrológicas de las formaciones.

El estudio estratigráfico abarca desde la formación Minas Viejas del Jurásico hasta las formaciones recientes.

JURASICO

Formación Minas Viejas.

Acuífera.-Afloramientos de extensión muy limitada. Agua de mala calidad.

Calizas Zuloaga.

Acuífera.-Afloramientos de extensión muy limitada. Agua de mala calidad.

Formación la Casita.	Típicamente confinante.
CRETACICO INFERIOR	
Formación Taraises.	Confinante basal de calizas Cupido.
Caliza Cupido.	Acuífera, con características de alta transmisividad y de almacenamiento.
Formación La Peña.	Puede ser localmente confinante; por su poco espesor y fracturamiento no se considera en general como un horizonte confinante.
Caliza Aurora.	Acuífera, de permeabilidad aparente, mas localizada que las calizas Cupido con la que se encuentra interconectada. Generalmente los niveles piezométricos en ambas formaciones coinciden.
Formación Kiamichi.	Parcialmente confinante, puede estar conectada a través de fracturas con la caliza Aurora.
Formación Cuesta del Cura.	Parcialmente confinante, puede estar conectada con la caliza Aurora a través de fracturas en la Kiamichi. En sus afloramientos pueden ocurrir recargas de los acuíferos por infiltración.
CRETACICO SUPERIOR	
Formación Indidura.	Confinante, cubriendo los horizontes acuíferos.
Formación Parras y Difunta.	Típicamente impermeables.
TERCIARIO SUPERIOR	
Conglomerado Reynosa.	Acuíferos locales de poca potencialidad
RECIENTE	
Depósitos de acarrees y rellenos de limos, arenas y gravas.	Formaciones acuíferas de potencialidad variable.

3).- Aspectos Geohidrológicos

Las razones que constituyen el acuífero son calizas de las formaciones Aurora y Cupido del Cretácico Inferior ; estas presentan

zonas en la que la disolución y el fracturamiento es evidente. En los afloramientos de las secciones del Cretácico (en la Sierras de los Muertos del Fraile, de Minas Viejas y otras) se observan zonas de disolución que se desarrollan inicialmente a lo largo de fracturas y planos de estratificación.

Un ejemplo de disolución al máximo de las rocas calizas, es en las grutas de la Villa García (en la Sierra del Fraile) y en la Mina de El Diente (en la Sierra Madre Oriental), ambas de calizas Cupido.

Al observar , que todo el frente de la Sierra Madre Oriental, en donde afloran calizas Aurora y Cupido se muestran las mismas características de agrietamiento y canales de disolución los que permiten la infiltración y el flujo de agua a través de esos ductos. La continuidad de esos ductos a lo largo de los afloramientos indica que las condiciones de disolución y agrietamiento se continúan a profundidad en las zonas no expuestas de la caliza como lo han demostrado pozos perforados en las áreas donde no afloran calizas y han sido alcanzadas por la perforación de pozos.

La roca caliza por tanto , sufre disoluciones y grietas que permiten el flujo de agua, tanto infiltración como escurrimientos horizontales. En la figura IV.1.B se muestra un corte esquemático , de un bloque de calizas, en el cuál se observan las grietas o disoluciones, pozos localizados en la zona de grietas (en estos no podrá extraerse agua , por no haber comunicación con ella), y pozos localizados en la zona de grietas con agua, de los cuáles sí es posible la extracción por bombeo.

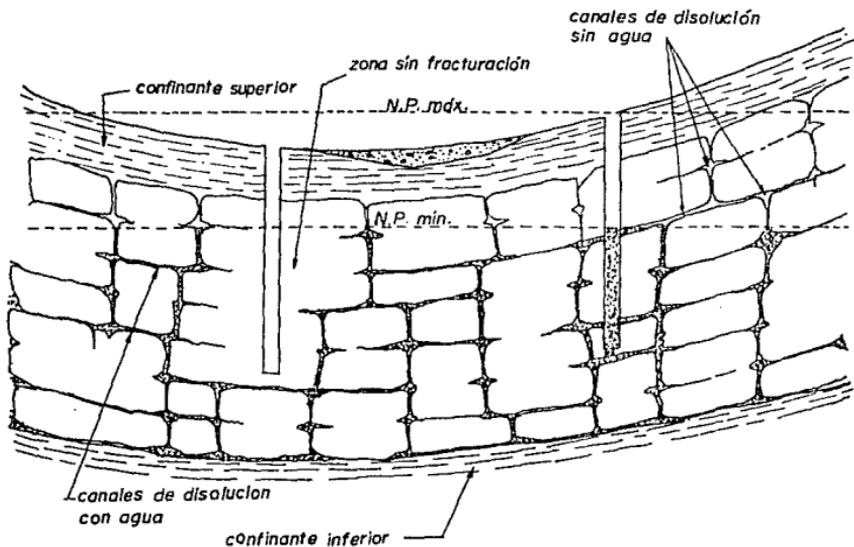
El acuífero se encuentra constituido por calizas Cupido y calizas Aurora.

Estas formaciones se encuentran separadas por la formación La Peña, de poco espesor y que en general no constituye una capa confinante. Por lo que el espesor del acuífero se constituye por el espesor de la caliza Cupido mas la caliza Aurora.

Subyaciendo a la caliza Aurora se encuentra la formación La Peña, subyaciendo a La Peña se encuentra la caliza Cupido.

Subyaciendo a la caliza Cupido se encuentra el confinante inferior , que son las formaciones Taraises del Cretácico Inferior y La Casita del Jurásico , donde ambos tienen propiedad de ser impermeables .

Yaciendo a la caliza Aurora se encuentra el confinante superior , que son las formaciones mas jóvenes del Cretácico como Kiamichi y Cuesta



ENEP ACATLAN

TESIS PROFESIONAL

FIG. 10.1.B

**Disolución y agrietamiento
en roca caliza.**

ELOY CORNEJO PEREZ

de Cura del Cretácico Inferior , y las formaciones la Indidura , Parras y Difunta del Superior.

La continuidad de las calizas tanto de las calizas acuíferas como las de las confinantes superior e inferior , sólo esta interrumpida por la Sierra Madre Oriental, por accidentes Tectónicos , algunos muy importantes que pueden formar barreras locales al flujo del agua al poner en contacto con las calizas que constituyen el acuífero, las formaciones superior e inferior.

Como antes se explico la formación de las sierras es el resultado de intensos plegamientos acompañados de fenómenos de erosión y afallamiento, así como la disolución de las calizas Aurora y Cupido, han dado lugar a condiciones topográficas, estructurales , estratigráficas, geohidrológicas favorables para la existencia de acuíferos confinados en los que las calizas expuestas en las partes altas constituyen las zonas de alimentación y recarga, funcionando como un acuífero libre , y la porción en que las calizas se encuentran confinadas por los estratos superior e inferior constituyen el acuífero a presión. En la figura IV.1.C se presenta un corte esquemático del acuífero.

El agua infiltrada por lluvia va a vaciarse dentro del acuífero y esto provocará la variación de los niveles tanto en el acuífero libre como en el piezométrico del acuífero confinado.

Teniendo en cuenta lo anterior, las obras de captación de agua, mediante pozos o mediante perforaciones horizontales, deberán proyectarse de tal manera que la perforación sea mínima pero suficiente para atravesar el confinante superior y alcanzar las calizas Aurora y Cupido.

La presencia de manantiales nos da un indice favorable para la localización más adecuada para las obras de explotación acuífera.

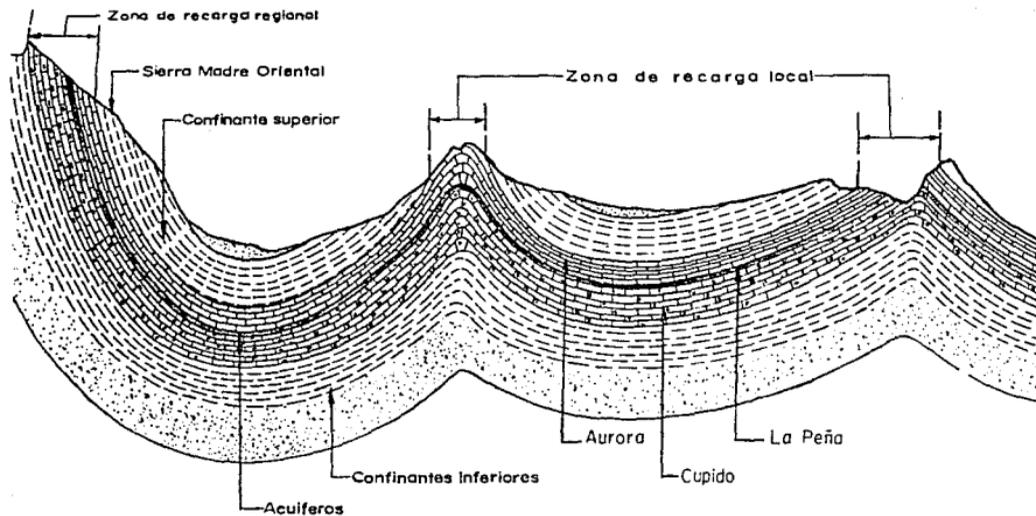
IV.1.d.- Hidrología

Los efectos hidrológicos que se hacen intervenir en este modelo són la precipitación y la Evapotranspiración ; quedando excluidos a falta de material: la recarga vertical , flujo horizontal, bombeo, y escurrimientos superficiales.

1.- Variables excluidas

Una explicación mas detallada sobre la exclusión de algunas variables independientes es la siguiente:

CORTE ESQUEMATICO



ENEP ACATLAN
TESIS PROFESIONAL
FIG. IV.1.C
Corte esquemático geológico
ELOY CORNEJO PEREZ

a) Exclusión de la recarga vertical

Si el parámetro de pérdidas (infiltración) depende directamente de la precipitación, entonces, estas variables son multicolineales, y por lo tanto no tiene sentido aplicar la infiltración al modelo. Estas variables se comportan de la misma manera, pero son de diferente magnitud, pues la diferencia es el coeficiente de infiltración media. Si la precipitación crece, entonces la infiltración también deberá crecer; si la precipitación decrece, entonces la infiltración deberá decrecer. Este comportamiento multicolineal de estas variables, hace innecesario incluir a ambas en el modelo de regresión.

b) Exclusión de la variable flujo horizontal

Como se definió en el capítulo II, los escurrimientos superficiales comprenden al drenado por canales, ríos efluentes, ríos influentes y el escurrimiento debido a la precipitación pluvial. De todos estos el que realmente interviene en el balance del agua subterránea es el escurrimiento debido a la precipitación pluvial.

Para el periodo de este modelo (1958 a 1963) no existían aforamientos de las corrientes superficiales.

Esta variable se excluye debido a la falta de material que aporte los datos necesarios para obtener el perfil del escurrimiento superficial en función del tiempo e implícitamente en función de la precipitación.

Existen algunos métodos como el Método Racional Americano y como el Método de las envolventes; estos métodos para evaluar el gasto por escurrimiento sólo determinan un volumen de agua que es drenado en la superficie, este volumen es constante durante la tormenta.

El Método de las envolventes, sólo toma en cuenta el área de la cuenca y el Método Racional Americano toma en cuenta el área de la cuenca, la altura de precipitación y las características generales de la cuenca (pendiente, área de vegetación, etc.).

En cambio el método del hidrograma unitario sí considera la distribución de la lluvia en el tiempo, pero no así la distribución de ésta en el espacio.

Se requiere para un análisis estocástico un método que considere primordialmente la distribución de lluvia en el tiempo, y en forma menos importante la distribución de la lluvia en el espacio (por si se tienen

diversos estratos de suelo acuífero). En particular para el caso de este trabajo si es suficiente aplicar el método del hidrograma unitario, pero a falta de calidad de material no se aplica el método.

Si bien se sabe que el escurrimiento producto del exceso de lluvia es una variable proporcional a la misma precipitación, cabe pensar que estas variables serán multicolineales como sucede con la infiltración, pero la relación que tiene la Elev. del N.E. con el escurrimiento superficial es una relación inversa, cuando mayor sea el escurrimiento superficial menor será la disponibilidad de agua para recargar al acuífero. Si las corrientes de ríos o manantiales transportan el agua fuera de la cuenca entonces la probabilidad de recarga por infiltración disminuye.

Debido a lo anterior si será interesante incluir a la variable escurrimientos superficiales, pero este trabajo omite el desarrollo o determinación del escurrimiento superficial en función del tiempo y del espacio.

c) Exclusión de la variable flujo horizontal subterráneo

Esta variable se excluye de el modelo principalmente por su dependencia de la Ley de Darcy, tal como se definio en la ecuación I.7.2

$$Q = T \frac{dh}{L} B$$

Es importante saber como evoluciona el N.E. debido a las entradas o salidas del agua en forma subterránea.

El comportamiento de los niveles estáticos puede depender de las siguientes características en la cuenca tanto geométricas como hidráulicas y geológicas:

- La existencia de alguna barrera impermeable en el acuífero puede provocar recuperación en los niveles del agua (piezométricos o freáticos).
- Si existen lentes impermeables o semipermeables provocará la deficiencia de agua en zonas localizadas.
- Si se trata de una cuenca exorreica, los niveles del agua van a variar de acuerdo al drenado de la misma.
- Si se trata de una cuenca endorreica, entonces el término "salidas o entradas horizontales subterráneas" desaparece.
- Las características hidrológicas del subsuelo serán determinantes para

permitir el flujo de agua a través de las grietas fisuras del subsuelo.
- La localización de la zona de recarga, influye determinadamente para la configuración de los niveles estáticos.

Entre otras posibles características estas son suficientes para determinar el comportamiento del flujo horizontal subterráneo y éste entonces condiciona la Elev. del N. E. en el acuífero, y así por lo tanto quedan implicados los N.E. en los pozos.

Con toda la importancia que tiene esta variable, se reitera, no es recomendable introduciría en el modelo matemático debido a su gran dependencia de la Ley de Darcy; pues ésta no considera la carga de velocidad que adquiere el agua en el medio carstificado.

d) Exclusión de la variable bombeo

Se tiene conocimiento que para el año de 1958 aun no se explotaba el sistema Mina, en el Estado de Nuevo León, y el abatimiento sufrido en el acuífero se debió a la descarga natural por medio de los manantiales de el lugar. Es a partir de 1975 cuando se empieza a explotar el acuífero.

Para el año de 1980, de acuerdo a censos de pozos en el lugar, el gasto extraído en los pozos 2, 6 y 8 es alrededor de 150 a 200 lps. y es exclusivamente para uso doméstico en la Cd. de Monterrey. Este uso de los pozos obliga a que el gasto sea constante a través del tiempo. Si bien se requiere mayor dotación para la población, entonces la extracción aumentará, pero en forma constante, o en forma lineal; si se obtiene la gráfica del gasto de bombeo contra el tiempo, es lógico saber que esta será una línea recta, con o sin pendiente.

Por lo expuesto anteriormente, es claro notar que el bombeo no es una señal aleatoria a través del tiempo, sino que se trata de una constante y no existe la transformada de Fourier para una constante. Este es el motivo principal por lo que el bombeo quede fuera de el modelo a resolver.

Si la extracción de los pozos se empleara también para uso ganadero y agrícola, entonces, esta variable si se comportaría como una señal aleatoria, por la diversidad de demanda de agua, la cuál dependería del cultivo así como de la temperatura, precipitación y condiciones diversas del suelo.

Otra forma de introducir el bombeo, es asociandolo con el flujo horizontal subterráneo o con las corrientes de escurrimiento superficial. Cabe pensar que se puede asociar a la evapotranspiración, pero esto no

es posible debido a la no compatibilidad de las unidades.

En el momento de hacer el ajuste por mínimos cuadrados ordinarios la variable evapotranspiración representa de alguna forma el efecto de pérdidas por bombeo.

Este efecto será reflejado en la ecuación de regresión (ec. III.2.1), mas particularmente en el parámetro β_0 . Con esta situación, el error estocástico que se comete por la exclusión de algunas variables será mayor tal como se explica en la ec. III.2.9.

2.- Variables que intervienen en el modelo

Para fines de elaborar el modelo de regresión, se transformaron (transformadas de Fourier) las variables independientes Evapotranspiración y Precipitación del periodo 1958 a 1963. Esta limitante es originada por la falta de información de Elev. de N.E. para los pozos en cuestión.

a) La variable evapotranspiración

Respecto a esta variable, es conveniente calcularla con el método de Turç, pues este es el más apropiado para zonas áridas.

Es preciso aclarar que se deberán limitar estas variables, pues no hay razón para calcular valores de Evapotranspiración -por ejemplo- que queden fuera del periodo conocido de Niveles Estáticos; porque es con el conjunto de las variables PRECIP, EVAPOT y ELEV de N.E. con lo que se elabora el modelo y si por alguna razón hay menos datos de cualquiera una de ellas, entonces todas se limitan a la variable con menos observaciones. Se deberá tener el mismo número de ellas en cada una de las variables, para no alterar la transformada de Fourier y el Método de los Mínimos Cuadrados.

En la tabla IV.1.1, se muestran los datos de Evapotranspiración necesarios para el modelo.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1958	77.1	79.17	122.6	144.2	162.6	181.7	183.5	185.0	163.5	124.9	94.8	81.1
1959	72.8	81.4	121.6	133.9	165.1	178.4	183.0	182.1	187.1	135.8	87.5	84.5
1960	79.5	80.6	124.0	138.5	164.4	189.4	194.3	179.6	161.0	141.5	98.7	80.6
1961	86.7	85.7	134.0	139.4	166.5	185.6	189.4	183.0	160.9	141.7	91.7	74.1
1962	73.7	98.2	129.0	142.4	160.9	188.9	200.7	189.9	170.9	144.0	97.4	61.2
1963	58.6	70.8	145.5	142.1	154.4	179.4	185.8	183.0	166.9	138.6	95.4	74.9

TABLA IV.1.1.- VALORES REALES DE EVAPOTRANSPIRACION EN MM/MEG.
(CALCULADOS CON EL METODO DE TURCO.)

Observese que se trata de 72 valores de evapotranspiración, es decir se trata de una muestra de 72 meses de observación y mediciones.

Notese que en el programa utilizado en el anexo A, para la transformada de Fourier solo se deberán emplear 84 valores. Esto es el resultado de una interpolación lineal, requerida para cumplir con la recomendación referida a que el número de datos por transformar debe ser

$$N=2^P$$

donde: N=Número de datos por transformar

p= Número entero positivo

Con $P=6$ se obtiene que N es igual a 64

La evapotranspiración es el único término con signo negativo (en la ecuación del balance hídrico) que se hace intervenir en el modelo de regresión.

Los valores calculados para la evapotranspiración, si representan una señal aleatoria en el tiempo, por lo que el perfil senoidal que adquiere esta variable es sumamente provechoso para este trabajo. En la figura IV.3.F. se aprecia el perfil senoidal y la reconstrucción casi perfecta.

b) La variable precipitación

Respecto a la Precipitación, se encontro que la calidad de los datos no es satisfactoria. Para el año de 1958 en los meses de septiembre

y octubre se registran valores muy por encima de los esperados. En la tabla IV.I.2. se pueden observar estos valores.

La magnitud de estos datos (271.00 y 185.00 mm/mes), puede indicar la presencia de un ciclón, y no es mala la idea, pero sucede que el retorno de otros datos con esa misma magnitud o similar ya no se presenta, cuándo menos en los 5 años restantes que dura el período de la muestra.

Si se procesan los registros tal y como fueron recabados, se transforman (transformadas de Fourier), se descomponen en sus ondas senoidales y se reconstruye el perfil original de acuerdo a la ecuación III.3.12, se encontrará que la reconstrucción no es buena, pues los valores pico se estandarizan en cuanto a la altura y frecuencia, y además es muy notoria la falta del pico extraordinario, que en el perfil original sí se encuentra (el pico más alto se da por los valores de 271.00 y 185.00 mm/mes).

Si el tamaño de la muestra se hubiera tomado de 14 años, es posible entonces obtener otro pico extraordinario (para 1971 se vuelve a presentar un pico extraordinario). Si la muestra pudiera contener cuando menos dos picos de estos, entonces, la reconstrucción del perfil original se hubiera dado con mayor precisión.

Al analizar el perfil con un sólo pico extraordinario, sucede que en la transformada no se puede calcular la frecuencia de la ocurrencia de éste pico. Esta situación atrae efectos nocivos a los datos restánte, por lo que sucede la estandarización del perfil.

Trabajar con una muestra de precipitación de 14 años, para tener dos picos extraordinarios pudiera ser la solución para tener una buena reconstrucción del perfil original, pero esto no es factible debido a que se obtendrían diferentes frecuencias a las que se calculan en las otras muestras y para este modelo es indispensable trabajar con frecuencias comunes para todas las variables.

La importancia de una buena reconstrucción del perfil es un indicativo de que las ondas senoidales (que resultaron de las transformadas de Fourier), si están bien calculadas y por implicación, entonces, el análisis de regresión también estará bien hecho, y se puede esperar una buena predicción de los N.E. y reciprocamente, si las ondas senoidales no son buenas, entonces el modelo regresivo que de ellas resulte, no será el que represente en buenos términos matemáticos al perfil original de N.E.

En la figura IV.1.D, se muestra el perfil original de la precipitación y el perfil reconstruido; notese la gran dispersión entre la línea teórica y la línea real, por lo que en la etapa de la predicción se esperan no muy buenos resultados.

Finalmente para fines de elaborar el modelo de regresión se transformaron los datos del periodo 1958 a 1963.

En la tabla IV.1.2 se muestran valores de la precipitación. Es la lámina de lluvia acumulada en forma mensual durante 5 años (de 1958 a 1963).

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1958	16.0	7.0	0.0	3.0	1.0	59.5	27.0	53.0	271.0	165.0	9.5	8.0
1959	5.0	48.0	2.0	11.5	24.5	75.0	32.0	0.0	34.3	51.8	65.0	0.0
1960	0.0	22.2	0.0	8.0	1.8	17.5	8.5	70.5	64.0	43.0	11.5	22.8
1961	9.5	2.5	2.0	26.5	7.0	57.0	66.0	29.0	15.5	23.0	5.0	0.0
1962	0.0	3.5	4.5	12.0	9.0	0.0	0.0	0.0	18.0	0.0	13.0	5.0
1963	1.0	0.0	0.0	0.0	20.0	70.0	0.0	50.0	118.5	24.0	10.5	22.0

TABLA IV.1.2 VALORES REALES DE PRECIPITACION EN MM/MES

IV.2. -

NIVELES ESTATICOS

Con el registro de Elev. de Nivel Estático (Elev. de N.E.), podemos llegar a trazar curvas de igual Evolución de N.E. y con los valores de estas curvas al multiplicar por el coeficiente de almacenamiento S del acuífero, determinamos así la cantidad de agua almacenada en el subsuelo.

Las medidas de Elev. de N.E., están referidas al nivel del mar, es decir, estas elevaciones son calculadas de la siguiente manera:

$$\text{cota terreno msnm} - \text{Prof. de N.E.} = \text{Elev. de N.E.}$$

por lo que la Elev. de N.E. tiene unidades de metros sobre el nivel del mar (msnm).

Estas Elev. son totalmente necesarias para la construcción del modelo estocástico, pues estas intervienen en forma directa, al

PRECIPITACION

PERIODO 1958 A 1963

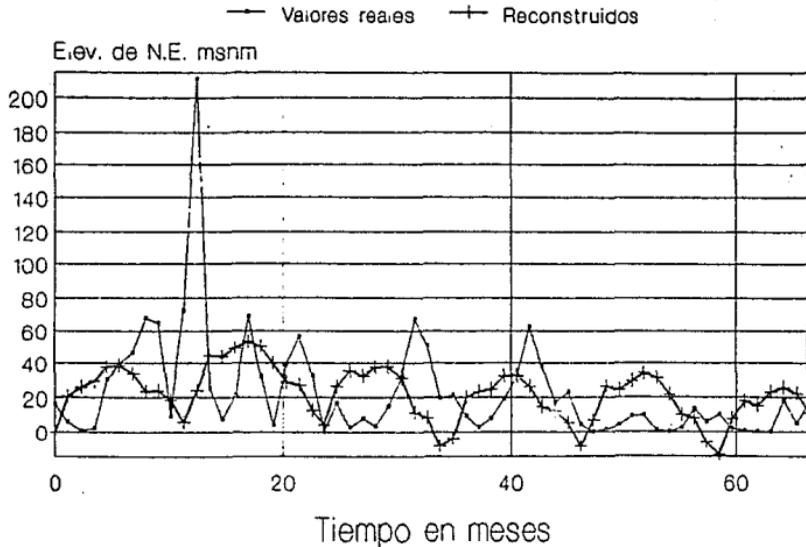


FIG.IV.1.D.- La curva teorica se vuelve oscilaria y no represente a la curva real, omite el pico extraordinario.

E.N.E.P. ACATLAN
TESIS PROFESIONAL
ELOY CORNEJO PEREZ

tratarseles como variable dependiente.

El comportamiento que toman estas curvas está dependiendo del comportamiento de otras variables, como son: Precipitaciones, Evapotranspiraciones, Bombeo, Infiltraciones, etc.

El supuesto de esta investigación es que podemos predecir el comportamiento del N.E. en base a la correlación espectral de esta misma variable, con otras llamadas variables independientes.

Es importancia de esta variable para la construcción del modelo propuesto, tal que este mismo está regido por el tamaño de esta muestra como variable.

La forma de trabajar con los niveles estáticos, no implica trazar curvas de igual Elev de N.E., sino que se trabajará con las Elev. de N.E. de tres pozos, de los cuáles tenemos mayor información de sus Elev. de N.E.

Si se tiene tres pozos para trabajar, entonces se deberá elaborar tres paquetes de modelos de regresión.

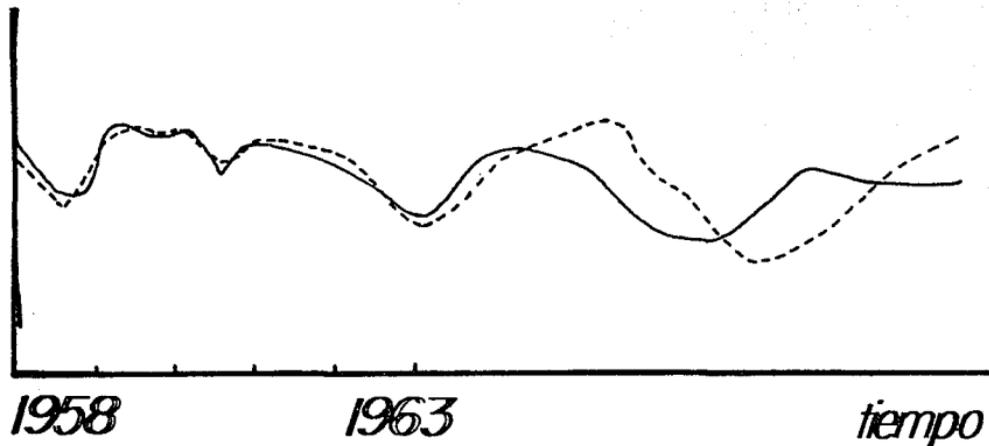
Cada paquete puede representar la señal de cada pozo, y si posteriormente se trabajará en planta para inferir valores de igual Elev. de N.E. entre los pozos, se puede entonces trazar las equipotenciales, trazar curvas de evolución piezométrica y multiplicar por el coeficiente de almacenamiento S, para determinar el volumen existente de agua almacenada.

El alcance de este trabajo sólo incluye hasta la predicción de las Elev. de N.E., para los pozos en cuestión, reservandose la tarea de determinar un volumen existente de agua, así como definir el sentido del flujo subterráneo.

La información proporcionada por la C.N.A (Edo. de Nuevo León), sólo es suficiente para marcar una metodología para la elaboración del modelo estocástico. Es decir, que el tamaño de estas muestras es realmente insuficiente para proyectar el modelo en un tiempo despues; habría posiblemente grandes desviaciones de los valores estimados contra los reales. De cualquier forma, con estas muestras sí se puede elaborar el modelo matemático propuesto.

Inicialmente, el modelo sí será sensible para representarnos la señal para el mismo periodo de 1958 a 1963, pero a medida que se deplace en el tiempo se irá perdiendo precisión, tal como se puede ver en la figura IV.2.A

Elev. N.E. msnm



Valores reales

Valores estimados

FIG. IV.2.A. - Conforme aumenta el tiempo
la curva teórica difiere de la
curva real.

ENEP ACATLAN
TESIS PROFESIONAL
FIG. IV.2.A
ELOY CORNEJO PEREZ

IV.3. - ESPECTROS DE LOS FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL COMPORTAMIENTO HIDRAULICO DEL AGUA SUBTERRANEA

Debido a que tenemos una muestra muy pequeña de observaciones, trabajaremos de la siguiente manera:

- a). Elaboración.-Elaborar un modelo con observaciones comprendidas en el periodo 1958 a 1963.
- b). Calibración.- Calibrar el modelo con el mismo periodo de la elaboración (1958 a 1963).
- c). Predicción.- Proyectar datos de Elev. de N.E. para el periodo 1975 a 1980.

Es importante que en la Predicción se deberá emplear el mismo número de datos usados en la elaboración del modelo; esto para lograr que las frecuencias de la predicción sean las mismas que las del modelo de regresión.

En otras palabras, la frecuencia del modelo regresivo (el modelo que se compone de la correlación de ondas senoidales de Elev, Evapot y Precip), deberá ser igual a la frecuencia de la predicción.

Una vez explicada la estrategia a seguir en el modelo, se detalla ahora la secuencia para alimentar el programa del Anexo A (programa que calcula la transformada de Fourier), se recuerda que esta secuencia será la misma para cada una de las variables:

- 1.- Duración total del registro.

$$T^M = 72 \text{ meses}$$

Este dato no lo pide el programa en forma explícita, pero sin embargo es necesario calcularlo para definir el paso número 3.

- 2.- Número total de registros:

$$N = 2^p$$

Si $p=6$, entonces $N=64$

Este sí es un valor que explícitamente será requerido en el programa del Anexo A.

- 3.- Se calcula el valor de Δt :

$$\Delta t = T^M / N$$

$$\Delta t = 72 / 64$$

$$\Delta t = 1.125$$

Siendo $\Delta t=1.125$, habrá que interpolar valores, porque los incrementos conforme al tiempo serán de 1.125 y no de uno en uno como tenemos los datos registrados a cada mes.

4.- A cada valor asignado en su lugar de la interpolación con incrementos de 1.125 meses, se le designa como X_m .

Se puede graficar el perfil de los datos con sus 72 correspondientes, y se definen ahora los X_m de acuerdo al incremento de Δt .

Estos valores son los últimos solicitados por el programa, por lo que de aquí en adelante la estructura del programa se encarga de transformar cada X_m y presentar una tabla de resultados.

En forma concreta el programa requiere de los datos:

Δt ? será igual a 1.125

N ? será igual a 64

X_m ? Estos valores deberán ser 64 y varían de acuerdo a cada variable del modelo.

Conociéndose los pormenores para alimentar el programa se procede entonces al desarrollo como se indicó al principio de esta sección.

El tamaño de esta muestra se sabe es insuficiente para proyectar el modelo a tiempos de lejano futuro. La intención es en cambio trabajar y hacer de lo poco que se tiene una metodología para determinar las condiciones hidráulicas del agua subterránea en régimen turbulento mediante los espectros de Fourier.

En las tablas IV.3.1, IV.3.2, IV.3.3, IV.3.4 y IV.3.5 se presentan los valores reales de cada una de las variables -Elevaciones de N.E., Precipitaciones y Evapotranspiraciones- así mismo se presentan los valores transformados para cada uno de los datos. Donde estos últimos fueron calculados con el programa presentado en el Anexo A.

La primera columna "I", representa el incremento del tiempo en meses este fué calculado con la ecuación III.3.2. $\Delta t = 72/64 = 1.125$

La segunda columna corresponde al valor de la variable antes de ser transformado.

La tercera columna corresponde al ángulo de defasamiento "FI" en radianes, de la onda senoidal de cada uno de los incrementos del tiempo I. Estos valores al igual que la amplitud se calculan con la ecuación III.3.11.

La cuarta columna corresponde a la amplitud de la onda senoidal, a cada período de tiempo Δt , le corresponde una altura de onda llamada amplitud. Las unidades de esta corresponden a la misma unidad de las variables por transformar. El tamaño de la amplitud es constante a lo largo del tiempo tratándose de la misma onda senoidal.

4.- A cada valor asignado en su lugar de la interpolación con incrementos de 1.125 meses, se le designa como X_m .

Se puede graficar el perfil de los datos con sus 72 correspondientes, y se definen ahora los X_m de acuerdo al incremento de Δt .

Estos valores son los últimos solicitados por el programa, por lo que de aquí en adelante la estructura del programa se encarga de transformar cada X_m y presentar una tabla de resultados.

En forma concreta el programa requiere de los datos:

Δt ? será igual a 1.125

N ? será igual a 64

X_m ? Estos valores deberán ser 64 y varían de acuerdo a cada variable del modelo.

Conociéndose los pormenores para alimentar el programa se procede entonces al desarrollo cómo se indicó al principio de esta sección.

El tamaño de esta muestra se sabe es insuficiente para proyectar el modelo a tiempos de lejano futuro. La intención es en cambio trabajar y hacer de lo poco que se tiene una metodología para determinar las condiciones hidráulicas del agua subterránea en régimen turbulento mediante los espectros de Fourier.

En las tablas IV.3.1, IV.3.2, IV.3.3, IV.3.4 y IV.3.5 se presentan los valores reales de cada una de las variables -Elevaciones de N.E., Precipitaciones y Evapotranspiraciones- así mismo se presentan los valores transformados para cada uno de los datos. Donde estos últimos fueron calculados con el programa presentado en el Anexo A.

La primera columna "I", representa el incremento del tiempo en meses este fué calculado con la ecuación III.3.2. $\Delta t = 72/64 = 1.125$

La segunda columna corresponde al valor de la variable antes de ser transformado.

La tercera columna corresponde al ángulo de defasamiento "FI" en radianes, de la onda senoidal de cada uno de los incrementos del tiempo I. Estos valores al igual que la amplitud se calculan con la ecuación III.3.11.

La cuarta columna corresponde a la amplitud de la onda senoidal, a cada período de tiempo Δt , le corresponde una altura de onda llamada amplitud. Las unidades de esta corresponden a la misma unidad de las variables por transformar. El tamaño de la amplitud es constante a lo largo del tiempo tratándose de la misma onda senoidal.

TABLA IV.3.1

TRANSFORMADAS DE FOURIER
ELEV.N.E. POZO 02

I	N.E.	FI	A(I)	F	Sx
0.000	599.430	0.000	1173.171	0.000	24773930.000
1.125	599.270	-1.514	14.906	0.014	3999.192
2.250	596.590	1.010	6.915	0.028	860.745
3.375	595.960	-1.418	0.643	0.042	7.440
4.500	595.580	0.404	2.581	0.056	119.897
5.625	596.580	0.815	0.113	0.069	0.229
6.750	595.310	0.206	3.246	0.083	189.692
7.875	598.130	0.693	1.061	0.097	20.263
9.000	597.930	-0.422	1.114	0.111	22.330
10.125	603.330	0.757	0.422	0.125	3.199
11.250	603.310	-1.133	0.729	0.139	9.567
12.375	603.210	-0.241	0.405	0.153	2.958
13.500	602.660	1.488	0.430	0.167	3.321
14.625	601.440	-0.841	0.276	0.181	1.373
15.750	600.280	-0.709	0.154	0.194	0.427
16.875	598.720	-0.303	0.207	0.208	0.769
18.000	597.080	-0.601	0.714	0.222	9.178
19.125	597.990	-0.779	0.099	0.236	0.176
20.250	597.610	-1.468	0.534	0.250	5.130
21.375	597.270	1.502	0.098	0.264	0.173
22.500	596.480	1.228	0.436	0.278	3.419
23.625	595.630	1.343	0.202	0.292	0.736
24.750	595.630	1.154	0.488	0.306	4.287
25.875	592.570	0.829	0.229	0.319	0.942
27.000	590.130	1.385	0.288	0.333	1.495
28.125	587.980	-0.004	0.166	0.347	0.495
29.250	585.550	-0.071	0.287	0.361	1.584
30.375	583.420	0.247	0.396	0.375	2.826
31.500	584.730	0.296	0.229	0.389	0.944
32.625	592.420	0.320	0.399	0.403	2.864
33.750	595.910	1.254	0.157	0.417	0.443
34.875	595.480	0.966	0.126	0.431	0.285
36.000	595.030	0.002	0.152	0.444	0.413
37.125	596.570	-0.968	0.126	0.458	0.286
38.250	592.530	-1.256	0.158	0.472	0.447
39.375	590.510	-0.324	0.399	0.486	2.871
40.500	588.310	-0.302	0.229	0.500	0.941
41.625	586.140	-0.247	0.394	0.514	2.795
42.750	584.580	0.074	0.297	0.528	1.591
43.875	581.690	0.000	0.165	0.542	0.490
45.000	579.330	-1.387	0.288	0.556	1.494
46.125	578.980	-0.828	0.228	0.569	0.938
47.250	578.310	-1.156	0.488	0.583	4.291
48.375	576.730	-1.344	0.203	0.597	0.739
49.500	575.280	-1.228	0.436	0.611	3.427
50.625	573.580	-1.505	0.099	0.625	0.178

(Continuacion)

TABLA IV.3.1

 TRANSFORMADAS DE FOURIER
 ELEV.N.E. POZO 02

I	N.E.	FI	A(I)	f	Sx
51.750	572.530	1.465	0.534	0.639	5.135
52.875	570.370	0.788	0.098	0.653	0.175
54.000	567.230	0.602	0.714	0.667	9.171
55.125	565.940	0.304	0.207	0.681	0.772
56.250	566.030	0.714	0.154	0.694	0.428
57.375	566.070	0.840	0.276	0.708	1.375
58.500	566.180	-1.486	0.429	0.722	3.308
59.625	567.730	0.241	0.404	0.736	2.945
60.750	569.120	1.134	0.729	0.750	9.573
61.875	569.760	-0.759	0.420	0.764	3.171
63.000	569.760	0.423	1.116	0.778	22.405
64.125	570.930	-0.693	1.062	0.792	20.296
65.250	570.940	-0.206	3.247	0.806	189.819
66.375	570.460	-0.803	0.112	0.819	0.227
67.500	569.590	-0.404	2.581	0.833	119.920
68.625	578.530	1.423	0.642	0.847	7.427
69.750	589.340	-1.010	6.915	0.861	860.746
70.875	589.760	1.514	14.906	0.875	3999.239

I= Tiempo en meses

N.E.= Nivel estatico en msnm

FI= Angulo de defasamiento de la onda senoidal

A(I)= Amplitud de la onda en msnm

f= Frecuencia 1/seg

Sx= Densidad espectral (m2).seg

Valores calculados a partir de la ecuacion III.3.1

 E.N.E.P ACATLAN
 TESIS PROFESIONAL
 ELOY CORNEJO PEREZ

TABLA IV.3.2

TRANSFORMADAS DE FOURIER
ELEV. N.E. POZO 06

I	N.E.	FI	A(I)	f	Sx
0.000	598.400	0.000	1172.081	0.000	24727930.000
1.125	597.730	-1.410	15.031	0.014	4066.778
2.250	596.350	0.905	5.381	0.028	521.216
3.375	595.710	-1.135	3.847	0.042	266.434
4.500	595.400	-0.106	6.009	0.056	649.967
5.625	584.780	0.508	2.948	0.069	156.397
6.750	593.330	1.087	3.609	0.083	234.473
7.875	603.640	-0.269	3.275	0.097	193.050
9.000	599.350	1.033	4.261	0.111	326.833
10.125	518.900	-1.219	3.515	0.125	222.358
11.250	606.100	-0.363	2.804	0.139	141.481
12.375	604.680	0.931	3.339	0.153	200.671
13.500	603.030	-1.068	3.402	0.167	208.287
14.625	638.590	-0.610	2.516	0.181	113.904
15.750	614.610	-0.022	2.393	0.194	103.047
16.875	598.480	0.382	1.100	0.208	21.798
18.000	597.200	1.407	1.519	0.222	41.549
19.125	597.890	-0.926	2.188	0.236	86.194
20.250	597.730	-0.123	3.750	0.250	253.158
21.375	597.430	0.621	3.420	0.264	210.512
22.500	596.330	1.341	4.010	0.278	289.480
23.625	595.350	-0.617	3.339	0.292	200.731
24.750	595.350	0.376	3.277	0.306	193.338
25.875	592.940	1.453	3.525	0.319	223.620
27.000	590.400	-0.813	3.248	0.333	189.884
28.125	587.710	0.234	3.212	0.347	185.735
29.250	585.600	1.174	2.593	0.361	121.035
30.375	583.310	-0.979	2.720	0.375	133.157
31.500	588.050	-0.069	2.423	0.389	105.644
32.625	594.660	0.862	2.247	0.403	90.853
33.750	595.640	-1.448	1.981	0.417	70.623
34.875	595.730	-0.698	2.200	0.431	87.129
36.000	595.300	-0.000	2.050	0.444	75.645
37.125	594.180	0.698	2.200	0.458	87.100
38.250	592.810	1.448	1.980	0.472	70.564
39.375	593.880	-0.862	2.246	0.486	90.765
40.500	591.000	0.069	2.423	0.500	105.713
41.625	583.680	0.979	2.720	0.514	133.218
42.750	582.990	-1.174	2.592	0.528	120.966
43.875	585.210	-0.234	3.212	0.542	185.675
45.000	578.900	0.813	3.247	0.556	189.826
46.125	578.480	-1.453	3.525	0.569	223.691
47.250	577.960	-0.376	3.278	0.583	193.388
48.375	576.740	0.617	3.340	0.597	200.776
49.500	575.400	-1.341	4.011	0.611	289.548
50.625	573.240	-0.621	3.420	0.625	210.561

(Continuacion)

TABLA IV.3.2

TRANSFORMADAS DE FOURIER
ELEV. N.E. POZO 06

I	N.E.	FI	A(I)	f	Sx
51.750	571.610	0.123	3.749	0.639	252.959
52.875	569.560	0.925	2.189	0.653	86.217
54.000	567.900	-1.408	1.519	0.667	41.553
55.125	566.590	-0.382	1.100	0.681	21.792
56.250	564.390	0.022	2.392	0.694	103.017
57.375	564.500	0.610	2.515	0.708	113.885
58.500	564.830	1.068	3.403	0.722	208.433
59.625	565.210	-0.932	3.339	0.736	200.657
60.750	565.780	0.363	2.803	0.750	141.443
61.875	566.430	1.219	3.515	0.764	222.352
63.000	567.500	-1.034	4.262	0.778	326.959
64.125	567.650	0.269	3.274	0.792	192.908
65.250	567.150	-1.087	3.610	0.806	234.631
66.375	566.780	-0.508	2.948	0.819	156.394
67.500	580.100	0.106	6.009	0.833	649.999
68.625	591.640	1.136	3.846	0.847	266.247
69.750	589.600	-0.905	5.381	0.861	521.204
70.875	589.210	1.410	15.031	0.875	4066.833

I= Tiempo en meses

N.E.= Nivel Estatico msnm

FI= Angulo de defasamiento de la onda senoidal

A(I)= Amplitud de la onda en mts.

f= Frecuencia 1/seg

Sx= Densidad espectral (m2).seg

Valores calculados a partir de la ecuacion III.3.1

TABLA IV.3.3

TRANSFORMADAS DE FOURIER
ELEV. N.E. POZO 08

I	N.E.	FI	A(I)	f	Sx
0.000	583.580	0.000	1174.492	0.000	24829750.000
1.125	582.210	-1.422	9.285	0.014	1551.821
2.250	580.320	-1.021	0.920	0.028	15.230
3.375	579.960	0.972	5.228	0.042	481.928
4.500	579.450	-1.119	2.430	0.056	106.248
5.625	580.770	1.169	2.299	0.069	95.118
6.750	581.070	-0.341	1.764	0.083	55.998
7.875	590.180	-1.446	1.478	0.097	39.315
9.000	590.620	-0.376	0.485	0.111	4.235
10.125	597.660	0.056	0.733	0.125	9.671
11.250	596.130	-1.138	1.229	0.139	27.186
12.375	604.760	-0.923	0.717	0.153	9.241
13.500	603.020	0.745	1.178	0.167	24.971
14.625	601.350	0.866	1.232	0.181	27.309
15.750	600.150	0.037	1.303	0.194	30.577
16.875	599.000	-0.333	0.659	0.208	7.814
18.000	592.370	-0.968	1.035	0.222	19.291
19.125	598.210	1.000	0.651	0.236	7.623
20.250	597.390	0.710	1.285	0.250	29.708
21.375	597.250	0.588	0.663	0.264	7.922
22.500	596.450	-0.623	0.647	0.278	7.538
23.625	595.770	-1.429	0.896	0.292	14.449
24.750	595.110	-1.353	0.822	0.306	12.161
25.875	592.290	0.455	0.497	0.319	4.444
27.000	589.920	0.082	0.851	0.333	13.047
28.125	587.890	0.089	0.668	0.347	8.043
29.250	585.350	-0.125	0.157	0.361	0.444
30.375	583.700	1.098	0.315	0.375	1.782
31.500	588.570	0.156	0.210	0.389	0.843
32.625	595.510	-0.127	0.380	0.403	2.605
33.750	596.290	1.070	0.337	0.417	2.044
34.875	595.640	-0.677	0.570	0.431	5.855
36.000	594.920	0.000	0.915	0.444	15.080
37.125	593.740	0.677	0.571	0.458	5.862
38.250	591.970	-1.072	0.338	0.472	2.053
39.375	589.660	0.124	0.380	0.486	2.603
40.500	586.790	-0.162	0.216	0.500	0.839
41.625	585.300	-1.103	0.313	0.514	1.765
42.750	584.190	0.118	0.156	0.528	0.440
43.875	582.070	-0.088	0.669	0.542	8.058
45.000	579.320	-0.082	0.852	0.556	13.070
46.125	578.680	-0.456	0.497	0.569	4.449
47.250	577.690	1.354	0.821	0.583	12.142
48.375	577.080	1.429	0.895	0.597	14.431
49.500	575.750	0.622	0.647	0.611	7.542
50.625	575.160	-0.589	0.664	0.625	7.931

(Continuacion)

TABLA IV.3.3

TRANSFORMADAS DE FOURIER
ELEV. N.E. POZO 08

I	N.E.	FI	A(I)	f	Sx
51.750	575.210	-0.711	1.284	0.639	29.659
52.875	575.610	-0.999	0.652	0.653	7.641
54.000	576.080	0.968	1.035	0.667	19.281
55.125	576.400	0.332	0.659	0.681	7.806
56.250	576.480	-0.036	1.303	0.694	30.558
57.375	576.440	-0.866	1.231	0.708	27.297
58.500	576.510	-0.744	1.178	0.722	24.957
59.625	576.820	0.924	0.716	0.736	9.218
60.750	577.530	1.139	1.229	0.750	27.197
61.875	578.600	-0.055	0.731	0.764	9.619
63.000	579.620	0.379	0.487	0.778	4.267
64.125	599.610	1.447	1.478	0.792	39.301
65.250	592.800	0.340	1.764	0.806	56.033
66.375	577.200	-1.169	2.298	0.819	95.053
67.500	586.250	1.119	2.429	0.833	106.239
68.625	591.820	-0.972	5.229	0.847	492.239
69.750	590.320	1.022	0.919	0.861	15.199
70.875	590.170	1.422	9.285	0.875	1551.859

I= Tiempo en meses

N.E.= Nivel Estatico msnm

FI=Angulo de defasamiento de la onda senoidal

A(I)= Amplitud de la onda en mts.

f= Frecuencia 1/seg

Sx= Densidad espectral (m2).seg

Valores calculados a partir de la ecuacion III.3.1

E.N.E.P. ACATLAN
TESIS PROFESIONAL
ELOY CORNEJO PEREZ

TABLA IV.3.4

=====

TRANSFORMADAS DE FOURIER
PRECIPITACION MM

=====

I	PRECIP	FI	A(I)	f	Sx
0.000	16.000	0.000	41.637	0.000	31205.680
1.125	6.125	1.446	9.876	0.014	1755.657
2.250	0.750	0.490	6.850	0.028	844.640
3.375	2.250	1.246	4.367	0.042	343.309
4.500	30.250	1.119	1.866	0.056	62.652
5.625	39.188	0.382	2.781	0.069	139.175
6.750	46.500	0.751	17.288	0.083	5379.699
7.875	67.875	-0.946	4.339	0.097	338.838
9.000	65.000	0.799	10.287	0.111	1904.764
10.125	9.313	0.235	3.314	0.125	197.706
11.250	7.250	1.289	1.952	0.139	68.582
12.375	21.125	-1.065	3.123	0.153	175.569
13.500	25.000	-0.940	3.481	0.167	218.075
14.625	7.938	-1.478	1.603	0.181	46.240
15.750	21.250	1.157	6.552	0.194	772.622
16.875	68.688	0.312	4.007	0.208	289.005
18.000	32.000	-0.384	6.202	0.222	692.424
19.125	4.288	0.119	7.988	0.236	1148.589
20.250	38.475	0.878	5.728	0.250	590.651
21.375	56.250	-0.275	0.924	0.264	15.383
22.500	32.500	1.545	5.041	0.278	457.402
23.625	0.000	0.377	1.229	0.292	27.192
24.750	16.875	1.172	4.103	0.306	303.079
25.875	2.813	0.282	2.539	0.319	116.073
27.000	8.000	1.158	2.725	0.333	133.700
28.125	3.500	0.490	1.378	0.347	34.175
29.250	15.250	1.367	1.704	0.361	52.246
30.375	31.750	-1.505	1.329	0.375	31.774
31.500	67.250	0.068	1.819	0.389	59.533
32.625	50.875	-0.999	1.999	0.403	71.955
33.750	19.375	-0.884	0.982	0.417	17.366
34.875	21.125	-1.225	0.538	0.431	5.218
36.000	9.500	-0.000	1.768	0.444	56.238
37.125	2.438	1.225	0.538	0.458	5.217
38.250	8.125	0.884	0.982	0.472	17.367
39.375	19.188	0.999	1.999	0.486	71.951
40.500	32.000	-0.068	1.819	0.500	59.534
41.625	62.625	1.505	1.329	0.514	31.774
42.750	38.250	-1.367	1.704	0.528	52.246
43.875	17.188	-0.490	1.378	0.542	34.179
45.000	23.000	-1.158	2.725	0.556	133.701
46.125	4.375	-0.282	2.539	0.569	116.076
47.250	0.000	-1.172	4.103	0.583	303.082
48.375	1.313	-0.377	1.229	0.597	27.192
49.500	4.000	-1.545	5.041	0.611	457.408
50.625	9.188	0.275	0.924	0.625	15.382

=====

(Continuacion)

TABLA IV.3.4

I	PRECIP	FI	A(I)	f	Sx
51.750	9.750	-0.878	5.728	0.639	590.643
52.875	1.125	-0.119	7.988	0.653	1148.612
54.000	0.000	0.384	6.202	0.667	692.429
55.125	2.250	-0.312	4.007	0.681	289.003
56.250	13.500	-1.157	6.552	0.694	772.629
57.375	6.000	1.478	1.603	0.708	46.241
58.500	10.500	0.940	3.481	0.722	218.079
59.625	1.875	1.065	3.123	0.736	175.573
60.750	0.750	-1.289	1.952	0.750	68.577
61.875	0.125	-0.235	3.314	0.764	197.704
63.000	0.000	-0.799	10.287	0.778	1904.762
64.125	18.375	0.946	4.339	0.792	338.839
65.250	5.250	-0.751	17.288	0.806	5379.692
66.375	18.750	-0.382	2.781	0.819	139.180
67.500	84.250	-1.119	1.866	0.833	62.651
68.625	59.438	-1.246	4.367	0.847	343.319
69.750	13.875	-0.490	6.850	0.861	844.626
70.875	20.563	-1.446	9.876	0.875	1755.650

I= Tiempo en meses

PRECIP= Lamina de Precipitacion en mm

FI= Angulo de defasamiento de la onda senoidal

A(I)= Amplitud de la onda senoidal

f= Frecuencia 1/seg

Sx= Densidad espectral (m2).seg

Valores calculados a partir de la ecuacion III.3.1

E.N.E.P. ACATLAN
TESIS PROFESIONAL
ELOY CORNEJO PEREZ

TABLA IV.3.5

TRANSFORMADAS DE FOURIER
EVAPOTRANSPIRACION MM

I	EVAPOT	FI	A(I)	f	Sx
0.000	77.100	0.000	272.468	0.000	1336300.000
1.125	84.600	-0.324	0.327	0.014	1.922
2.250	127.990	0.225	0.406	0.028	2.964
3.375	151.120	-0.093	3.389	0.042	206.715
4.500	172.150	0.134	7.068	0.056	899.295
5.625	182.810	0.741	6.911	0.069	859.709
6.750	184.610	0.356	55.279	0.083	55003.230
7.875	166.200	-0.689	7.557	0.097	1028.076
9.000	124.900	0.051	5.020	0.111	453.591
10.125	93.050	-1.323	2.306	0.125	95.692
11.250	79.050	-0.912	2.493	0.139	111.881
12.375	76.040	1.075	1.090	0.153	21.367
13.500	101.490	0.128	8.065	0.167	1170.889
14.625	129.290	-0.791	2.940	0.181	155.545
15.750	157.310	-0.388	1.189	0.194	25.443
16.875	176.000	-0.886	3.049	0.208	167.344
18.000	179.520	-1.272	0.473	0.222	4.028
19.125	183.030	-0.692	2.100	0.236	79.414
20.250	180.200	1.291	3.206	0.250	185.014
21.375	159.300	-0.086	1.588	0.264	45.416
22.500	117.680	0.964	1.430	0.278	36.800
23.625	86.020	-0.740	1.167	0.292	24.526
24.750	81.380	-1.399	1.535	0.306	42.410
25.875	80.340	0.229	1.169	0.319	24.596
27.000	118.530	0.713	2.018	0.333	73.337
28.125	138.520	-1.289	1.419	0.347	36.233
29.250	167.540	-0.915	2.149	0.361	83.160
30.375	190.640	1.064	0.514	0.375	4.752
31.500	188.750	0.372	0.570	0.389	5.849
32.625	170.310	0.650	1.033	0.403	19.219
33.750	148.820	1.431	2.032	0.417	74.304
34.875	107.880	-0.480	1.030	0.431	19.088
36.000	82.580	-0.000	1.216	0.444	26.627
37.125	66.650	0.480	1.030	0.458	19.082
38.250	91.710	-1.431	2.032	0.472	74.314
39.375	135.350	-0.649	1.033	0.486	19.213
40.500	149.540	-0.372	0.570	0.500	5.850
41.625	176.040	-1.063	0.514	0.514	4.759
42.750	187.990	0.915	2.150	0.528	83.183
43.875	184.610	1.289	1.419	0.542	36.222
45.000	163.710	-0.713	2.018	0.556	73.331
46.125	141.690	-0.229	1.169	0.569	24.598
47.250	89.460	1.399	1.535	0.583	42.414
48.375	73.990	0.740	1.167	0.597	24.528
49.500	82.860	-0.964	1.430	0.611	36.792
50.625	113.620	0.086	1.588	0.625	45.419

TABLA IV.3.5

TRANSFORMADAS DE FOURIER
EVAPOTRANSPIRACION MM

I	EVAPOT	FI	A(I)	f	Sx
0.000	77.100	0.000	272.468	0.0001336300.000	
1.125	84.600	-0.324	0.327	0.014	1.922
2.250	127.990	0.225	0.406	0.028	2.964
3.375	151.120	-0.093	3.389	0.042	206.715
4.500	172.150	0.134	7.068	0.056	899.295
5.625	182.810	0.741	6.911	0.069	859.709
6.750	184.610	0.356	55.279	0.083	55003.230
7.875	166.200	-0.689	7.557	0.097	1028.076
9.000	124.900	0.051	5.020	0.111	453.591
10.125	93.050	-1.323	2.306	0.125	95.692
11.250	79.050	-0.912	2.493	0.139	111.881
12.375	76.040	1.075	1.090	0.153	21.367
13.500	101.490	0.128	8.065	0.167	1170.889
14.625	129.290	-0.791	2.940	0.181	155.545
15.750	157.310	-0.388	1.189	0.194	25.443
16.875	176.000	-0.886	3.049	0.208	167.344
18.000	179.520	-1.272	0.473	0.222	4.028
19.125	183.030	-0.692	2.100	0.236	79.414
20.250	180.200	1.291	3.206	0.250	185.014
21.375	159.300	-0.086	1.588	0.264	45.416
22.500	117.680	0.964	1.430	0.278	36.800
23.625	86.020	-0.740	1.167	0.292	24.526
24.750	81.380	-1.399	1.535	0.306	42.410
25.875	80.340	0.229	1.169	0.319	24.598
27.000	118.530	0.713	2.018	0.333	73.337
28.125	138.520	-1.289	1.419	0.347	36.233
29.250	167.540	-0.915	2.149	0.361	83.160
30.375	190.640	1.064	0.514	0.375	4.752
31.500	188.750	0.372	0.570	0.389	5.849
32.625	170.310	0.650	1.033	0.403	19.219
33.750	148.820	1.431	2.032	0.417	74.304
34.875	107.880	-0.480	1.030	0.431	19.088
36.000	82.560	-0.000	1.216	0.444	26.627
37.125	66.650	0.480	1.030	0.458	19.082
38.250	91.710	-1.431	2.032	0.472	74.314
39.375	135.350	-0.649	1.033	0.486	19.213
40.500	149.540	-0.372	0.570	0.500	5.850
41.625	176.040	-1.063	0.514	0.514	4.759
42.750	187.990	0.915	2.150	0.528	83.183
43.875	184.610	1.289	1.419	0.542	36.222
45.000	183.710	-0.713	2.018	0.556	73.331
46.125	141.690	-0.229	1.169	0.569	24.598
47.250	89.460	1.399	1.535	0.583	42.414
48.375	73.990	0.740	1.167	0.597	24.528
49.500	82.860	-0.964	1.430	0.611	36.792
50.625	113.620	0.086	1.588	0.625	45.419

(Continuacion)

TABLA IV.3.5

TRANSFORMADAS DE FOURIER
EVAPOTRANSPIRACION MM

I	EVAPOT	FI	A(I)	f	Sx
51.750	137.360	-1.291	3.206	0.639	185.027
52.875	156.600	0.692	2.101	0.653	79.427
54.000	185.440	1.272	0.473	0.667	4.032
55.125	200.740	0.886	3.049	0.681	167.333
56.250	187.490	0.389	1.189	0.694	25.442
57.375	164.220	0.791	2.940	0.708	155.540
58.500	126.530	-0.128	8.065	0.722	1170.899
59.625	79.330	-1.075	1.089	0.736	21.363
60.750	59.550	0.912	2.493	0.750	111.883
61.875	67.770	1.323	2.306	0.764	95.692
63.000	136.200	-0.052	5.020	0.778	453.531
64.125	142.120	0.689	7.557	0.792	1027.993
65.250	157.560	-0.356	55.278	0.806	55002.740
66.375	180.970	-0.741	6.911	0.819	859.707
67.500	184.740	-0.134	7.068	0.833	899.304
68.625	174.960	0.094	3.388	0.847	206.624
69.750	149.230	-0.224	0.406	0.861	2.967
70.875	106.220	0.323	0.327	0.875	1.924
72.000	0.000	0.000	272.466	0.8891336300	0.000

I= Tiempo en meses

EVAPOT= Lamina de evapotranspiracion en mm

FI= Angulo de defasamiento de la onda senoidal

A(I)= Amplitud de la onda en mm

f= Frecuencia 1/seg

Sx= Densidad espectral (m2).seg

Valores calculados a partir de la ecuacion III.3.1

E.N.E.F. ACATLAN
TESIS PROFESIONAL
ELOY CORNEJO PEREZ

La quinta columna es correspondiente a la frecuencia del tiempo con que se repite la onda senoidal. Si se observa el espectro de la evapotranspiración (figura IV.3.D), este tiene un pico más alto (espectro principal), a este pico le corresponde una frecuencia de 0.083, la cual puede comprobarse en la tabla IV.3.5 al encontrarse que para esta frecuencia se tiene la mayor amplitud. La frecuencia se calcula en base a la ecuación III.3.6, y tiene unidades de seg^{-1} .

Finalmente se presenta la columna correspondiente a la densidad espectral o densidad de energía. El valor mas alto de la densidad de la energía corresponde al valor mas grande de la amplitud. Las unidades de la densidad de energía es $\text{m}^2 (\text{seg})$.

De acuerdo al manual de la Comisión Federal de Electricidad , el espectro se elabora dibujando los valores de S_x en la ordenada y la frecuencia f en la absisa. En las figuras IV.3.A, IV.3.B, IV.3.C, IV.3.D y IV.3.E se muestran tales espectros.

Cabe aclarar que en las tablas IV.5.1 a la IV.5.8 el primer renglón no tiene validez, pues el ángulo de defasamiento FI, y la frecuencia "f" tienen valor cero. El primer valor mostrado de la amplitud A, sólo es el doble del promedio aritmético de los registros antes de ser transformados. Se utiliza este valor del promedio aritmético para reconstruir el espectro por medio de sus componentes senoidales.

$$n(t)_i = \text{PROM} - \text{SUM}$$

donde: PROM= promedio aritmético de los registros

SUM= suma de las ondas senoidales principales

$n(t)_i$ = perfil de los datos originales, correspondientes al tiempo t_i .

En las tablas IV.3.1 a la IV.3.5, se aprecia que se tienen 64 registros para construir cada espectro, pero de acuerdo a lo explicado en III.4 se tienen dos espectros, los cuales son simétricos y por lo tanto sólo basta dibujar hasta la mitad de estos registros para tener un sólo espectro completo. Así mismo se asegura que podemos descomponer el espectro en ondas senoidales.

Debido a lo anterior se puede descomponer el espectro en ondas de tipo senoidal al utilizar los primeros 32 valores de FI ,A y f respectivamente.

De acuerdo a la ecuación III.3.12 se puede reconstruir el

ESPECTROS DE FOURIER

ELV. N.E. POZO 02

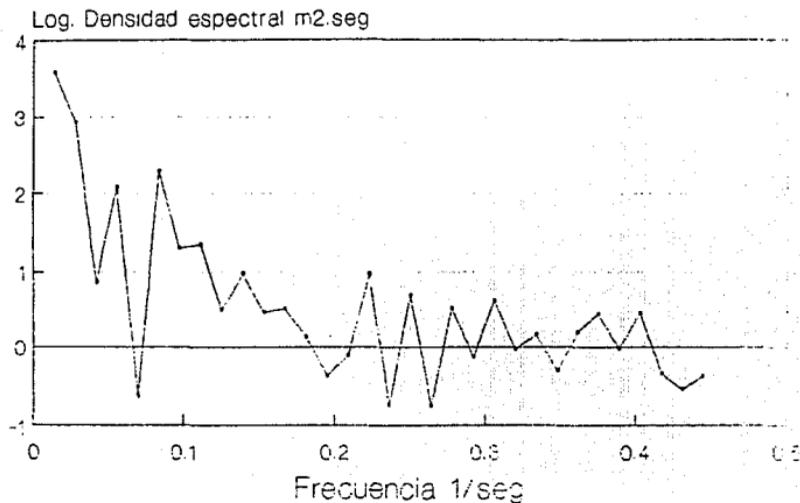


FIG.IV.3.A.- indica el espectro de Fourier, correspondiente al nivel estatico del pozo 2.

E.N.E.P. ACATLAN
TESIS PROFESIONAL
ELOY CORNEJO PEREZ

ESPECTROS DE FOURIER

ELEV. N.E. POZO 06

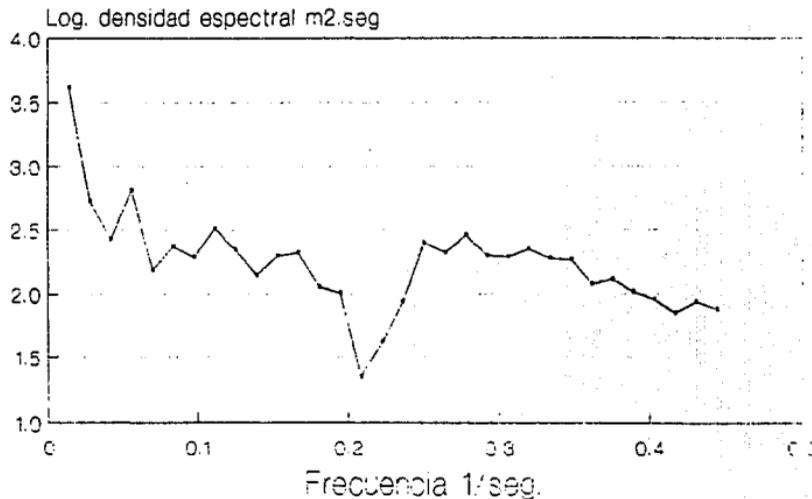


FIG.IV.3.B.- Muestra el espectro de Fourier correspondiente al nivel estatico del pozo 06.

E.N.E.P. ACATLAN
TESIS PROFESIONAL
ELOY CORNEJO PEREZ

ESPECTROS DE FOURIER

ELEV. N.E. POZO 08

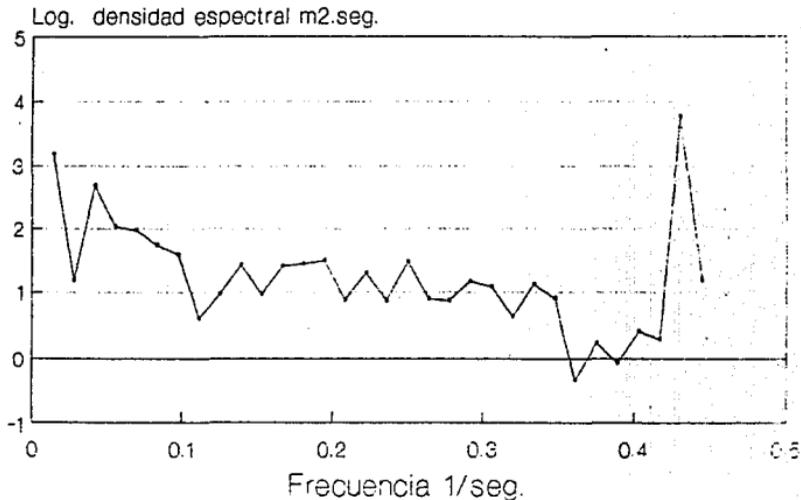


FIG. IV.3.C.- Representa el espectro de Fourier correspondiente a la elev. de N.E. del pozo 08.

E.N.E.P. ACATLAN
TESIS PROFESIONAL
ELOY CORNEJO PEREZ

ESPECTROS DE FOURIER PRECIPITACION EN MM/MES

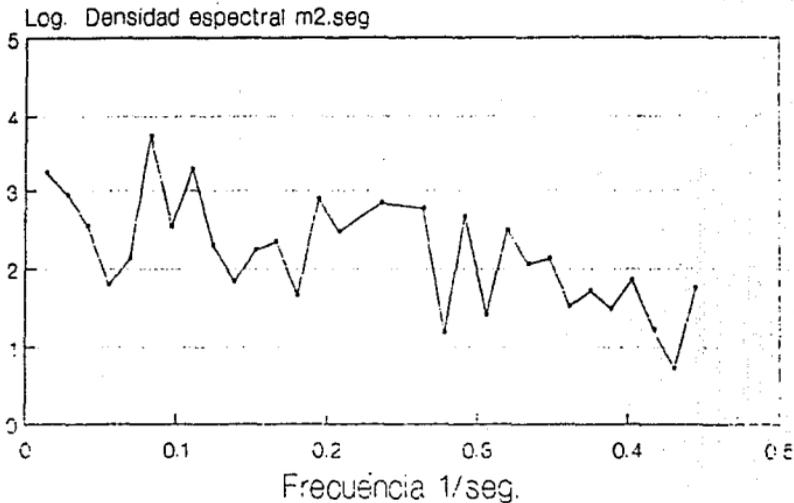


FIG. :V.3.D.- Representa el espectro de Fourier correspondiente la precipitación mensual.

E.N.E.P. ACATLAN
TESIS PROFESIONAL
ELOY CORNEJO PEREZ

ESPECTROS DE FOURIER

EVAPOTRANSPIRACION MM/MES

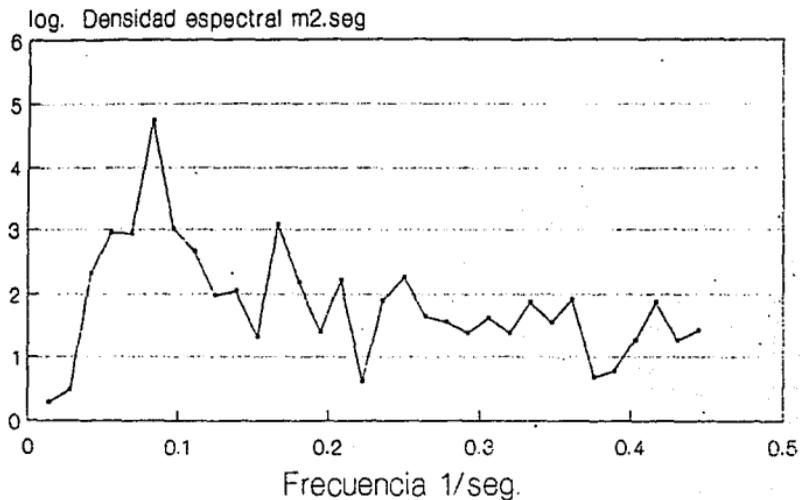


FIG. IV.3.E.- Representa el espectro de Fourier de la evapotranspiracion en mm mensuales.

E.N.E.P. ACATLAN
TESIS PROFESIONAL
ELOY CORNEJO PEREZ

espectro, al sumar todas las ondas senoidales. Cada espectro trata de 31 ondas senoidales (la primera es cero), y cada una de estas tiene 64 registros.

Como puede apreciarse, se manejan muchos datos para reconstruir el espectro, lo que obliga a trabajar solamente con las ondas principales de cada espectro.

Para saber cuáles son las ondas principales basta con definir el renglón que contiene a la mayor amplitud (excluyendo la primera) y ese será el espectro principal, las componentes secundarias, terciarias, etc. son las que tienen frecuencia múltiple a la primera que se definió, es decir, frecuencia que corresponde a la mayor amplitud.

Para este caso se sabe que las variables EVAPOT y PRECIP tienen 5 ondas senoidales principales y los espectros correspondientes a las ELEV de N.E. tienen 31 ondas principales, es decir, todas las ondas son principales.

La idea es en cambio trabajar con la cantidad menor posible de ondas senoidales, pero que estas sean suficientes para reconstruir el espectro lo más certeramente posible.

Si en las variables independientes (PRECIP y EVAPOT) se tienen sólo 5 ondas principales y en las variables independientes (ELEV de N.E.) se tienen 31 ondas que son principales, entonces será necesario tomar una decisión en la cuál se trabaje con la cantidad menor que sea posible de las ondas senoidales, pero a la vez que sean suficientes.

Analizando el problema se decide trabajar con 6 componentes senoidales, de las cuáles 4 ondas principales corresponden a las variables independientes y 2 ondas principales a las variables dependientes.

Tal decisión fué tomada cuando se pudo comprobar que la precisión de la reconstrucción espectral es aceptable para todas las variables a excepción de la PRECIP, debido a que la información de ésta es de dudosa calidad. En la figura IV.3.F (g) se aprecia la reconstrucción de la EVAPOT en base a la suma de las 6 ondas senoidales escogidas.

Podría trabajarse con las 5 ondas principales de PRECIP y EVAPOT así como trabajar con 5 ondas principales de las ELEV de N.E. de cada pozo, pero entonces no sería posible la regresión lineal entre estas variables con diferentes frecuencias. No existiría la forma de relacionar linealmente a una variable con frecuencia X y a otra

variable con frecuencia γ . Para poder realizar la regresión lineal múltiple será necesario e indispensable que todas las variables de cada modelo tengan la misma frecuencia.

El problema en la PRECIP es debido a que los registros son poco confiables y además son de muy corta duración, por lo que no se aprecia un perfil de tendencia senoidal a lo largo del tiempo, y por tanto la reconstrucción del espectro no es muy precisa.

En forma lógica puede pensarse que un registro de precipitación tendrá una forma cíclica, es decir, se tendrán puntos máximos en los meses de lluvia y puntos mínimos en época de estiaje, siendo así, ese registro sí podrá explicarse perfectamente por medio de los espectros de Fourier.

Con la descomposición de estos espectros es más fácil explicar el carácter de los datos registrados. Se puede ver en la frecuencia de cada onda senoidal el periodo de ocurrencia de los casos más significativos como pueden ser ciclones, precipitaciones importantes con un periodo de retorno a largo plazo, mediano plazo, corto plazo, precipitaciones cotidianas y hasta obtener espectros insignificantes con periodos de ocurrencia muy cortos.

Se presenta aquí la descomposición de los espectros completos, en ondas de tipo senoidal (los mas significativos).

En las tablas IV.3.6, IV.3.7, IV.3.8, IV.3.9, y IV.3.10 se presenta la descomposición del espectro del pozo 02, pozo 06, pozo 08, PRECIP y EVAPOT, respectivamente. Al graficar cada una de las columnas de las tablas anteriores, se obtiene entonces una componente senoidal de cada una de ellas; tal como se aprecia en la figura III.4.A.

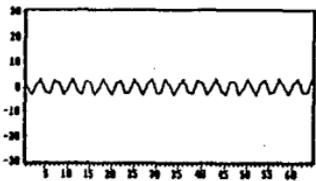
Por cuestión de espacio, sólo se dibuja las componentes del espectro de la EVAPOT, y se interpretan cada una de las figuras senoidales.

La figura IV.3.F contiene la descomposición del espectro EVAPOT. La parte (a) de la figura presenta las condiciones para casos de insignificante importancia; tal figura comprende un periodo de 1958 a 1963, ese fenómeno se presentó cada 2 años con 0.327 mm de Evapotranspiración. La frecuencia de esta onda senoidal es la principal del espectro de ELEV correspondiente a los pozos 2,5 y 8.

La parte (b) de la figura presenta fenómenos también insignificantes con 0.405 mm como amplitud. El fenómeno se presentó en 3 ocasiones durante los 8 años. Esta frecuencia corresponde al segundo



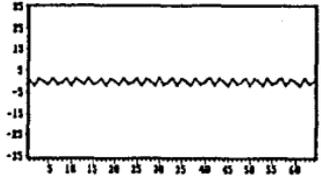
(A) FRECUENCIA 0.014



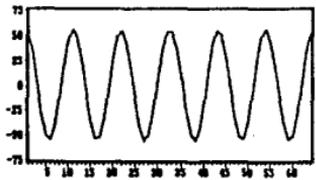
(D) FRECUENCIA 0.258



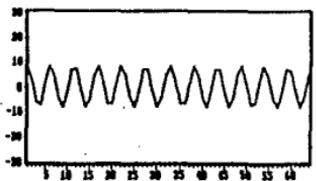
(B) FRECUENCIA 0.029



(E) FRECUENCIA 0.323

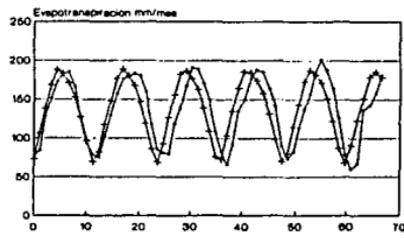


(C) FRECUENCIA 0.002



(F) FRECUENCIA 0.117

RECONSTRUCCION DE LA EVAPOTRANSPIRACION



— VALORES REALES + RECONSTRUIDOS

E. N. E. P. ACATLAN	
TESIS PROFESIONAL	
FM. IV.3.7.- CON LA AYUDA DE LOS SEÑORES GERONIMO, BEING "B" MARTA "C", SE OBTIENE LA RECONSTRUCCION DEL PERFIL MENSUAL, DE APLICAR UNA BUENA RECONSTRUCCION.	
ELVY CORNEJO PEREZ	

TABLA IV.3.6

ONDAS SENOIDALES N.E. P O Z O 02

MES	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	SUM
0.000	0.846	3.878	3.177	0.036	0.055	0.053	578.745
1.125	-0.828	2.455	2.278	-0.383	-0.532	-0.238	583.638
2.250	-2.097	1.136	0.818	-0.327	0.153	0.283	586.825
3.375	-3.544	-0.228	-1.250	0.134	0.472	-0.161	591.167
4.500	-4.958	-1.582	-2.699	0.429	-0.337	-0.056	595.793
5.625	-6.322	-2.875	-3.246	0.192	-0.341	0.240	598.942
6.750	-7.625	-4.056	-2.707	-0.282	0.470	-0.282	601.073
7.875	-8.853	-5.078	-1.263	-0.407	0.157	0.159	601.875
9.000	-9.995	-5.902	0.604	-0.027	-0.531	0.059	602.382
10.125	-11.038	-6.495	2.269	0.388	0.050	-0.241	601.660
11.250	-11.974	-6.835	3.175	0.322	0.512	0.282	601.109
12.375	-12.792	-6.808	3.019	-0.142	-0.250	-0.156	603.819
13.500	-13.486	-6.711	1.853	-0.429	-0.414	-0.061	605.838
14.625	-14.047	-6.252	0.068	-0.185	0.411	0.243	606.353
15.750	-14.471	-5.549	-1.740	0.289	0.254	-0.281	608.089
16.875	-14.753	-4.630	-2.966	0.405	-0.510	0.154	608.891
18.000	-14.891	-3.529	-3.200	0.019	-0.055	0.064	608.183
19.125	-14.884	-2.291	-2.364	-0.390	0.532	-0.244	606.231
20.250	-14.730	-0.964	-0.737	-0.316	-0.153	0.281	603.210
21.375	-14.433	0.402	1.136	0.149	-0.472	-0.152	599.960
22.500	-13.994	1.751	2.629	0.430	0.337	-0.068	595.503
23.625	-13.418	3.032	3.243	0.178	0.341	0.246	592.969
24.750	-12.711	4.195	2.773	-0.294	-0.470	-0.280	593.378
25.875	-11.880	5.194	1.374	-0.402	-0.157	0.149	592.311
27.000	-10.932	5.990	-0.483	-0.011	0.531	0.069	591.426
28.125	-9.878	6.553	-2.179	0.393	-0.050	-0.247	591.998
29.250	-8.727	6.859	-3.147	0.311	-0.512	0.279	591.628
30.375	-7.490	6.898	-3.062	-0.157	0.250	-0.147	590.298
31.500	-6.180	6.687	-1.952	-0.430	0.414	-0.072	588.143
32.625	-4.810	6.176	-0.190	-0.170	-0.411	0.248	585.747
33.750	-3.392	5.444	1.635	0.300	-0.254	-0.279	583.135
34.875	-1.842	4.499	2.914	0.399	0.510	0.145	580.066
36.000	-0.472	3.379	3.218	0.003	0.055	0.074	580.332
37.125	1.002	2.127	2.446	-0.396	-0.532	-0.250	582.193
38.250	2.467	0.791	0.858	-0.305	0.153	0.278	582.350
39.375	3.907	-0.575	-1.021	0.164	0.472	-0.142	583.784
40.500	5.309	-1.919	-2.556	0.430	-0.337	-0.077	585.739
41.625	6.659	-3.188	-3.236	0.163	-0.341	0.251	586.281
42.750	7.944	-4.332	-2.834	-0.308	0.470	-0.277	585.925
43.875	9.152	-5.307	-1.484	-0.398	0.157	0.140	584.328
45.000	10.289	-6.075	0.362	0.005	-0.531	0.080	582.481
46.125	11.286	-6.606	2.087	0.400	0.050	-0.252	579.625
47.250	12.193	-6.879	3.114	0.299	0.512	0.276	577.074
48.375	12.981	-6.883	3.100	-0.172	-0.250	-0.138	577.952
49.500	13.641	-6.819	2.049	-0.430	-0.414	-0.082	578.445
50.625	14.168	-6.096	0.312	-0.155	0.411	0.254	577.698

(Continuacion)

TABLA IV.3.6

ONDAS SENOIDALES N.E. P O Z O 02

MES	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	SUM
51.750	14.566	-5.335	-1.529	0.312	0.254	-0.276	578.607
52.875	14.802	-4.366	-2.858	0.393	-0.510	0.135	578.994
54.000	14.903	-3.228	-3.232	-0.013	-0.055	0.085	578.128
55.125	14.858	-1.981	-2.525	-0.402	0.532	-0.255	578.343
56.250	14.688	-0.618	-0.973	-0.293	-0.153	0.275	573.884
57.375	14.335	0.748	0.904	0.179	-0.472	-0.133	571.029
58.500	13.861	2.085	2.479	0.430	0.337	-0.087	567.487
59.625	13.251	3.341	3.224	0.148	0.341	0.256	566.029
60.750	12.512	4.466	2.892	-0.317	-0.470	-0.274	567.782
61.875	11.650	5.417	1.592	-0.389	-0.157	0.130	568.347
63.000	10.674	6.156	-0.240	0.021	0.531	0.090	569.357
64.125	9.594	6.655	-1.992	0.405	-0.050	-0.257	572.235
65.250	8.420	6.895	-3.078	0.287	-0.512	0.273	574.304
66.375	7.164	6.864	-3.134	-0.187	0.250	-0.128	575.761
67.500	5.837	6.566	-2.142	-0.429	0.414	-0.093	576.436
68.625	4.454	6.012	-0.434	-0.140	-0.411	0.259	576.851
69.750	3.026	5.223	1.420	0.323	-0.254	-0.272	577.125
70.875	1.570	4.230	2.798	0.366	0.510	0.126	576.971

Valores calculados a partir de la ecuacion III.3.12

E.N.E.P. ACATLAN
TESIS PROFESIONAL
ELOY CORNEJO PEREZ

TABLA IV.3.7

ONDAS SENOIDALES DE N. E. P O Z O 06							
MES	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	SUM
0.000	2.407	3.324	1.679	1.639	3.722	2.232	571.038
1.125	0.929	2.427	-0.371	-2.133	-1.177	-3.247	589.612
2.250	-0.558	1.435	-2.296	-3.263	-3.262	2.349	591.635
3.375	-2.039	0.387	-3.454	-0.350	2.450	-0.067	589.112
4.500	-3.501	-0.676	-3.456	2.996	2.306	-2.255	590.624
5.625	-4.928	-1.712	-2.303	2.630	-3.350	3.248	592.455
6.750	-6.306	-2.682	-0.379	-0.995	-0.999	-2.327	599.729
7.875	-7.624	-3.547	1.671	-3.387	3.740	0.036	595.150
9.000	-8.866	-4.273	3.163	-1.583	-0.460	2.276	595.783
10.125	-10.022	-4.833	3.596	2.183	-3.560	-3.248	601.924
11.250	-11.080	-5.204	2.827	3.244	1.849	2.306	592.097
12.375	-12.029	-5.371	1.113	0.286	2.839	-0.005	599.209
13.500	-12.861	-5.330	-0.974	-3.026	-2.957	-2.298	613.486
14.625	-13.566	-5.079	-2.735	-2.589	-1.685	3.248	608.447
15.750	-14.139	-4.631	-3.581	1.056	3.614	-2.284	606.006
16.875	-14.574	-4.002	-3.230	3.392	0.275	-0.025	604.203
18.000	-14.866	-3.216	-1.798	1.526	-3.722	2.320	605.797
19.125	-15.013	-2.305	0.235	-2.231	1.177	-3.248	607.425
20.250	-15.012	-1.304	2.190	-3.224	3.262	2.262	597.866
21.375	-14.865	-0.252	3.412	-0.222	-2.450	0.056	600.362
22.500	-14.573	0.810	3.493	3.055	-2.306	-2.341	597.903
23.625	-14.137	1.840	2.406	2.547	3.350	3.247	586.788
24.750	-13.564	2.798	0.514	-1.117	0.999	-2.240	598.649
25.875	-12.857	3.647	-1.549	-3.397	-3.740	-0.086	604.023
27.000	-12.025	4.354	-3.095	-1.468	0.460	2.362	595.452
28.125	-11.075	4.891	-3.605	2.279	3.560	-3.246	593.237
29.250	-10.017	5.237	-2.910	3.203	-1.849	2.218	590.159
30.375	-8.861	5.378	-1.241	0.158	-2.839	0.117	593.328
31.500	-7.618	5.309	0.843	-3.083	2.957	-2.383	590.015
32.625	-6.301	5.033	2.644	-2.504	1.685	3.245	582.237
33.750	-4.922	4.561	3.562	1.177	-3.614	-2.196	587.472
34.875	-3.494	3.910	3.288	3.400	-0.275	-0.148	579.359
36.000	-2.033	3.107	1.915	1.410	3.722	2.404	575.516
37.125	-0.552	2.182	-0.099	-2.327	-1.177	-3.244	591.256
38.250	0.935	1.173	-2.080	-3.181	-3.262	2.173	590.282
39.375	2.413	0.117	-3.365	-0.094	2.450	0.178	584.341
40.500	3.867	-0.943	-3.525	3.109	2.306	-2.424	583.650
41.625	5.283	-1.966	-2.505	2.460	-3.350	3.242	582.877
42.750	6.647	-2.913	-0.648	-1.237	-0.999	-2.150	587.340
43.875	7.947	-3.746	1.426	-3.401	3.740	-0.209	580.283
45.000	9.168	-4.432	3.023	-1.352	-0.460	2.445	577.648
46.125	10.300	-4.946	3.609	2.373	-3.560	-3.240	581.504
47.250	11.331	-5.266	2.988	3.157	1.849	2.127	569.833
48.375	12.252	-5.381	1.368	0.030	2.839	0.239	574.693
49.500	13.052	-5.285	-0.710	-3.135	-2.957	-2.465	587.539
50.625	13.725	-4.984	-2.550	-2.415	-1.685	3.238	580.711

(Continuacion)

TABLA IV.3.7

MES	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	SUM
51.750	14.263	-4.488	-3.537	1.297	3.614	-2.104	576.995
52.875	14.662	-3.816	-3.342	3.402	0.275	-0.270	575.129
54.000	14.917	-2.996	-2.029	1.292	-3.722	2.484	576.092
55.125	15.027	-2.058	-0.037	-2.418	1.177	-3.235	577.585
56.250	14.989	-1.040	1.967	-3.133	3.262	2.080	567.914
57.375	14.805	0.018	3.313	0.034	-2.450	0.300	570.020
58.500	14.475	1.076	3.551	3.159	-2.306	-2.504	568.589
59.625	14.005	2.092	2.602	2.370	3.350	3.233	558.390
60.750	13.397	3.026	0.782	-1.356	0.999	-2.057	571.249
61.875	12.658	3.841	-1.300	-3.401	-3.740	-0.331	578.312
63.000	11.795	4.507	-2.946	-1.233	0.460	2.523	570.933
64.125	10.817	4.997	-3.607	2.463	3.560	-3.230	571.040
65.250	9.732	5.292	-3.062	3.107	-1.849	2.033	570.787
66.375	8.553	5.380	-1.493	-0.098	-2.839	0.361	576.176
67.500	7.290	5.258	0.576	-3.182	2.957	-2.543	575.683
68.625	5.956	4.931	2.452	-2.323	1.685	3.226	570.113
69.750	4.563	4.411	3.508	1.414	-3.614	-2.009	577.767
70.875	3.126	3.719	3.391	3.400	-0.275	-0.392	573.071

Valores calculados a partir de la ecuacion III.3.12

E. N. E. P. ACATLAN
TESIS PROFESIONAL
ELOY CORNEJO PEREZ

TABLA IV.3.8

ONDAS SENOIDALES N.E. P O Z O OE							
MES	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	SUM
0.000	1.376	0.481	1.662	0.866	0.974	0.848	581.037
1.125	0.463	0.317	1.058	-0.409	-1.012	-0.648	587.476
2.250	-0.456	0.141	0.099	-1.177	-0.580	0.066	589.152
3.375	-1.370	-0.040	-0.892	-0.487	1.238	0.555	588.242
4.500	-2.271	-0.220	-1.585	0.807	0.097	-0.849	591.267
5.625	-3.149	-0.392	-1.748	1.101	-1.276	0.642	592.066
6.750	-3.997	-0.548	-1.327	0.031	0.401	-0.058	592.742
7.875	-4.805	-0.682	-0.461	-1.077	1.119	-0.561	593.713
9.000	-5.566	-0.790	0.558	-0.851	-0.838	0.849	593.882
10.125	-6.273	-0.868	1.391	0.430	-0.792	-0.637	593.994
11.250	-6.919	-0.911	1.759	1.178	1.147	0.050	590.942
12.375	-7.497	-0.919	1.538	0.467	0.345	0.567	592.744
13.500	-8.001	-0.890	0.803	-0.823	-1.281	-0.850	598.288
14.625	-8.428	-0.827	-0.201	-1.093	0.155	0.632	597.007
15.750	-8.771	-0.732	-1.137	-0.009	1.221	-0.042	596.716
16.875	-9.029	-0.608	-1.694	1.086	-0.631	-0.573	598.695
18.000	-9.199	-0.461	-1.683	0.835	-0.974	0.850	597.877
19.125	-9.279	-0.295	-1.110	-0.450	1.012	-0.626	597.994
20.250	-9.267	-0.118	-0.166	-1.178	0.580	0.034	597.361
21.375	-9.165	0.064	0.834	-0.446	-1.238	0.579	596.618
22.500	-8.974	0.243	1.555	0.839	-0.097	-0.850	594.530
23.625	-8.694	0.412	1.756	1.084	1.276	0.621	590.790
24.750	-8.330	0.566	1.370	-0.013	-0.401	-0.026	594.079
25.875	-7.884	0.698	0.525	-1.094	-1.119	-0.585	596.705
27.000	-7.361	0.802	-0.495	-0.819	0.838	0.851	593.430
28.125	-6.766	0.875	-1.350	0.471	0.792	-0.615	593.838
29.250	-6.104	0.914	-1.753	1.178	-1.147	0.018	594.140
30.375	-5.383	0.917	-1.570	0.425	-0.345	0.591	592.610
31.500	-4.610	0.884	-0.862	-0.854	1.281	-0.851	592.256
32.625	-3.791	0.817	0.134	-1.075	-0.155	0.610	590.705
33.750	-2.935	0.718	1.086	0.036	-1.221	-0.010	589.571
34.875	-2.050	0.591	1.674	1.102	0.631	-0.596	585.893
36.000	-1.145	0.441	1.702	0.803	0.974	0.851	583.619
37.125	-0.229	0.273	1.161	-0.491	-1.012	-0.604	588.147
38.250	0.689	0.095	0.232	-1.177	-0.580	0.002	587.984
39.375	1.600	-0.087	-0.775	-0.405	1.238	0.602	585.071
40.500	2.496	-0.265	-1.523	0.869	0.097	-0.851	586.422
41.625	3.367	-0.433	-1.761	1.066	-1.276	0.599	585.683
42.750	4.206	-0.584	-1.410	-0.058	0.401	0.006	584.684
43.875	5.003	-0.713	-0.588	-1.110	1.119	-0.608	584.141
45.000	5.751	-0.813	0.431	-0.787	-0.838	0.851	582.649
46.125	6.443	-0.882	1.306	0.511	-0.792	-0.593	581.252
47.250	7.072	-0.916	1.744	1.176	1.147	-0.014	577.036
48.375	7.632	-0.915	1.599	0.384	0.345	0.613	577.587
49.500	8.117	-0.878	0.919	-0.884	-1.281	-0.851	582.102
50.625	8.523	-0.806	-0.068	-1.056	0.155	0.587	579.911

(Continuacion),
TABLA IV.3.8

ONDAS SENOIDALES N.E. P O Z O OS							
MES	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	SUM
51.750	8.845	-0.703	-1.033	0.080	1.221	0.022	578.812
52.875	9.081	-0.573	-1.652	1.117	-0.631	-0.619	580.522
54.000	9.228	-0.420	-1.718	0.770	-0.974	0.851	579.510
55.125	9.284	-0.251	-1.210	-0.531	1.012	-0.581	579.523
56.250	9.250	-0.072	-0.298	-1.174	0.580	-0.030	578.990
57.375	9.125	0.110	0.715	-0.363	-1.238	0.624	578.272
58.500	8.911	0.287	1.488	0.898	-0.097	-0.850	576.607
59.625	8.610	0.453	1.764	1.046	1.276	0.575	573.521
60.750	8.224	0.602	1.449	-0.102	-0.401	0.038	577.434
61.875	7.758	0.727	0.650	-1.124	-1.119	-0.630	580.982
63.000	7.216	0.824	-0.366	-0.753	0.838	0.850	578.637
64.125	6.604	0.888	-1.260	0.551	0.792	-0.569	580.239
65.250	5.927	0.918	-1.733	1.173	-1.147	-0.046	582.154
66.375	5.191	0.912	-1.626	0.341	-0.345	0.635	582.136
67.500	4.406	0.870	-0.975	-0.913	1.281	-0.850	583.425
68.625	3.576	0.795	0.002	-1.036	-0.155	0.563	583.500
69.750	2.712	0.688	0.978	0.124	-1.221	0.054	583.909
70.875	1.822	0.555	1.627	1.131	0.631	-0.640	582.120

Valores calculados a partir de la ecuacion III.3.12

E. N. E. P. ACATLAN
TESIS PROFESIONAL
ELOY CORNEJO PEREZ

ONDAS SENOIDALES EVAPOTRANSPIRACION

MES	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	SUM
PERIODO DE 1958 A 1963							
0.000	0.310	0.396	51.813	7.999	0.885	1.526	73.305
1.125	0.319	0.370	32.483	2.092	-3.195	-2.012	106.178
2.250	0.324	0.330	2.289	-6.407	0.361	1.313	138.024
3.375	0.327	0.277	-28.671	-6.968	3.054	0.160	168.054
4.500	0.326	0.214	-50.041	1.105	-1.553	-1.539	187.722
5.625	0.322	0.142	-54.676	7.808	-2.448	2.011	183.075
6.750	0.315	0.064	-41.024	4.837	2.508	-1.298	170.832
7.875	0.305	-0.016	-13.652	-4.127	1.469	-0.179	152.434
9.000	0.292	-0.096	18.286	-7.978	-3.081	1.551	127.260
10.125	0.276	-0.171	44.108	-1.944	-0.267	-2.009	96.242
11.250	0.257	-0.240	55.179	6.498	3.186	1.284	70.071
12.375	0.236	-0.300	47.795	6.890	-0.976	0.198	82.391
13.500	0.212	-0.348	24.426	-1.255	-2.805	-1.563	117.567
14.625	0.187	-0.382	-7.112	-7.845	2.070	2.007	147.309
15.750	0.159	-0.402	-36.272	-4.715	1.997	-1.269	176.735
16.875	0.130	-0.405	-53.300	4.257	-2.849	-0.217	188.618
18.000	0.100	-0.393	-52.502	7.955	-0.885	1.575	180.385
19.125	0.069	-0.366	-34.145	1.797	3.195	-2.005	167.690
20.250	0.037	-0.324	-4.369	-6.587	-0.361	1.254	146.584
21.375	0.005	-0.270	26.869	-6.810	-3.054	0.236	119.257
22.500	-0.028	-0.205	49.121	1.405	1.553	-1.587	85.975
23.625	-0.060	-0.132	54.944	7.879	2.448	2.003	69.152
24.750	-0.091	-0.054	42.391	4.591	-2.508	-1.239	93.144
25.875	-0.122	0.026	15.661	-4.385	-1.469	-0.255	126.778
27.000	-0.151	0.105	-16.307	-7.928	3.081	1.599	155.835
28.125	-0.179	0.180	-42.821	-1.648	0.267	-2.001	182.435
29.250	-0.205	0.248	-55.014	6.674	-3.186	1.224	186.492
30.375	-0.229	0.307	-48.807	6.727	0.976	0.274	176.988
31.500	-0.251	0.353	-26.277	-1.555	2.805	-1.610	162.769
32.625	-0.271	0.386	5.041	-7.910	-2.070	1.998	139.060
33.750	-0.287	0.403	34.674	-4.465	-1.997	-1.209	109.116
34.875	-0.301	0.405	52.710	4.512	2.849	-0.292	76.352
36.000	-0.313	0.391	53.117	7.899	0.885	1.622	72.633
37.125	-0.320	0.361	35.760	1.499	-3.195	-1.995	104.125
38.250	-0.325	0.318	6.443	-6.758	0.361	1.194	135.002
39.375	-0.327	0.262	-25.029	-6.642	3.054	0.311	164.605
40.500	-0.325	0.196	-48.130	1.703	-1.553	-1.633	185.976
41.625	-0.321	0.122	-55.134	7.938	-2.448	1.992	184.084
42.750	-0.313	0.044	-43.698	4.338	2.508	-1.178	174.534
43.875	-0.302	-0.036	-17.648	-4.637	1.470	-0.330	157.718
45.000	-0.288	-0.115	14.305	-7.867	-3.081	1.644	131.637
46.125	-0.271	-0.190	41.473	-1.349	-0.267	-1.989	98.828
47.250	-0.252	-0.256	54.771	6.840	3.186	1.163	70.783
48.375	-0.230	-0.313	49.751	6.554	-0.976	0.349	81.099
49.500	-0.206	-0.358	28.092	-1.852	-2.805	-1.655	115.018
50.625	-0.180	-0.389	-2.963	-7.964	2.070	1.986	143.673

(Continuacion)

TABLA IV.3.9

ONDAS SENOIDALES EVAPOTRANSPIRACION

MES	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	SUM
PERIODO DE 1958 A 1963							
51.750	-0.152	-0.404	-33.026	-4.209	1.997	-1.147	173.175
52.875	-0.123	-0.404	-52.044	4.761	-2.849	-0.368	187.261
54.000	-0.092	-0.388	-53.656	7.832	-0.885	1.666	181.758
55.125	-0.061	-0.357	-37.323	1.199	3.195	-1.982	171.563
56.250	-0.029	-0.312	-8.507	-6.919	-0.361	1.131	151.230
57.375	0.003	-0.254	23.154	-6.465	-3.054	0.386	122.463
58.500	0.036	-0.187	47.071	1.999	1.553	-1.676	87.438
59.625	0.068	-0.113	53.246	7.986	2.448	1.979	68.620
60.750	0.099	-0.034	44.943	4.078	-2.508	-1.116	90.771
61.875	0.129	0.047	19.610	-4.883	-1.469	-0.405	123.205
63.000	0.158	0.125	-12.282	-7.794	3.081	1.687	151.259
64.125	0.186	0.199	-40.066	-1.049	0.267	-1.975	178.672
65.250	0.211	0.264	-54.450	6.956	-3.186	1.100	185.298
66.375	0.235	0.320	-50.624	6.373	0.976	0.423	178.531
67.500	0.256	0.363	-29.866	-2.146	2.805	-1.697	166.520
68.625	0.275	0.391	0.880	-8.006	-2.070	1.971	142.792
69.750	0.291	0.405	31.332	-3.946	-1.997	-1.084	111.233
70.875	0.305	0.403	51.305	5.003	2.849	-0.442	76.811

Valores calculado a partir de la ecuacion III.3.12

E. N. E. P. ACATLAN
TESIS PROFESIONAL
ELOY CORNEJO PEREZ

(Continuacion)

TABLA IV.3.9

ONDAS SENOIDALES EVAPOTRANSPIRACION

MES	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	SUM
PERIODO DE 1958 A 1963							
51.750	-0.152	-0.404	-33.026	-4.209	1.997	-1.147	173.175
52.875	-0.123	-0.404	-52.044	4.761	-2.849	-0.368	187.261
54.000	-0.092	-0.388	-53.656	7.832	-0.885	1.666	181.758
55.125	-0.061	-0.357	-37.323	1.199	3.195	-1.982	171.563
56.250	-0.029	-0.312	-8.507	-6.919	-0.361	1.131	151.230
57.375	0.003	-0.254	23.154	-6.465	-3.054	0.386	122.463
58.500	0.036	-0.187	47.071	1.999	1.553	-1.676	87.438
59.625	0.068	-0.113	55.246	7.986	2.448	1.979	68.620
60.750	0.099	-0.034	44.943	4.078	-2.508	-1.116	90.771
61.875	0.129	0.047	19.610	-4.883	-1.469	-0.405	123.205
63.000	0.158	0.125	-12.282	-7.794	3.081	1.687	151.259
64.125	0.186	0.199	-40.066	-1.049	0.267	-1.975	178.672
65.250	0.211	0.264	-54.450	6.996	-3.186	1.100	185.298
66.375	0.235	0.320	-50.624	6.373	0.976	0.423	178.531
67.500	0.256	0.363	-29.866	-2.146	2.805	-1.697	166.520
68.625	0.275	0.391	0.880	-8.006	-2.070	1.971	142.792
69.750	0.291	0.405	31.332	-3.946	-1.997	-1.084	111.233
70.875	0.305	0.403	51.305	5.003	2.849	-0.442	76.811

Valores calculado a partir de la ecuacion III.3.12

E.N.E.P. ACATLAN
TESIS PROFESIONAL
ELOY CORNEJO PEREZ

TABLA IV-3.10

ONDAS SENOIDALES PRECIPITACION

MES	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	SUM
PERIODO DE 1958 A 1963							
0.000	1.229	6.044	12.638	2.053	3.658	1.093	-5.897
1.125	0.255	5.292	3.994	-1.818	-5.037	-2.540	20.673
2.250	-0.722	4.334	-5.986	-3.437	-1.693	2.491	25.832
3.375	-1.691	3.206	-13.964	-0.797	5.697	-0.974	29.342
4.500	-2.644	1.953	-17.271	2.830	-0.530	-1.117	37.597
5.625	-3.571	0.624	-14.803	2.951	-5.491	2.550	38.559
6.750	-4.464	-0.730	-7.383	-0.585	2.672	-2.480	33.788
7.875	-5.312	-2.055	2.506	-3.396	4.448	0.950	23.677
9.000	-6.109	-3.299	11.557	-2.000	-4.407	1.140	23.937
10.125	-6.846	-4.415	16.742	1.874	-2.728	-2.558	18.750
11.250	-7.515	-5.359	16.328	3.426	5.472	2.470	5.997
12.375	-8.112	-6.093	10.454	0.733	0.593	-0.926	24.169
13.500	-8.629	-6.590	1.083	-2.868	-5.703	-1.163	44.689
14.625	-9.061	-6.829	-8.650	-2.916	1.632	2.567	44.075
15.750	-9.405	-6.801	-15.490	0.649	5.067	-2.459	49.258
16.875	-9.657	-6.508	-17.150	3.410	-3.609	0.902	53.431
18.000	-9.814	-5.961	-13.073	1.946	-3.658	1.186	50.193
19.125	-9.875	-5.181	-4.625	-1.929	5.037	-2.576	39.968
20.250	-9.840	-4.199	5.371	-3.414	1.693	2.448	28.759
21.375	-9.708	-3.053	13.570	-0.669	-5.697	-0.877	27.253
22.500	-9.481	-1.787	17.231	2.905	0.530	-1.210	12.632
23.625	-9.162	-0.452	15.129	2.879	5.491	2.584	4.350
24.750	-8.753	0.901	7.967	-0.714	-2.672	-2.436	26.526
25.875	-8.258	2.218	-1.859	-3.422	-4.448	0.853	35.735
27.000	-7.683	3.449	-11.064	-1.891	4.407	1.233	32.366
28.125	-7.032	4.544	-16.568	1.983	2.728	-2.592	37.753
29.250	-6.312	5.465	-16.531	3.400	-5.472	2.424	37.845
30.375	-5.531	6.170	-10.965	0.604	-0.593	-0.829	31.962
31.500	-4.696	6.635	-1.732	-2.940	5.703	-1.255	19.104
32.625	-3.814	6.840	8.080	-2.842	-1.632	2.600	11.587
33.750	-2.896	6.779	15.190	0.778	-5.067	-2.413	8.447
34.875	-1.949	6.452	17.220	3.434	3.609	0.804	-8.752
36.000	-0.983	5.874	13.490	1.835	3.658	1.278	-4.336
37.125	-0.007	5.067	5.249	-2.037	-5.037	-2.607	20.190
38.250	0.969	4.062	-4.748	-3.386	-1.693	2.401	23.214
39.375	1.935	2.898	-13.156	-0.540	5.697	-0.780	24.764
40.500	2.882	1.621	-17.165	2.975	-0.530	-1.301	32.336
41.625	3.802	0.280	-15.433	2.804	-5.491	2.615	32.242
42.750	4.684	-1.071	-8.540	-0.841	2.672	-2.388	26.303
43.875	5.520	-2.380	1.210	-3.444	4.448	0.755	14.710
45.000	6.302	-3.597	10.555	-1.779	-4.407	1.323	12.422
46.125	7.022	-4.673	16.370	2.090	-2.728	-2.622	5.360
47.250	7.674	-5.567	16.710	3.370	5.472	2.376	-9.216
48.375	8.251	-6.243	11.461	0.475	0.593	-0.730	7.012
49.500	8.747	-6.675	2.379	-3.008	-5.703	-1.346	26.426
50.625	9.157	-8.847	-7.498	-2.764	1.632	2.629	24.510

(Continuacion)

TABLA IV.3.10

ONDAS SENOIDALES PRECIPITACION

MES	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	SUM
PERIODO DE 1958 A 1963							
51.750	9.478	-6.752	-14.868	0.905	5.067	-2.363	29.352
52.875	9.706	-6.393	-17.265	3.453	-3.609	0.705	34.222
54.000	9.839	-5.784	-13.888	1.723	-3.658	1.368	31.220
55.125	9.875	-4.949	-5.866	-2.142	5.037	-2.635	21.500
56.250	9.815	-3.922	4.118	-3.353	1.693	2.350	10.116
57.375	9.659	-2.741	12.724	-0.410	-5.697	-0.681	7.963
58.500	9.409	-1.453	17.076	3.041	0.530	-1.390	-6.394
59.625	9.067	-0.108	15.716	2.724	5.491	2.642	-14.712
60.750	8.635	1.241	9.100	-0.968	-2.672	-2.337	7.820
61.875	8.120	2.541	-0.559	-3.461	-4.448	0.656	17.970
63.000	7.524	3.742	-10.032	-1.665	4.407	1.412	15.429
64.125	6.856	4.797	-16.149	2.193	2.728	-2.648	23.041
65.250	6.120	5.665	-16.865	3.334	-5.472	2.324	25.713
66.375	5.324	6.312	-11.941	0.344	-0.593	-0.631	22.003
67.500	4.476	6.712	-3.023	-3.072	5.703	-1.434	11.457
68.625	3.584	6.850	6.906	-2.682	-1.632	2.654	5.139
69.750	2.658	6.721	14.525	1.031	-5.067	-2.310	3.261
70.875	1.705	6.329	17.286	3.467	3.609	0.606	-12.183

Valores calculado a partir de la ecuacion III.3.12

**E. N. E. P. ACATLAN
TESIS PROFESIONAL
ELOY CORNEJO PEREZ**

espectro más importante de la ELEV de N.E.

La parte (c) de la figura presenta fenómenos más importantes de la EVAPOT, los cuáles sucedieron 7 veces en el periodo de 8 años, con una altura de 55.246 mm como amplitud, o altura de onda.

En la parte (d) están representadas las condiciones para efectos de segundo orden en la EVAPOT. La amplitud de la onda espectral para estas condiciones es 7.999 mm. La frecuencia de esta onda es poco significativa en los espectros de ELEV de N.E., se presenta en 13 ocasiones durante el periodo de 8 años.

Las dos ondas senoidales siguientes, son de orden de importancia 3 y 4 respectivamente y a cada vez menos importantes en la ELEV de N.E. Se presentan más cotidianamente.

IV.4

CORRELACION Y PREDICCION ESPECTRAL

Para llegar a la predicción por medio de los espectros, tenemos tres etapas del modelo:

- 1) Etapa de la correlación
- 2) Etapa de la calibración
- 3) Etapa de la predicción

1) Etapa de la correlación

a) Se elabora una serie de modelos de regresión múltiple para cada pozo, utilizando las tablas IV.3.6 hasta la IV.3.10. La forma de estructurar cada modelo de regresión es: correlacionando todas las ondas senoidales de las variables independientes con la onda senoidal de ELEV., pero será necesario que estas tengan la misma frecuencia.

b) Se verifica la no existencia de la multicolinealidad (con el paquete TSP, utilizando la instrucción COVA). Si en las variables explicatorias PRECIP y EVAPOT se obtiene "r" igual o casi igual a 1.00, entonces si existe multicolinealidad y solo se deberá hacer intervenir a una de ellas en el modelo.

c) Se hacen las correcciones y ajustes necesarios para cada modelo

anterior, pues estos deberán cumplir con los supuestos de los mínimos cuadrados ordinarios (no autocorrelación, no multicolinealidad, R cerca de 1.00). Estos ajustes y correcciones también se hacen empleando el paquete TSP.

2) Etapa de la calibración

a) Si ya se tiene el modelo de regresión, con R casi igual a 1.00, aun es necesario verificar la sensibilidad del modelo para que estime a la variable dependiente con el mínimo error posible.

En la figura IV.4.A se muestran tres perfiles los cuáles corresponden a la misma señal de ELEV. de N.E. para el pozo 02, pero estos perfiles fueron obtenidos por diferentes medios.

Se presenta el perfil obtenido por medio del modelo de regresión, el obtenido por los datos reales de campo y el reconstruido por la descomposición del espectro de ELEV. de N.E. para el pozo 02 (tabla IV.3.B).

Puede notarse que este último perfil no representa exactamente a los datos reales , pero las señales sí tienen la misma tendencia entre ambas.

El perfil estimado con el modelo de regresión, en cambio si representa muy satisfactoriamente al perfil reconstruido con la suma de las ondas senoidales. Esto es de esperarse debido a que el modelo se elabora usando las componentes senoidales del espectro y no usando directamente los datos reales.

De la figura observamos que el modelo de regresión presenta algunas desviaciones a los datos reales, pero esto es debido a que tenemos un número reducido de observaciones y además sólo se usaron 5 componentes senoidales.

Esta situación para el pozo 02, es similar para el pozo 06, y pozo 08.

3) Etapa de la predicción

a) Una vez que se tienen todos los modelos de regresión ajustados y corregidos se procede a la transformación de los datos a futuro. Para conocer estos datos será necesario estimarlos con algún método establecido para cada tipo de variable, o bien suponerlos.

b) Se descomponen los espectros anteriores y se sustituyen los datos

ESTIMADOS-REALES-RECONSTRUIDOS

POZO 02 (1958-1963)

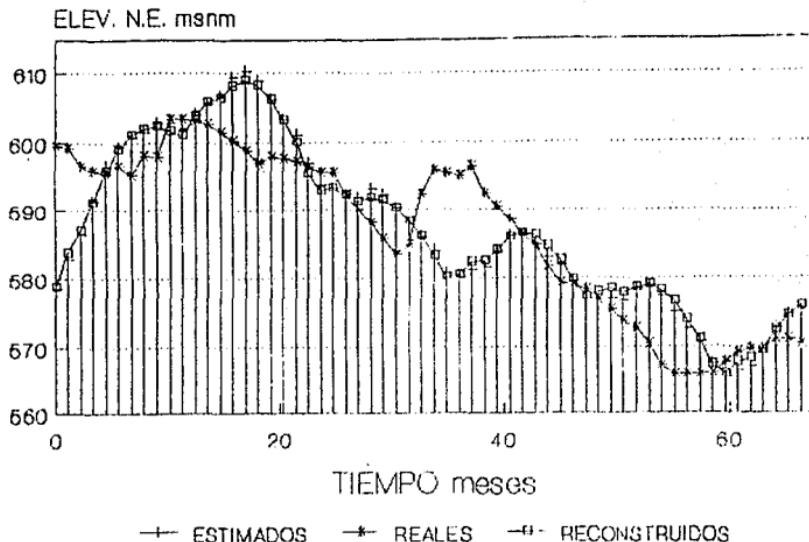


FIG. IV. 4. A. - Muestra comparativa entre los diferentes valores, se aprecia aceptable precisión.

E.N.E.P. ACATLAN

TESIS PROFESIONAL.

ELOY CORNEJO PEREZ

tabulados en su respectivo modelo de regresión calculado en la primera etapa.

c) Una vez sustituidos todos los datos a futuro en su respectivo modelo, se procede a la sumatoria de estos espectros mas significativos de cada pozo. Con la sumatoria de estos obtenemos así el valor estimado de la variable independiente (Elevaciones del N. E.), tal como lo expresa la ecuación III.3.12.

A continuación se presentan los modelos de regresión para cada pozo:

i) Pozo Número 2

1) Primer modelo

Se hace un ajuste por mínimos cuadrados empleando como variables la columna de $f=0.014$ de cada una de las tablas IV.3.6, IV.3.8 y IV.3.10;

Al verificar la existencia de la multicolinealidad entre las variables PRECIP y EVAPOT se observa que esta no es significativa y por lo tanto el modelo sí procede con el conjunto de estas como variables explicatorias.

Empleando el paquete "TSP" se extrae el siguiente modelo de regresión para este primer caso del pozo 02:

$$\text{ELEV21} = 0.0005338 - 3.1620663 \text{ EVAPOT} + 1.4849223 \text{ PRECIP} \quad \dots \text{IV.4.1}$$

con: $R = 0.9999999$

Durbin Watson = 2.163718

Como se observa es un modelo bastante aceptable, y no fue necesario corregir autocorrelación; este modelo parece ser muy lógico, pues cuando EVAPOT aumenta en una unidad, entonces ELEV21 disminuye en 3.484362 de unidad. Mientras PRECIP aumenta en una unidad, ELEV21 aumenta 1.5609214 de unidad.

Ver la figura IV.4.B, contiene las componentes senoidales para este modelo.

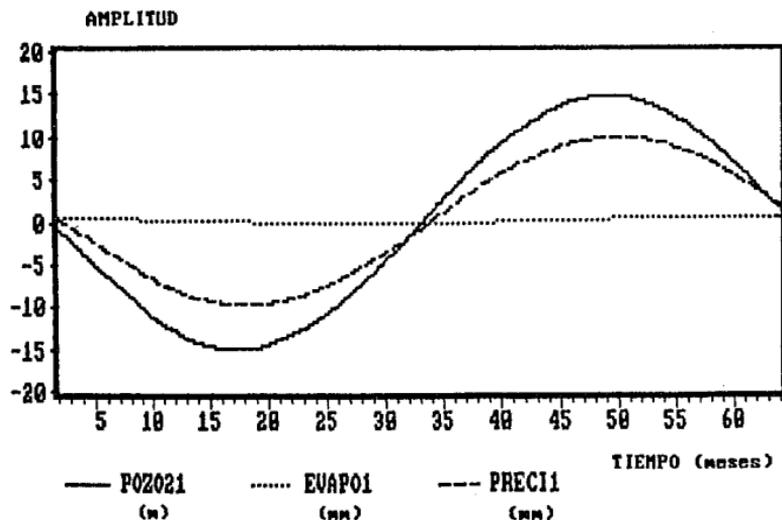
2) Segundo modelo

Se emplean aquí los datos tabulados correspondientes a la frecuencia $f=0.028$ de las mismas tablas empleadas en el primer modelo.

No existe el problema de multicolinealidad, ni autocorrelación; por lo que el problema es una simple regresión lineal múltiple. Empleando el paquete TSP obtenemos el siguiente modelo:

MODELO 1

F R E C U E N C I A 0.014



ENEP ACATLAN
TESIS PROFESIONAL
Fig. IV.4.B.-Componentes senoidales del Ier modelo
ELOY CORNEJO PEREZ

ELEV22=-0.0006517-32.280941 EVAPOT+2.7225616 PRECIP ...IV.4.2
con: R=0.999995

Durbin Watson=1.920595

Es un buen modelo el cuál no tiene autocorrelación, ni multicolinealidad, además la precisión del ajuste R es casi perfecto.

Cuando EVAPOT aumenta en una unidad, la ELEV22 de N.E. disminuye en 31.448926 de unidad. Cuando PRECIP aumenta en una unidad, la ELEV22 aumenta en 2.6700812 de unidad.

Ver la figura IV.4.C; se muestran las componentes senoidales de frecuencia 0.028, las cuáles intervienen en el modelo.

3) Tercer modelo

Ahora usando la columna de frecuencia $f=0.083$, se tiene el siguiente modelo:

ELEV23=0.000013+0.0791045 EVAPOT-0.0729058 PRECIP ...IV.4.3

No existe multicolinealidad, no existe autocorrelación y el ajuste es perfecto, es decir, $R=1.00$

La interpretación de este modelo es un tanto ilógico, pues cuando aumenta la EVAPOT, también aumenta el N.E. del pozo y cuando aumenta la PRECIP, disminuye el N.E. Esta situación puede justificarse porque coincidieron los ángulos de deface FI de la EVAPOT con la ELEV.

Ver la figura IV.4.D; graficamente vemos la relación entre estas variables.

4) Cuarto modelo

Aquí se deberán emplear las columnas con frecuencia $f=0.107$ y obtenemos el siguiente modelo de regresión:

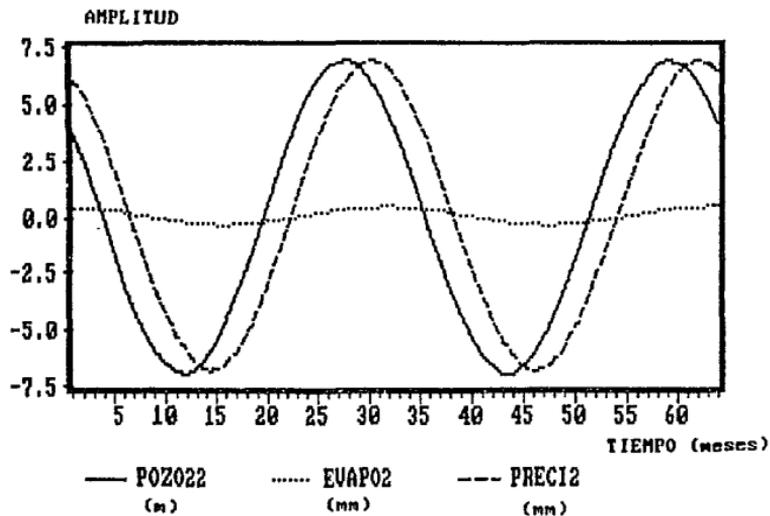
ELEV24=8.258E-5+0.0382764 EVAPOT+0.1664627 PRECIP ...IV.4.4

En este modelo al igual que en los anteriores, no se presenta multicolinealidad, pero se hace necesario corregir autocorrelación, mientras el coeficiente de correlación $R=0.999999$, lo cuál nos indica una muy buena precisión de correlación.

Ver la figura IV.4.E; se muestra la relación grafica entre estas

MODELO 2

FRECUENCIA 0.028



ENEP ACATLAN

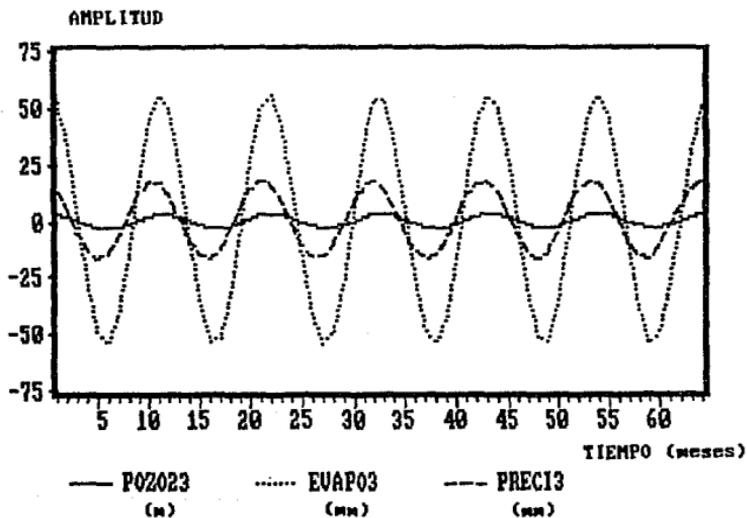
TESIS PROFESIONAL

Fig.10.4.C.-Componentes
senoidales del 2do modelo

ELOY CORNEJO PEREZ

MODELO 3

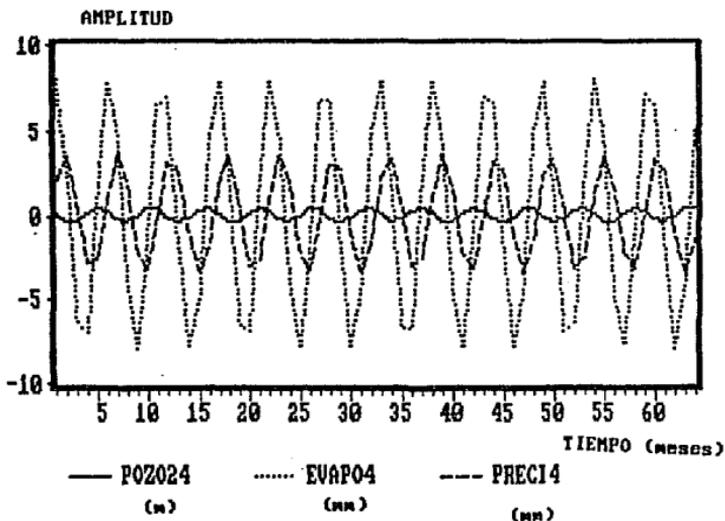
FRECUENCIA 0.083



ENEP ACATLAN
TESIS PROFESIONAL
Fig. 10.4.D.- Componentes senoidales del Ser modelo
ELOY CORNEJO PEREZ

MODELO 4

FRECUENCIA 0.167



ENEP ACATLAN

TESIS PROFESIONAL

Fig. IV.4.E.- Componentes
senoidales del 4to modelo

ELOY CORNEJO PEREZ

variables de frecuencia común.

5) Quinto modelo

Para este modelo se toman como variables la columnas con frecuencia $f=0.250$ y se tiene el siguiente modelo de regresión:

$$\begin{aligned} \text{ELEV25} &= -0.0000053 + 0.2309648 \text{ EVAPOT} - 0.0409394 \text{ PRECIP} && \dots \text{IV.4.5} \\ R &= 1.0000000 \\ \text{Durbin Watson} &= 1.859250 \end{aligned}$$

Ver la figura IV.4.F, todas las variables tienen la misma frecuencia, pero diferentes amplitudes y angulos de defase.

6) Sexto modelo

Este es el último modelo correspondiente a este pozo; no tenemos multicolinealidad, $R=0.999998$ y Durbin Watson $=1.812743$.

$$\begin{aligned} \text{ELEV25} &= 0.000048 - 0.000424 \text{ EVAPOT} + 0.07891 \text{ PRECIP} - 0.03374 \text{ PRECIP}(-1) \\ &&& \dots \text{IV.4.6} \end{aligned}$$

Para este modelo fue necesario corregir la autocorrelación, mediante el rezago de la variable PRECIP. Es muy notoria la ausencia de otra variable llamada INFILTRACION o RECARGA VERTICAL, pues ésta siempre vendrá rezagada un período X después de la PRECIPITACION, debido a que la masa de suelo no puede absorber el agua de lluvia en el preciso instante en que esta toca el suelo, sino hasta un tiempo después como se explica en la sección II.2.

La figura IV.4.G, muestra la relación lineal entre estas variables de igual frecuencia.

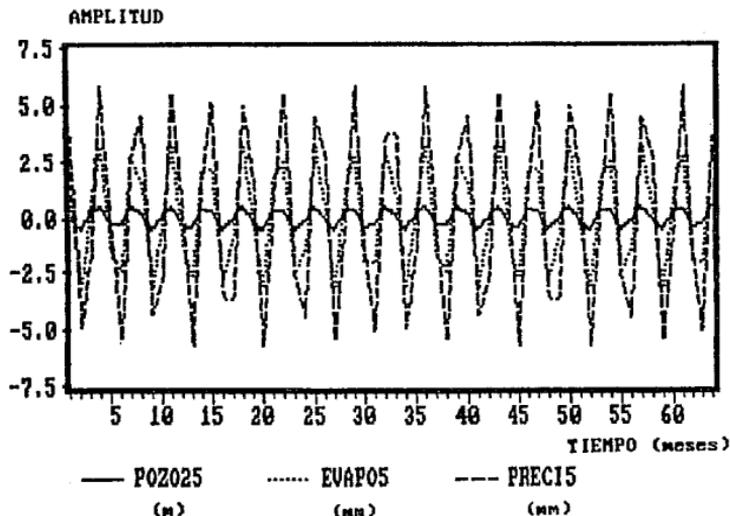
A continuación se enlistan los seis modelos de regresión para el pozo 06, corregidos y ajustados:

$$\begin{aligned} \text{ELEV01} &= -0.0001073 + 1.8888470 \text{ EVAPOT} + 1.5320398 \text{ PRECIP} && \dots \text{IV.4.7} \\ \text{ELEV02} &= 0.000039 - 20.388058 \text{ EVAPOT} + 1.8849750 \text{ PRECIP} && \dots \text{IV.4.8} \\ \text{ELEV03} &= 0.0047406 - 0.0581757 \text{ EVAPOT} + 0.3633382 \text{ PRECIP} && \dots \text{IV.4.9} \\ \text{ELEV04} &= -2.425E-5 - 0.0742135 \text{ EVAPOT} + 1.0876054 \text{ PRECIP} && \dots \text{IV.4.10} \\ \text{ELEV05} &= 2.93E-5 - 1.997092 \text{ EVAPOT} + 1.5005529 \text{ PRECIP} && \dots \text{IV.4.11} \\ \text{ELEV06} &= 0.0048141 - 0.01681 \text{ EVAPOT} + 2.60877 \text{ PRECIP} + \\ & 1.6271 \text{ EVAPOT}(-1) && \dots \text{IV.4.12} \end{aligned}$$

Finalmente también se enlistan los seis modelos de regresión para

MODELO 5

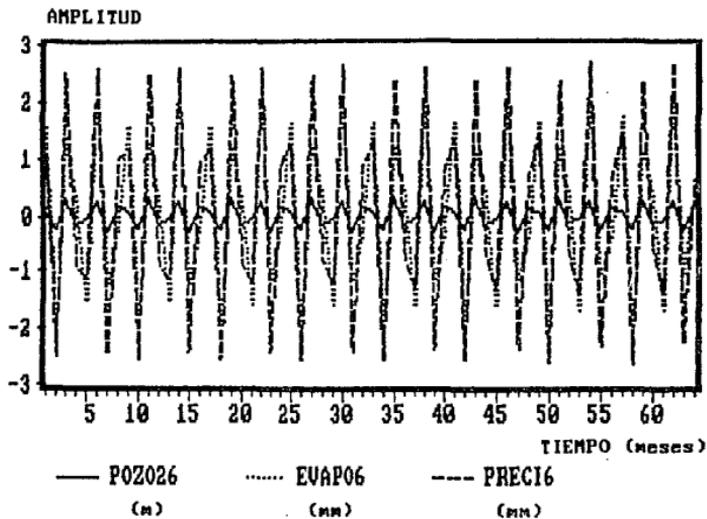
F R E C U E N C I A 0.250



ENEP ACATLAN
TESIS PROFESIONAL
Fig. IV-4.F.- Componentes senoidales del 5to modelo
ELOY CORNEJO PEREZ

M O D E L O 6

F R E C U E N C I A 0.333



ENEP ACATLAN

TESIS PROFESIONAL

Fig. 10.4.G.- Componentes
 senoidales del 6to modelo

ELOY CORNEJO PEREZ

el pozo 08, corregidos y ajustados:

ELEV81= 0.0001355 +0.6964023 EVAPOT +0.9444101 PRECIP	...IV. 4.13
ELEV82=-3.575E-5 -4.3776719 EVAPOT +0.3662226 PRECIP	...IV. 4.14
ELEV83=-2.896E-5 +0.0330521 EVAPOT -0.0039691 PRECIP	...IV. 4.15
ELEV84=2.852E-5 +0.0390022 EVAPOT +0.2697967 PRECIP	...IV. 4.16
ELEV85=9.394E-5 -0.1869844 EVAPOT +0.3067814 PRECIP	...IV. 4.17
ELEV86=0.000142 -0.000234 EVAPOT +0.9185 PRECIP + 1.104 EVAPOT(-1)	...IV. 4.18

Una vez obtenidos los 6 modelos de regresión ajustados y corregidos para cada pozo, se entra a la etapa de la "CALIBRACION".

Para esta etapa se sustituyen a los modelos de regresión, los datos de las tablas IV.3.9 y IV.3.10, que corresponden a PRECIP y EVAPOT respectivamente, para el periodo de 1958 a 1983.

Para verificar el resultado de la calibración del modelo, se observa que en las tablas IV.4.1, IV.4.2 y IV.4.3, los valores de estas son muy parecidos a las tablas IV.3.6, IV.3.7 y IV.3.8, esto indica que se tiene una aceptable calibración.

En forma gráfica lo podemos observar en las figuras I.4.A, IV.4.H y en la IV.4.I; correspondiente al pozo 02, pozo 06 y pozo 08.

Para llegar a la etapa de la "PREDICCIÓN" es necesario transformar los registros de las variables independientes a futuro para tener el espectro de Fourier y posteriormente descomponerlo en sus componentes senoidales principales (se deben usar aquellas ondas senoidales que tengan las mismas frecuencias que su respectivo modelo de regresión).

Las tablas IV.4.4 y IV.4.5 contienen los registros que pueden llamarse futuro y así mismo se presentan sus respectivas transformadas de Fourier. Estas tablas corresponden a EVAPOT y PRECIP respectivamente. Pertenecen a un periodo de 1975 a 1980.

Las tablas IV.4.6 y IV.4.7 contienen las componentes senoidales de EVAPOT y PRECIP respectivamente.

La frecuencia de estas ondas que sirven para la predicción son comunes a las frecuencias de los modelos de regresión.

Con la sustitución de estos datos a su respectivo modelo, y con la suma de todos ellos se obtienen entonces los valores estimados de los Niveles Estáticos.

En las tablas IV.4.8, IV.4.9 y IV.4.10 se muestran los valores estimados de ELEV. de N.E. (1975 a 1980) para cada pozo por medio del

ESTIMADOS-RECONSTRUIDOS-REALES

POZO 06 (1958-1963)

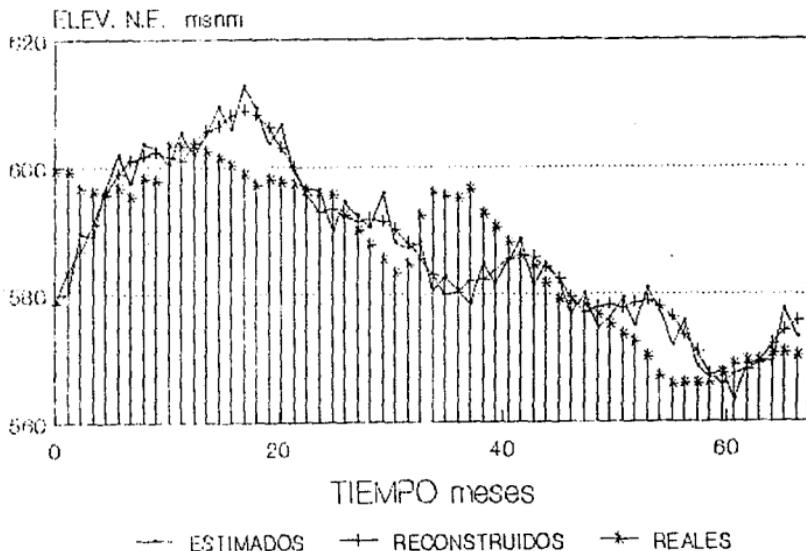


FIG. IV.4.H.-Muestra comparativa entre los diferentes valores, se aprecia una aceptable precisión.

E.N.E.P. ACATLAN
TESIS PROFESIONAL
ELOY CORNEJO PEREZ

ESTIMADOS-RECONSTRUIDOS-REALES

POZO 08 (1958-1963)

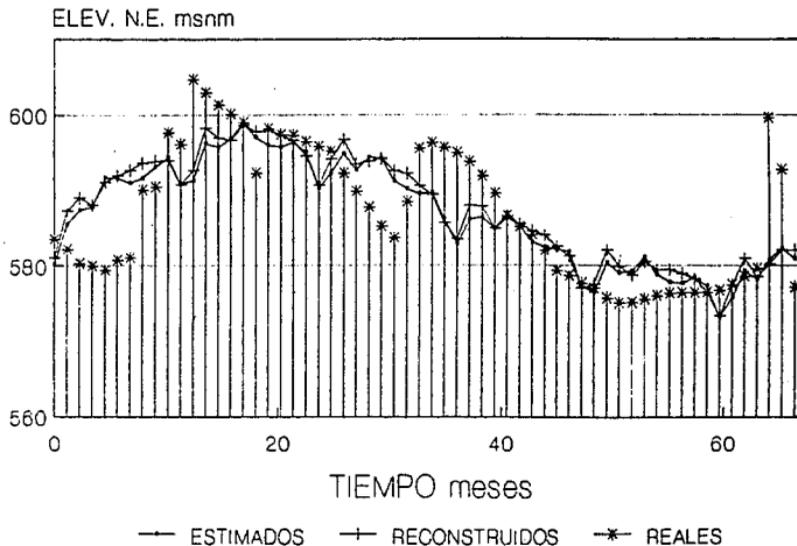


FIG. IV.4.1.-Muestra comparativa entre los diferentes valores, se aprecia una aceptable precisión.

ENEP ACATLAN
TESIS PROFESIONAL
ELOY CORNEJO PEREZ

TABLA IV.4.1

VALOR ESTIMADO
NIVEL ESTÁTICO POZO 02

PERIODO DE 1958 A 1963

I	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	VALOR ESTIMADO
0.000	0.846	3.679	3.177	0.036	0.055	0.086	578.708
1.125	-0.629	2.456	2.278	-0.383	-0.532	-0.236	583.631
2.250	-2.097	1.137	0.617	-0.327	0.153	0.282	586.820
3.375	-3.544	-0.226	-1.250	0.134	0.472	-0.161	591.160
4.500	-4.957	-1.580	-2.699	0.429	-0.337	-0.055	595.785
5.625	-6.322	-2.872	-3.246	0.192	-0.341	0.238	598.936
6.750	-7.624	-4.053	-2.707	-0.282	0.470	-0.281	601.063
7.875	-8.852	-5.075	-1.263	-0.407	0.157	0.159	604.867
9.000	-9.993	-5.899	0.604	-0.027	-0.531	0.057	602.376
10.125	-11.037	-6.493	2.269	0.386	0.050	-0.239	601.650
11.250	-11.972	-6.833	3.174	0.322	0.512	0.281	601.103
12.375	-12.791	-6.907	3.019	-0.142	-0.250	-0.156	603.812
13.500	-13.484	-6.711	1.853	-0.429	-0.414	-0.060	605.831
14.625	-14.045	-6.253	0.068	-0.185	0.411	0.241	606.348
15.750	-14.469	-5.550	-1.740	0.289	0.254	-0.280	608.083
16.875	-14.751	-4.632	-2.966	0.405	-0.510	0.154	608.886
18.000	-14.889	-3.532	-3.200	0.019	-0.055	0.063	608.179
19.125	-14.881	-2.294	-2.364	-0.390	0.532	-0.242	606.225
20.250	-14.728	-0.967	-0.737	-0.316	-0.153	0.280	603.207
21.375	-14.430	0.398	1.136	0.149	-0.472	-0.152	599.956
22.500	-13.992	1.747	2.629	0.430	0.337	-0.065	595.499
23.625	-13.416	3.028	3.243	0.178	0.341	0.244	592.967
24.750	-12.709	4.191	2.772	-0.294	-0.470	-0.279	593.374
25.875	-11.878	5.190	1.374	-0.402	-0.157	0.150	592.308
27.000	-10.930	5.987	-0.483	-0.011	0.531	0.068	591.424
28.125	-9.875	6.549	-2.179	0.393	-0.050	-0.245	591.993
29.250	-8.724	6.856	-3.147	0.311	-0.512	0.278	591.523
30.375	-7.488	6.896	-3.061	-0.157	0.250	-0.147	590.294
31.500	-6.178	6.666	-1.952	-0.430	0.414	-0.070	588.136
32.625	-4.808	6.175	-0.190	-0.170	-0.411	0.247	585.743
33.750	-3.390	5.444	1.635	0.300	-0.254	-0.278	583.128
34.875	-1.940	4.500	2.914	0.399	0.510	0.145	580.057
36.000	-0.470	3.380	3.218	0.003	0.055	0.073	580.327
37.125	1.004	2.128	2.446	-0.396	-0.532	-0.248	582.184
38.250	2.468	0.793	0.856	-0.305	0.153	0.277	582.344
39.375	3.908	-0.573	-1.021	0.164	0.472	-0.143	583.777
40.500	5.310	-1.916	-2.556	0.430	-0.337	-0.076	585.730
41.625	6.660	-3.185	-3.236	0.163	-0.341	0.249	586.275
42.750	7.945	-4.329	-2.834	-0.306	0.470	-0.276	585.917
43.875	9.152	-5.305	-1.484	-0.396	0.157	0.140	584.321
45.000	10.269	-6.073	0.362	0.005	-0.531	0.078	582.475
46.125	11.286	-6.604	2.087	0.400	0.050	-0.251	579.617
47.250	12.193	-6.878	3.114	0.299	0.512	0.275	577.070
48.375	12.980	-6.883	3.100	-0.172	-0.250	-0.138	577.947
49.500	13.640	-6.619	2.049	-0.430	-0.414	-0.081	578.440
50.625	14.167	-6.097	0.312	-0.155	0.411	0.252	577.695

(Continuacion)

TABLA IV.4.1

VALOR ESTIMADO
NIVEL ESTATICO POZO 02

PERIODO DE 1958 A 1963

I	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	VALOR ESTIMADO
51.750	14.555	-5.336	-1.529	0.312	0.254	-0.275	578.604
52.875	14.801	-4.368	-2.858	0.393	-0.510	0.136	578.993
54.000	14.902	-3.229	-3.232	-0.013	-0.055	0.083	578.128
55.125	14.857	-1.964	-2.525	-0.402	0.532	-0.253	576.341
56.250	14.667	-0.622	-0.973	-0.293	-0.153	0.274	573.686
57.375	14.333	0.744	0.904	0.179	-0.472	-0.133	571.030
58.500	13.859	2.081	2.479	0.430	0.337	-0.086	567.486
59.625	13.250	3.337	3.224	0.148	0.341	0.255	566.032
60.750	12.510	4.462	2.892	-0.317	-0.470	-0.273	567.782
61.875	11.649	5.413	1.592	-0.389	-0.157	0.131	568.347
63.000	10.673	6.153	-0.240	0.021	0.531	0.089	569.359
64.125	9.593	6.652	-1.992	0.405	-0.050	-0.256	572.233
65.250	8.419	6.892	-3.078	0.287	-0.512	0.272	574.304
66.375	7.163	6.863	-3.134	-0.187	0.250	-0.128	575.760
67.500	5.836	6.565	-2.142	-0.429	0.414	-0.091	576.432
68.625	4.453	6.011	-0.434	-0.140	-0.411	0.257	576.850
69.750	3.026	5.223	1.420	0.323	-0.254	-0.271	577.120
70.875	1.569	4.230	2.798	0.386	0.510	0.126	576.966

I= Tiempo en meses

Y1= Calculado con la ecuacion IV.4.1

Y2= Calculados con la ecuacion IV.4.2

Y3= Calculados con la ecuacion IV.4.3

Y4= Calculados con la ecuacion IV.4.4

Y5= Calculados con la ecuacion IV.4.5

Y6= Calculados con la ecuacion IV.4.6

VALOR ESTIMADO = Sumatoria de Y1 hasta Y6; representa la Elev. de N.E.

E.N.E.P. ACATLAN
TESIS PROFESIONAL
ELOY CORNEJO PEREZ

(Continuacion)

TABLA IV.4.2

VALOR ESTIMADO
NIVEL ESTATICO POZO 06

PERIODO DE 1958 A 1963

I	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	VALOR ESTIMADO
51.750	14.263	-4.487	-3.542	1.297	3.614	-3.052	577.947
52.875	14.662	-3.816	-3.345	3.402	0.275	0.027	574.835
54.000	14.917	-2.996	-2.027	1.292	-3.721	3.029	575.546
55.125	15.027	-2.059	-0.030	-2.418	1.177	-4.285	578.629
56.250	14.989	-1.041	1.979	-3.133	3.262	3.032	566.952
57.375	14.805	0.017	3.327	0.034	-2.450	0.023	570.285
58.500	14.475	1.074	3.565	3.159	-2.306	-3.049	569.122
59.625	14.005	2.090	2.611	2.370	3.350	4.294	557.321
60.750	13.397	3.024	0.786	-1.356	0.999	-2.994	572.184
61.875	12.658	3.840	-1.300	-3.401	-3.740	-0.054	578.038
63.000	11.795	4.506	-2.950	-1.233	0.460	3.086	570.377
64.125	10.817	4.996	-3.612	2.463	3.560	-4.284	572.101
65.250	9.733	5.291	-3.064	3.107	-1.849	2.974	569.849
66.375	8.553	5.379	-1.490	-0.098	-2.839	0.104	576.432
67.500	7.290	5.257	0.584	-3.182	2.957	-3.105	576.239
68.625	5.956	4.930	2.464	-2.323	1.685	4.293	569.035
69.750	4.564	4.411	3.522	1.414	-3.614	-2.936	578.680
70.875	3.126	3.719	3.403	3.399	-0.275	-0.135	572.801

I= Tiempo en meses

Y1= Calculado con la ecuacion IV.4.7

Y2= Calculados con la ecuacion IV.4.8

Y3= Calculados con la ecuacion IV.4.9

Y4= Calculados con la ecuacion IV.4.10

Y5= Calculados con la ecuacion IV.4.11

Y6= Calculados con la ecuacion IV.4.12

VALOR ESTIMADO = Sumatoria de Y1 hasta Y6; representa la Elev. de N.E.

E.N.E.P. ACATLAN
TESIS PROFESIONAL
ELOY CORNEJO PEREZ

TABLA IV.4.2

**VALOR ESTIMADO
NIVEL ESTATICO POZO 06**

PERIODO DE 1958 A 1963

I	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	VALOR ESTIMADO
0.000	2.407	3.324	1.686	1.639	3.722	2.896	570.367
1.125	0.929	2.427	-0.369	-2.133	-1.177	-4.258	590.621
2.250	-0.557	1.436	-2.299	-3.263	-3.262	3.356	590.630
3.375	-2.039	0.388	-3.458	-0.350	2.450	-0.462	589.511
4.500	-3.500	-0.674	-3.460	2.996	2.306	-2.689	591.061
5.625	-4.927	-1.711	-2.302	2.630	-3.350	4.271	591.429
6.750	-6.306	-2.680	-0.373	-0.995	-0.999	-3.321	600.715
7.875	-7.623	-3.545	1.682	-3.387	3.740	0.431	594.743
9.000	-8.866	-4.271	3.176	-1.583	-0.460	2.730	595.314
10.125	-10.022	-4.831	3.610	2.183	-3.560	-4.266	602.927
11.250	-11.079	-5.202	2.838	3.244	1.849	3.305	591.086
12.375	-12.029	-5.370	1.118	0.286	2.839	-0.381	599.578
13.500	-12.860	-5.328	-0.974	-3.026	-2.957	-2.751	613.937
14.625	-13.566	-5.079	-2.739	-2.589	-1.685	4.279	607.419
15.750	-14.139	-4.630	-3.586	1.056	3.614	-3.270	606.995
16.875	-14.574	-4.002	-3.232	3.392	0.275	0.350	603.831
18.000	-14.866	-3.216	-1.796	1.526	-3.721	2.792	605.323
19.125	-15.013	-2.306	0.243	-2.231	1.177	-4.273	608.443
20.250	-15.012	-1.305	2.202	-3.224	3.252	3.253	596.865
21.375	-14.865	-0.253	3.426	-0.222	-2.450	-0.301	600.706
22.500	-14.572	0.808	3.506	3.055	-2.306	-2.813	598.363
23.625	-14.137	1.838	2.415	2.547	3.350	4.285	585.743
24.750	-13.564	2.797	0.518	-1.117	0.999	-3.217	599.624
25.875	-12.857	3.646	-1.551	-3.397	-3.740	0.269	603.670
27.000	-12.025	4.352	-3.099	-1.468	0.460	2.853	594.968
28.125	-11.075	4.889	-3.609	2.279	3.560	-4.278	594.275
29.250	-10.017	5.235	-2.911	3.203	-1.849	3.199	589.181
30.375	-8.861	5.376	-1.238	0.158	-2.839	-0.220	593.663
31.500	-7.618	5.308	0.851	-3.083	2.957	-2.873	590.499
32.625	-6.301	5.032	2.657	-2.504	1.685	4.290	581.181
33.750	-4.922	4.560	3.576	1.177	-3.614	-3.163	588.426
34.875	-3.495	3.910	3.300	3.400	-0.275	0.189	579.011
36.000	-2.033	3.107	1.922	1.410	3.722	2.912	575.000
37.125	-0.552	2.183	-0.097	-2.327	-1.177	-4.282	592.292
38.250	0.935	1.174	-2.082	-3.181	-3.262	3.145	589.312
39.375	2.413	0.118	-3.369	-0.094	2.450	-0.139	584.662
40.500	3.867	-0.942	-3.528	3.109	2.306	-2.933	584.161
41.625	5.283	-1.965	-2.506	2.460	-3.350	4.293	581.825
42.750	6.647	-2.911	-0.643	-1.237	-0.999	-3.108	588.292
43.875	7.947	-3.744	1.436	-3.401	3.740	0.108	579.956
45.000	9.168	-4.430	3.036	-1.351	-0.460	2.971	577.106
46.125	10.300	-4.944	3.623	2.373	-3.560	-4.284	582.533
47.250	11.331	-5.264	2.999	3.157	1.849	3.089	568.879
48.375	12.252	-5.379	1.374	0.030	2.839	-0.058	574.984
49.500	13.052	-5.284	-0.709	-3.135	-2.957	-2.991	588.064
50.625	13.725	-4.983	-2.553	-2.415	-1.685	4.294	579.658

TABLA IV.4.3

V A L O R E S T I M A D O

NIVEL ESTATICO POZO 08

PERIODO DE 1958 A 1963

I	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	VALOR ESTIMADO
0.000	1.377	0.481	1.662	0.866	0.975	1.004	580.882
1.125	0.463	0.317	1.058	-0.409	-1.012	-0.648	587.476
2.250	-0.455	0.141	0.099	-1.177	-0.580	0.066	589.151
3.375	-1.369	-0.040	-0.892	-0.487	1.238	0.555	588.242
4.500	-2.270	-0.220	-1.585	0.807	0.097	-0.848	591.266
5.625	-3.148	-0.391	-1.748	1.101	-1.276	0.643	592.066
6.750	-3.996	-0.547	-1.327	0.031	0.401	-0.058	592.742
7.875	-4.804	-0.682	-0.461	-1.077	1.119	-0.560	593.712
9.000	-5.566	-0.790	0.559	-0.851	-0.838	0.849	593.882
10.125	-6.273	-0.867	1.391	0.430	-0.792	-0.637	593.994
11.250	-6.918	-0.911	1.759	1.178	1.147	0.050	590.941
12.375	-7.496	-0.918	1.538	0.467	0.345	0.567	592.744
13.500	-8.001	-0.890	0.803	-0.823	-1.281	-0.849	598.288
14.625	-8.427	-0.827	-0.201	-1.093	0.155	0.632	597.006
15.750	-8.771	-0.732	-1.137	-0.009	1.221	-0.042	596.716
16.875	-9.029	-0.609	-1.694	1.086	-0.631	-0.572	598.695
18.000	-9.198	-0.461	-1.683	0.835	-0.975	0.850	597.878
19.125	-9.278	-0.296	-1.110	-0.450	1.012	-0.627	597.995
20.250	-9.267	-0.118	-0.166	-1.178	0.580	0.034	597.361
21.375	-9.165	0.063	0.834	-0.446	-1.238	0.579	596.619
22.500	-8.973	0.242	1.555	0.839	-0.097	-0.850	594.530
23.625	-8.694	0.412	1.756	1.084	1.276	0.621	590.791
24.750	-8.330	0.566	1.369	-0.013	-0.401	-0.026	594.081
25.875	-7.884	0.697	0.525	-1.094	-1.119	-0.584	596.705
27.000	-7.361	0.802	-0.495	-0.819	0.838	0.851	593.431
28.125	-6.766	0.875	-1.350	0.471	0.792	-0.616	593.839
29.250	-6.104	0.913	-1.753	1.178	-1.147	0.018	594.140
30.375	-5.383	0.917	-1.570	0.425	-0.345	0.590	592.611
31.500	-4.610	0.884	-0.862	-0.854	1.281	-0.851	592.256
32.625	-3.791	0.817	0.135	-1.075	-0.155	0.610	590.705
33.750	-2.935	0.718	1.086	0.036	-1.221	-0.010	589.572
34.875	-2.050	0.591	1.674	1.102	0.631	-0.596	585.893
36.000	-1.146	0.441	1.702	0.803	0.975	0.851	583.620
37.125	-0.230	0.273	1.161	-0.491	-1.012	-0.604	588.148
38.250	0.689	0.095	0.232	-1.177	-0.580	0.002	587.985
39.375	1.600	-0.086	-0.775	-0.405	1.238	0.602	585.072
40.500	2.496	-0.265	-1.523	0.869	0.097	-0.851	586.423
41.625	3.367	-0.433	-1.761	1.066	-1.276	0.599	585.683
42.750	4.205	-0.584	-1.410	-0.058	0.401	0.006	584.686
43.875	5.003	-0.712	-0.588	-1.110	1.119	-0.607	584.141
45.000	5.751	-0.813	0.431	-0.787	-0.838	0.851	582.650
46.125	6.443	-0.882	1.306	0.511	-0.792	-0.593	581.253
47.250	7.072	-0.916	1.744	1.176	1.147	-0.014	577.037
48.375	7.632	-0.915	1.599	0.384	0.345	0.613	577.588
49.500	8.117	-0.878	0.919	-0.884	-1.281	-0.851	582.103
50.625	8.523	-0.806	-0.068	-1.056	0.155	0.588	579.912

(Continuacion)

TABLA IV.4.3

VALOR ESTIMADO
NIVEL ESTATICO POZO 08

PERIODO DE 1958 A 1963

I	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	VALOR ESTIMADO
51.750	8.845	-0.703	-1.033	0.080	1.221	0.022	578.814
52.875	9.081	-0.573	-1.652	1.117	-0.631	-0.618	580.522
54.000	9.227	-0.420	-1.718	0.770	-0.974	0.851	579.511
55.125	9.284	-0.251	-1.210	-0.531	1.012	-0.581	579.524
56.250	9.250	-0.072	-0.298	-1.174	0.580	-0.030	578.991
57.375	9.125	0.109	0.715	-0.363	-1.238	0.624	578.274
58.500	8.911	0.287	1.488	0.898	-0.097	-0.850	576.609
59.625	8.610	0.453	1.764	1.046	1.276	0.576	573.522
60.750	8.224	0.601	1.449	-0.102	-0.401	0.038	577.436
61.875	7.758	0.727	0.650	-1.124	-1.119	-0.629	580.983
63.000	7.216	0.823	-0.366	-0.753	0.838	0.850	578.638
64.125	6.604	0.888	-1.260	0.551	0.792	-0.370	580.241
65.250	5.927	0.918	-1.733	1.172	-1.147	-0.046	582.154
66.375	5.192	0.912	-1.626	0.341	-0.345	0.635	582.137
67.500	4.406	0.870	-0.975	-0.913	1.281	-0.849	583.425
68.625	3.577	0.795	0.002	-1.036	-0.155	0.564	583.500
69.750	2.713	0.688	0.978	0.124	-1.221	0.054	583.910
70.875	1.822	0.555	1.627	1.131	0.631	-0.640	582.120

I= Tiempo en meses

Y1= Calculado con la ecuacion IV.4.13

Y2= Calculados con la ecuacion IV.4.14

Y3= Calculados con la ecuacion IV.4.15

Y4= Calculados con la ecuacion IV.4.16

Y5= Calculados con la ecuacion IV.4.17

Y6= Calculados con la ecuacion IV.4.18

VALOR ESTIMADO = Sumatoria de Y1 hasta Y6; representa la Elev. de N.E.

E.N.E.P. ACATLAN
TESIS PROFESIONAL
ELOY CORNEJO PEREZ

TABLA IV.4.4

TRANSFORMADAS DE FOURIER
 EVAPOTRANSPIRACION EN MM
 PERIODO DE 1975 A 1980

I	EVAPOT	FI	A(I)	f	Sx
0.000	87.170	0.000	271.242	0.0001324302.000	
1.125	101.550	-1.536	4.346	0.014	339.967
2.250	139.870	-1.129	1.207	0.028	26.218
3.375	156.130	-0.990	4.518	0.042	367.452
4.500	178.800	0.805	1.782	0.056	57.181
5.625	181.990	0.257	3.471	0.069	216.879
6.750	170.640	-0.215	56.357	0.083	57169.940
7.875	152.780	0.982	3.733	0.097	250.855
9.000	133.310	1.155	2.411	0.111	104.601
10.125	94.940	1.070	2.281	0.125	93.647
11.250	82.080	1.302	0.655	0.139	7.719
12.375	81.530	0.573	2.679	0.153	129.153
13.500	111.810	-0.655	4.385	0.167	346.102
14.625	137.980	-1.187	1.014	0.181	18.513
15.750	152.640	-0.470	2.936	0.194	155.209
16.875	188.370	0.534	0.057	0.208	0.059
18.000	160.820	1.056	1.993	0.222	71.526
19.125	169.730	-0.314	1.420	0.236	36.280
20.250	146.940	-0.358	2.356	0.250	99.914
21.375	109.430	-1.016	1.742	0.264	54.600
22.500	65.620	-0.121	0.570	0.278	5.848
23.625	63.770	-0.556	1.108	0.292	22.111
24.750	75.300	-0.389	0.961	0.306	16.631
25.875	133.370	1.491	1.245	0.319	27.889
27.000	145.290	1.410	4.089	0.333	300.949
28.125	174.970	-1.535	1.001	0.347	18.037
29.250	192.140	1.194	0.994	0.361	17.788
30.375	194.610	-1.174	1.439	0.375	37.294
31.500	175.960	1.297	0.842	0.389	12.760
32.625	147.430	-1.267	0.748	0.403	10.062
33.750	111.400	-0.846	3.921	0.417	276.762
34.875	85.320	1.325	1.493	0.431	40.132
36.000	70.530	0.000	1.208	0.444	26.259
37.125	81.500	-1.325	1.493	0.458	40.135
38.250	131.950	0.846	3.921	0.472	276.753
39.375	152.410	1.267	0.747	0.486	10.055
40.500	182.270	-1.297	0.842	0.500	12.765
41.625	193.810	1.173	1.439	0.514	37.294
42.750	180.910	-1.194	0.994	0.528	17.780
43.875	156.900	1.535	1.001	0.542	18.031
45.000	130.810	-1.410	4.089	0.556	300.952
46.125	94.130	-1.491	1.245	0.569	27.881
47.250	84.080	0.389	0.961	0.583	16.626
48.375	73.930	0.556	1.108	0.597	22.109
49.500	105.390	0.121	0.570	0.611	5.846
50.625	144.970	1.016	1.742	0.625	54.612

(Continuacion)

TABLA IV.4.4

TRANSFORMADAS DE FOURIER
EVAPOTRANSPIRACION EN MM
PERIODO DE 1975 A 1980

I	EVAPOT	FI	A(I)	f	Sx
51.750	167.610	0.358	2.356	0.639	99.939
52.875	188.520	0.314	1.420	0.653	36.290
54.000	198.700	-1.056	1.993	0.667	71.532
55.125	184.140	-0.536	0.057	0.681	0.059
56.250	160.220	0.470	2.936	0.694	155.214
57.375	126.660	1.187	1.014	0.708	18.514
58.500	89.380	0.655	4.385	0.722	346.130
59.625	84.500	-0.573	2.679	0.736	129.144
60.750	85.030	-1.302	0.655	0.750	7.723
61.875	137.840	-1.070	2.281	0.764	93.625
63.000	148.220	-1.154	2.410	0.778	104.574
64.125	173.810	-0.982	3.733	0.792	250.884
65.250	200.640	0.215	56.357	0.806	57169.700
66.375	189.410	-0.258	3.471	0.819	216.871
67.500	160.490	-0.805	1.782	0.833	57.182
68.625	122.620	0.990	4.519	0.847	367.533
69.750	94.530	1.129	1.207	0.861	26.205
70.875	80.150	1.536	4.346	0.875	339.956
72.000	0.000	0.000	271.242	0.8891324302	0.000

I= Tiempo en meses

EVAPOT= Evapotranspiracion en mm

FI= Angulo de defasamiento de la onda senoidal

A(I)= Amplitud de la onda senoidal en mm

f= Frecuencia 1/seg

Sx= Densidad espectral (m2).seg

Valores calculados a partir de la ecuacion III.3.1

E.N.E.P. ACATLAN
TESIS PROFESIONAL
ELOY CORNEJO PEREZ

TABLA IV.4.5

TRANSFORMADAS DE FOURIER
 PRECIPITACION EN MM
 PERIODO DE 1975 A 1980

I	PRECIP	FI	A(I)	f	Sx
0.000	6.000	0.000	50.459	0.000	45829.970
1.125	9.313	1.150	14.311	0.014	3686.467
2.250	0.875	-0.612	10.205	0.028	1874.482
3.375	0.313	-1.398	9.542	0.042	1639.033
4.500	0.000	-1.519	3.318	0.056	198.179
5.625	51.875	-0.646	6.691	0.069	805.943
6.750	103.250	0.722	23.021	0.083	9539.743
7.875	128.375	1.082	7.217	0.097	937.563
9.000	14.500	-1.535	11.531	0.111	2393.429
10.125	4.438	0.023	0.805	0.125	11.652
11.250	27.875	0.844	8.805	0.139	1395.414
12.375	3.500	-0.742	0.921	0.153	15.265
13.500	15.500	1.233	8.674	0.167	1354.407
14.625	51.875	0.949	9.664	0.181	1681.079
15.750	44.750	-0.723	13.579	0.194	3318.886
16.875	19.188	1.032	5.122	0.208	472.162
18.000	217.000	-0.672	6.657	0.222	797.668
19.125	4.688	-1.348	6.933	0.236	865.087
20.250	29.500	1.373	6.202	0.250	692.393
21.375	70.938	-1.372	11.981	0.264	2583.645
22.500	83.250	0.102	11.491	0.278	2376.616
23.625	15.563	-1.084	9.578	0.292	1651.331
24.750	7.875	-0.300	9.591	0.306	1655.815
25.875	0.813	1.536	8.046	0.319	1165.208
27.000	11.000	-1.177	2.174	0.333	85.088
28.125	3.875	-1.469	8.727	0.347	1370.844
29.250	7.500	-0.192	3.616	0.361	235.298
30.375	7.125	-0.995	5.094	0.375	467.124
31.500	31.500	-0.125	8.621	0.389	1337.924
32.625	33.375	1.566	7.160	0.403	922.749
33.750	6.750	-0.511	8.577	0.417	1324.105
34.875	2.188	1.442	7.688	0.431	1063.963
36.000	5.500	-0.000	5.494	0.444	543.340
37.125	1.750	-1.442	7.688	0.458	1063.956
38.250	2.125	0.511	8.577	0.472	1324.108
39.375	6.438	-1.566	7.160	0.486	922.757
40.500	7.500	0.125	8.621	0.500	1337.915
41.625	5.125	0.995	5.094	0.514	467.119
42.750	55.000	0.192	3.615	0.528	235.292
43.875	95.750	1.469	8.727	0.542	1370.850
45.000	21.500	1.177	2.174	0.556	85.086
46.125	11.938	-1.536	8.046	0.569	1165.217
47.250	2.125	0.300	9.591	0.583	1655.830
48.375	4.000	1.084	9.578	0.597	1651.333
49.500	11.250	-0.102	11.491	0.611	2376.626
50.625	13.813	1.372	11.981	0.625	2583.651

(Continuacion)

TABLA IV.4.5

TRANSFORMADAS DE FOURIER
PRECIPITACION EN MM
PERIODO DE 1975 A 1980

I	PRECIP	FI	A(I)	f	Sx
51.750	7.250	-1.373	8.202	0.639	692.408
52.875	31.438	1.348	6.933	0.653	865.092
54.000	0.000	0.672	6.657	0.667	797.672
55.125	10.813	-1.032	5.122	0.681	472.163
56.250	36.000	0.723	13.579	0.694	3318.881
57.375	3.938	-0.949	9.664	0.708	1681.078
58.500	26.500	-1.233	8.874	0.722	1354.415
59.625	15.938	0.742	0.921	0.736	15.264
60.750	12.000	-0.844	8.805	0.750	1395.400
61.875	2.000	-0.023	0.805	0.764	11.652
63.000	0.000	1.535	11.531	0.778	2393.453
64.125	21.000	-1.082	7.217	0.792	937.552
65.250	0.000	-0.722	23.021	0.806	9539.736
66.375	42.563	0.646	6.691	0.819	805.961
67.500	80.000	1.519	3.318	0.833	198.181
68.625	38.063	1.396	9.542	0.847	1639.043
69.750	21.375	0.612	10.205	0.861	1874.497
70.875	7.438	-1.150	14.311	0.875	3686.472

I= Tiempo en meses

PRECIP= Precipitacion en mm

FI= Angulo de defasamiento de la onda senoidal

A(I)= Amplitud de la onda senoidal en mm

f= Frecuencia 1/seg

Sx= Densidad espectral (m2).seg

Valores calculados a partir de la ecuacion III.3.1

TESIS PROFESIONAL
ELOY CORNEJO PEREZ
E.N.E.P. ACATLAN

TABLA IV.4.6

ONDAS SENOIDALES EVAPOTRANSPIRACION

MES	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	SUM
PERIODO DE 1975 A 1980							
0.000	0.151	0.516	55.059	3.478	2.207	0.655	73.555
1.125	0.580	0.721	52.509	3.793	0.379	-3.323	80.962
2.250	1.002	0.897	32.396	-0.591	-2.355	4.033	100.238
3.375	1.415	1.038	1.449	-4.243	0.540	-2.368	137.789
4.500	1.814	1.139	-29.983	-2.638	2.144	-0.693	163.837
5.625	2.196	1.195	-51.387	2.235	-1.376	3.345	179.413
6.750	2.555	1.205	-55.605	4.339	-1.607	-4.027	188.760
7.875	2.890	1.168	-41.226	1.067	2.003	2.336	167.383
9.000	3.197	1.085	-13.059	-3.527	0.826	0.731	146.370
10.125	3.472	0.959	19.475	-3.751	-2.325	-3.367	121.158
11.250	3.713	0.796	45.496	0.672	0.082	4.020	80.841
12.375	3.918	0.603	56.301	4.263	2.293	-2.304	70.547
13.500	4.085	0.385	48.276	2.572	-0.977	-0.769	82.048
14.625	4.211	0.153	24.106	-2.306	-1.912	3.389	107.981
15.750	4.297	-0.086	-0.127	-4.327	1.723	-4.012	146.153
16.875	4.340	-0.321	-37.642	-0.987	1.240	2.272	166.717
18.000	4.341	-0.543	-54.567	3.576	-2.207	0.806	184.215
19.125	4.300	-0.745	-53.243	3.708	-0.379	-3.410	185.390
20.250	4.216	-0.917	-34.111	-0.754	2.355	4.005	160.828
21.375	4.091	-1.053	-3.572	-4.282	-0.540	-2.240	143.716
22.500	3.926	-1.149	28.163	-2.504	-2.144	-0.844	110.173
23.625	3.723	-1.199	50.478	2.376	1.376	3.431	75.436
24.750	3.483	-1.203	55.911	4.312	1.607	-3.997	75.507
25.875	3.209	-1.159	42.645	0.906	-2.003	2.208	89.816
27.000	2.904	-1.071	15.116	-3.623	-0.826	0.882	122.238
28.125	2.570	-0.940	-17.468	-3.663	2.325	-3.452	156.249
29.250	2.211	-0.773	-44.210	0.835	-0.082	3.989	173.651
30.375	1.831	-0.576	-56.166	4.299	-2.293	-2.175	190.703
31.500	1.433	-0.356	-49.338	2.436	0.977	-0.919	181.389
32.625	1.020	-0.123	-26.008	-2.445	1.912	3.472	157.792
33.750	0.598	0.116	6.019	-4.297	-1.723	-3.980	138.887
34.875	0.170	0.350	36.034	-0.825	-1.240	2.143	98.990
36.000	-0.260	0.570	53.997	3.669	2.207	0.957	74.481
37.125	-0.688	0.768	53.901	3.617	0.379	-3.493	81.136
38.250	-1.108	0.936	35.778	-0.916	-2.355	3.971	99.315
39.375	-1.518	1.068	5.689	-4.314	0.540	-2.110	136.267
40.500	-1.913	1.158	-26.303	-2.367	2.144	-0.994	163.896
41.625	-2.289	1.202	-49.498	2.513	-1.376	3.513	181.556
42.750	-2.643	1.200	-56.138	4.279	-1.607	-3.962	194.491
43.875	-2.971	1.151	-44.003	0.744	2.003	2.077	176.621
45.000	-3.270	1.057	-17.152	-3.713	0.826	1.032	156.842
46.125	-3.537	0.921	15.436	-3.570	-2.325	-3.532	132.227
47.250	-3.769	0.750	42.861	0.997	0.082	3.952	90.748
48.375	-3.964	0.549	55.952	4.328	2.293	-2.043	78.506
49.500	-4.121	0.327	50.329	2.297	-0.977	-1.069	88.834
50.625	-4.237	0.092	27.874	-2.580	-1.912	3.551	112.833

(Continuacion)

TABLA IV. 4. 6

ONDAS SENOIDALES EVAPOTRANSPIRACION

MES	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	SUM
PERIODO DE 1975 A 1980							
51.750	-4.312	-0.146	-3.903	-4.261	1.723	-3.942	150.462
52.875	-4.344	-0.379	-34.375	-0.662	1.240	2.010	172.132
54.000	-4.335	-0.597	-53.351	3.757	-2.207	1.106	191.247
55.125	-4.282	-0.791	-54.483	3.521	-0.379	-3.570	195.606
56.250	-4.188	-0.955	-37.394	-1.077	2.355	3.931	172.949
57.375	-4.053	-1.082	-7.798	-4.341	-0.540	-1.976	155.410
58.500	-3.878	-1.166	24.405	-2.226	-2.144	-1.143	121.773
59.625	-3.665	-1.205	48.447	2.647	1.376	3.589	84.432
60.750	-3.417	-1.196	56.285	4.240	1.607	-3.921	82.022
61.875	-3.134	-1.141	45.299	0.580	-2.003	1.942	94.078
63.000	-2.822	-1.042	19.163	-3.799	-0.826	1.180	123.765
64.125	-2.481	-0.901	-13.382	-3.471	2.325	-3.607	157.139
65.250	-2.117	-0.726	-41.452	1.157	-0.082	3.909	174.930
66.375	-1.731	-0.522	-55.658	4.352	-2.293	-1.908	193.382
67.500	-1.329	-0.298	-51.249	2.155	0.977	-1.217	186.583
68.625	-0.914	-0.062	-29.701	-2.712	1.912	3.625	163.472
69.750	-0.489	0.176	1.781	-4.218	-1.723	-3.898	143.992
70.875	-0.060	0.408	32.668	-0.498	-1.240	1.874	102.470

Valores calculado a partir de la ecuacion III.3.12

E. N. E. P. ACATLAN
TESIS PROFESIONAL
ELOY CORNEJO PEREZ

=====
TABLA IV.4.7
 =====

ONDAS SENOIDALES PRECIPITACION

MES	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	SUM
PERIODO DE 1975 A 1980							
0.000	5.846	8.353	17.277	2.875	1.219	0.834	-11.174
1.125	4.527	9.343	5.965	-6.474	-6.202	0.834	17.237
2.250	3.163	9.968	-7.342	-7.802	1.201	-2.012	28.053
3.375	1.769	10.203	-18.193	0.537	5.733	2.004	23.177
4.500	0.357	10.041	-22.960	8.211	-3.438	-0.815	33.835
5.625	-1.058	9.486	-20.048	5.711	-4.392	-0.853	36.383
6.750	-2.463	8.561	-10.431	-3.864	5.152	2.019	26.255
7.875	-3.844	7.302	2.675	-8.652	2.382	-1.995	27.362
9.000	-5.187	5.757	14.886	-2.720	-6.081	0.796	17.778
10.125	-6.479	3.988	22.118	6.582	-0.009	0.872	-1.843
11.250	-7.708	2.063	21.953	7.729	6.085	-2.027	-2.866
12.375	-8.862	0.058	14.446	-0.700	-2.365	1.987	20.665
13.500	-9.929	-1.950	2.107	-8.262	-5.162	-0.777	49.201
14.625	-10.898	-3.881	-10.936	-5.587	4.379	-0.891	53.044
15.750	-11.761	-5.661	-20.322	4.010	3.453	2.034	53.477
16.875	-12.509	-7.220	-22.911	8.639	-5.726	-1.979	66.937
18.000	-13.135	-8.497	-17.838	2.564	-1.219	0.758	62.597
19.125	-13.632	-9.443	-6.799	-6.687	6.202	0.910	54.679
20.250	-13.996	-10.019	6.514	-7.653	-1.201	-2.041	53.626
21.375	-14.222	-10.205	17.649	0.863	-5.733	1.970	34.908
22.500	-14.310	-9.992	22.881	8.310	3.438	-0.739	15.641
23.625	-14.257	-9.389	20.460	5.461	4.392	-0.928	19.491
24.750	-14.065	-8.419	11.197	-4.154	-5.152	2.048	43.775
25.875	-13.736	-7.120	-1.811	-8.622	-2.382	-1.962	60.862
27.000	-13.272	-5.544	-14.213	-2.408	6.081	0.719	53.866
28.125	-12.678	-3.751	-21.862	6.790	0.009	0.947	55.774
29.250	-11.960	-1.812	-22.199	7.575	-6.085	-2.055	61.764
30.375	-11.125	0.197	-15.111	-1.026	2.365	1.953	47.975
31.500	-10.181	2.201	-2.970	-8.356	5.162	-0.700	40.073
32.625	-9.138	4.117	10.165	-5.333	-4.379	-0.965	30.762
33.750	-8.005	5.873	19.900	4.297	-3.453	2.062	4.556
34.875	-6.793	7.399	22.980	8.603	5.726	-1.944	-10.742
36.000	-5.516	8.637	18.374	2.250	1.219	0.681	-0.415
37.125	-4.184	9.537	7.623	-6.891	-6.202	0.983	24.363
38.250	-2.811	10.065	-5.677	-7.494	1.201	-2.068	32.014
39.375	-1.411	10.200	-17.079	1.188	5.733	1.934	24.665
40.500	0.003	9.936	-22.769	8.398	-3.438	-0.661	33.760
41.625	1.416	9.285	-20.843	5.203	-4.392	-1.002	35.562
42.750	2.816	8.271	-11.947	-4.438	5.152	2.074	23.301
43.875	4.189	6.934	0.945	-8.581	2.382	-1.925	21.285
45.000	5.520	5.327	13.521	-2.092	-6.081	0.642	8.393
46.125	6.798	3.511	21.575	6.989	-0.009	1.020	-14.654
47.250	8.009	1.559	22.413	7.410	6.085	-2.080	-18.166
48.375	9.141	-0.455	15.755	-1.350	-2.365	1.915	2.587
49.500	10.185	-2.451	3.828	-8.437	-5.162	-0.622	27.889
50.625	11.128	-4.351	-9.379	-5.071	4.379	-1.038	29.561

=====

(Continuacion)

TABLA IV.4.7

ONDAS SENOIDALES PRECIPITACION

MES	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	SUM
PERIODO DE 1975 A 1980							
51.750	11.963	-6.081	-19.450	4.578	3.453	2.086	28.680
52.875	12.680	-7.574	-23.015	8.555	-5.726	-1.905	42.215
54.000	13.274	-8.771	-18.884	1.933	-1.219	0.602	38.294
55.125	13.737	-9.625	-8.436	-7.084	6.202	1.056	29.381
56.250	14.066	-10.104	4.832	-7.324	-1.201	-2.092	27.052
57.375	14.258	-10.188	16.485	1.511	-5.733	1.895	7.002
58.500	14.310	-9.875	22.624	8.474	3.438	-0.583	-13.159
59.625	14.222	-9.176	21.197	4.938	4.392	-1.074	-9.270
60.750	13.995	-8.118	12.680	-4.716	-5.152	2.097	14.444
61.875	13.630	-6.744	-0.077	-8.527	-2.382	-1.885	31.214
63.000	13.133	-5.106	-12.809	-1.773	6.081	0.563	25.141
64.125	12.507	-3.269	-21.257	7.178	0.009	1.091	28.971
65.250	11.759	-1.305	-22.595	7.235	-6.085	-2.103	38.323
66.375	10.895	0.711	-16.377	-1.672	2.365	1.875	27.431
67.500	9.925	2.699	-4.681	-8.507	5.162	-0.543	21.175
68.625	8.858	4.581	8.580	-4.803	-4.379	-1.109	13.501
69.750	7.704	6.285	18.972	4.852	-3.453	2.108	-11.238
70.875	6.475	7.743	23.018	8.495	5.726	-1.865	-24.364

Valores calculado a partir de la ecuacion III.3.12

E.N.E.P. ACATLAN
TESIS PROFESIONAL
ELOY CORNEJO PEREZ

modelo de regresión. Cada tabla corresponde a los pozos 2, 6 y 8 respectivamente.

La reproducción grafica de los N.E. para el periodo de 1975 a 1980, se puede ver en las figuras IV.4.J, IV.4.K, y IV.4.L, correspondientes a los pozos 02, 04 y 08 respectivamente.

Con la construcción de las tablas IV.4.8, IV.4.9 y IV.4.10 o bien con la elaboración de las figuras anteriores, se llega finalmente al cumplimiento del objetivo planteado para este trabajo.

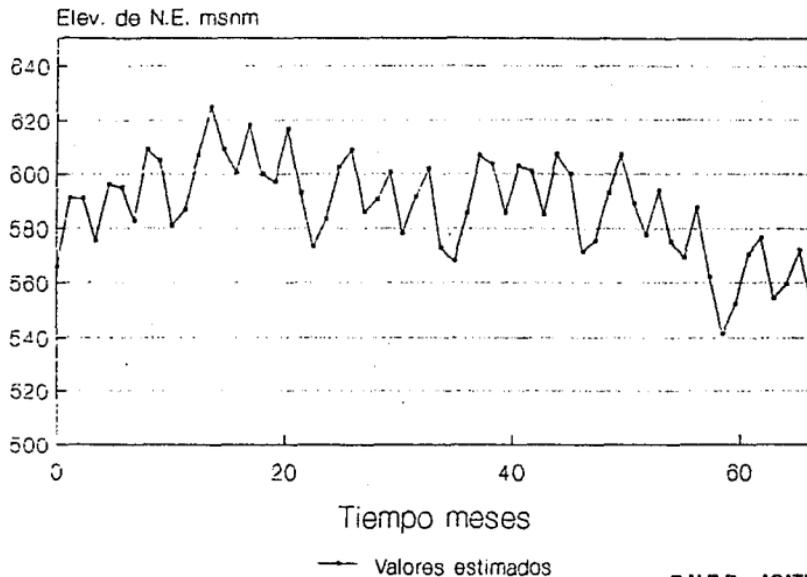
A lo largo del desarrollo de este capítulo se observa que en la etapa de "elaboración", se trabaja con una muestra sumamente pequeña, mas en cambio, para la etapa de "calibración" se tienen resultados satisfactorios y finalmente en la etapa de la "predicción" los resultados son poco satisfactorios, por la forma gráfica que se adquiere en los N.E. proyectados o estimados.

Así como se sustituyeron datos para proyectar en el periodo 1975 a 1980, pueden suponerse datos de EVAPOT y PRECIP para un periodo deseado como puede ser del año 1995 al 2000.

Para ello se procede de igual forma como se hizo para el periodo 1975 a 1980. Una vez dados los registros se transforman, posteriormente se descompone el espectro en sus ondas senoidales principales, para luego entonces sustituir estos últimos en cada modelo y obtener así con la suma de ellos la predicción de ELEV. de N.E. para el periodo seleccionado.

N.E. ESTIMADO POZO 02

PERIODO 1975-1980



F.G. IV.4.J.- Muestra el N.E. estimado
por un modelo matemático.

E.N.E.P. ACATLAN
TESIS PROFESIONAL
ELOY CORNEJO PEREZ

N.E. ESTIMADO POZO 06

PERIODO 1958-1963

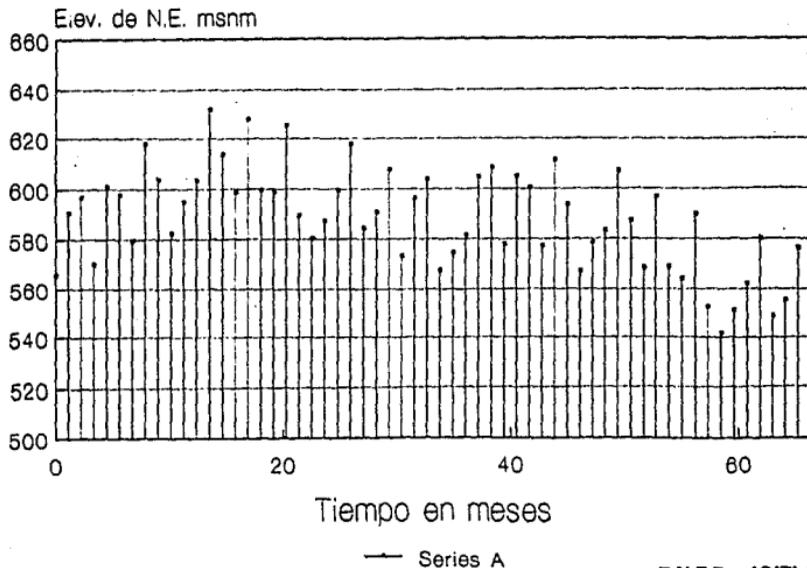


FIG.IV.4.K.- Muestra el N.E. obtenido a partir de un modelo matematico.

E.N.E.P. ACATLAN
TESIS PROFESIONAL
ELOY CORNEJO PEREZ

N.E. ESTIMADO POZO 08

PERIDO 1975 A 1980

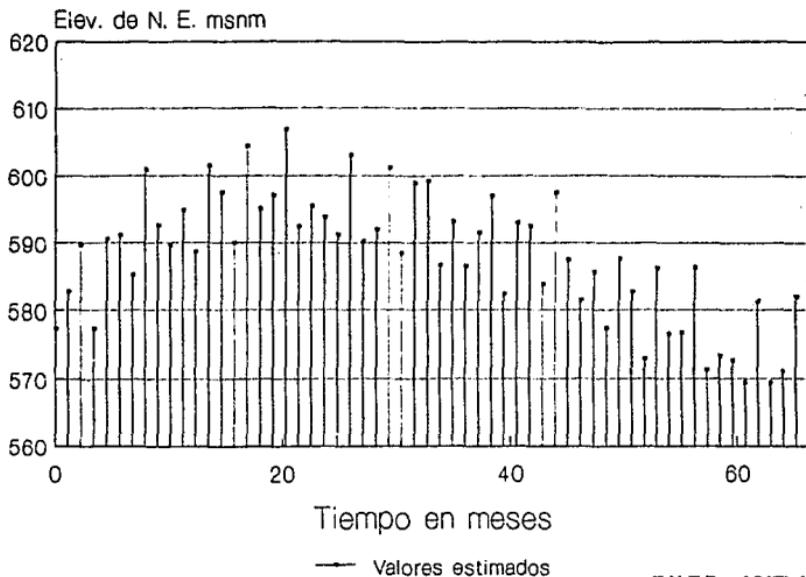


FIG.IV.4.L.- Muestra el N.E. estimado a partir de un modelo matematico.

E.N.E.P. ACATLAN
TESIS PROFESIONAL
ELOY CORNEJO PEFEZ

=====
TABLA IV.4.B
 =====

V A L O R E S T I M A D O

NIVEL ESTATICO POZO 02

PERIODO DE 1975 A 1980

I	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	VALOR ESTIMADO
0.000	9.212	5.223	3.189	2.868	-2.578	2.220	565.907
1.125	7.914	2.920	-0.778	-7.323	-10.064	2.259	591.112
2.250	6.539	0.503	-4.483	-8.441	6.505	-5.460	590.878
3.375	5.100	-1.934	-6.687	0.899	7.526	5.459	575.677
4.500	3.611	-4.295	-6.653	9.126	-9.441	-2.227	595.920
5.625	2.087	-6.489	-4.393	6.046	-3.842	-2.302	594.933
6.750	0.542	-8.429	-0.661	-4.525	10.940	5.490	582.683
7.875	-1.008	-10.040	3.293	-9.489	-0.427	-5.428	609.139
9.000	-2.548	-11.259	6.147	-2.694	-10.774	2.184	604.986
10.125	-4.063	-12.039	6.947	7.437	4.630	2.362	580.765
11.250	-5.539	-12.348	5.425	8.356	8.967	-5.501	586.679
12.375	-6.959	-12.175	2.091	-1.078	-8.129	5.415	606.876
13.500	-8.312	-11.527	-1.941	-9.176	-5.795	-2.123	624.917
14.625	-9.584	-10.429	-5.323	-5.905	10.390	-2.404	609.296
15.750	-10.762	-8.924	-6.923	4.682	1.741	5.530	600.695
16.875	-11.835	-7.070	-6.205	9.469	-11.070	-5.383	618.135
18.000	-12.792	-4.940	-3.411	2.523	2.578	2.080	600.002
19.125	-13.623	-2.617	0.525	-7.548	10.064	2.464	596.777
20.250	-14.322	-0.193	4.288	-8.268	-6.505	-5.541	616.580
21.375	-14.880	2.240	6.618	1.256	-7.526	5.369	592.963
22.500	-15.293	4.585	6.736	9.224	9.441	-2.019	573.366
23.625	-15.556	6.751	4.603	5.763	3.842	-2.505	583.142
24.750	-15.664	8.653	0.932	-4.838	-10.940	5.569	602.331
25.875	-15.624	10.218	-3.049	-9.445	0.427	-5.336	608.850
27.000	-15.428	11.383	-6.009	-2.350	10.774	1.976	585.695
28.125	-15.082	12.104	-6.957	7.657	-4.630	2.565	590.384
29.250	-14.588	12.333	-5.577	8.177	-8.967	-5.578	600.222
30.375	-13.951	12.119	-2.331	-1.435	8.129	5.322	578.187
31.500	-13.178	11.412	1.697	-9.268	5.795	-1.914	591.496
32.625	-12.276	10.259	5.159	-5.619	-10.390	-2.606	601.513
33.750	-11.254	8.706	6.897	4.992	-1.741	5.606	572.834
34.875	-10.121	6.813	6.330	9.418	-11.070	-5.288	567.819
36.000	-8.890	4.654	3.647	2.175	-2.578	1.870	585.162
37.125	-7.571	2.313	-0.253	-7.763	-10.064	2.665	606.714
38.250	-6.179	-0.118	-4.068	-8.083	6.505	-5.614	603.597
39.375	-4.726	-2.544	-6.520	1.612	7.526	5.272	585.421
40.500	-3.227	-4.872	-6.790	9.309	-9.441	-1.808	602.869
41.625	-1.696	-7.009	-4.788	5.472	-3.842	-2.705	600.607
42.750	-0.148	-8.872	-1.182	-5.145	10.940	5.640	584.807
43.875	1.400	-10.389	2.820	-9.388	-0.427	-5.237	607.260
45.000	2.936	-11.500	5.881	-1.999	-10.774	1.764	599.733
46.125	4.442	-12.162	6.977	7.866	4.630	2.764	571.524
47.250	5.905	-12.350	5.740	7.986	8.967	-5.648	575.440
48.375	7.310	-12.055	2.586	-1.789	-8.129	5.220	592.897
49.500	8.644	-11.290	-1.432	-9.347	-5.795	-1.702	606.962
50.625	9.893	-10.083	-4.969	-5.324	10.390	-2.804	588.937

=====

(Continuacion)

TABLA IV.4.8

VALOR ESTIMADO

NIVEL ESTATICO POZO 02

PERIODO DE 1975 A 1980

I	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	VALDR ESTIMADO
51.750	11.045	-8.483	-6.843	5.295	1.741	5.673	577.612
52.875	12.089	-6.552	-6.427	9.354	-11.070	-5.185	593.830
54.000	13.015	-4.365	-3.859	1.823	2.578	1.658	575.191
55.125	13.814	-2.008	0.000	-7.966	10.064	2.862	569.275
56.250	14.477	0.428	3.861	-7.886	-6.505	-5.679	587.344
57.375	14.999	2.847	6.432	1.965	-7.526	5.167	562.155
58.500	15.374	5.155	6.854	9.381	9.441	-1.595	541.430
59.625	15.598	7.262	4.985	5.174	3.842	-2.901	552.080
60.750	15.670	9.085	1.450	-5.444	-10.940	5.704	570.515
61.875	15.589	10.554	-2.568	-9.317	0.427	-5.130	576.487
63.000	15.355	11.610	-5.726	-1.646	10.774	1.550	554.124
64.125	14.971	12.213	-6.967	8.064	-6.630	2.959	559.431
65.250	14.440	12.339	-5.876	7.783	-8.967	-5.709	572.031
66.375	13.768	11.984	-2.819	-2.141	8.129	5.112	552.008
67.500	12.961	11.160	1.183	-9.412	5.795	-1.487	565.841
68.625	12.028	9.901	4.791	-5.022	-10.390	-2.998	577.731
69.750	10.976	8.255	6.798	5.591	-1.741	5.732	550.430
70.875	9.818	6.287	6.533	9.276	11.070	-5.074	548.131

I= Tiempo en meses

Y1= Calculado con la ecuacion IV.4.7

Y2= Calculados con la ecuacion IV.4.8

Y3= Calculados con la ecuacion IV.4.9

Y4= Calculados con la ecuacion IV.4.10

Y5= Calculados con la ecuacion IV.4.11

Y6= Calculados con la ecuacion IV.4.12

VALOR ESTIMADO = Sumatoria de Y1 hasta Y6; representa la Elev. de N.E.

E.N.E.P. ACATLAN
TESIS PROFESIONAL
ELOY CORNEJO PEREZ

TABLA IV.4.9

V A L O R E S T I M A D O

NIVEL ESTATICO POZO 06

PERIODO DE 1975 A 1980

I	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	VALOR ESTIMADO
0.000	9.212	5.223	3.189	2.868	-2.578	2.220	565.907
1.125	7.914	2.920	-0.778	-7.323	-10.064	3.353	590.018
2.250	6.539	0.503	-4.483	-8.441	6.505	-10.838	596.256
3.375	5.100	-1.934	-6.687	0.899	7.526	11.954	569.183
4.500	3.611	-4.295	-6.653	9.126	-9.441	-6.012	599.705
5.625	2.087	-6.489	-4.393	6.046	-3.842	-3.456	596.087
6.750	0.542	-8.429	-0.661	-4.525	10.940	10.904	577.270
7.875	-1.008	-10.040	3.293	-9.489	-0.427	-11.912	615.623
9.000	-2.548	-11.259	6.147	-2.696	-10.774	5.918	601.252
10.125	-4.063	-12.039	6.947	7.437	4.630	3.578	579.550
11.250	-5.538	-12.348	5.425	8.356	8.967	-10.950	592.128
12.375	-6.959	-12.175	2.091	-1.078	-8.129	11.887	600.404
13.500	-8.312	-11.527	-1.941	-9.176	-5.795	-5.806	628.599
14.625	-9.584	-10.429	-5.323	-5.905	10.390	-3.680	610.572
15.750	-10.762	-8.924	-6.923	4.682	1.741	11.014	595.211
16.875	-11.835	-7.070	-6.205	9.469	-11.843	-11.843	624.595
18.000	-12.792	-4.940	-3.411	2.523	2.578	5.711	596.371
19.125	-13.623	-2.617	0.525	-7.548	10.064	3.801	595.439
20.250	-14.322	-0.193	4.288	-8.268	-6.505	-11.059	622.098
21.375	-14.880	2.240	6.618	1.256	-7.526	11.817	586.515
22.500	-15.293	4.585	6.736	9.224	9.441	-5.598	576.945
23.625	-15.556	6.751	4.603	5.763	3.842	-3.903	584.541
24.750	-15.666	8.653	0.932	-4.838	-10.940	11.121	596.779
25.875	-15.624	10.218	-3.049	-9.445	0.427	-11.771	615.285
27.000	-15.428	11.383	-6.009	-2.350	10.774	5.502	582.168
28.125	-15.082	12.104	-6.957	7.657	-4.630	4.024	588.925
29.250	-14.588	12.353	-5.577	8.177	-8.967	-11.163	605.807
30.375	-13.951	12.119	-2.331	-1.435	8.129	11.742	571.767
31.500	-13.178	11.412	1.697	-9.268	5.795	-5.388	594.970
32.625	-12.276	10.259	5.159	-5.619	-10.390	-4.125	603.032
33.750	-11.254	8.706	6.897	4.992	-1.741	11.223	567.216
34.875	-10.121	6.813	6.330	9.418	11.070	-11.694	574.225
36.000	-8.890	4.654	3.647	2.175	-2.578	5.291	581.741
37.125	-7.571	2.313	-0.253	-7.763	-10.064	4.244	605.134
38.250	-6.179	-0.118	-4.068	-8.083	6.505	-11.264	609.247
39.375	-4.726	-2.544	-6.520	1.612	7.526	11.663	579.030
40.500	-3.227	-4.872	-6.790	9.309	-9.441	-5.176	606.237
41.625	-1.696	-7.009	-4.788	5.472	-3.842	-4.345	602.247
42.750	-0.148	-8.872	-1.182	-5.145	10.940	11.322	579.126
43.875	1.400	-10.389	2.820	-9.388	-0.427	-11.613	613.636
45.000	2.936	-11.500	5.881	-1.999	-10.774	5.078	596.419
46.125	4.442	-12.162	6.977	7.866	4.630	4.464	569.824
47.250	5.905	-12.350	5.740	7.986	8.967	-11.361	581.153
48.375	7.310	-12.055	2.586	-1.789	-8.129	11.580	586.537
49.500	8.644	-11.290	-1.432	-9.347	-5.795	-4.962	610.222
50.625	9.893	-10.083	-4.969	-5.324	10.390	-4.564	590.697

(Continuacion)

TABLA IV.4.9

=====

VALOR ESTIMADO

NIVEL ESTATICO POZO 06

PERIODO DE 1975 A 1980

I	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	VALOR ESTIMADO
51.750	11.045	-8.483	-6.843	5.295	1.741	11.417	571.869
52.875	12.089	-6.552	-6.427	9.354	-11.070	-11.528	600.173
54.000	13.015	-4.365	-3.859	1.823	2.578	4.864	571.985
55.125	13.814	-2.008	0.000	-7.966	10.064	4.682	567.455
56.250	14.477	0.428	3.861	-7.886	-6.505	-11.453	593.117
57.375	14.999	2.847	6.432	1.965	-7.526	11.493	555.829
58.500	15.374	5.155	6.854	9.381	9.441	-4.746	544.581
59.625	15.598	7.262	4.985	5.174	3.842	-4.781	553.960
60.750	15.670	9.085	1.450	-5.444	-10.940	11.507	564.712
61.875	15.589	10.554	-2.568	-9.317	0.427	-11.439	582.795
63.000	15.355	11.610	-5.726	-1.646	10.774	4.647	551.027
64.125	14.971	12.213	-6.967	8.064	-4.630	4.898	557.492
65.250	14.440	12.339	-5.876	7.783	-8.967	-11.542	577.863
66.375	13.768	11.984	-2.819	-2.141	8.129	11.402	545.718
67.500	12.961	11.160	1.183	-9.412	5.795	-4.529	568.883
68.625	12.028	9.901	4.791	-5.022	-10.390	-4.996	579.730
69.750	10.976	8.255	6.798	5.591	-1.741	11.594	544.568
70.875	9.818	6.287	6.533	9.276	11.070	-11.345	554.402

I= Tiempo en meses

Y1= Calculado con la ecuacion IV.4.7

Y2= Calculados con la ecuacion IV.4.8

Y3= Calculados con la ecuacion IV.4.9

Y4= Calculados con la ecuacion IV.4.10

Y5= Calculados con la ecuacion IV.4.11

Y6= Calculados con la ecuacion IV.4.12

VALOR ESTIMADO = Sumatoria de Y1 hasta Y6; representa
la Elev. de N.E.

E. N. E. P. ACATLAN
TESIS PROFESIONAL
ELOY CORNEJO PEREZ

TABLA IV.4.10

VALOR ESTIMADO

NIVEL ESTATICO POZO 08

PERIODO DE 1975 A 1980

I	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	VALOR ESTIMADO
0.000	5.626	0.800	1.751	0.911	0.005	0.766	577.386
1.125	4.679	0.267	1.712	-1.599	-1.966	1.490	582.663
2.250	3.686	-0.276	1.100	-2.128	0.762	-5.517	589.620
3.375	2.656	-0.808	0.120	-0.021	1.669	6.294	577.336
4.500	1.601	-1.309	-0.900	2.112	-1.413	-3.362	590.517
5.625	0.530	-1.759	-1.619	1.628	-1.118	-1.549	591.133
6.750	-0.546	-2.140	-1.796	-0.873	1.849	5.549	585.204
7.875	-1.617	-2.437	-1.373	-2.293	0.396	-6.279	600.849
9.000	-2.672	-2.640	-0.491	-0.871	-2.003	3.310	592.613
10.125	-3.701	-2.739	0.556	1.630	0.385	1.609	589.506
11.250	-4.694	-2.731	1.417	2.111	1.853	-5.580	594.869
12.375	-5.640	-2.617	1.804	-0.023	-1.108	6.264	588.567
13.500	-6.532	-2.400	1.587	-2.129	-1.420	-3.258	601.398
14.625	-7.360	-2.090	0.840	-1.597	1.663	-1.667	597.457
15.750	-8.115	-1.698	-0.188	0.913	0.772	5.611	589.952
16.875	-8.791	-1.240	-1.153	2.292	-1.964	-6.248	604.350
18.000	-9.382	-0.733	-1.733	0.831	-0.005	3.205	595.063
19.125	-9.880	-0.198	-1.733	-1.660	1.966	1.727	597.024
20.250	-10.282	0.345	-1.153	-2.094	-0.762	-5.641	606.833
21.375	-10.583	0.874	-0.188	0.066	-1.669	6.232	592.514
22.500	-10.780	1.369	0.840	2.144	1.413	-3.151	595.411
23.625	-10.872	1.811	1.587	1.566	1.118	-1.785	593.821
24.750	-10.858	2.182	1.804	-0.953	-1.849	5.671	591.249
25.875	-10.737	2.468	1.417	-2.291	-0.396	-6.215	603.000
27.000	-10.512	2.658	0.556	-0.791	2.003	3.098	590.233
28.125	-10.183	2.744	-0.491	1.689	-0.385	1.844	592.028
29.250	-9.755	2.722	-1.373	2.076	-1.853	-5.699	601.128
30.375	-9.231	2.595	-1.796	-0.109	1.108	6.198	588.482
31.500	-8.617	2.366	-1.619	-2.159	1.420	-3.044	598.900
32.625	-7.919	2.044	-0.900	-1.534	-1.663	-1.902	599.120
33.750	-7.143	1.643	0.120	0.992	-0.772	5.728	586.678
34.875	-6.298	1.178	1.100	2.289	1.964	-6.180	593.193
36.000	-5.390	0.667	1.712	0.750	0.005	2.991	586.512
37.125	-4.430	0.129	1.751	-1.718	-1.966	1.961	591.519
38.250	-3.427	-0.413	1.205	-2.058	0.762	-5.756	596.933
39.375	-2.390	-0.939	0.256	0.152	1.669	6.161	582.337
40.500	-1.330	-1.429	-0.779	2.173	-1.413	-2.936	592.959
41.625	-0.256	-1.863	-1.553	1.502	-1.118	-2.018	592.552
42.750	0.820	-2.224	-1.808	-1.031	1.849	5.784	583.856
43.875	1.887	-2.498	-1.458	-2.286	0.396	-6.142	597.347
45.000	2.937	-2.675	-0.621	-0.709	-2.003	2.882	587.435
46.125	3.957	-2.747	0.425	1.746	0.385	2.077	581.403
47.250	4.939	-2.712	1.328	2.038	1.853	-5.811	585.611
48.375	5.873	-2.571	1.787	-0.195	-1.108	6.123	577.339
49.500	6.749	-2.330	1.648	-2.187	-1.420	-2.827	587.613
50.625	7.559	-1.998	0.959	-1.469	1.663	-2.134	582.666

(Continuacion)

TABLA IV.4.10

VALOR ESTIMADO

NIVEL ESTADICO POZO 08

PERIODO DE 1975 A 1980

I	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	VALOR ESTIMADO
51.750	8.295	-1.587	-0.052	1.069	0.772	5.838	572.911
52.875	8.950	-1.115	-1.045	2.282	-1.964	-6.102	586.240
54.000	9.517	-0.599	-1.688	0.668	-0.005	2.772	576.582
55.125	9.991	-0.060	-1.767	-1.774	1.966	2.192	576.698
56.250	10.368	0.481	-1.255	-2.018	-0.762	-5.864	586.295
57.375	10.443	1.004	-0.323	0.238	-1.669	6.082	571.271
58.500	10.814	1.487	0.717	2.199	1.413	-2.717	573.332
59.625	10.879	1.913	1.517	1.435	1.118	-2.249	572.633
60.750	10.837	2.264	1.810	-1.107	-1.849	5.890	569.401
61.875	10.690	2.526	1.498	-2.278	-0.396	-6.060	581.267
63.000	10.438	2.690	0.684	-0.626	2.003	2.661	569.396
64.125	10.084	2.748	-0.358	1.801	-0.385	2.306	571.050
65.250	9.631	2.700	-1.280	1.997	-1.853	-5.915	581.966
66.375	9.084	2.546	-1.775	-0.281	1.108	6.039	570.525
67.500	8.448	2.292	-1.675	-2.211	1.420	-2.605	581.577
68.625	7.729	1.949	-1.016	-1.401	-1.663	-2.363	584.010
69.750	6.935	1.530	-0.016	1.145	-0.772	5.939	572.485
70.875	6.073	1.052	0.988	2.273	1.964	-6.016	580.913

I= Tiempo en meses

Y1= Calculado con la ecuacion IV.4.13

Y2= Calculados con la ecuacion IV.4.14

Y3= Calculados con la ecuacion IV.4.15

Y4= Calculados con la ecuacion IV.4.16

Y5= Calculados con la ecuacion IV.4.17

Y6= Calculados con la ecuacion IV.4.18

VALOR ESTIMADO = Sumatoria de Y1 hasta Y6; representa la Elev. de N.E.

E.N.E.P. ACATLAN
TESIS PROFESIONAL
ELOY CORNEJO PEREZ

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Para conocer las elevaciones del nivel estático en flujo turbulento, existen diversas transformaciones a la Ley de Darcy, pero a falta de difusión y más profundidad sobre el tema, no se aplican estas ecuaciones de Darcy modificadas. Los autores que presentan estas alternativas son entre otros los siguientes: Castany, Kashef y Ghislain Marsilly.

Siendo que el objetivo principal planteado para este trabajo es: "*Determinar las elevaciones del nivel estático en un acuífero en régimen turbulento, mediante el uso de la estadística*", se concluye el cumplimiento de este mismo y a continuación se hacen los siguientes comentarios.

El método estocástico para analizar el comportamiento de los niveles estáticos del agua subterránea en régimen turbulento, tiene grandes posibilidades de ser aplicado en una situación real, todo estará en función de la calidad de las muestras, del tamaño así como de la diversidad de las variables empleadas.

Se demostró que la formulación matemática del método sí tiene solución y sentido congruente de los resultados esperados.

Se vio que en el modelo de cada pozo, su respectivo coeficiente de correlación múltiple es casi perfecto.

A excepción de la precipitación, para todos los casos hubo una buena respuesta de la elaboración de los espectros, de la reconstrucción espectral y del modelo regresivo.

En la precipitación se tuvo el problema de que la muestra de datos fue muy insuficiente. En ella aparecía un pico extremo en comparación con los demás, a este respecto se concluye que si la muestra hubiera contenido cuando menos otro pico de esa misma magnitud o similar, entonces en el proceso de la transformada se podrá haber calculado la frecuencia de ocurrencia de esa lluvia extraordinaria, y luego entonces, el espectro de Fourier no se hubiera estandarizado y por lo tanto sí hubiera sido sensible a la señal aleatoria del perfil de precipitación, y con esto, la reconstrucción hubiera sido muy satisfactoria.

La precisión escasa en la reconstrucción espectral en el perfil de la precipitación fue demasiado influyente en los resultados finales. Siendo que en cada modelo solo se tenían dos variables

independientes, entonces, el porcentaje de participación entre cada una de ellas es del 50% (porcentaje demaciado significativo), por lo que si alguna de ellas resulta no satisfactoria, los resultados serán también no satisfactorios. Como se mencionó anteriormente, en términos de magnitud, los resultados obtenidos si fueron los esperados, aunque la configuración que toman los perfiles de las figuras IV.4.J, IV.4.K y IV.4.L no sea curvilínea como en la realidad se presentan, sin embargo, los valores máximos y mínimos si son aceptables.

Con los coeficientes obtenidos en cada modelo se tiene que la evapotranspiración resulta ser un término principal de salidas en la ecuación de balance. Esta interpretación en su forma física no resulta ser coherente dada su gran magnitud, pero como un término de salidas de agua resulta ser muy importante, pues es el único término negativo en la ecuación de balance, y por tanto, matemáticamente, la evapotranspiración hace la función del bombeo, salidas horizontales subterráneas y salidas superficiales.

Durante la construcción del modelo estocástico, es necesario saber si cada una de las variables está respondiendo debidamente al análisis matemático.

Para lo anterior será necesario observar el perfil de la señal, y si este es aleatorio, entonces puede ser bueno, pero si esta señal aleatoria tiene un sólo pico extremoso, entonces, los resultados no serán los esperados, y por lo tanto será necesario eliminar ese pico o poner otro similar. Posteriormente se deberá verificar la reconstrucción por medio de las ondas senoidales, si esta reconstrucción es fiel al perfil original entonces los resultados posteriores si serán precisos.

En este caso se observo que los modelos regresivos son sumamente sensibles al perfil de la señal reconstruida con las ondas de tipo senoidal. Por lo que si la reconstrucción no fue sensible a la señal original, entonces el modelo regresivo tampoco será sensible a esta señal original.

Se recomienda que en la aplicación de este método estocástico, se tenga especial cuidado en los picos extremosos. Se deberá lograr una reconstrucción espectral muy satisfactoria, porque de ello dependerá el éxito de los resultados finales el cuál es la estimación de los niveles estáticos del agua, en un periodo posterior.

Para los tres modelos realizados en este estudio, se emplearon

las mismas variables de la precipitación y evapotranspiración, sin considerar la localización de cada pozo. Si los pozos están distantes entre sí, es obvio saber que las láminas de la precipitación y de la evapotranspiración serán diferentes en cada uno ellos. Se recomienda para esto que en la recopilación de datos hidrológicos sean considerados los polígonos de Thiessen o las isoyetas, esto podría aplicarse también a la evapotranspiración.

Para definir los pozos piloto a considerar en este tipo de estudios con transformadas de Fourier, se recurre a la Geología regional, con las aportaciones siguientes:

- Da gran noción de los resultados que pueden esperarse.
- Define el medio en que se desarrolla el modelo, es decir, define las características hidrológicas del subsuelo.
- Resultados esperados en pozos piloto localizados cerca de alguna falla geológica.
- Detección de lentes impermeables o semipermeables.
- Define la cuenca subterránea para la localización y distribución de los pozos.
- Ayuda a explicar y definir a las corrientes superficiales y subterráneas.
- Ayuda a definir las zonas de recarga del acuífero, y así también define las posibles descargas, ya sean subterráneas o superficiales.

El modelo estocástico requirió del uso de cuatro programas de cómputo, debido a la no existencia de algún programa integral que evitara la captura innecesaria de datos en repetidas ocasiones. Este problema sí puede solucionarse, solo se requiere de un conocimiento más actualizado en la programación electrónica. Puede desarrollarse un programa en el cuál solo requiera la siguiente información:

- El tamaño de las muestras
- La captura de las muestras, una en cada archivo
- El incremento de la frecuencia (para la transformada de Fourier), y
- Decidir el número de regresiones para cada pozo, y cuáles deben de ser.

Con esta información el programa a desarrollarse debe ser capaz de definir el número "N", requerido en la transformada de Fourier, hacer las transformadas, descomponerlas en sus ondas de tipo senoidal, verificar con gráficas la reconstrucción de cada variable, con esta misma información definir multicolinealidades, hacer las

regresiones múltiples y dar opción para corregir autocorrelaciones, y finalmente con lo anterior hacer la estimación de los niveles estáticos y graficarlos.

Como puede apreciarse, si se tiene un programa como el requerido, el problema para aplicar este método estocástico se reduce muy considerablemente, el modelador no requerirá de tener cierto grado de conocimientos de transformadas de Fourier. El problema mayúsculo será definir los pozos piloto, las variables que intervienen y tener noción sobre la autocorrelación y sus parámetros para corregir a esta misma.

Como recomendación final, en la realización de trabajos afines, es conveniente contar con la información suficiente y actualizada de los datos de pizometrías, humedades relativas, temperaturas, láminas de precipitación, registros de bombeo, aforo de corrientes, entre otros; para obtener resultados con un mayor grado de exactitud en la representación de las variaciones de los niveles estáticos respecto al tiempo.

ANEXO A

```

1 REM CALCULA LA TRANSFORMADA DE FOURIER TRADICIONAL Y EL ESPECTRO
3 DATA 1.125.64
200 DATA 77.1.84.60.127.99.151.12.172.15.182.81.184.61.166.20.124.9.93.05.79.05
210 DATA 76.04.101.49.129.29.157.31.176.179.52.183.03.180.20.159.30.117.68.86.02
220 DATA 81.38.80.34.118.53.138.52.167.54.190.64.188.75.170.31.148.82.107.88
230 DATA 82.56.66.65.91.71.135.35.149.54.176.04.187.99.184.61.163.71.141.69
240 DATA 89.46.73.99.82.86.113.62.137.36.156.60.185.44.200.74.187.49.164.22
250 DATA 126.53.79.33.59.55.67.77.136.20.142.12.157.56.180.97.184.74.174.96
260 DATA 149.23.106.22.77.5
300 REM XR=PARTE REAL DEL NUMERO COMPLEJO
310 REM XI=PARTE IMAGINARIA DEL NUMERO COMPLEJO
320 REM 1x1 = MODULO DEL NUMERO COMPLEJO
330 REM 0(I) = ARGUMENTO DEL NUMERO COMPLEJO
350 GOTO 610
600 LPRINT "(Continuacion)".
610 LPRINT CHR$(14) "TABLA IV.3.5"
650 LPRINT "===== "
652 LPRINT
654 LPRINT CHR$(14) "TRANSFORMADA DE FOURIER"
655 LPRINT
656 LPRINT "===== "
658 LPRINT "===== "
660 LPRINT
662 LPRINT CHR$(14) " I EVAPOT FI A(I) f Sk"
664 LPRINT
666 LPRINT "===== "
668 IF KAR >0 THEN 1060
700 DIM X(600), XX(600), A(100), FI(100), F(100), NT(100,50)
710 READ DT, N
720 N1=N-1
730 FOR I=0 TO N1
740 READ X(I)
745 SUM=SUM+X(I)
750 NEXT I
755 PROM=SUM/N:PRINT PROM
760 'FOR I=0 TO N1
770 'X(I)=XX(I)-PROM
790 'NEXT I
840 T=N*DT
850 DF=1/T
860 P2=6.28318531#
861 M0=0
862 M2=0
863 M4=0
870 FN=P2/N
884 REM OPEN "0".#1,"B:EVAPOT.DAT"
890 FOR I=0 TO N
900 S1=0
910 S2=0
920 FOR K=0 TO N1
930 PK=PN*K*I
940 S1=S1+X(K)*COS(PK)
950 S2=S2+X(K)*SIN(PK)
960 NEXT K
970 XR=DT*S1
980 XI=-DT*S2
990 F(I)=I*DF
1000 M2=XR*XR+XI*XI

```

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

```
1010 M=SQR(M2)
1020 FI(I)=ATN(-XI/XR)
1030 S=M2/T
1040 A(I)=SQR(S+D*F*4)
1050 REM PRINT#1, USING "#####.###":I,F,S
1052 LPRINT USING "###.###":I*DT:I:LPRINT USING "#####.###":X(I),FI(I),A(I),F(I)
1053
1053 M0=M0+A
1054 M2=M2+((F^2)*A)
1055 M4=M4+((F^4)*A)
1056 IF I=45 THEN 1057 ELSE 1060
1057 LPRINT "=====
1058 FOR KAR=1 TO 10:LPRINT: NEXT KAR
1059 GOTO 600
1060 NEXT I
1065 REM CLOSE#1
1066 LPRINT "=====
1067 PRINT " M0 = ";M0;" M2 = ";M2;" M4 = ";M4
1068 FOR I=1 TO 5:LPRINT : NEXT I
1070 LPRINT "I= Tiempo en meses"
1075 LPRINT "EVAPOT= Lamina de evapotranspiracion en mm"
1080 LPRINT "FI= Angulo de defasamiento de la onda senoidal"
1085 LPRINT "A(I)= Amplitud de la onda en mm"
1090 LPRINT "f= Frecuencia 1/seg"
1095 LPRINT "Sx= Densidad espectral (m2).seg"
1098 LPRINT " Valores calculados a partir de la ecuacion III.3.1"
1100 INPUT "Deseas descomponer los espectros [s/n]:D$
1110 IF D$="S" OR D$="s" THEN 1120 ELSE END
1120 FOR I=0 TO N1
1125 LPRINT USING "###.###":DT*I,
1130 FOR J=1 TO N1/2
1140 W=P2*F(J)*(DT*I)+ABS(FI(J))
1150 NT(I,J)=A(J)*COS(W)
1160 SF=SF +NT(I,J)
1170 REM
1180 LPRINT USING "###.###":NT(I,J),
1190 NEXT J
1200 SAM=SAM+SF:SF=0
1210 LPRINT USING "###.###":SAM
1215 SAM=0
1220 NEXT I
1230 END
1240 LPRINT CHR$(14) "
1250 LPRINT CHR$(14) "
1260 LPRINT CHR$(14) "
```

E.N.E.P. ACATLAN"
TESIS PROFESIONAL"
ELOY CORNEJO PEREZ"

ANEXO B

El objetivo de estas notas es introducir al lector al manejo del paquete econométrico TSP (TIME SERIES PROCESSOR) de tal forma que se auxilie en el análisis estadístico de series de tiempo por el método de los mínimos cuadrados ordinarios. Aunque el paquete está diseñado para trabajar también con mínimos cuadrados en dos etapas, esto último no se hace necesario explicar debido a que en el contenido del trabajo no se utilizó esta última técnica.

Para ello se utiliza una microcomputadora, IBM-PC o compatible, con una potencia en RAM de 640 KB. como mínimo.

Se describen a continuación brevemente las siguientes notas:

- a) Acceso al paquete econométrico TSP
- b) Crear y generar archivos
- c) Como guardar el banco de datos
- d) Ejecución de una regresión múltiple
- e) Cómo verificar la multicolinealidad
- f) Corregir autocorrelación con la técnica AR
- g) Otras formas de corregir la autocorrelación

a) Acceso al paquete econométrico TSP

Una característica del TSP es que con sólo insertar el disco flexible en el drive A y prender la computadora, accedamos de manera automática.

Sin embargo también se puede lograr tecleando las letras T S P una vez que aparezca el prompt del sistema operativo [A >].

A >TSP

La aparición de los menús en la parte inferior de la pantalla nos indica que estamos ya dentro del TSP.

La función que tienen los menús del paquete es la de permitir al usuario el manejo del TSP en forma más sencilla y ordenada, minimizando al máximo los posibles errores.

Cada menú contiene diferentes instrucciones, pero la instrucción

"KEY" aparece en todos ellos; y esta sirve para cambiar de un menú a otro.

b) Creación y modificación de archivos

Un archivo es un conjunto de información almacenada en un disco flexible o un disco duro.

Los archivos a los que particularmente se refiere son básicamente de datos (los que comunmente se llaman "banco de datos").

De antemano se debe tener un banco de datos a procesar (hacer una regresión simple o múltiple). El banco de datos consiste en dos variables como mínimo, donde una de ellas será la variable dependiente y la otra será la variable independiente. Cada variable es una muestra de datos.

Para generar un archivo de datos lo primero será teclear la instrucción CREATE y especificar la serie de tiempo según la cuál estén clasificados los datos.

Para teclear la instrucción CREATE existen dos formas: La primera es colocarnos en el primer menú, mas precisamente sobre la instrucción CREATE y posteriormente RETURN. La segunda forma es digitando directamente las letras CREATE.

En la pantalla aparecerá:

```
<U> UNIDATE  
<A> ANUAL  
<Q> QUARTERLY  
<M> MONTHLY
```

FRECUENCY !

Elegimos la opción deseada de acuerdo a la periodicidad de los datos y damos return.

MAXIUM OBSERVATIONS !

Asignamos el tamaño de la muestra.

Ahora bien, se procede a la creación del banco de datos, para ello se utiliza la instrucción DATA (se busca en los menús o se teclea directamente la palabra DATA).

En la pantalla aparecerá:

```
>DATA
```

SERIES LIST !

Se teclea el nombre de cada variable, máximo seis y despues

RETURN.

En este momento la pantalla adoptará la forma de inserción, destinando un campo para cada variable.

Una vez terminado el proceso de introducir todos los datos de las variables, se procede a salir de este modo de inserción, usando la instrucción "E" (de Exit). esto es, con solo teclear E y dar RETURN. En la pantalla aparecerá el menú principal de TSP.

Después de concluir la captura se pueden corregir los datos erróneos; se deberá teclear:

DATA espacio y NOM. DE LA VARIABLE.

Esta instrucción permite revisar cada uno de los datos de la variable teclada y permite por lo tanto hacer las correcciones necesarias.

Si el error fue detectado inmediatamente después del RETURN, del último dato (antes de salir con E), entonces solo se deberá teclear la letra B, con esto el cursor se ubica en un renglón más arriba en donde se localizó cuando se tecleó el último RETURN.

c) Como guardar un banco de datos y como regresar al banco de datos

Para concluir la creación de un banco de datos o un archivo es guardarlo en un disco de información.

La sintaxis es la siguiente:

>SAVE

Menú 1 [F2]

FILE NAME !

y se procede a nombrar el archivo.

Guardar el archivo en disco flexible es sumamente importante porque ello permite al usuario poder usar el archivo en el momento deseado.

Para poder transferir o llamar un archivo del disco a la memoria se emplea la instrucción LOAD, correspondiente a la tecla funcional F3 de menú, o bien digitando directamente lo siguiente:

LOAD NOM. DEL ARCHIVO

Notese que después de la instrucción LOAD se deberá dejar un

espacio antes de teclear el nombre del archivo.

d) *Ejecución de una regresión múltiple*

Una vez creado el banco de datos ya se puede correr una regresión normal con mínimos cuadrados ordinarios: la instrucción para lograr esto es [LS] la cual está contenida en la tecla funcional [F8] del menú 4, o bien se digita en forma directa como a continuación se demuestra. Usando el nombre de las variables empleadas en el capítulo IV, la regresión se corre de la siguiente manera: .

LS ELEV C PRECIP EVAPOT

Donde LS, es la instrucción para correr la regresión

ELEV, es la variable dependiente

C, representa al parámetro β_0 de la ecuación de regresión

PRECIP, es una variable independiente

EVAPOT, es la otra variable independiente

La regresión se debe correr con el parámetro "C" para que esta considere la ordenada al origen y en esta el efecto del error estocástico.

Al correr la regresión, el sistema desplegará tres pantallas de información.

La primer pantalla contiene información acerca de los coeficientes de cada una de las variables explicatorias, incluyendo la constante "C". esto es, sus respectivos errores estándar, entre otros. Posteriormente se mostrarán los estadísticos relevantes, tales son la R^2 , la R^2 ajustada, el error estándar de la regresión, el estadístico de Durbin-Watson, entre otros.

La segunda pantalla despliega información de la matriz de covarianza.

La tercera pantalla muestra una lista de valores observados y estimados de la variable dependiente, así como la lista de los valores correspondientes a los residuos para cada una de las observaciones, finalmente se presenta la gráfica de dichos errores, donde se puede ver su comportamiento en el tiempo.

e) *Cómo verificar la multicolinealidad*

Tener variables multicolineales no es muy conveniente.

primeramente porque la regresión puede estar afectada por la autocorrelación y los parámetros estimados no serán los correctos apesar de que se tenga un buen ajuste de R^2 , y por cuestiones prácticas se puede lograr un buen modelo regresivo empleando un mínimo de variables necesarias.

Empleando la instrucción "COVA" en la pantalla aparecerá la relación entre cada una de las variables. La relación referida es la "r", es decir, el coeficiente de correlación simple.

A manera de ejemplo se explica la sintaxis para determinar la multicolinealidad entre las variables (se adopta el nombre de variables utilizadas en el capítulo IV.

Con la tecla correspondiente a la función F4 se activa la instrucción COVA, o bien se digita directamente como a continuación se ilustra:

COVA ELEV PRECIP EVAPOT

Lo anterior significa que se desea determinar si existe multicolinealidad entre las variables ELEV, PRECIP y EVAPOT. Si al correr la instrucción COVA resulta que existe un coeficiente de correlación simple "r" entre las variables PRECIP y EVAPOT, esto significa que una variable está íntimamente ligada a la otra, por lo que se hace necesario excluir a una de ellas de el modelo regresivo.

f) Corregir autocorrelación con la técnica AR

Si al correr la regresión resulta un Durbin-Watson fuera del rango establecido para la no existencia de la autocorrelación, entonces esta deberá corregirse y la forma más rápida y práctica será utilizando la técnica del "AR", la cual consiste en un método iterativo, en donde se elimina todo un renglón de datos, y con ello se tiene definitivamente otras muestras que ahora son diferentes a la original.

El primer paso para la utilización del "AR" será eliminar o bloquear algún renglón de datos. En el momento de la creación del banco de datos (cuando se utilizó la instrucción DATA) el campo de inserción comenzo a partir del numero 1, continuando con el 2, el 3, el 4, etc. hasta cumplir con el NUMERO MAXIMO DE OBSERVACIONES.

OBS	ELEV	PRECIP	EVAPOT
1	520.00	58.2314.03	
2	526.45	27.80	45.36
3	498.45	58.46	69.23
4	498.47	12.36	52.00
5	520.00	0.00	61.80
6	490.01	5.23	53.12
7	480.49	23.14	45.45
8	500.12	70.81	78.28
9	501.45	63.84	65.45
10	480.79	70.00	33.56

Se puede bloquear el renglón correspondiente a la obs. 1 o bien el correspondiente a la última obs.

Si se opta por bloquear la obs.1, entonces la sintaxis será la siguiente:

SMPL 2-10

Que significa tener un rango de observaciones desde 2 hasta 10, y de esta manera se bloquea el primer renglón de observaciones.

Si la opción es eliminar el último renglón de observaciones, la sintaxis será la siguiente:

SMPL 1-9

Lo que significa que ha cambiado el rango, desde la observación 1 hasta la observación 9, quedando excluida la última, que corresponde a todo el renglón 10.

Con lo anterior se tiene que se ha cambiado el rango de la muestra y con ello se puede correr la regresión nuevamente con la instrucción LS, pero con algunas modificaciones. La sintaxis es la siguiente:

LS ELEV C PRECIP EVAPOT ARC-1)

Después de algunas iteraciones, en la pantalla aparecerá un desplegado muy parecido a los anteriores cuando la regresión se ejecutaba sin el AR. La interpretación de resultados viene a ser la misma que en las anteriores.

Si después de ejecutar la regresión cuando se ha cambiado el

rango de la muestra, resulta que aun no se corrige la autocorrelación, se puede volver a cambiar el rango y quedar de 3-10 o bien de 1-8. Si se opta por el primero entonces la sintaxis para cambiar nuevamente el rango será:

SMPL 3-10

Con esto se están bloqueando los dos primeros renglones de observaciones.

Para correr la regresión con este nuevo rango, se digitan las siguientes letras:

LS ELEV C PRECIP EVAPOT ARC-1) ARC-2)

Se presentaran nuevamente los resultados pero con mayores posibilidades de haberse corregido la autocorrelación.

Si aun el problema persiste, se puede continuar cambiando el rango hasta obtener mejores resultados. Esto es recomendable sólo si se tiene una muestra bastante grande, en la cual no se afecte significativamente el tamaño de la misma, y llegue a quedar una muestra demasiado pequeña.

g) Otras formas de corregir autocorrelación

Otra forma de corregir la autocorrelación es determinando el parámetro ρ' , y con ello hacer una transformación del modelo original como se hizo mención en II.2.G.

Cuando se corrió la regresión en su forma original, en la pantalla se despliega el valor de la Durbin-Watson, ahora con la ecuación III.2.14 se determina el coeficiente de autocorrelación ρ' y se procede a la transformación del modelo (mediante el rezago de variables).

Para rezagar alguna variable será necesario generar otra variable, pero esta nueva variable deberá tener un periodo $t-1$.

Para generar una nueva variable se procede con la función FB, que corresponde al menu 2, o directamente digitando GENR.

A través de ella manipulamos las variables que previamente se introdujeron con la instrucción DATA, efectuando operaciones fundamentales entre ellas, (sumas, restas, división y multiplicación), generando logaritmos naturales, y antilogaritmos, exponenciación, valores absolutos, raíz cuadrada, obtención de funciones trigonométricas como seno y coseno entre otras.

Así, activando la instrucción GENR, el paquete desplegará la

pregunta:

EQUATION ?

A la cual se deberá responder tecleando la ecuación correspondiente a la operación deseada.

Para algunos modelos del capítulo IV (ecuación IV.4.6, IV.4.12 y IV.4.18), se hizo necesario corregir autocorrelación con esta técnica.

Para la ecuación IV.4.6, se genero una nueva variable PRECIPC-1), notese que se trata de la misma variable PRECIP, pero rezagada en un periodo.

Para lograr lo anterior primeramente se cambio el rango de las muestras y posteriormente se digitaron las siguientes letras:

GENR PRECIP1=PRECIPC-1)

La variable PRECIP1, es producto de la variable original PRECIP, pero esta nueva variable está rezagada en un periodo.

Una vez generado la variable PRECIP1, ya se puede correr nuevamente la regresión como se ilustra a continuación:

LS ELEV C PRECIP EVAPOT PRECIP1

Nuevamente se despliegan tres pantallas de resultados, pero en estas se incluye la nueva variable PRECIP1, aparecerá el coeficiente de esta, su significancia, entre otros.

La virtud de generar variables con la instrucción GENR, permite manipular el modelo generando logaritmos, funciones trigonométricas, etc., todo ello para lograr el modelo más preciso o el representativo de la realidad.

BIBLIOGRAFIA

- COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD "Geohidrologia", Manual de diseño de obras Civiles, Seccion (A)- Hidrotecnia (A.1.12) México, 1983.
- DAMODAR GUJARATI "Econometria básica", Editorial Mc.-Graw-Hill, México, 1989.
- OSCAR A. FUENTES MARILES "Análisis espectral del oleaje" Edición interna C.F.E., México, 1988.
- DAVIS & DE WIEST "Hidrogeología" Editorial Ariel, España, 1971
- FRANCISCO J. APARICIO "Apuntes de Hidrologia de superficie" U.N.A.M., Facultad de Ingenieria, México, 1987
- CUSTODIO, E. Y LLAMAS M.R. "Hidrologia Subterránea", Tomo I Editorial Omega, S.A., España 1978
- MURRAY R. SPIEGEL "Estadística" Serie Schaum Editorial Mc.-Graw-Gill, México, 1984
- CAMPOS ARANDA "Proceso del ciclo Hidrológico", Universidad Autonoma de San Luis Potosi Vol. I, México, 1987
- INSISA "Estudio Geohidrológico del Estado de Nuevo León, Edición de la SRH, tomo II, México 1989.
- CIEPS "Estudio Geohidrológico de acuíferos regionales en calizas de la zona de Monterrey", Tomo I, SRH-CAP Monterrey, México 1989.
- S.A.R.H. "Boletín Climatológico No. 8", Región climatológica 24-C, Tomo I y II.

- RONALD V. GILES "Mecánica de los fluidos e hidráulica"
(segunda edición). Serie Schaum,
Mc.-Graw-Hill, México, 1987

- WILFRID J. DIXON "Introducción al análisis estadístico".
J. PEREZ VILAPLANA Ed. Mc.-Graw-hill, México, 1977

- LUIS VELAZQUEZ "Tesis profesional", para obtener el título de
Ingeniero Geólogo, Facultad de Ingeniería UNAM,
México, 1984

- KASHEF, A. A. I. "Groundwater Engineering"
Editorial Mc.Graw-Hill, 1979

- CASTANY, G. "Tratado práctico de las aguas subterráneas"
Editorial Omega, España, 1971