

RESULTADOS Y PROPUESTA DE UN CRITERIO DE EVALUACION SOBRE EL
 =====
 DESARROLLO DE UN ALGORITMO PARA LA APROXIMACION FUNCIONAL DE
 =====
 LA CURVA DE TOLERANCIA ORAL A LA GLUCOSA.
 =====

Trujillo Arriaga, Héctor Miguel

Area de Ingenieria Biomédica, Depto de Ingenieria Eléctrica.
 Universidad Autónoma Metropolitana - Iztapalapa.

RESUMEN

Se presentan los resultados finales obtenidos con un algoritmo de aproximación funcional y una propuesta de evaluación a través de un nomograma para la curva de tolerancia oral a la glucosa. Adicionalmente, se proponen algunas sugerencias para modificar la técnica de la toma de muestras y el intervalo óptimo entre toma de muestras, basado en el Teorema del Muestreo.

En el VIII Congreso Nacional de Ingenieria Biomédica, (14 - 17 de octubre de 1985) se presentó un trabajo titulado "Desarrollo de un Algoritmo para la Aproximación Funcional de la Curva de Tolerancia Oral a la Glucosa" (1). Este trabajo se limitaba a obtener el ajuste de datos experimentales de concentración de glucosa en sangre a una función conocida: la respuesta de un sistema de segundo orden a entrada impulso. Se presentaban algunos de los resultados obtenidos con el algoritmo desarrollado y se mencionaba que el ajuste era "bueno", pero no se daba ninguna indicación de la bondad de este ajuste. En el presente trabajo, se complementa dicho trabajo con base a los siguientes puntos:

I.- ESTIMADORES DE LA BONDAD DEL AJUSTE.

Esta evaluación se hace en función del cálculo de cuatro (4) estimadores:

- a) Coeficiente de correlación, (r) [adimensional; valor ideal, $r = 1$]. Fig. 1.

$$r = \sqrt{\frac{\sum ([G]_{\text{experimental}} - \bar{[G]_{\text{calculada}}})^2}{\sum ([G]_{\text{calculada}} - \bar{[G]_{\text{calculada}}})^2}}$$

Donde:

$[G]_{\text{calculada}}$ = Valor promedio de las concentraciones experimentales de glucosa en sangre.

b) Pendiente de la recta de regresión $[G]_{\text{exp.}}$ vs. $[G]_{\text{calc.}}$.
(m) [adimensional; valor ideal, $m = 1$]. Fig. 1.

$$m = \frac{N \cdot \sum ([G]_{\text{exp}} \cdot [G]_{\text{calc}}) - (\sum [G]_{\text{calc}}) \cdot (\sum [G]_{\text{exp}})}{N \cdot \sum ([G]_{\text{calc}})^2 - (\sum [G]_{\text{exp}})^2}$$

Donde N = Numero de puntos experimentales

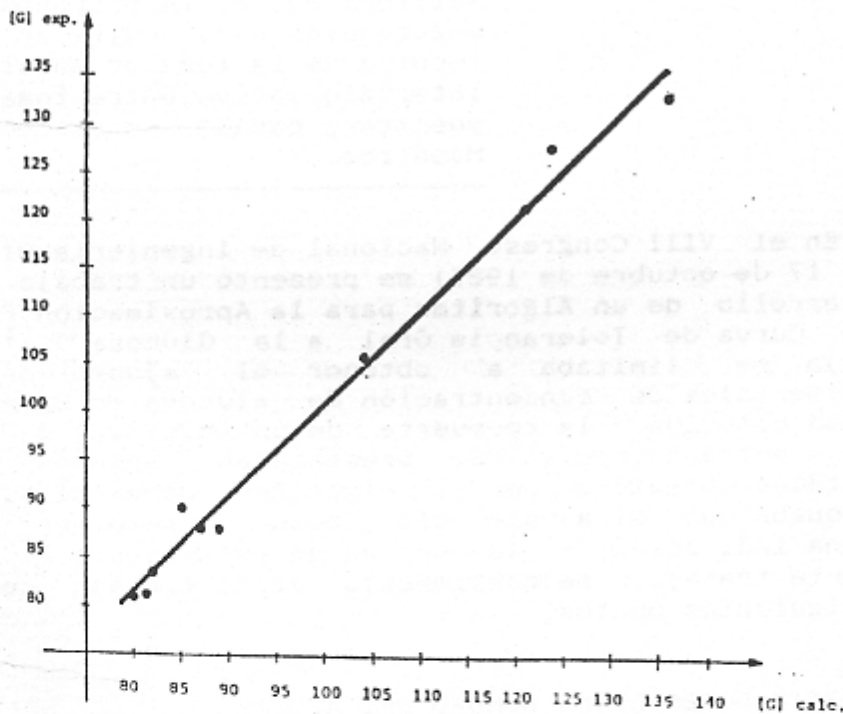


Figura 1. Recta de regresión lineal para el cálculo del coeficiente de correlación (r) y la pendiente (m). Los datos se tomaron de la fig. 3.a.

c) Desviación media. (D.M.) [unidades en mg/100 ml ; valor ideal, D.M. = 0 mg/100 ml]. Fig. 2.

$$D.M. = \sqrt{\frac{\sum ([G]_{\text{experimental}} - [G]_{\text{calculada}})^2}{N}}$$

d) Regulación Media. (R.M.) [porcentaje de desviación; valor ideal, R.M. = 0 %]. Fig. 2.

$$R.M. = \sqrt{\frac{\sum \left[\frac{[G]_{\text{experimental}} - [G]_{\text{calculada}}}{[G]_{\text{calculada}}} \right]^2}{N}} \times 100$$

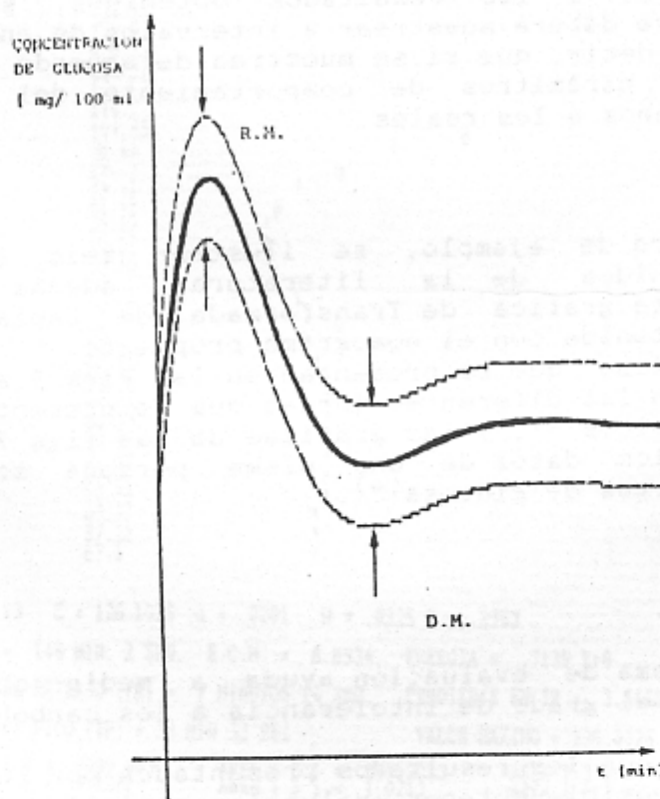


Figura 2. Gráfica que ilustra el concepto de desviación media (D.M.) y regulación media (R.M.).

II.- NOMOGRAMA DE EVALUACION.

A fin de poder evaluar numéricamente el grado de intolerancia a los carbohidratos, se propone la evaluación a través de un nomograma. El empleo de este se ilustra en las figuras 6 y 10. La línea continua representa el caso del paciente normal ideal ⁽²⁾.

III.- TEOREMA DEL MUESTREO.

Debido a los altos valores del coeficiente de correlación (r), se puede decir que los parámetros de comportamiento de la curva están muy cercanos a los valores reales. Con esta premisa en mente, es posible aplicar la Transformada Rápida de Fourier (FFT) a esta señal en el tiempo a fin de obtener su espectro en frecuencia y poder verificar, con base en el Teorema del Muestreo, los intervalos de toma de muestra para esta prueba. Todas las señales transformadas, se obtuvieron con 32 puntos de graficación.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se puede concluir que se deberá muestrear a intervalos de entre 15 y 20 minutos. Es decir, que si se muestrea de acuerdo con este intervalo, los parámetros de comportamiento del sistema serán más cercanos a los reales.

RESULTADOS.

A manera de ejemplo, se ilustran seis (6) casos típicos obtenidos de la literatura, además de su correspondiente gráfica de Transformada de Laplace y la evaluación obtenida con el nomograma propuesto.

Las gráficas que se presentan en las Figs 3.a., 4.a. y 5.a., ilustran las diferentes curvas que se presentan en los casos más típicos ⁽³⁾, y las gráficas de las figs 7.a., 8.a. y 9.a., son los datos de una misma persona sometida a diferentes cargas de glucosa ⁽⁴⁾.

CONCLUSIONES.

a) El nomograma de evaluación ayuda a medir objetiva y numericamente el grado de intolerancia a los carbohidratos.

b) De acuerdo con los resultados presentados por Förster et. al. ⁽⁴⁾, es posible obtener evaluaciones similares para las cargas de 50 y 100 gr de glucosa. (Fig. 10.) Es decir que si se considera la dinámica de la curva de tolerancia a la glucosa como la respuesta de un sistema lineal invariable con el tiempo (LIT), es de esperarse que la magnitud de la carga de glucosa no influya significativamente en los valores de los parámetros de la curva.

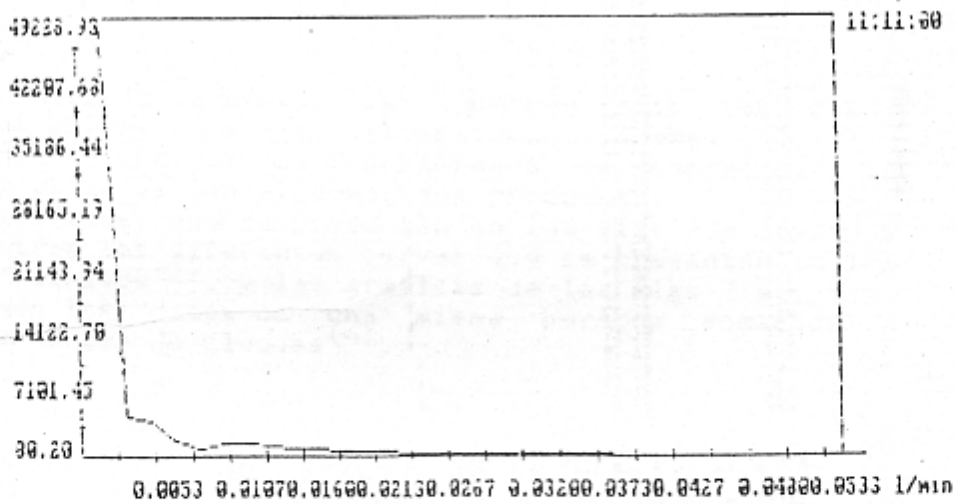
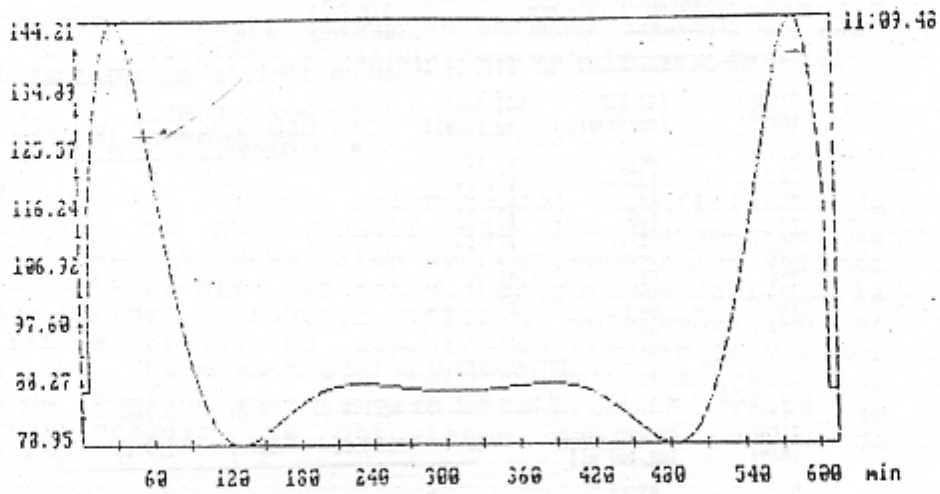


Figura 3.b. Gráficas de concentración de glucosa .vs. tiempo y del espectro en frecuencia (FFT) de la curva de tolerancia oral a la glucosa para un paciente normal, obtenidas a partir de la fig. 3.a. $T_m = 1/(2 \times 0.0373) = 13.4$ min.

CURVA DE TOLERANCIA ORAL A LA GLUCOSA

FECHA : 09-30-1987

UUUU /AAAAA /UUUU
 NUUU /AAA /UUU /N
 HHH /UUU /AAA /HHH
 HHH /UUU /AAA /HHH
 HHH /AAA /UUU /AAA /HHH
 HHH /AAA /UUUU /AAA /HHH

INICIO DE PROCESAMIENTO : 18:09:00 HRS
 FIN DE PROCESAMIENTO : 18:09:00 HRS

CARGA DE GLUCOSA : 75
 PACIENTE : T-00 - SANFORD

UNIVERSIDAD AUTONOMA METROPOLITANA
 UNIDAD IZTAPALAPA
 INGENIERIA BIOMEDICA

SEXO : ---
 PESO : ---
 ESTATURA : ---
 COMENTARIOS : DIABETES MODERADA

VALORES CALCULADOS CON 12 BITS DE RESOLUCION DESPUES DE 4 ITERACIONES

TIEMPO (MIN)	(G) EXP. (mg/100ml)	(G) CALC. (mg/100ml)	Q.- VALOR EXPERIMENTAL Y.- VALOR CALCULADO O.- EXPERIMENTAL Y CALCULADO
0	125	124.67	
10	134.87	134.87	
20	172.35	172.35	
30	204.81	204.81	
40	216.36	216.36	
50	216.05	216.05	
60	209.53	209.53	
70	196.98	196.98	
80	169.65	169.65	
90	152.33	152.33	
100	135	135	
110	135.13	135.13	
120	135.06	135.06	

ESTIMADORES DE LA BONDAD DEL AJUSTE

r = .7742 n = .74 D.H. = ± 11.5614 mg/100 ml R.H. = ± 7.5356 %

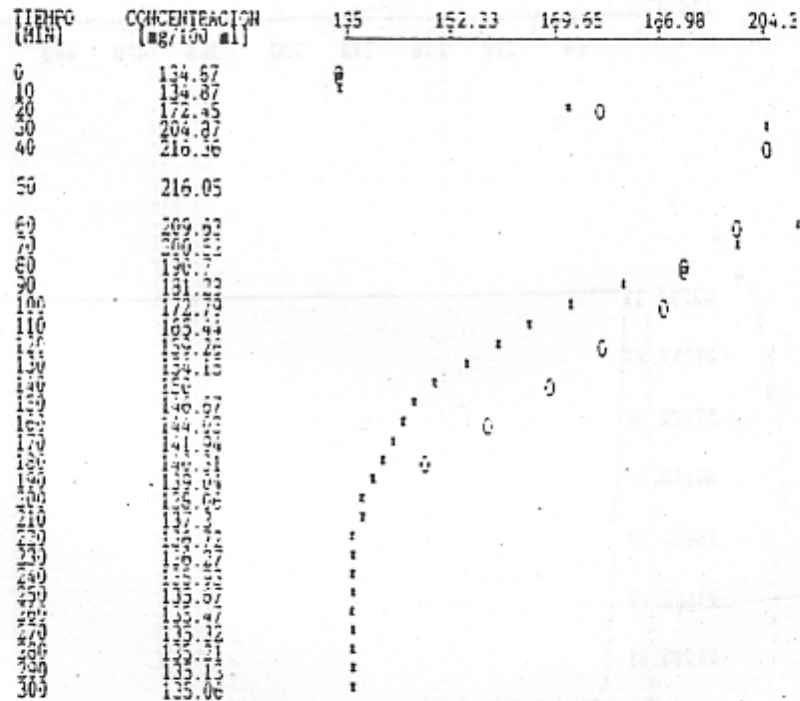


Figura 4.a. Gráfica de concentración de glucosa vs. tiempo de la curva de tolerancia oral a la glucosa para un paciente con diabetes moderada y cálculo de los parámetros de comportamiento de esta curva. Los datos fueron obtenidos de Todd - Sanford (3).

K = 134.3683 C1 = 3099.046 a1 = .0308 C2 = -3244.872 a2 = .0344
 TA(SX) = 198 MIN. 56 SEG. E.C.H. = 14.0114 ENERGIA = 38.542 E+6
 TIEMPO DE RETRASO (TR) = 13 MINUTOS 40 SEG. PENDIENTE EN TR = 7.2991
 TIEMPO DE FICO = 44 MIN 22 SEG VALOR MAXIMO = 217.2777
 AREA (TR - TA) = 6.7707 E+03
 FRECUENCIA NATURAL (WN) = .0326 FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (a) = 1.0015

$$Y(S) = \frac{(0)(S+[-.0406])}{(S+.0308)(S+.0344)} = \frac{(79.54698)(S/[-.0406] + 1)}{(S/[-.0308] + 1)(S/[-.0344] + 1)}$$

$$U(S) = \frac{(0)(S+[-.0406])}{(S+.0308)(S+.0344)} = \frac{(79.54698)(S/[-.0406] + 1)}{(S/[-.0308] + 1)(S/[-.0344] + 1)}$$
 a = .0326

VALORES NORMALIZADOS

WN = 1.56 a = 3.47 a = 2.23 PEND = 5.66

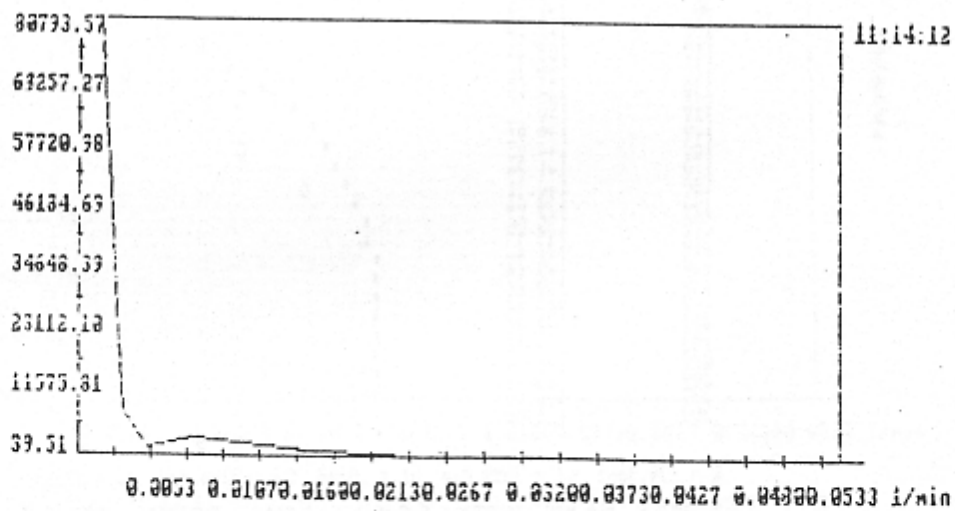
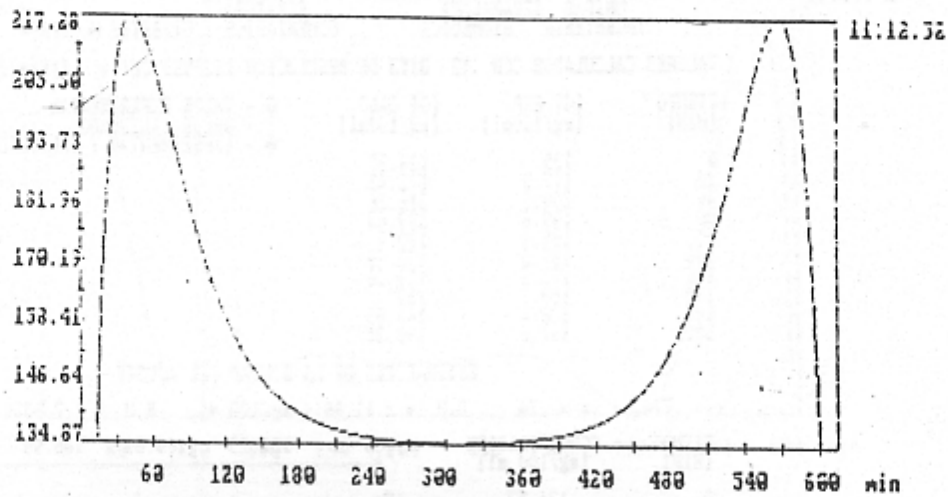
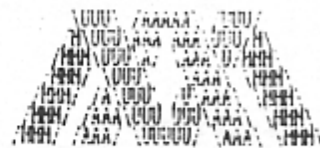


Figura 4.b. Gráficas de concentración de glucosa .vs. tiempo y del espectro en frecuencia (FFT) de la curva de tolerancia oral a la glucosa para un paciente con diabetes moderada, obtenidas a partir de la fig. 4.a. $T_m = 1/(2 \times 0.0213) = 23.5$ min.

CURVA DE TOLERANCIA ORAL A LA GLUCOSA

FECHA : 09-30-1987



INICIO DE PROCESAMIENTO : 16:46:16 HRS
FIN DE PROCESAMIENTO : 18:46:57 HRS

CARGA DE GLUCOSA : 75
PACIENTE : TODD - SANFORD
EDAD : ---
SEXO : ---
PESO : ---
ESTATURA : ---
COMENTARIOS : DIABETES SEVERA

UNIVERSIDAD AUTONOMA METROPOLITANA
UNIDAD CATAPULCANA
INGENIERIA BIOMEDICA

VALORES CALCULADOS CON 12 BITS DE RESOLUCION DESPUES DE 2 ITERACIONES

TIEMPO (MIN)	(G) EXP. (mg/100ml)	(G) CALC. (mg/100ml)	Q - VALOR EXPERIMENTAL Y - VALOR CALCULADO @ - EXPERIMENTAL Y CALCULADO
0	77	76.5	
10	100	100	
20	120	120	
30	140	140	
40	160	160	
50	180	180	
60	200	200	
70	220	220	
80	240	240	
90	260	260	
100	280	280	
110	300	300	
120	310	310	
130	315	315	
140	316	316	
150	317	317	
160	317	317	
180	309	317.99	

ESTIMADORES DE LA BONDAD DEL AJUSTE

r = .9801 n = .97 D.H. = ± 4.7649 mg/100 ml R.M. = ± 1.5756 %

TIEMPO (MIN)	CONCENTRACION (mg/100 ml)	207	233.25	259.5	285.75	311
--------------	---------------------------	-----	--------	-------	--------	-----

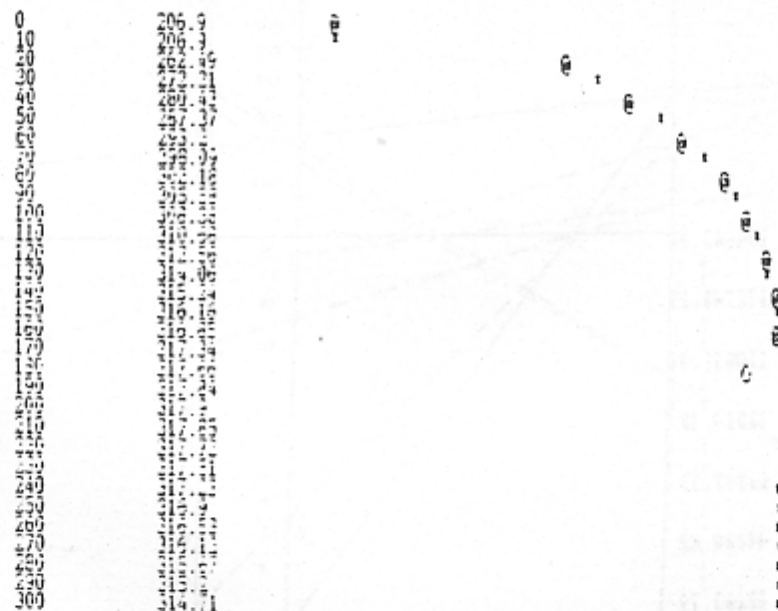


Figura 5.a. Gráfica de concentración de glucosa .vs. tiempo de la curva de tolerancia oral a la glucosa para un paciente con diabetes severa y cálculo de los parámetros de comportamiento de esta curva. Los datos fueron obtenidos de Todd - Sanford

K = 206.699 C1 = 139.2103 a1 = .0006 C2 = -99.6216 a2 = .0155
TA(SK) = 4231 MIN. 6 SEG. E.C.M. = 20.7546 ENERGIA = 1271.527 E+6
TIEMPO DE RETRASO (TR) = 17 MINUTOS 58 SEG. PENDIENTE EN TR = 1.9914
TIEMPO DE PICO = 200 MIN 15 SEG VALOR MAXIMO = 317.8978
AREA (TR - TA) = 192.5843 E+03
FRECUENCIA NATURAL (WN) = .003 FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (a) = 2.6397
$$\frac{Y(S)}{U(S)} = \frac{(0.1)(S + .06 + 1)}{(S + .0006)(S + .0155)} = \frac{(2897.377)(S + (.06 + 1))}{(S + (.0006 + 1))(S + (.0155 + 1))}$$

a = .0081

VALORES NORMALIZADOS

WN = .14 a = .86 c = 5.87 FEHO = .65

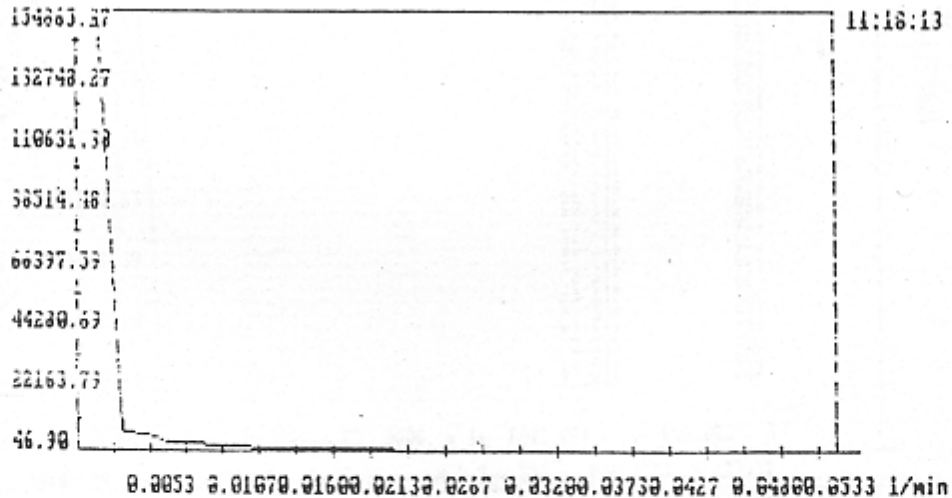
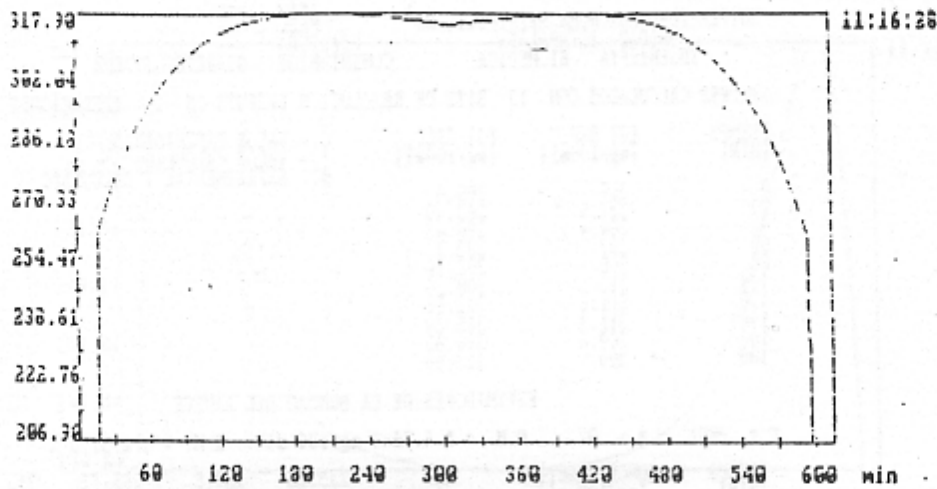


Figura 5.b. Gráficas de concentración de glucosa .vs. tiempo y del espectro en frecuencia (FFT) de la curva de tolerancia oral a la glucosa para un paciente con diabetes severa, obtenidas a partir de la fig. 5.a. $T_m = 1/(2 \times 0.0213) = 23.5$ min.

c) Es de esperarse que si la carga de glucosa se ingiere por via oral, la concentración de glucosa en sangre en el punto de toma de muestra no puede incrementarse de manera inmediata, es decir, debe existir un cierto tiempo de retraso entre la ingestión de la carga de glucosa y el incremento de la glucosa en el punto de toma de muestra.

Sin embargo se presentan algunos casos en que este tiempo de retraso es muy pequeño o nulo (Figs. 7.a., 8.a. y 9.a.)

d) De acuerdo con todo lo anterior, se propone representar la dinámica de este sistema con el diagrama de bloques que se presenta en la fig. 11. y que puede explicar satisfactoriamente los diferentes tiempos de retraso.

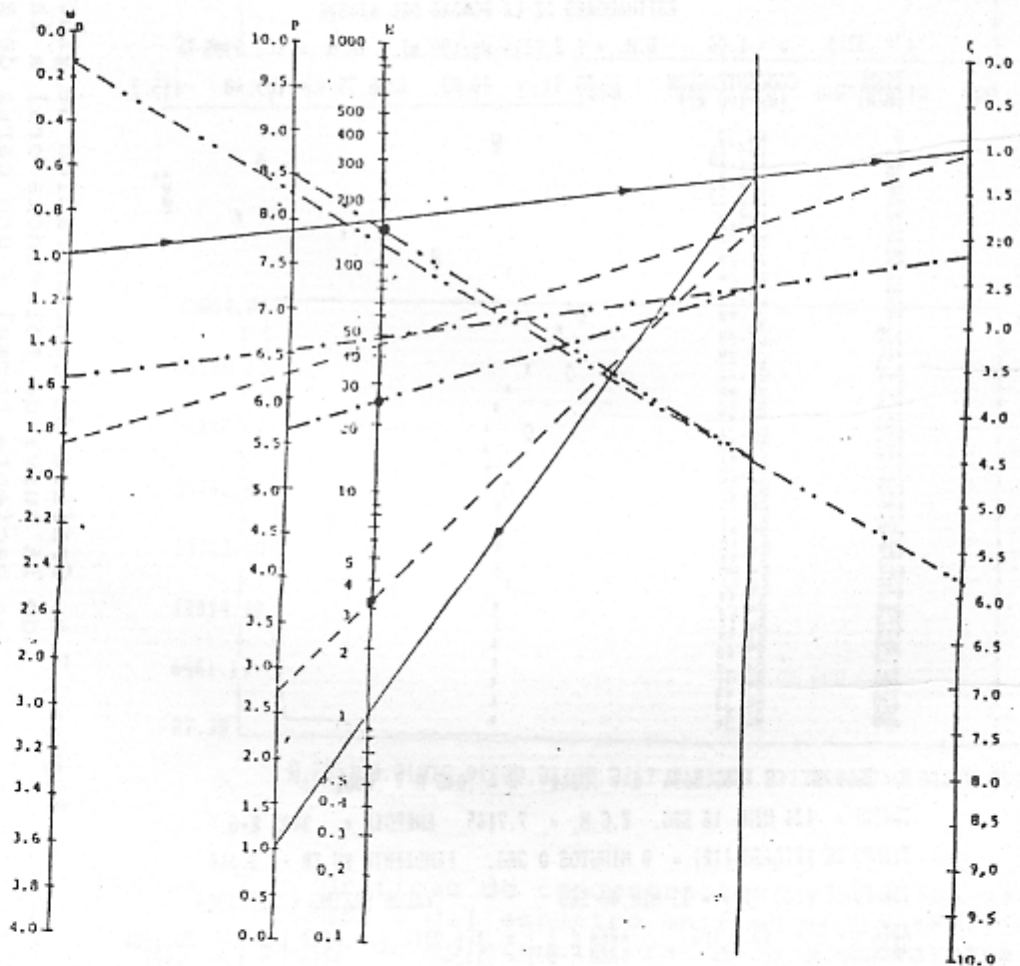


Figura 6. Nomograma de evaluación para las curvas de las figuras 3.a.(normal - - -), 4.a.(diabetes moderada - · - ·) y 5.a.(diabetes severa - - - - -).

PRUEBA DE TOLERANCIA ORAL A LA GLUCOSA

FECHA : 09-30-1987

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA
UNIDAD IXTAPALAPA
INGENIERIA BIOMÉDICA

INICIO DE PROCESAMIENTO : 19:51:20 HRS
FIN DE PROCESAMIENTO : 19:56:19 HRS

CARGA DE GLUCOSA : 30
PACIENTE : FÖRSTER et. al.
EDAD : ---
SEXO : ---
PESO : ---
ESTADIOS : ---
COMENTARIOS :

VALORES CALCULADOS CON 12 BITS DE RESOLUCION DESPUES DE 15 ITERACIONES

TIEMPO (MIN)	(G) EXP. (mg/100ml)	(G) CALC. (mg/100ml)	0.- VALOR EXPERIMENTAL 1.- VALOR CALCULADO 2.- EXPERIMENTAL + CALCULADO
0	04.00	04.00	
15	108.00	107.00	
30	111.00	110.00	
45	113.00	112.00	
60	114.00	113.00	
75	115.00	114.00	
90	116.00	115.00	
105	117.00	116.00	
120	118.00	117.00	
135	119.00	118.00	
150	120.00	119.00	
165	121.00	120.00	
180	122.00	121.00	

ESTIMADORES DE LA BONDAD DEL AJUSTE

r = .9373 m = 1.06 D.H. = ± 2.0014 mg/100 ml R.H. = ± 2.3385 %

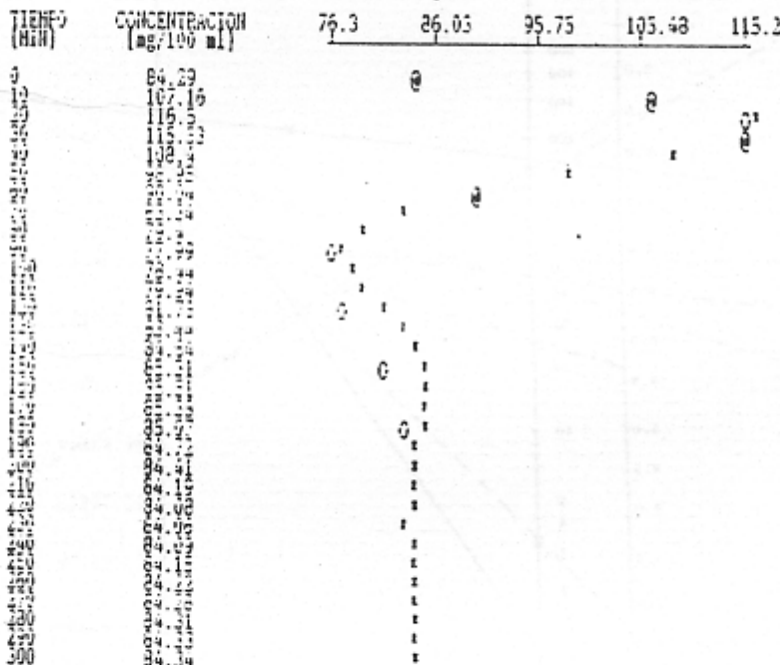


Figura 7.a. Gráfica de concentración de glucosa vs. tiempo de la curva de tolerancia oral a la glucosa para un paciente normal a una carga de glucosa de 30 gr y cálculo de los parámetros de comportamiento de esta curva. Los datos fueron obtenidos de Förster et. al. (4).

K = 64.2909 C = 65.5634 a = .0241 W = .046 θ = .0001

TA(54) = 124 MIN. 18 SEG. E.C.M. = 7.7145 ENERGIA = .3493 E+6

TIEMPO DE RETRAZO (TR) = 0 MINUTOS 0 SEG. PENDIENTE EN TR = 3.016

TIEMPO DE PICO (TP) = 23 MIN 40 SEG VALOR MAXIMO = 117.1314

AREA (1) = 1334.102 AREA (2) = 174.0874 AREA (3) = 33.5701
AREA (4) = 5.7735 AREA (5) = 1.2453 AREA (6) = .2407

FRECUENCIA NATURAL (WN) = .0519 FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (z) = .4641

$$Y(S) = \frac{(.000219) (S+[-459.9759])}{(S+[-.0241]) (S+[-.046]) (S+[-.0241-j.046]) (S/[(.0519)^2+17.8519 S+1])}$$

VALORES NORMALIZADOS

WN = 2.49 z = 2.56 γ = 1.03 FEND = 2.34

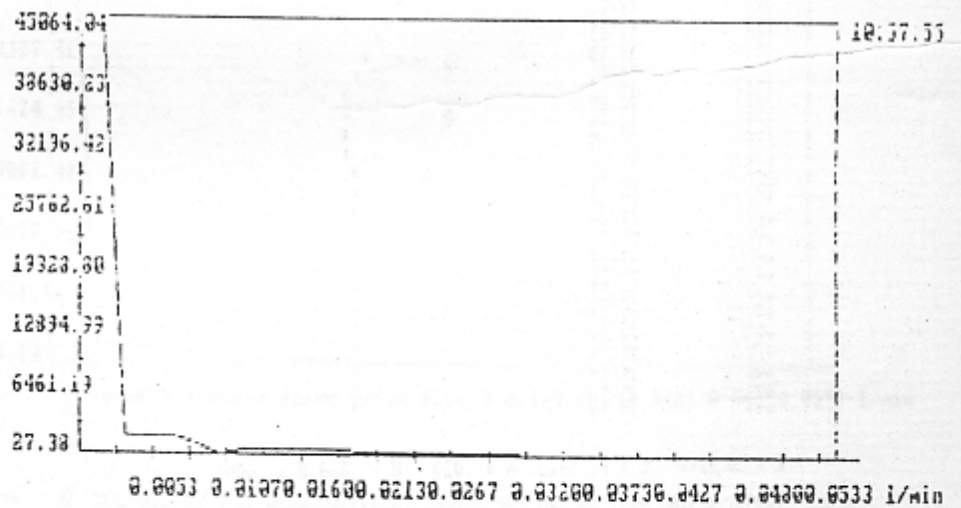
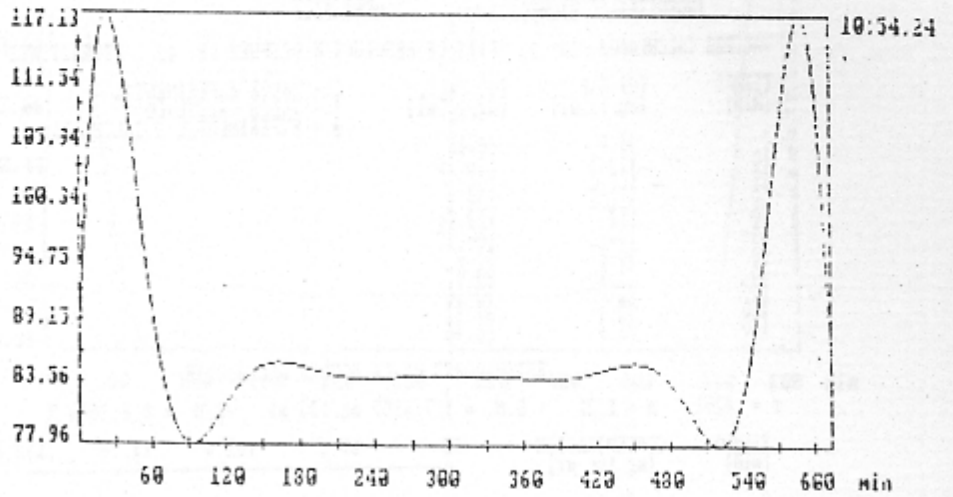


Figura 7.b. Gráficas de concentración de glucosa vs. tiempo y del espectro en frecuencia (FFT) de la curva de tolerancia oral a la glucosa para un paciente normal, obtenidas a partir de la fig. 7.a. $T_m = 1/(2 \times 0.032) \approx 15.6$ min.

CURVA DE TOLERANCIA ORAL A LA GLUCOSA FECHA: 09-20-1987

INICIO DE PROCESAMIENTO: 18:59:33 HRS
 FIN DE PROCESAMIENTO: 19:03:55 HRS

CARGA DE GLUCOSA: 50
 PACIENTE: FORSTER et. al.
 EDAD: ---
 SEXO: ---
 ESTADIO: ---
 COMENTARIOS: ---

UNIVERSIDAD AUTONOMA METROPOLITANA
 INSTITUTO DE INVESTIGACIONES BIOMEDICAS

VALORES CALCULADOS CON 12 BITS DE RESOLUCION DESPUES DE 10 ITERACIONES

TIEMPO (MIN)	(%) EXP. (mg/100ml)	(%) CALC. (mg/100ml)	1 - VALOR EXPERIMENTAL 2 - VALOR CALCULADO 3 - EXPERIMENTAL Y CALCULADO
0	86.62	86.62	1
10	110.00	110.00	1
20	116.00	116.00	1
30	119.00	119.00	1
40	120.00	120.00	1
50	120.00	120.00	1
60	119.00	119.00	1
70	117.00	117.00	1
80	115.00	115.00	1
90	113.00	113.00	1
100	111.00	111.00	1
110	109.00	109.00	1
120	107.00	107.00	1
130	105.00	105.00	1
140	103.00	103.00	1
150	101.00	101.00	1
160	99.00	99.00	1
170	97.00	97.00	1
180	95.00	95.00	1
190	93.00	93.00	1
200	91.00	91.00	1
210	89.00	89.00	1
220	87.00	87.00	1
230	85.00	85.00	1
240	83.00	83.00	1
250	81.00	81.00	1
260	79.00	79.00	1
270	77.00	77.00	1
280	75.00	75.00	1
290	73.00	73.00	1
300	71.00	71.00	1
310	69.00	69.00	1
320	67.00	67.00	1
330	65.00	65.00	1
340	63.00	63.00	1
350	61.00	61.00	1
360	59.00	59.00	1
370	57.00	57.00	1
380	55.00	55.00	1
390	53.00	53.00	1
400	51.00	51.00	1
410	49.00	49.00	1
420	47.00	47.00	1
430	45.00	45.00	1
440	43.00	43.00	1
450	41.00	41.00	1
460	39.00	39.00	1
470	37.00	37.00	1
480	35.00	35.00	1
490	33.00	33.00	1
500	31.00	31.00	1
510	29.00	29.00	1
520	27.00	27.00	1
530	25.00	25.00	1
540	23.00	23.00	1
550	21.00	21.00	1
560	19.00	19.00	1
570	17.00	17.00	1
580	15.00	15.00	1
590	13.00	13.00	1
600	11.00	11.00	1
610	9.00	9.00	1
620	7.00	7.00	1
630	5.00	5.00	1
640	3.00	3.00	1
650	1.00	1.00	1
660	0.00	0.00	1
670	0.00	0.00	1
680	0.00	0.00	1
690	0.00	0.00	1
700	0.00	0.00	1
710	0.00	0.00	1
720	0.00	0.00	1
730	0.00	0.00	1
740	0.00	0.00	1
750	0.00	0.00	1
760	0.00	0.00	1
770	0.00	0.00	1
780	0.00	0.00	1
790	0.00	0.00	1
800	0.00	0.00	1
810	0.00	0.00	1
820	0.00	0.00	1
830	0.00	0.00	1
840	0.00	0.00	1
850	0.00	0.00	1
860	0.00	0.00	1
870	0.00	0.00	1
880	0.00	0.00	1
890	0.00	0.00	1
900	0.00	0.00	1
910	0.00	0.00	1
920	0.00	0.00	1
930	0.00	0.00	1
940	0.00	0.00	1
950	0.00	0.00	1
960	0.00	0.00	1
970	0.00	0.00	1
980	0.00	0.00	1
990	0.00	0.00	1
1000	0.00	0.00	1

ESTIMADORES DE LA BONDAZ DEL AJUSTE

r = .8262 a = 1.21 E.H. = ± 7.4897 mg/100 ml E.H. = ± 0.3809 %

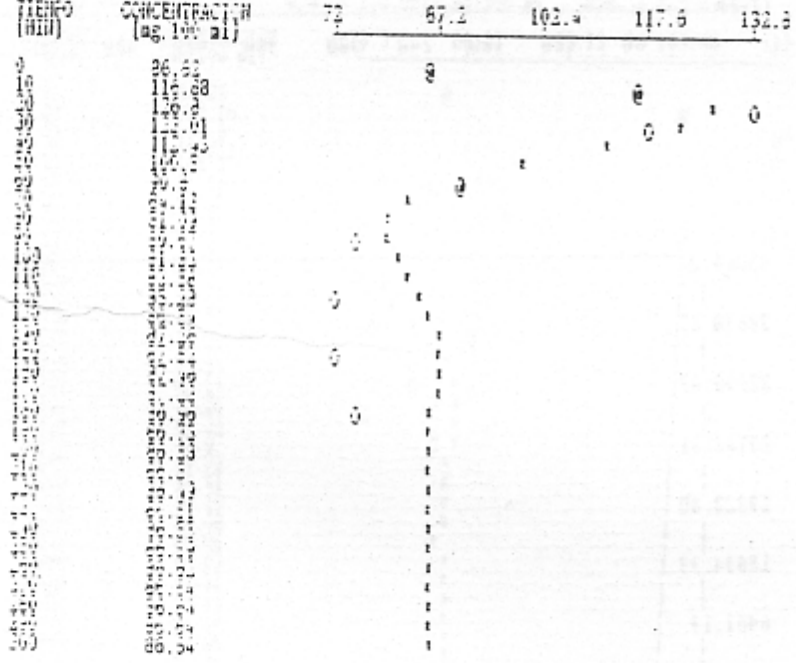


Figura 8.a. Gráfica de concentración de glucosa .vs. tiempo de la curva de tolerancia oral a la glucosa para un paciente normal a una carga de glucosa de 50 gr y cálculo de los parámetros de comportamiento de esta curva; Los datos fueron obtenidos de Förster et. al. (4).

K = 86.6244 C = 67.5923 α = .029 W = .048 β = .0001

TA(5%) = 103 MIN. 19 SEG. E.C.M. = 3.2131 ENERGIA = .4827 E+5

TIEMPO DE RETARDO (TR) = 0 MINUTOS 0 SEG. PENDIENTE EN TR = 4.2042

TIEMPO DE PICO (TP) = 21 MIN 24 SEG VALOR MAXIMO = 126.9254

AREA (1) = 1517.366 AREA (2) = 170.3236 AREA (3) = 25.5249
 AREA (4) = 3.8222 AREA (5) = .5732 AREA (6) = .0859

FRECUENCIA NATURAL (MM) = .7561 FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (δ) = .5171

Y(S) = (.000175 Y(3) - (-479.9711 Y)) / (27.1237 Y(5) - (-479.9711 Y))

U(S) = (5(.029 Y) .048 Y(3) - (.029 Y) .048) / (5/(.0561 Y(2) - 18.7097 Y))

VALORES NORMALIZADOS

KV = 3.69 a = 3.09 β = 1.15 FEND = 3.26

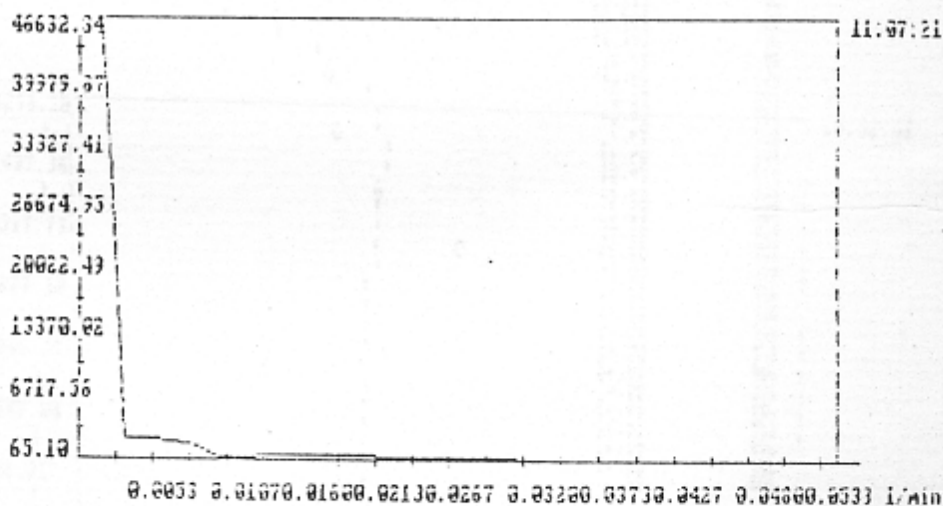
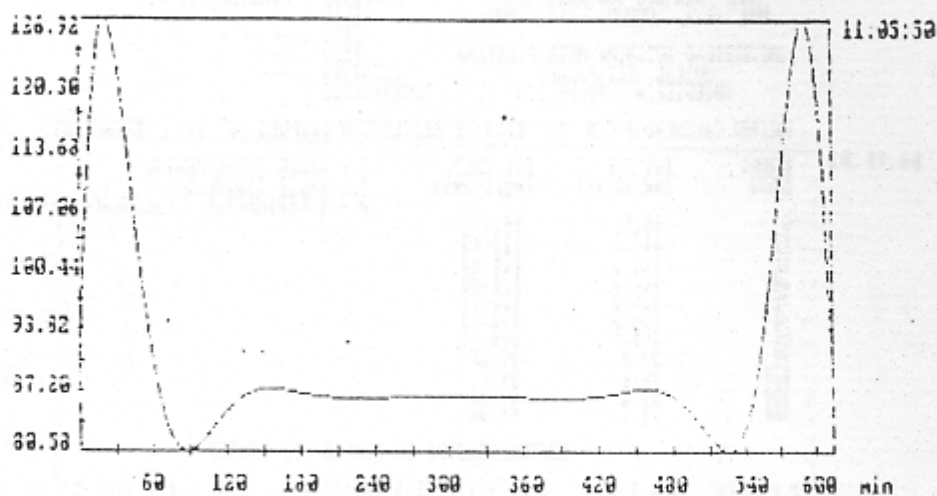


Figura 8.b. Gráficas de concentración de glucosa .vs. tiempo y del espectro en frecuencia (FFT) de la curva de tolerancia oral a la glucosa para un paciente normal, obtenidas a partir de la fig. 8.a. $T_m = 1/(2 \times .032) = 15.6$ min.

PRUEBA DE TOLERANCIA ORAL A LA GLUCOSA FECHA : 05-10-1987

INICIO DE PROCESAMIENTO : 15:09:49 HRS
FIN DE PROCESAMIENTO : 15:15:02 HRS

CARGA DE GLUCOSA : 100
PACIENTE : FÖRSTER et. al.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA
CALLE ADOLESCENTES
INGENIERÍA QUÍMICA

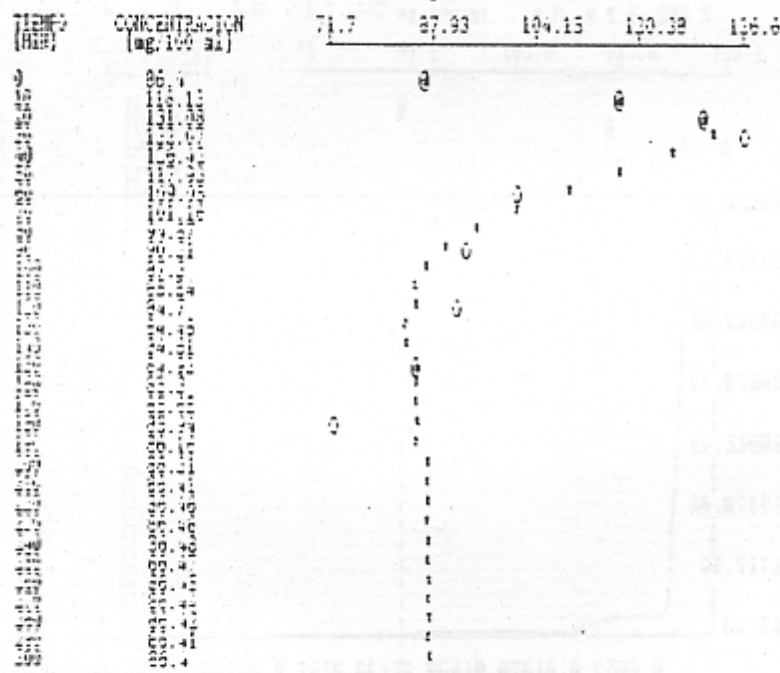
ESTADURA :
CIENTAROS :

VALORES CALCULADOS CON 15 BITS DE RESOLUCIÓN DESPUÉS DE 15 ITERACIONES

TIEMPO (MIN)	(G) EXP. (mg/100ml)	(C) CALC. (mg/100ml)	VALOR EXPERIMENTAL	VALOR CALCULADO	EXPERIMENTAL + CALCULADO
0	71.7	71.7			
5	87.93	87.93			
10	104.15	104.15			
15	120.39	120.39			
20	136.6	136.6			

ESTIMADORES DE LA BONDAD DEL AJUSTE

r = .9191 n = 1.05 D.H. = 1 5.7233 mg/100 ml R.M. = 1 6.2705 %



K = 86.3264 C = 143.2274 a = .0305 W = .0301 b = .0901

TA(5%) = 98 MIN. 13 SEG. E.C.H. = 3.0613 ENERGIA = .8509 E+6

TIEMPO DE RETRASO (TR) = 0 MINUTOS 0 SEG. PENDIENTE EN TR = 4.3709

TIEMPO DE PICO (TP) = 25 MIN 53 SEG VALOR MÁXIMO = 132.7305

AREA (1) = 2479.237 AREA (2) = 34.5757 AREA (3) = 3.25
AREA (4) = .1925 AREA (5) = .0057 AREA (6) = .0003

FRECUENCIA NATURAL (WN) = .0429 FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (z) = .7116

Y(S) = (.000145) (S/[-300.3695]) (24.2828) (S/[-300.3695] +1)

U(S) = (5/.0305 +) .0301 ([-300.3695] -) .0301 (S/[.0429]^2 + 33.8839 S+1)

VALORES NORMALIZADOS

WN = 3.06 z = 3.24 j = 1.58 FEIND = 3.39

Figura 9.a. Gráfica de concentración de glucosa .vs. tiempo de la curva de tolerancia oral a la glucosa para un paciente normal a una carga de glucosa de 100 gr y cálculo de los parámetros de comportamiento de esta curva. Los datos fueron obtenidos de Förster et. al. (4).

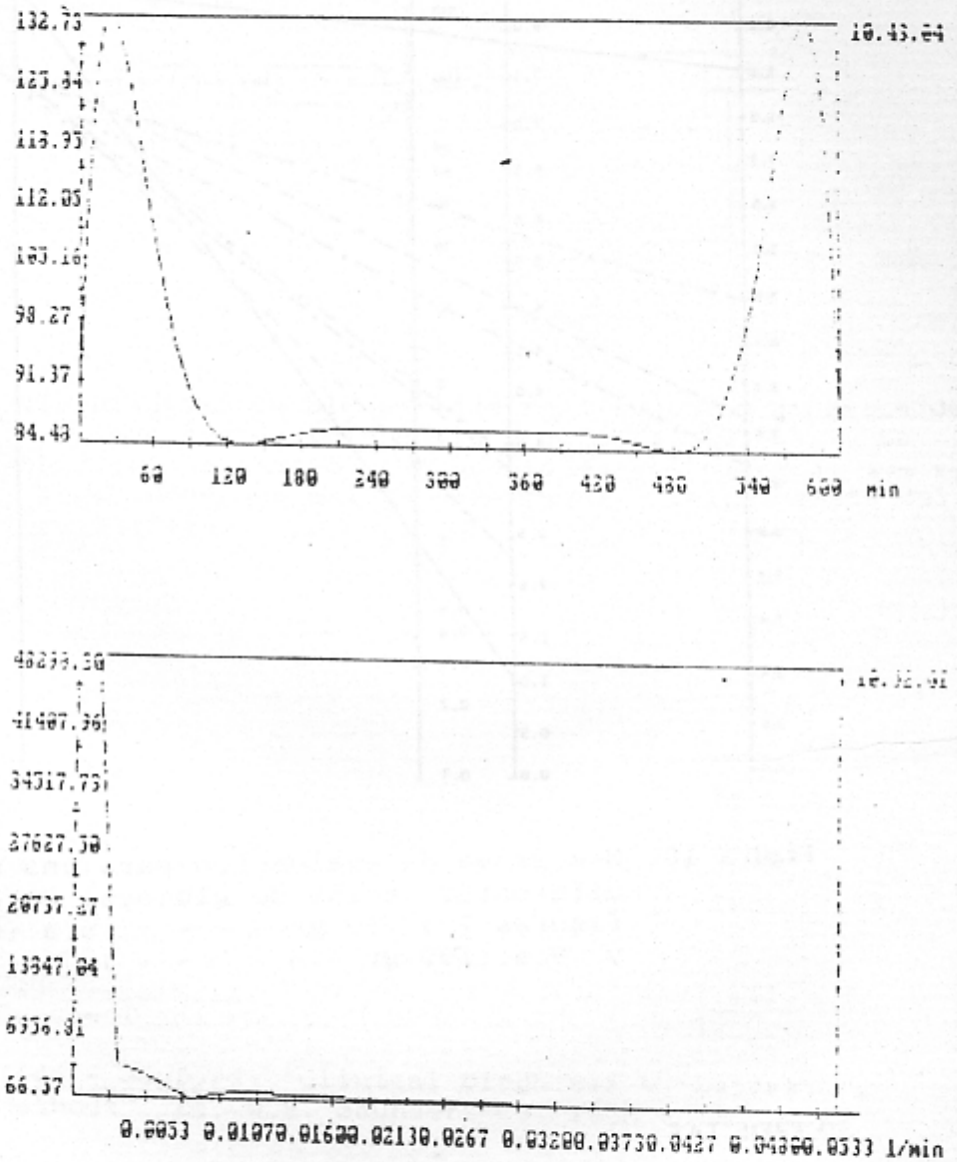


Figura 9.b. Gráficas de concentración de glucosa vs. tiempo y del espectro en frecuencia (FFT) de la curva de tolerancia oral a la glucosa para un paciente normal, obtenidas a partir de la fig. 9.a. $T_m = 1/(2 \times 0.032) = 15.6 \text{ min.}$

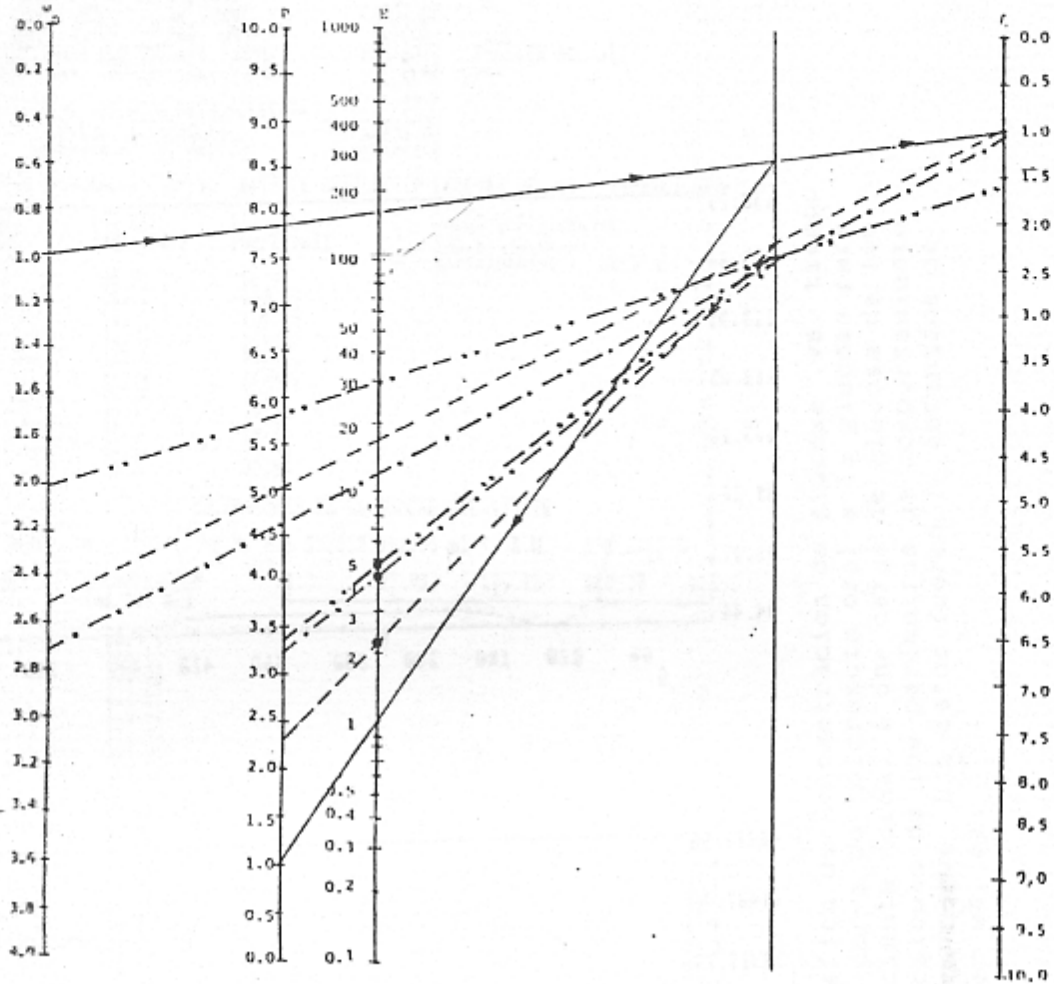


Figura 10. Nomograma de evaluación para una misma persona a diferentes cargas de glucosa, de acuerdo con las figuras 7.a. (20 gr - - -), 8.a. (50 gr - · - ·) y 9.a. (100 gr - · · · - ·).

SUGERENCIAS.

a) El intervalo de muestreo propuesto, conlleva un serio problema: aumentar el número de muestras prácticamente al doble. Este problema se puede resolver si se canaliza al paciente con una solución salina y cada vez que se desee obtener una muestra de sangre, detener el flujo de esta solución y recolectar la sangre en un tubo de ensayo. Una vez obtenida la muestra, volver a conectar al paciente a la solución salina para evitar taponamientos en la punta de la aguja.

Se administra al paciente 15 mg de levodopa antes del inicio de la prueba para evitar el efecto hiperglicémico de la adrenalina.

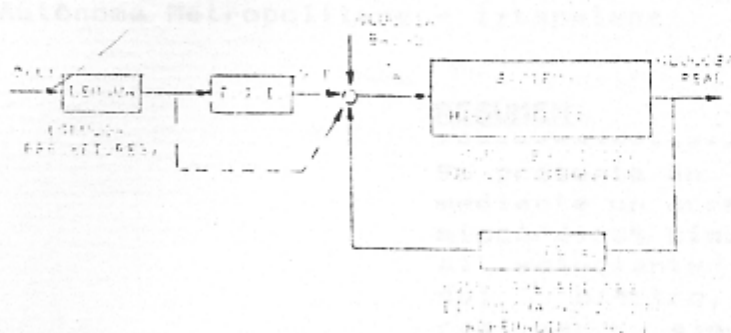


Figura 11. Diagrama de bloques que representa la dinámica de la curva de tolerancia oral a la glucosa. La línea a trazos, representa la vía neuronal que se propone que existe para regular la respuesta del sistema.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Trujillo-Aguilar, H. Desarrollo de un algoritmo para la Aproximación Funcional de la Curva de Tolerancia Oral a la Glucosa. *Revista Mexicana de Ingeniería Biomedica*, 5 (2): 170 - 174; 1985.
- 2.- Neumegastie, Y. "Fisiología Médica", vol. II, Ed. Panamericana (México) Segunda Edición; 1977.
- 3.- Todd - Sanford. "Clinical Diagnosis by Laboratory Methods", Ed. W.B. Saunders Co. 15th Edition; 1974.
- 4.- Förster, H., Holsbeck, M. & Menberli, H. Metabolic Studies Following the Oral Ingestion of Different Doses of Glucose. *Diabetes*, 21 (11): 1102 - 1108; 1972.