

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

Trujillo Arriaga, Héctor Miguel

Área de Ingeniería Biomédica, Depto de Ingeniería 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 Ingeniería 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 impulsiva. 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:

$\bar{[G]}_{\text{calculada}}$ = 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 = Número de puntos experimentales

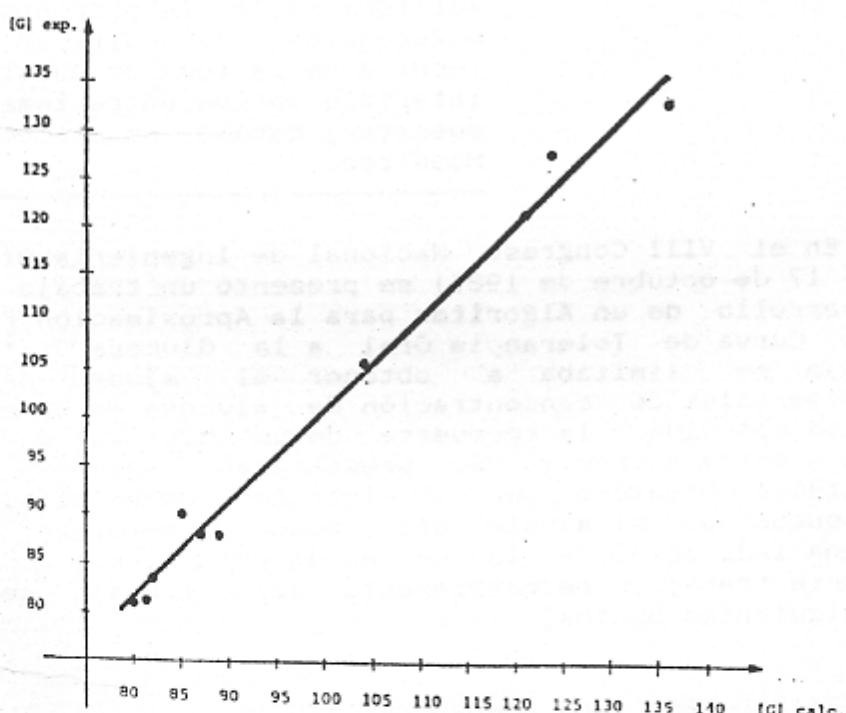


Figura 1. Recta de regresión lineal para el cálculo del coeficiente de correlación (r) y la pendiente (m). Los datos se tomaron de la fig. 2.a.

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.

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

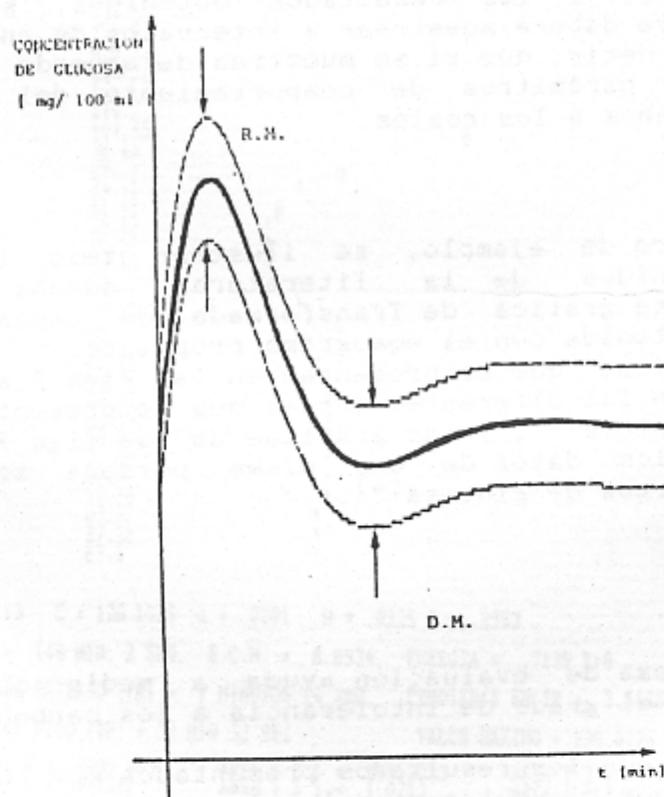


Figura 2. Gráfica que ilustra el concepto de desviación media (D.M.) y regulación media (R.M.).

II.- NOMOGRAMA DE EVALUACIÓN.

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 linea 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 30 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 graficas 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 numéricamente 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 invariante con el tiempo (SLIT), es de esperarse que la magnitud de la carga de glucosa no influja significativamente en los valores de los parámetros de la curva.

CURVA DE TOLERANCIA ORAL A LA GLUCOSA FECHA : 09-30-1987
 JUAN / AAAA / PUUU / INICIO DE PROCESAMIENTO : 16:17:00 HRS
 H-0001 AAAA PUUU MA FIN DE PROCESAMIENTO : 16:32:07 HRS
 144 / 0001 / AAAA / HHHH / CARGA DE
 144 / 0001 / AAAA / HHHH / GLUCOSA : 75
 144 / 0001 / AAAA / HHHH / PACIENTE : TODD - SANFORD
 144 / 0001 / AAAA / HHHH / EDAD :
 UNIVERSIDAD AUTONOMA METROPOLITANA SEXO :
 CIUDAD MEXICO ESTACION :
 INGENIERIA BIOMEDICA COMENTARIOS : NORMAL

VALORES CALCULADOS CON 12 CIFRAS DE RESOLUCION DESPUES DE 31 ITERACIONES

TIEMPO	[G] EXP.	[G] CALC.	Q.- VALOR EXPERIMENTAL
(MIN)	(mg/100ml)	(mg/100ml)	1.- VALOR CALCULADO
0	75.0	75.0	2.- EXPERIMENTAL Y CALCULADO
1	100.0	100.0	
2	125.0	125.0	
3	144.0	144.0	
4	156.0	156.0	
5	164.0	164.0	
6	170.0	170.0	
7	174.0	174.0	
8	177.0	177.0	
9	180.0	180.0	
10	182.0	182.0	
11	183.0	183.0	
12	183.0	183.0	
13	183.0	183.0	
14	183.0	183.0	
15	183.0	183.0	
16	183.0	183.0	
17	183.0	183.0	
18	183.0	183.0	
19	183.0	183.0	
20	183.0	183.0	
21	183.0	183.0	
22	183.0	183.0	
23	183.0	183.0	
24	183.0	183.0	
25	183.0	183.0	
26	183.0	183.0	
27	183.0	183.0	
28	183.0	183.0	
29	183.0	183.0	
30	183.0	183.0	
31	183.0	183.0	

ESTIMADORES DE LA BUONDAD DEL AJUSTE

$$r = .9738 \quad n = 37 \quad D.H. = \pm 2.453 \text{ mg/100 ml} \quad R.H. = \pm 3.5226 \%$$

TIEMPO	CONCENTRACION	81	94.05	107.1	120.15	133.2
(MIN)	(mg/100 ml)					
0	75.0					
1	100.0					
2	125.0					
3	144.0					
4	156.0					
5	164.0					
6	170.0					
7	174.0					
8	177.0					
9	180.0					
10	182.0					
11	183.0					
12	183.0					
13	183.0					
14	183.0					
15	183.0					
16	183.0					
17	183.0					
18	183.0					
19	183.0					
20	183.0					
21	183.0					
22	183.0					
23	183.0					
24	183.0					
25	183.0					
26	183.0					
27	183.0					
28	183.0					
29	183.0					
30	183.0					
31	183.0					

$$K = 87.13 \quad C = 126.1925 \quad a = .0201 \quad W = .0325 \quad \theta = .2353$$

$$TA(5\%) = 149 \text{ MIN. } 2 \text{ SEG. E.C.M.} = 8.8534 \text{ ENERGIA} = .7139 \times 10^6$$

$$\text{TIEMPO DE RETRASO (TR)} = 7 \text{ MINUTOS } 14 \text{ SEG. PENDIENTE EN IR} = 3.5458$$

$$\text{TIEMPO DE PICO (TP)} = 38 \text{ MIN } 32 \text{ SEG. VALOR MAXIMO} = 136.6026$$

$$\text{AREA (1)} = 3099.303 \quad \text{AREA (2)} = 347.2032 \quad \text{AREA (3)} = 49.7473 \\ \text{AREA (4)} = 7.1576 \quad \text{AREA (5)} = 1.0211 \quad \text{AREA (6)} = .1463$$

$$\text{FRECUENCIA NATURAL (WN)} = .0382 \quad \text{FACTOR DE ABSORBIJAMIENTO (x)} = .516$$

$$Y(S) = \frac{(.392265 + (S + i - .1155))}{(S + .0201 + j .0325 + (S + .0201 - j .0325))} = \frac{.391947 + S (- .1155 + i)}{(S / (.0201 + j .0325)) + 26.8341}$$

VALORES NORMALIZADOS

$$WN = 1.83 \quad a = 2.14 \quad \theta = 1.17 \quad PENO = 2.75$$

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

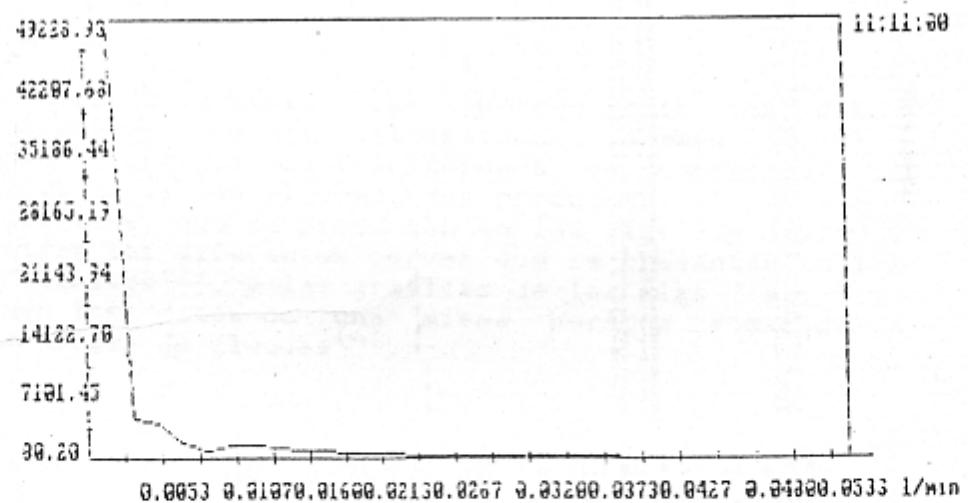
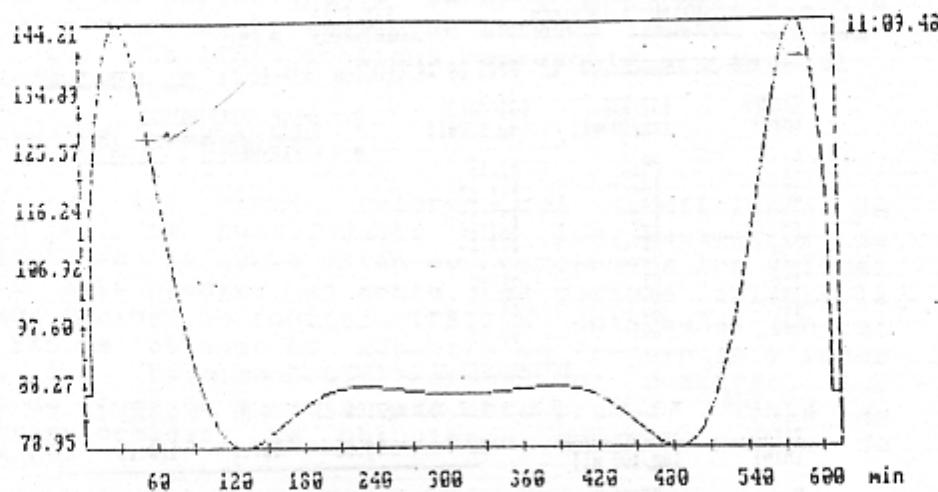


Figura 3.b. Gráficas de concentración de glucosa .vs. tiempo y del espectro en frecuencia (FFT) de la curva de tolerancia oral a la glucosa para un paciente normal, obtenidas a partir de la fig. 3.a. $T_m = 1/(2 \times 0.0373) = 13.4$ min.

CURVA DE TOLERANCIA ORAL A LA GLUCOSA FECHA : 09-30-1987

UNIVERSIDAD AUTONOMA METROPOLITANA
UNIDAD IZTACALCO
INGENIERIA BIOMEDICA

INICIO DE PROCESAMIENTO : 18:39:00 HRS
FIN DE PROCESAMIENTO : 19:09:00 HRS
CARGA DE GLUCOSA : 75
PACIENTE : T-00 - SANFORD
ESTATURA : 175 CM
PESO : 75 KG
COMENTARIO : DIABETES MODERADA

VALORES CALCULADOS CON 12 BITS DE RESOLUCION DESPUES DE 4 ITERACIONES

TIEMPO (MIN)	[G] EXP. (mg/100 ml)	[G] CALC. (mg/100 ml)	G.- VALOR EXPERIMENTAL E.- VALOR CALCULADO E.- EXPERIMENTAL Y CALCULADO
0	135	135	
10	177.3	177.3	
20	199.4	199.4	
30	199.6	199.6	
40	199.4	199.4	
50	199.4	199.4	
60	199.4	199.4	
70	199.4	199.4	
80	199.4	199.4	
90	199.4	199.4	
100	199.4	199.4	
110	199.4	199.4	
120	199.4	199.4	
130	199.4	199.4	
140	199.4	199.4	
150	199.4	199.4	
160	199.4	199.4	
170	199.4	199.4	
180	199.4	199.4	
190	199.4	199.4	
200	199.4	199.4	
210	199.4	199.4	
220	199.4	199.4	
230	199.4	199.4	
240	199.4	199.4	
250	199.4	199.4	
260	199.4	199.4	
270	199.4	199.4	
280	199.4	199.4	
290	199.4	199.4	
300	199.4	199.4	
310	199.4	199.4	
320	199.4	199.4	
330	199.4	199.4	
340	199.4	199.4	
350	199.4	199.4	
360	199.4	199.4	
370	199.4	199.4	
380	199.4	199.4	
390	199.4	199.4	
400	199.4	199.4	
410	199.4	199.4	
420	199.4	199.4	
430	199.4	199.4	
440	199.4	199.4	
450	199.4	199.4	
460	199.4	199.4	
470	199.4	199.4	
480	199.4	199.4	
490	199.4	199.4	
500	199.4	199.4	
510	199.4	199.4	
520	199.4	199.4	
530	199.4	199.4	
540	199.4	199.4	
550	199.4	199.4	
560	199.4	199.4	
570	199.4	199.4	
580	199.4	199.4	
590	199.4	199.4	
600	199.4	199.4	
610	199.4	199.4	
620	199.4	199.4	
630	199.4	199.4	
640	199.4	199.4	
650	199.4	199.4	
660	199.4	199.4	
670	199.4	199.4	
680	199.4	199.4	
690	199.4	199.4	
700	199.4	199.4	
710	199.4	199.4	
720	199.4	199.4	
730	199.4	199.4	
740	199.4	199.4	
750	199.4	199.4	
760	199.4	199.4	
770	199.4	199.4	
780	199.4	199.4	
790	199.4	199.4	
800	199.4	199.4	
810	199.4	199.4	
820	199.4	199.4	
830	199.4	199.4	
840	199.4	199.4	
850	199.4	199.4	
860	199.4	199.4	
870	199.4	199.4	
880	199.4	199.4	
890	199.4	199.4	
900	199.4	199.4	
910	199.4	199.4	
920	199.4	199.4	
930	199.4	199.4	
940	199.4	199.4	
950	199.4	199.4	
960	199.4	199.4	
970	199.4	199.4	
980	199.4	199.4	
990	199.4	199.4	
1000	199.4	199.4	

ESTIMADORES DE LA BONDAD DEL AJUSTE

r = .7742 n = 74 D.H. = ± 11.5614 mg/100 ml R.H. = ± 7.5396 %

TIEMPO (MIN)	CONCENTRACION (mg/100 ml)	135	152.33	169.65	186.98	204.3
0	134.67					
10	134.87					
20	174.45					
30	204.87					
40	216.36					
50	216.05					
60	209.93					
70	196.53					
80	189.53					
90	181.53					
100	172.53					
110	163.53					
120	154.53					
130	145.53					
140	136.53					
150	127.53					
160	118.53					
170	109.53					
180	100.53					
190	91.53					
200	82.53					
210	73.53					
220	64.53					
230	55.53					
240	46.53					
250	37.53					
260	28.53					
270	19.53					
280	10.53					
290	1.53					
300	135.06					

$$K = 134.3663 \quad C1 = 3089.046 \quad a1 = .0308 \quad C2 = -3244.872 \quad a2 = .0344$$

$$TA(5\%) = 198 MIN. 56 SEG. \quad E.C.H. = 14.0114 \quad ENERGIA = 38.542 E+6$$

$$TIEMPO DE RETRASO (TR) = 13 MINUTOS 40 SEG. \quad PENDIENTE EN TR = 7.3991$$

$$TIEMPO DE PICO = 44 MIN 22 SEG \quad VALOR MAXIMO = 217.2777$$

$$AREA (TR - TA) = 6.7707 E+03$$

$$FRECUENCIA NATURAL (WN) = .0326 \quad FACTOR DE AHORTIGUAMIENTO (c) = 1.0015$$

$$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{(0)(s + 0.0406)}{(s + 0.0308)(s + 0.0344)} = \frac{(79.54698)(s + 0.0406) + 1}{(s + 0.0308) + 1(s + 0.0344) + 1}$$

$$a = .0326$$

VALORES NORMALIZADOS

$$WN = 1.56 \quad a = 3.47 \quad c = 2.23 \quad PEND = 5.66$$

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).

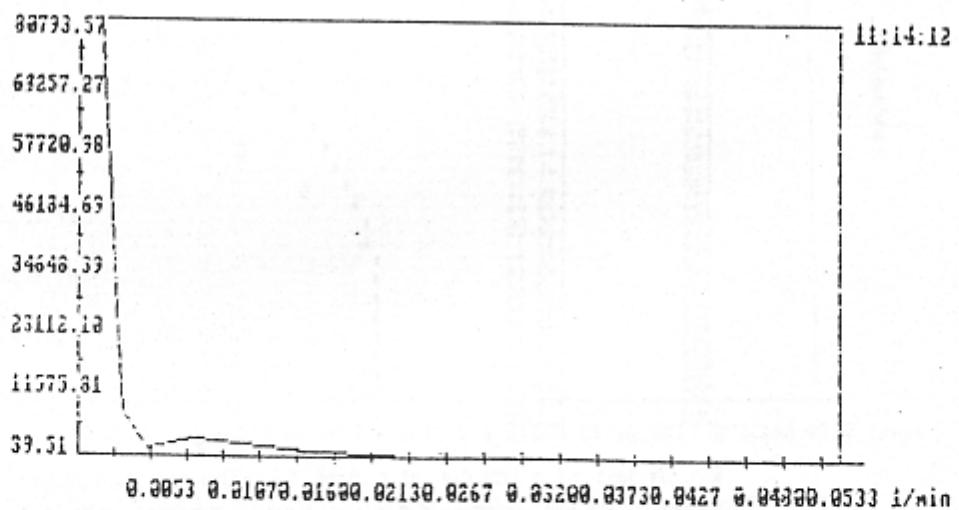
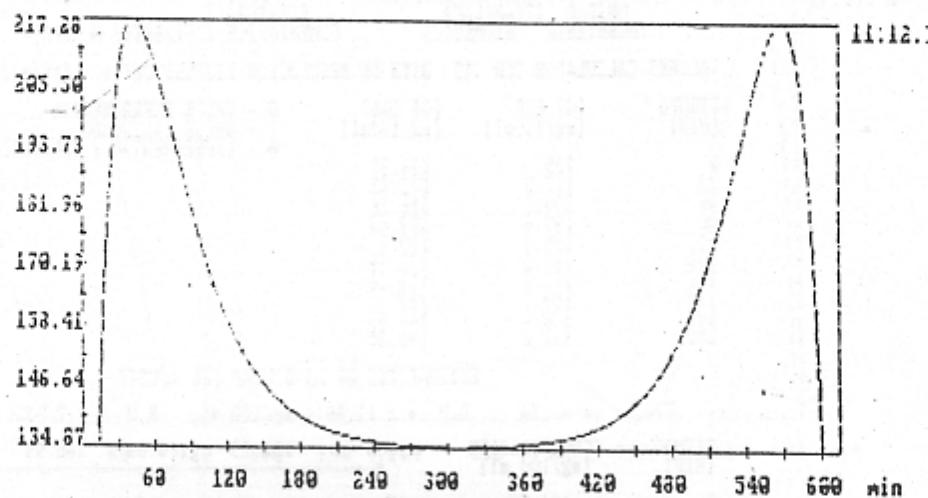


Figura 4.b. Gráficas de concentración de glucosa .vs. tiempo y del espectro en frecuencia (FFT) de la curva de tolerancia oral a la glucosa para un paciente con diabetes moderada, obtenidas a partir de la fig. 4.a. $T_m = 1/(2 \times 0.0213) = 23.5$ min.

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

INICIO DE PROCESAMIENTO : 18:46:16 HRS
 FIN DE PROCESAMIENTO : 18:46:57 HRS
 CARGA DE
 GLUCOSA : 75
 PACIENTE : TODD - SANFORD
 EDAD : ---
 PESO : ---
 ESTATURA : ---
 COMENTARIOS : DIABETES SEVERA

UNIVERSIDAD AUTONOMA METROPOLITANA
 UNIDAD CIENCIAS FISICOQUÍMICAS
 INGENIERIA BIOMÉDICA

VALORES CALCULADOS CON 12 BITS DE RESOLUCION DESPUES DE 3 ITERACIONES

TIEMPO [MIN]	[G] EXP. (mg/100ml)	[G] CALC. (mg/100ml)	% - VALOR EXPERIMENTAL vs. VALOR CALCULADO EXPERIMENTAL / CALCULADO
0	207	206.9	
10	206.4	206.4	
20	205.4	205.4	
30	205.0	205.0	
40	204.4	204.4	
50	203.6	203.6	
60	202.6	202.6	
70	201.4	201.4	
80	200.0	200.0	
90	198.4	198.4	
100	196.6	196.6	
110	194.7	194.7	
120	192.7	192.7	
130	190.6	190.6	
140	188.4	188.4	
150	186.1	186.1	
160	183.7	183.7	
170	181.2	181.2	
180	178.6	178.6	
	309	317.00	

ESTIMADORES DE LA BONDAD DEL AJUSTE

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

TIEMPO [MIN]	CONCENTRACION (mg/100 ml)	207	233.25	259.5	285.75	312
0	206.9					
10	206.4					
20	205.4					
30	205.0					
40	204.4					
50	203.6					
60	202.6					
70	201.4					
80	200.0					
90	198.4					
100	196.6					
110	194.7					
120	192.7					
130	190.6					
140	188.4					
150	186.1					
160	183.7					
170	181.2					
180	178.6					
	309					

$$R = 206.699 \quad Cl = 139.2103 \quad a1 = .0006 \quad C2 = -39.6216 \quad a2 = .0155$$

$$TA(S) = 4231 \text{ MIN. } 6 \text{ SEG. E.C.H.} = 20.7546 \quad \text{ENERGIA} = 1271.527 \text{ E+6}$$

$$\text{TIEMPO DE RETRASO (TR)} = 17 \text{ MINUTOS } 58 \text{ SEG. PENDIENTE EN TR} = 1.0914$$

$$\text{TIEMPO DE PICO} = 200 \text{ MIN } 15 \text{ SEG} \quad \text{VALOR MAXIMO} = 317.8978$$

$$\text{AREA (TR - TA)} = 192.5843 \text{ E+03}$$

$$\text{FRECUENCIA NATURAL (SN)} = .003 \quad \text{FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (c)} = 2.6397$$

$$\frac{T(S)}{U(S)} = \frac{(0.003 + 0.006)}{(S + 0.006)(S + 0.0155)} = \frac{(2007.877 + (S/(0.064) + 1))}{(S/(0.0006 + 1))^2 / (0.0155 + 1)}$$

$$a = .0081$$

VALORES NORMALIZADOS

$$MN = .14 \quad a = .06 \quad c = 5.87 \quad PEND = .65$$

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 (3).

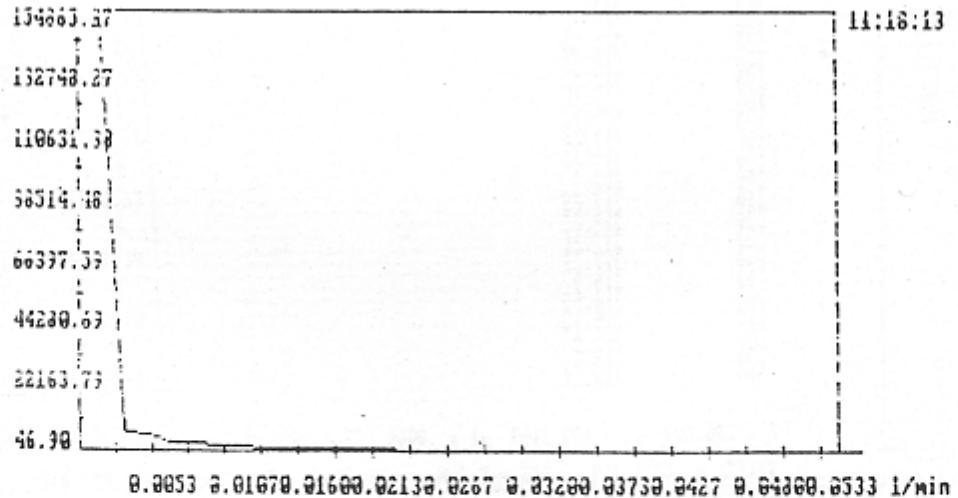
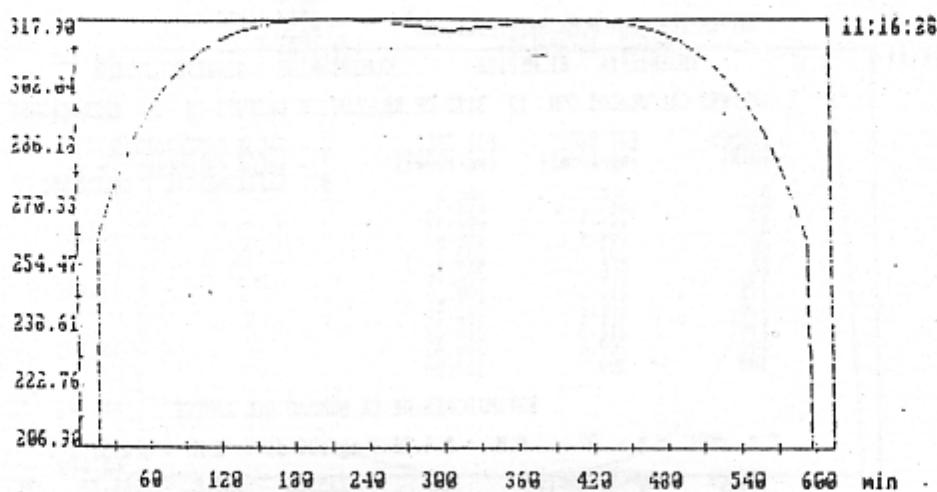


Figura 5.b. Gráficas de concentración de glucosa .vs. tiempo y del espectro en frecuencia (FFT) de la curva de tolerancia oral a la glucosa para un paciente con diabetes severa, obtenidas a partir de la fig. 5.a. $T_m = 1/(2 \times 0.0213) = 23.5$ min.

c) Es de esperarse que si la carga de glucosa se ingiere por vía 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.

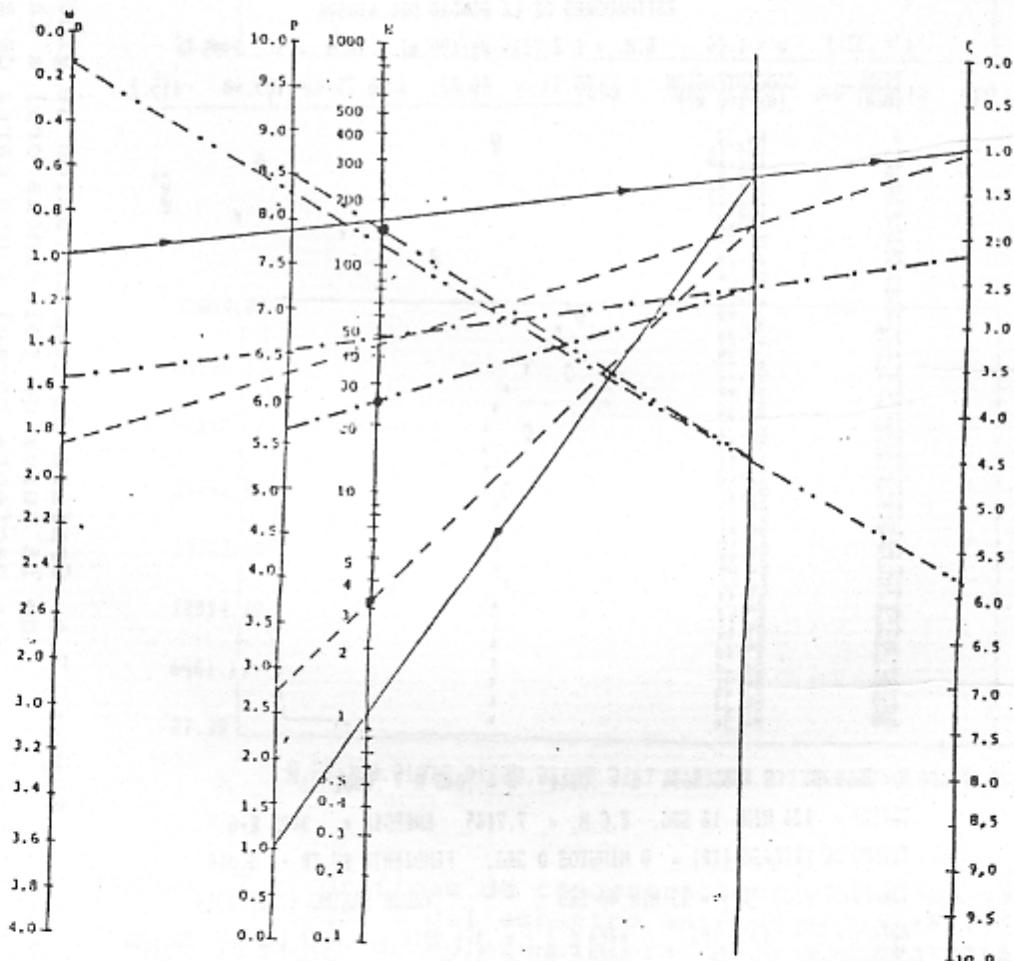


Figura 6. Nomograma de evaluación para las curvas de las figuras 3.a. (normal - - -), 4.a. (diabetes moderada - - - -) y 5.a. (diabetes severa - - - - -).

SUEÑO DE TOLERANCIA CRAL A LA GLUCOSA

FECHA : 09-10-1997

INICIO DE PROCESAMIENTO : 19:51:13 HRS
 FIN DE PROCESAMIENTO : 19:58:15 HRS
 CARGA DE
 GUERRA : 30
 PACIENTE : FÜRSTER et. al.
 EDAD : ---
 PESO : ---
 ESTADO : ---
 COHETAZOS : ---
 UNIVERSIDAD AUTONOMA METROPOLITANA
 CIUDAD DE MEXICO
 INGENIERIA BIOMEDICA

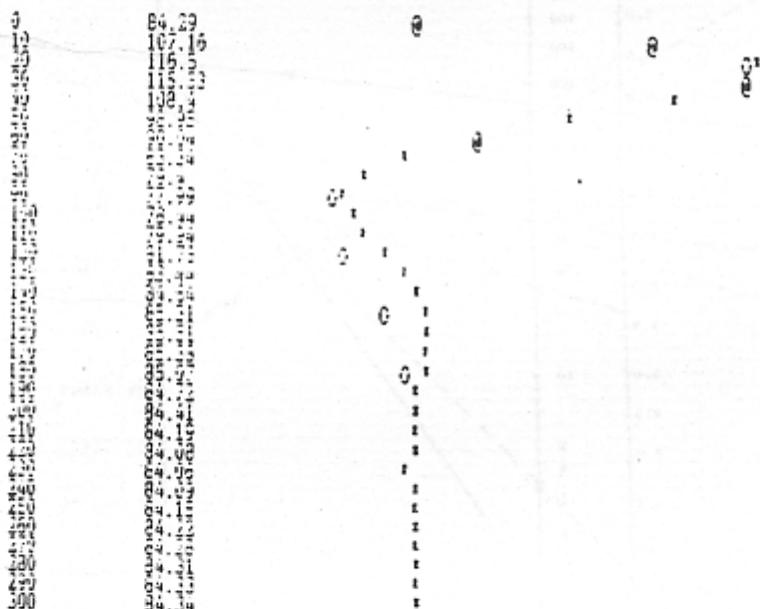
VALORES CALCULADOS CON 10 EJES DE RESOLUCIÓN DESPUES DE 15 ITERACIONES

TIEMPO (MIN)	[C] EAC.		[C] CALC.		a - VALOR EXPERIMENTAL b - VALOR CALCULADO c - EXPERIMENTAL Y CALCULADO
	[mg/liter]	[mg/liter]	[mg/liter]	[mg/liter]	
0	0.00	0.00	0.00	0.00	
100	1.00	1.00	1.00	1.00	
110	1.00	1.00	1.00	1.00	
120	1.00	1.00	1.00	1.00	
130	1.00	1.00	1.00	1.00	
140	1.00	1.00	1.00	1.00	
150	1.00	1.00	1.00	1.00	
160	1.00	1.00	1.00	1.00	
170	1.00	1.00	1.00	1.00	
180	1.00	1.00	1.00	1.00	
190	1.00	1.00	1.00	1.00	
200	1.00	1.00	1.00	1.00	
210	1.00	1.00	1.00	1.00	
220	1.00	1.00	1.00	1.00	
230	1.00	1.00	1.00	1.00	
240	1.00	1.00	1.00	1.00	
250	1.00	1.00	1.00	1.00	
260	1.00	1.00	1.00	1.00	
270	1.00	1.00	1.00	1.00	
280	1.00	1.00	1.00	1.00	
290	1.00	1.00	1.00	1.00	
300	1.00	1.00	1.00	1.00	
310	1.00	1.00	1.00	1.00	
320	1.00	1.00	1.00	1.00	
330	1.00	1.00	1.00	1.00	
340	1.00	1.00	1.00	1.00	
350	1.00	1.00	1.00	1.00	
360	1.00	1.00	1.00	1.00	
370	1.00	1.00	1.00	1.00	
380	1.00	1.00	1.00	1.00	
390	1.00	1.00	1.00	1.00	
400	1.00	1.00	1.00	1.00	
410	1.00	1.00	1.00	1.00	
420	1.00	1.00	1.00	1.00	
430	1.00	1.00	1.00	1.00	
440	1.00	1.00	1.00	1.00	
450	1.00	1.00	1.00	1.00	
460	1.00	1.00	1.00	1.00	
470	1.00	1.00	1.00	1.00	
480	1.00	1.00	1.00	1.00	
490	1.00	1.00	1.00	1.00	
500	1.00	1.00	1.00	1.00	
510	1.00	1.00	1.00	1.00	
520	1.00	1.00	1.00	1.00	
530	1.00	1.00	1.00	1.00	
540	1.00	1.00	1.00	1.00	
550	1.00	1.00	1.00	1.00	
560	1.00	1.00	1.00	1.00	
570	1.00	1.00	1.00	1.00	
580	1.00	1.00	1.00	1.00	
590	1.00	1.00	1.00	1.00	
600	1.00	1.00	1.00	1.00	
610	1.00	1.00	1.00	1.00	
620	1.00	1.00	1.00	1.00	
630	1.00	1.00	1.00	1.00	
640	1.00	1.00	1.00	1.00	
650	1.00	1.00	1.00	1.00	
660	1.00	1.00	1.00	1.00	
670	1.00	1.00	1.00	1.00	
680	1.00	1.00	1.00	1.00	
690	1.00	1.00	1.00	1.00	
700	1.00	1.00	1.00	1.00	
710	1.00	1.00	1.00	1.00	
720	1.00	1.00	1.00	1.00	
730	1.00	1.00	1.00	1.00	
740	1.00	1.00	1.00	1.00	
750	1.00	1.00	1.00	1.00	
760	1.00	1.00	1.00	1.00	
770	1.00	1.00	1.00	1.00	
780	1.00	1.00	1.00	1.00	
790	1.00	1.00	1.00	1.00	
800	1.00	1.00	1.00	1.00	
810	1.00	1.00	1.00	1.00	
820	1.00	1.00	1.00	1.00	
830	1.00	1.00	1.00	1.00	
840	1.00	1.00	1.00	1.00	
850	1.00	1.00	1.00	1.00	
860	1.00	1.00	1.00	1.00	
870	1.00	1.00	1.00	1.00	
880	1.00	1.00	1.00	1.00	
890	1.00	1.00	1.00	1.00	
900	1.00	1.00	1.00	1.00	
910	1.00	1.00	1.00	1.00	
920	1.00	1.00	1.00	1.00	
930	1.00	1.00	1.00	1.00	
940	1.00	1.00	1.00	1.00	
950	1.00	1.00	1.00	1.00	
960	1.00	1.00	1.00	1.00	
970	1.00	1.00	1.00	1.00	
980	1.00	1.00	1.00	1.00	
990	1.00	1.00	1.00	1.00	
1000	1.00	1.00	1.00	1.00	

ESTIMADORES DE LA BONDAD DEL AJUSTE

$t = .9373$ $m = 1.05$ D.H. = + 2.0014 mg/100 ml R.H. = + 2.3385 %

TITERS (HIN) CONCENTRATION (mg/100 ml) 76.3 86.03 95.75 105.48 115.2



$$K = 64.2909 \quad C = 65.5634 \quad q = .0341 \quad R = .046 \quad Q = .0001$$

TA(56) = 124 MIN. 18 SEC. E.C.H. = 7.7145 ENERGIA = 3633 E.v.

TIEMPO DE RETRASO (TR) = 0 MINUTOS 0 SEG. EFICIENTE EN TR = 3.00%

TIEMPO DE PICO (TP) = 23 MIN 40 SEC VALOR MAXIMO = 113.1316

AEPA (1,1) = 1324.102 AEPA (2,1) = 134.083 AEPA (3,1) =

AREA 1: 0 = 1.2403 AREA 2: 0 = 1.2407

$$\frac{\text{FRECUENCIA NATURAL (W)} = .0019 \quad \text{FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (c)} = .4641}{W_0 = \frac{(3.14159 \cdot 1.316 \cdot 1.02 - 0.0019 \cdot 0.4641)}{(3.14159 \cdot 0.0019 \cdot 1.02 + 0.4641 \cdot 0.0019)}} = \frac{37.225}{(3.14159 \cdot 0.0019 \cdot 1.02 + 0.4641 \cdot 0.0019)} = 37.225$$

1998 RELEASEE BY NARA

TABLE II. INFLUENCE OF THE CROWN RATIO ON THE GROWTH OF THE PLANT

Figura 7.á. 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).

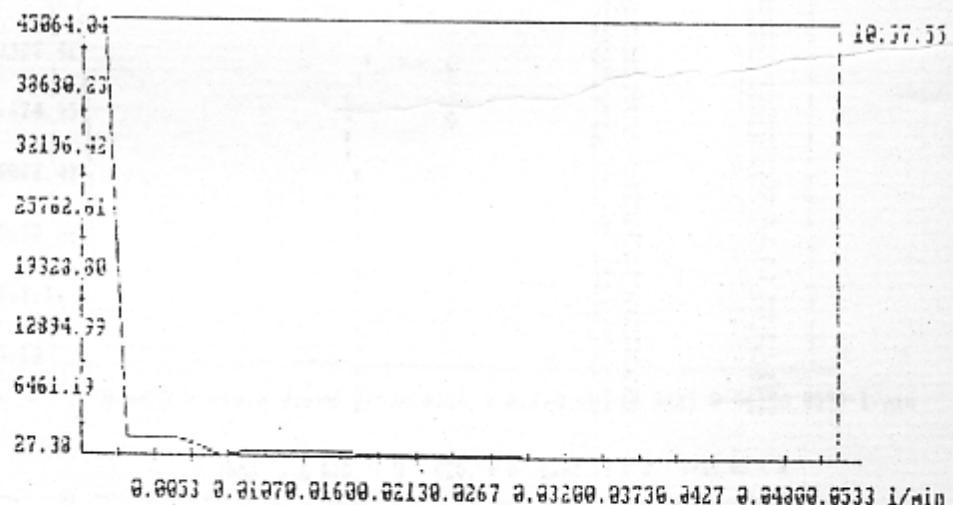
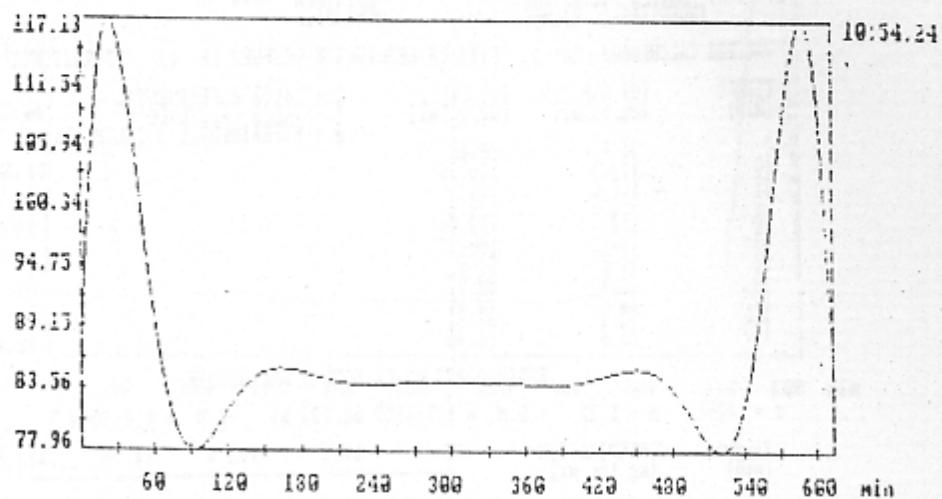


Figura 7.b. Gráficas de concentración de glucosa .vs. tiempo y del espectro en frecuencia (FFT) de la curva de tolerancia oral a la glucosa para un paciente normal, obtenidas a partir de la fig. 7.a. $T_m = 1/(2 \times 0.032) \approx 15.6$ min.

CURVA DE TOLERANCIA ORAL A LA GLUCOSA

FECHA : 09-10-1987

PROYECTO : UUU /
 FIN DE PROCESAMIENTO : 19:00:00 000
 FECHA : 1987-10-09 19:00:00
 CARGA DE : 50
 PACIENTE : FÖRSTER et. al.
 ESTADÍSTICA : ---
 UNIVERSIDAD NACIONAL METROPOLITANA
 ESTADÍSTICA : ---
 INVESTIGACIÓN : ---
 CONCENTRACIÓN : ---

VALORES CALCULADOS CON 10 ETRS DE RESOLUCIÓN DESPUES DE 10 ITERACIONES

TIEMPO	(1) EXP.	(2) EXP.	1.- VALORES EXPERIMENTAL
	(mg/100 ml)	(mg/100 ml)	2.- ESTIMADO
0	96.61	96.61	96.61
10	116.68	116.68	116.68
20	126.75	126.75	126.75
30	134.82	134.82	134.82
40	139.91	139.91	139.91
50	143.00	143.00	143.00
60	144.09	144.09	144.09
70	144.18	144.18	144.18
80	144.27	144.27	144.27
90	144.36	144.36	144.36
100	144.45	144.45	144.45
110	144.54	144.54	144.54
120	144.63	144.63	144.63
130	144.72	144.72	144.72
140	144.81	144.81	144.81
150	144.90	144.90	144.90
160	144.99	144.99	144.99
170	145.08	145.08	145.08
180	145.17	145.17	145.17
190	145.26	145.26	145.26
200	145.35	145.35	145.35
210	145.44	145.44	145.44
220	145.53	145.53	145.53
230	145.62	145.62	145.62
240	145.71	145.71	145.71
250	145.80	145.80	145.80
260	145.89	145.89	145.89
270	145.98	145.98	145.98
280	146.07	146.07	146.07
290	146.16	146.16	146.16
300	146.25	146.25	146.25
310	146.34	146.34	146.34
320	146.43	146.43	146.43
330	146.52	146.52	146.52
340	146.61	146.61	146.61
350	146.70	146.70	146.70
360	146.79	146.79	146.79
370	146.88	146.88	146.88
380	146.97	146.97	146.97
390	147.06	147.06	147.06
400	147.15	147.15	147.15
410	147.24	147.24	147.24
420	147.33	147.33	147.33
430	147.42	147.42	147.42
440	147.51	147.51	147.51
450	147.60	147.60	147.60
460	147.69	147.69	147.69
470	147.78	147.78	147.78
480	147.87	147.87	147.87
490	147.96	147.96	147.96
500	148.05	148.05	148.05
510	148.14	148.14	148.14
520	148.23	148.23	148.23
530	148.32	148.32	148.32
540	148.41	148.41	148.41
550	148.50	148.50	148.50
560	148.59	148.59	148.59
570	148.68	148.68	148.68
580	148.77	148.77	148.77
590	148.86	148.86	148.86
600	148.95	148.95	148.95
610	149.04	149.04	149.04
620	149.13	149.13	149.13
630	149.22	149.22	149.22
640	149.31	149.31	149.31
650	149.40	149.40	149.40
660	149.49	149.49	149.49
670	149.58	149.58	149.58
680	149.67	149.67	149.67
690	149.76	149.76	149.76
700	149.85	149.85	149.85
710	149.94	149.94	149.94
720	150.03	150.03	150.03
730	150.12	150.12	150.12
740	150.21	150.21	150.21
750	150.30	150.30	150.30
760	150.39	150.39	150.39
770	150.48	150.48	150.48
780	150.57	150.57	150.57
790	150.66	150.66	150.66
800	150.75	150.75	150.75
810	150.84	150.84	150.84
820	150.93	150.93	150.93
830	151.02	151.02	151.02
840	151.11	151.11	151.11
850	151.20	151.20	151.20
860	151.29	151.29	151.29
870	151.38	151.38	151.38
880	151.47	151.47	151.47
890	151.56	151.56	151.56
900	151.65	151.65	151.65
910	151.74	151.74	151.74
920	151.83	151.83	151.83
930	151.92	151.92	151.92
940	152.01	152.01	152.01
950	152.10	152.10	152.10
960	152.19	152.19	152.19
970	152.28	152.28	152.28
980	152.37	152.37	152.37
990	152.46	152.46	152.46
1000	152.55	152.55	152.55

ESTIMADORES DE LA BONDAD DEL AJUSTE

$$I = .8252 \quad a = 1.21 \quad D.H. = \pm 7.4397 \text{ mg/100 ml} \quad R.H. = \pm 2.3809 \%$$

TIEMPO	CONCENTRACIÓN	72	67.2	103.4	117.6	132.6
	(mg/100 ml)					
0	96.61					
10	116.68					
20	126.75					
30	134.82					
40	139.91					
50	143.00					
60	144.09					
70	144.18					
80	144.27					
90	144.36					
100	144.45					
110	144.54					
120	144.63					
130	144.72					
140	144.81					
150	144.90					
160	144.99					
170	145.08					
180	145.17					
190	145.26					
200	145.35					
210	145.44					
220	145.53					
230	145.62					
240	145.71					
250	145.80					
260	145.89					
270	145.98					
280	146.07					
290	146.16					
300	146.25					
310	146.34					
320	146.43					
330	146.52					
340	146.61					
350	146.70					
360	146.79					
370	146.88					
380	146.97					
390	147.06					
400	147.15					
410	147.24					
420	147.33					
430	147.42					
440	147.51					
450	147.60					
460	147.69					
470	147.78					
480	147.87					
490	147.96					
500	148.05					
510	148.14					
520	148.23					
530	148.32					
540	148.41					
550	148.50					
560	148.59					
570	148.68					
580	148.77					
590	148.86					
600	148.95					
610	149.04					
620	149.13					
630	149.22					
640	149.31					
650	149.40					
660	149.49					
670	149.58					
680	149.67					
690	149.76					
700	149.85					
710	149.94					
720	150.03					
730	150.12					
740	150.21					
750	150.30					
760	150.39					
770	150.48					
780	150.57					
790	150.66					
800	150.75					
810	150.84					
820	150.93					
830	151.02					
840	151.11					
850	151.20					
860	151.29					
870	151.38					
880	151.47					
890	151.56					
900	151.65					
910	151.74					
920	151.83					
930	151.92					
940	152.01					
950	152.10					
960	152.19					
970	152.28					
980	152.37					
990	152.46					
1000	152.55					

VALORES NORMALIZADOS

$$W = 1.69 \quad a = 3.09 \quad j = 1.15 \quad PEND = 1.16$$

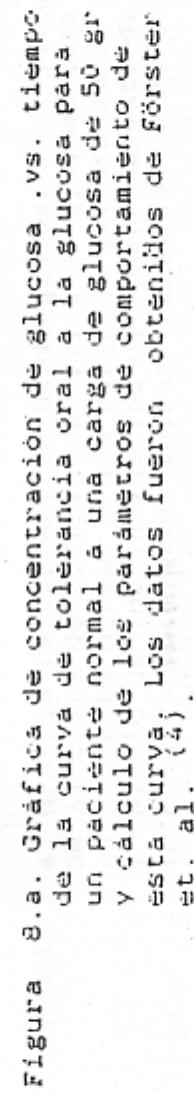


Figura 8.a. Gráfica de concentración de glucosa vs. tiempo de la curva de tolerancia oral a la glucosa para un paciente normal a una carga de glucosa de 50 gr. y cálculo de los parámetros de comportamiento de esta curva. Los datos fueron obtenidos de Förster et. al. (4).

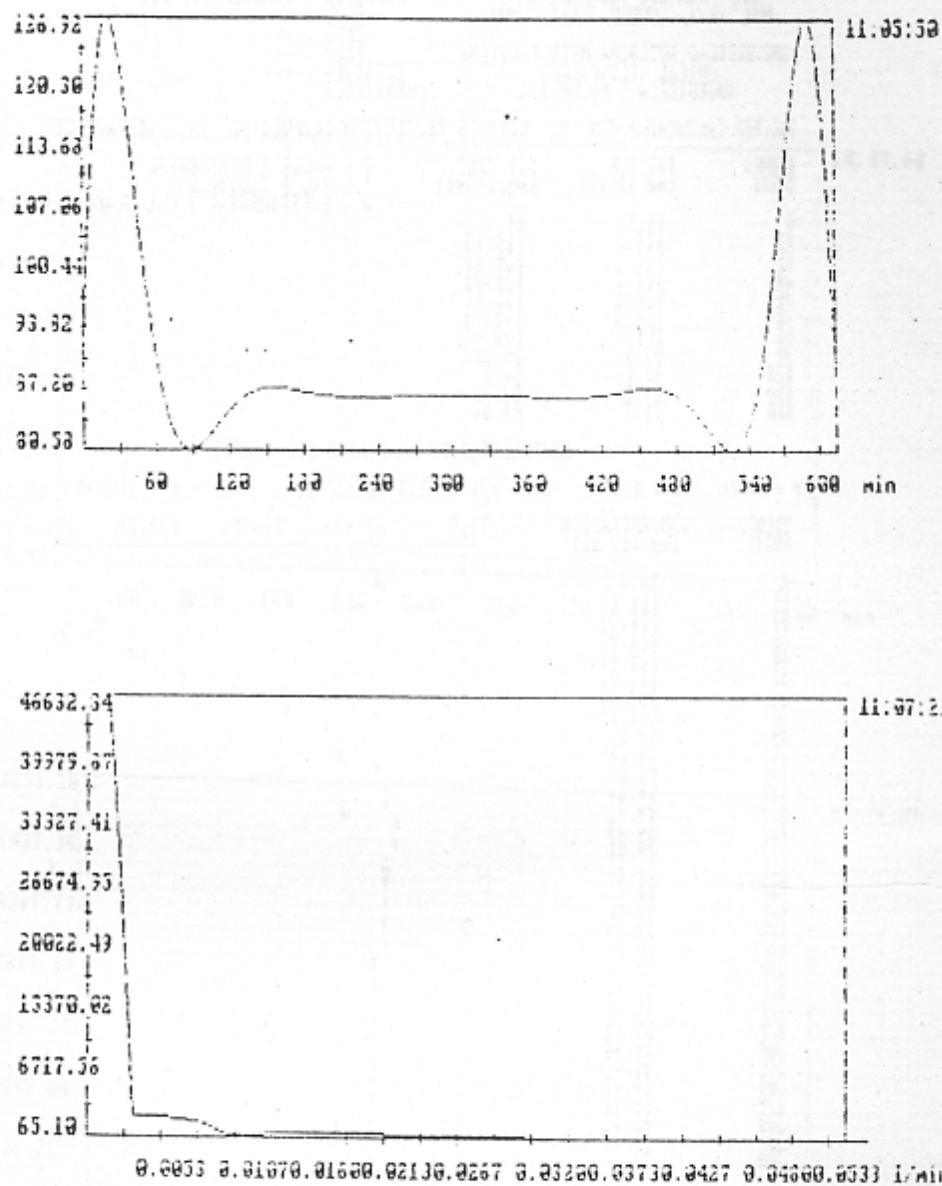


Figura 8.b. Gráficas de concentración de glucosa .vs. tiempo y del espectro en frecuencia (FFT) de la curva de tolerancia oral a la glucosa para un paciente normal, obtenidas a partir de la fig. 8.a. $T_m = 1/(2 \times .032) = 15.6$ min.

* CURVA DE TOLERANCIA ORAL A LA GLUCOSA FECHA : 09-10-1987
 VENDEDOR : FARMACIA JUANES INICIO DE PROCESAMIENTO : 15:00:00 HRS
 NOMBRE : ARA AREAS JOSEPH FIN DE PROCESAMIENTO : 19:15:00 HRS
 DIRECCIÓN : AV. 16 DE SEPTIEMBRE 1000
 TELÉFONO : 555-1000
 E-mail : josephara@prodigy.net.mx
 CARGA DE : 100
 PACIENTE : FORSTER et. al.
 UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA
 ESCUELA DE CIENCIAS
 INGENIERÍA BIOMÉDICA ESTÁNDARES : ***
 CONCENTRACIÓN : ***

VALORES CALCULADOS CON 12 BITS DE RESOLUCIÓN DESPUES DE 19 ITERACIONES

TIEMPO	(S) EXP.	(S) CALC.	V = VALOR EXPERIMENTAL
MIN	[mg/100 ml]	[mg/100 ml]	E = VALOR CALCULADO
0	100	100	
1	100.00	100.00	
2	100.00	100.00	
3	100.00	100.00	
4	100.00	100.00	
5	100.00	100.00	
6	100.00	100.00	
7	100.00	100.00	
8	100.00	100.00	
9	100.00	100.00	
10	100.00	100.00	
11	100.00	100.00	
12	100.00	100.00	
13	100.00	100.00	
14	100.00	100.00	
15	100.00	100.00	
16	100.00	100.00	
17	100.00	100.00	
18	100.00	100.00	
19	100.00	100.00	
20	100.00	100.00	
21	100.00	100.00	
22	100.00	100.00	
23	100.00	100.00	
24	100.00	100.00	
25	100.00	100.00	
26	100.00	100.00	
27	100.00	100.00	
28	100.00	100.00	
29	100.00	100.00	
30	100.00	100.00	
31	100.00	100.00	
32	100.00	100.00	
33	100.00	100.00	
34	100.00	100.00	
35	100.00	100.00	
36	100.00	100.00	
37	100.00	100.00	
38	100.00	100.00	
39	100.00	100.00	
40	100.00	100.00	
41	100.00	100.00	
42	100.00	100.00	
43	100.00	100.00	
44	100.00	100.00	
45	100.00	100.00	
46	100.00	100.00	
47	100.00	100.00	
48	100.00	100.00	
49	100.00	100.00	
50	100.00	100.00	
51	100.00	100.00	
52	100.00	100.00	
53	100.00	100.00	
54	100.00	100.00	
55	100.00	100.00	
56	100.00	100.00	
57	100.00	100.00	
58	100.00	100.00	
59	100.00	100.00	
60	100.00	100.00	
61	100.00	100.00	
62	100.00	100.00	
63	100.00	100.00	
64	100.00	100.00	
65	100.00	100.00	
66	100.00	100.00	
67	100.00	100.00	
68	100.00	100.00	
69	100.00	100.00	
70	100.00	100.00	
71	100.00	100.00	
72	100.00	100.00	
73	100.00	100.00	
74	100.00	100.00	
75	100.00	100.00	
76	100.00	100.00	
77	100.00	100.00	
78	100.00	100.00	
79	100.00	100.00	
80	100.00	100.00	
81	100.00	100.00	
82	100.00	100.00	
83	100.00	100.00	
84	100.00	100.00	
85	100.00	100.00	
86	100.00	100.00	
87	100.00	100.00	
88	100.00	100.00	
89	100.00	100.00	
90	100.00	100.00	
91	100.00	100.00	
92	100.00	100.00	
93	100.00	100.00	
94	100.00	100.00	
95	100.00	100.00	
96	100.00	100.00	
97	100.00	100.00	
98	100.00	100.00	
99	100.00	100.00	
100	100.00	100.00	

ESTIMADORES DE LA BONDAD DEL AJUSTE

$r = .9191$ $n = 1.05$ $D.H. = 1 5.7813 \text{ mg}/100 \text{ ml}$ $R.M. = 1 6.2705 \text{ S}$
 TIEMPO CONCENTRACION 71.7 87.93 104.15 120.39 136.6
 MIN [mg/100 ml]



$$E = 26.3964 \quad C = 143.2274 \quad a = .0365 \quad N = .0391 \quad b = .0091$$

$$TA(50) = 98 \text{ MIN. } 13 \text{ SEG. } E.C.H. = 0.0613 \text{ ENERGIA} = 0.2509 \text{ Z-6}$$

$$\text{TIEMPO DE RETRASO (TR)} = 0 \text{ MINUTOS } 0 \text{ SEG. } \text{PENDIENTE EN TR} = 4.3703$$

$$\text{TIEMPO DE PICO (TP)} = 25 \text{ MIN } 53 \text{ SEG } \text{VALOR MAXIMO} = 132.7305$$

$$\text{AREA } [1] = 2473.137 \quad \text{AREA } [2] = 94.5267 \quad \text{AREA } [3] = 3.91 \\ \text{AREA } [4] = .1625 \quad \text{AREA } [5] = .0067 \quad \text{AREA } [6] = .0003$$

$$\text{FRECUENCIA NATURAL (FN)} = .6429 \quad \text{FACTOR DE ANGOTIQUIMIENTO (g)} = .7116$$

$$T(S) = (.000145)(S+[-300.9695]) \quad (24.2828)(S/[-300.9695]+1) \\ U(S) = (S+.0305+j.0301)(S+.0305-j.0301) = (S/[.0429])^2 + 33.8939 S+1$$

VALORES NORMALIZADOS

$$MN = 1.06 \quad a = 0.24 \quad j = 1.58 \quad PEND = 5.39$$

Figura 9.a. Gráfica de concentración de glucosa vs. tiempo de la curva de tolerancia oral a la glucosa de 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).

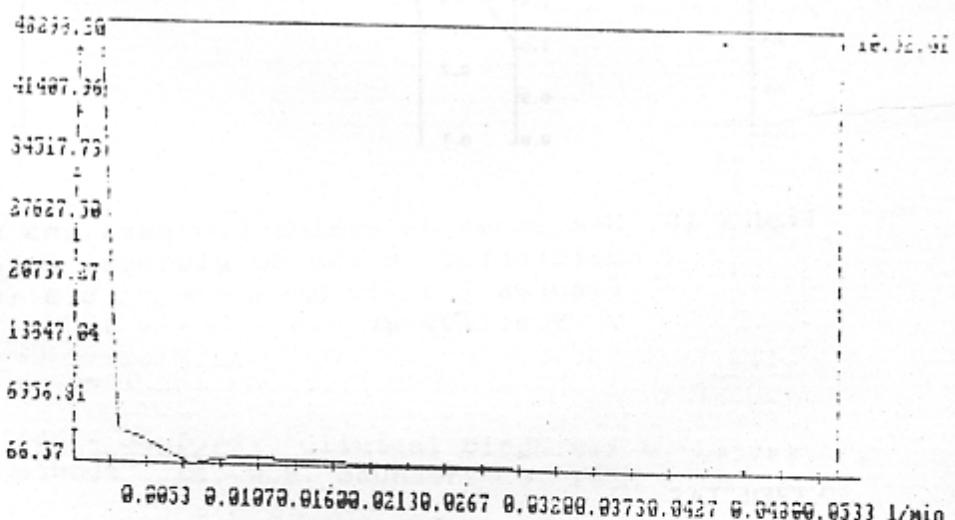
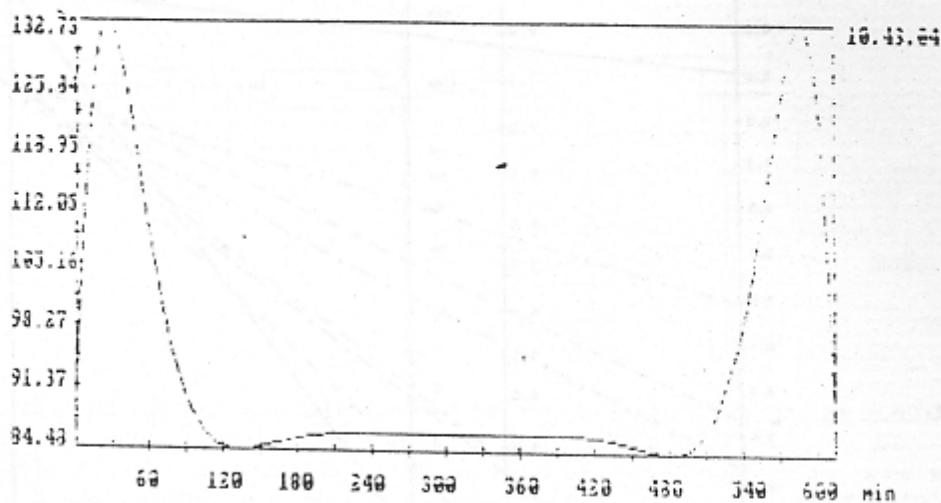


Figura 9.b. Gráficas de concentración de glucosa .vs. tiempo y del espectro en frecuencia (FFT) de la curva de tolerancia oral a la glucosa para un paciente normal, obtenidas a partir de la fig. 9.a. $T_m = 1/(2 \times 0.032) = 15.6$ min.

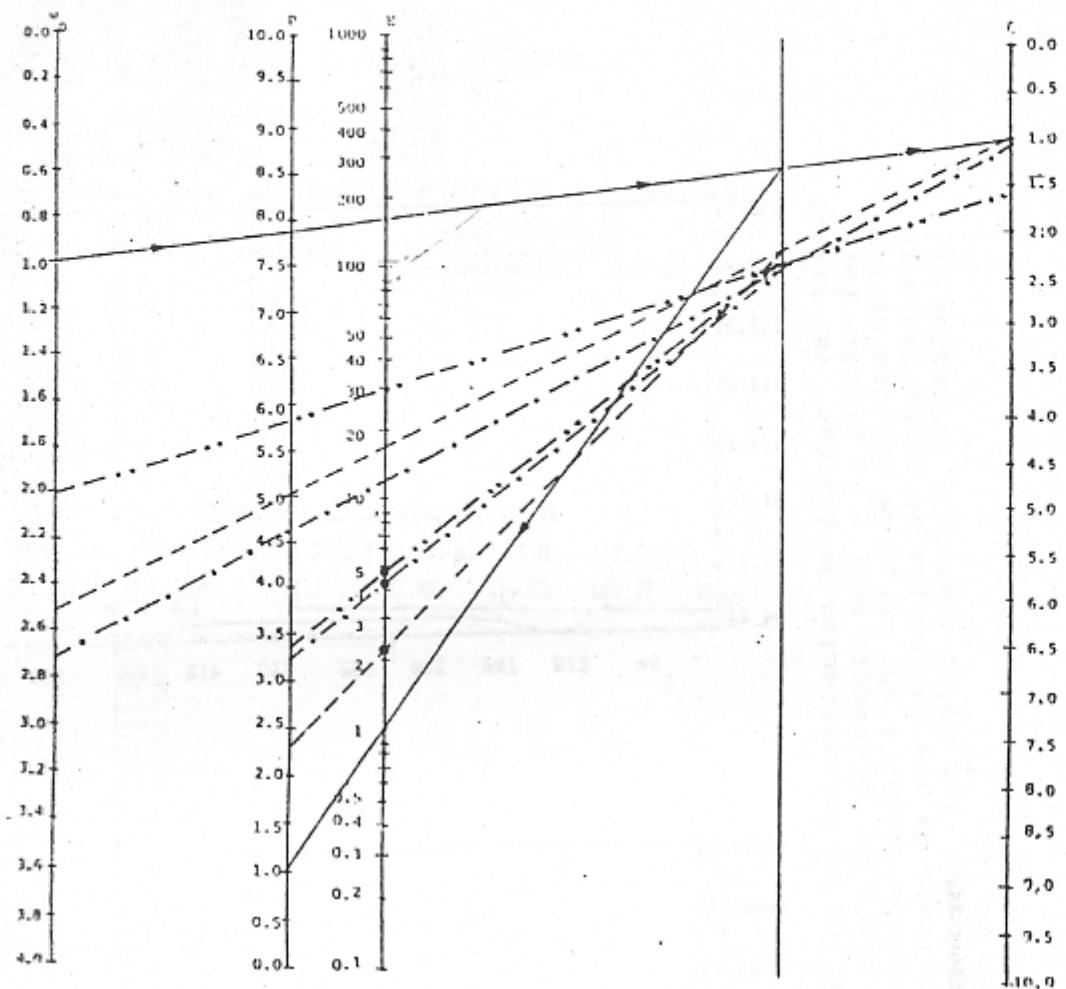


Figura 10. Nomograma de evaluación para una misma persona a diferentes cargas de glucosa, de acuerdo con las figuras 7.a.(30 gr - - -), 8.a.(50 gr - - .) y 9.a.(100 gr - - - - -).

SUGERENCIAS.

- El intervalo de muestreo propuesto, conlleva un serie 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 taponesamientos en la punta de la aguja.

se administrar al paciente 150 cc de agua antes del inicio de la prueba para evaluar el efecto albergado en la tolerancia.

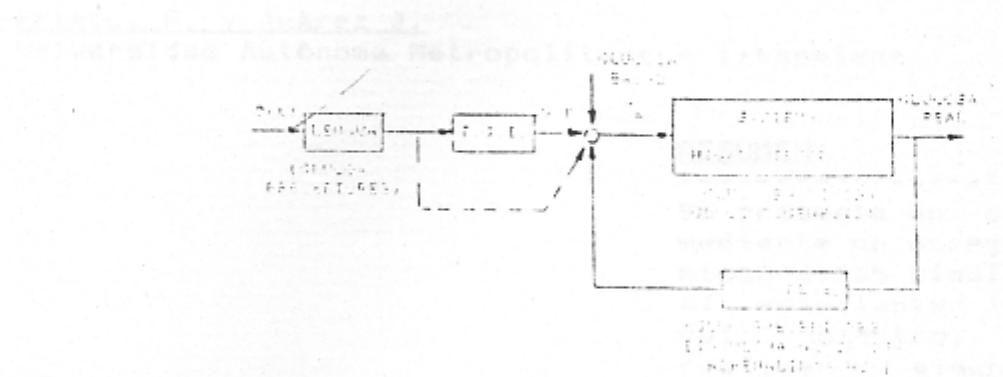


Figura II. Diagrama de bloques que representa la dinámica de la curva de tolerancia oral a la glucosa. La línea a trazos, representa la vía neuronal que se propone que existe para regular la respuesta del sistema.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- **Fregoli-Arribalzaga, H.** Desarrollo de un Algoritmo para la Aproximación Funcional de la Curva de Tolerancia Oral a la Glucosa. Revista Mexicana de Ingeniería Biomédica, § (2): T 170 - T 175; 1983.
- 2.- **Morales-Gómez, V.** "Fisiología Médica", vols. III, Ed. Panamericana México: Segunda Edición, 1977.
- 3.- **Todd-J-Sanford**, "Clinical Diagnosis by Laboratory Methods", Ed. W.B. Saunders Co. 15th Edition; 1974.
- 4.- **Förster, H., Halsbeck, M. & Mehnert, H.** Metabolic Studies Following the Oral Ingestion of Different Doses of Glucose. Diabetes, §1 (II): 1102 - 1109; 1972.