



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES

PLANTEL: "ZARAGOZA".

FALLA DE ORIGEN

ANÁLISIS Y DESARROLLO DE UN SISTEMA BASADO EN
REDES NEURONALES PARA LA DETERMINACIÓN DE LOS
PARÁMETROS ÓPTIMOS EN LA DESCONTAMINACIÓN DE
RESINAS DE INTERCAMBIO IÓNICO (GRADO NUCLEAR)
POR MEDIO DE ULTRASONIDO PARA USAR EN
REACTORES NUCLEARES.

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
LICENCIATURA EN INGENIERÍA QUÍMICA
P R E S E N T A :
NAZARIO LOPEZ VAZQUEZ

ASESOR: ING. EDUARDO VAZQUEZ ZAMORA

MEXICO, D. F.

1995



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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES *ZARAGOZA*

JEFATURA DE LA CARRERA
DE INGENIERIA QUIMICA

OF/IQ/JU/082/039/95

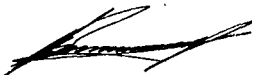
C. NAZARIO LOPEZ VAZQUEZ
P R E S E N T E.

En respuesta a su solicitud de asignación de jurado para el Examen Profesional, le comunico que la Jefatura a mi cargo ha propuesto la siguiente designación:

PRESIDENTE: DR. SERGIO TREJO MARTINEZ
VOCAL: ING. EDUARDO VAZQUEZ ZAMORA
SECRETARIO: ING. ALEJANDRO ROGEL RAMIREZ
SUPLENTE: QUIM. CECILIA SUGINA MATZUBARA ODA
SUPLENTE: ING. JOSE ANTONIO ZAMORA PLATA

A T E N T A M E N T E
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

México, D.F., 6 de julio de 1995


ING. JOSE BENJAMIN RANGEL GRANADOS
JEFE DE LA CARRERA

Irm

A MIS PADRES:

**FORJADORES INCANSABLES
DE MI DESTINO Y A QUIENES
TANTO ADMIRO Y RESPETO.**

A MIS HERMANOS:

**PORQUE ME APOYAN CON
SU ESFUERZO Y DEDICACION
EN EL ESTUDIO.**

**EN MEMORIA DE LOS
SERES QUERIDOS QUE YA
NO ESTAN CON NOSOTROS.**

A MIS PROFESORES:

QUIENES SEMBRARON LA
SEMILLA DEL CONOCIMIENTO
HOY COSECHADA.

AL ING. EDUARDO VAZQUEZ Z.:
UN RECONOCIMIENTO ESPECIAL
POR SU GRAN AMISTAD, Y SU
INVALUABLE APOYO Y PACIENCIA.

AL ING. BENJAMIN RANGEL G.:
POR EL APOYO BRINDADO EN
LA IMPRESION DE ESTE TRABAJO.

A ZENAIDA ELOISA RIVAS C.:
MI PRIMER AMOR.

SOBRE TODO:
GRACIAS A DIOS, A QUIEN
DEBO TODO LO QUE SOY.

INDICE

Indice	i
Indice de tablas	v
Indice de figuras	viii
Introducción	ix

CAPITULO 1: RESINAS DE INTERCAMBIO IONICO.

1.1 Introducción	1
1.2 Como trabaja una Resina de Intercambio Iónico	3
1.3 Tipos de Resinas de Intercambio Iónico	5
1.4 Resinas de Intercambio Iónico "Amberlite", Grado Nuclear ...	6
1.4.1 Resinas de Intercambio Catiónico "Amberlite" Grado Nuclear	7
1.4.2 Resinas de Intercambio Aniónico "Amberlite" Grado Nuclear	7
1.4.3 Resinas de Lecho Mixto "Amberlite" Grado Nuclear ...	8
1.5 Reacciones típicas de Resinas de Intercambio Iónico	9
1.5.1 Resinas Catiónicas Fuertes	9
1.5.2 Resinas Catiónicas Débiles	9
1.5.3 Resinas Aniónicas Fuertes	9
1.5.4 Resinas Aniónicas Débiles	9
1.6 Características físicas de las Resinas de Intercambio Iónico ...	10
1.7 Resinas acrílicas	10

CAPITULO 2: CONTAMINACION RADIOQUIMICA EN RESINAS DE INTERCAMBIO IONICO.

2.1	Introducción	12
2.2	Importancia de la Energía Nuclear	14
2.3	Descontaminación Radioactiva de Resinas de Intercambio Iónico de Lecho Mixto	15
2.3.1	Contaminación Radioactiva de Resinas Catiónicas con el Co-60	16
2.3.2	Descontaminación Radioactiva de Resinas Catiónicas	17
2.3.3	Contaminación Radioactiva de Resinas Aniónicas con el I-131	17
2.3.4	Descontaminación Radioactiva de Resinas Aniónicas	18
2.4	Precauciones en el manejo de Desechos Radioactivos	19

CAPITULO 3: ULTRASONIDO.

3.1	Introducción	20
3.2	Generación de Ondas Ultrasónicas	21
3.3	Transmisión de Ondas: Leyes Fundamentales	23
3.4	Tipos de Ondas	24
3.4.1	Ondas Longitudinales o de Compresión	24
3.4.2	Ondas Transversales o de Cizalladura	25
3.4.3	Ondas Superficiales o de Rayleigh	25
3.4.4	Ondas de Lamb	25
3.5	Velocidad de las Ondas en Sólidos	26
3.5.1	Impedancia Acústica	27
3.5.2	Intensidad Ultrasonora (I.U.)	28
3.6	Aplicaciones del Ultrasonido	28
3.7	Problemas y Limitaciones del Ultrasonido	29
3.8	Ventajas y Desventajas del Ultrasonido	30

CAPITULO 4: REDES NEURONALES ARTIFICIALES.

4.1	Introducción	31
4.2	Inteligencia Artificial y Sistemas Expertos	32
4.3	Estructura Básica de las Redes Neuronales Artificiales	35
4.4	Neurona Artificial	38
4.5	Retropropagación en Redes Neuronales Artificiales	39
4.6	Funcionamiento y Operación de una Red Neuronal Artificial	41
4.7	Precisión de los Resultados	44

CAPITULO 5: PROCEDIMIENTO.

5.1	Generalidades	45
5.2	Memoria de Cálculo	47

CAPITULO 6: RESULTADOS.

6.1	Generalidades	50
6.2	Datos experimentales	51
6.3	Parámetros para la Obtención del Modelo Neuronal	54
6.4	Resultados obtenidos por medio del Modelo Neuronal	67
6.5	Cálculo del error del Modelo Neuronal	88

CAPITULO 7: ANALISIS DE RESULTADOS 89

CAPITULO 8: CONCLUSIONES	92
CAPITULO 9: BIBLIOGRAFIA	95
APENDICE A: USO DE NEUROSHELL	99

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1	Coefficientes relativos de selectividad de una resina catiónica fuerte	4
Tabla 1.2	Coefficientes relativos de selectividad de una resina aniónica fuerte tipo I	4
Tabla 1.3	Categorías primarias de Resinas de Intercambio Iónico	6
Tabla 1.4	Diferencias entre resinas tipo "gel" y tipo "macrorreticular"	11
Tabla 4.1	Programación en I.A. v.s. programación convencional	33
Tabla 6.1	Resultados obtenidos experimentalmente al tratar las Resinas de Intercambio Iónico con agua destilada	51
Tabla 6.2	Resultados obtenidos experimentalmente al tratar las Resinas de Intercambio Iónico con solución de NaOH al 4%	52
Tabla 6.3	Resultados obtenidos experimentalmente al tratar las Resinas de Intercambio Iónico con solución de NaCl al 10 %	53
Tabla 6.4	Resultados comparativos entre valores experimentales y valores obtenidos al hacer predicciones con el Modelo Neuronal para la Resina IRN-77 en agua destilada (Temp=30°C)	68

Tabla 6.5	Resultados comparativos entre valores experimentales y valores obtenidos al hacer predicciones con el Modelo Neuronal para la Resina IRN-77 en solución de NaOH al 4 % (Temp=30°C)	70
Tabla 6.6	Resultados comparativos entre valores experimentales y valores obtenidos al hacer predicciones con el Modelo Neuronal para la Resina IRN-78 en solución de NaOH al 4 % (Temp=25°C)	72
Tabla 6.7	Resultados comparativos entre valores experimentales y valores obtenidos al hacer predicciones con el Modelo Neuronal para la Resina IRN-150 en solución de NaOH al 4 % (Temp=35°C)	74
Tabla 6.8	Resultados comparativos entre valores experimentales y valores obtenidos al hacer predicciones con el Modelo Neuronal para la Resina IRN-77 en solución de NaCl al 10 % (Temp=25°C)	76
Tabla 6.9	Resultados comparativos entre valores experimentales y valores obtenidos al hacer predicciones con el Modelo Neuronal para la Resina IRN-77 en solución de NaCl al 10 % (Temp=35°C)	78
Tabla 6.10	Resultados comparativos entre valores experimentales y valores obtenidos al hacer predicciones con el Modelo Neuronal para la Resina IRN-78 en solución de NaCl al 10 % (Temp=25°C)	80
Tabla 6.11	Resultados comparativos entre valores experimentales y valores obtenidos al hacer predicciones con el Modelo Neuronal para la Resina IRN-78 en solución de NaCl al 10 % (Temp=35°C)	82

Tabla 6.12	Resultados comparativos entre valores experimentales y valores obtenidos al hacer predicciones con el Modelo Neuronal para la Resina IRN-150 en solución de NaCl al 10 % (Temp=25°C)	84
Tabla 6.13	Resultados comparativos entre valores experimentales y valores obtenidos al hacer predicciones con el Modelo Neuronal para la Resina IRN-150 en solución de NaCl al 10 % (Temp=35°C)	86

INDICE DE FIGURAS

Figura 3.1	Espectro de ondas acústicas	22
Figura 3.2	Representación de una onda y sus componentes	23
Figura 4.1	Estructura típica de una Red Neuronal Artificial	36
Figura 4.2	Estructura básica de una Neurona	38
Figura 4.3	Estructura básica de una Red de retropropagación hacia atrás	39

INTRODUCCION

Una de las herramientas de mayor uso en el Centro Nuclear de México (I.N.I.N.) es el Reactor Nuclear TRIGA Mark III, tipo piscina, de 1 MW de potencia térmica con un flujo electrónico de 1×10^8 n/cm²s, en donde se utiliza una Resina de Intercambio Iónico que con el paso del tiempo se desgasta y contamina, la cual tiene un costo elevado, por lo cual es conveniente reutilizarla después de haberla descontaminado y regenerado.

Durante el tiempo de uso de éste Reactor, han estado almacenadas las resinas agotadas de lecho mixto provenientes del sistema de limpieza del reactor. Actualmente se han generado 12 lotes conteniendo del orden de 200 litros cada uno de resinas de grado nuclear (contaminadas con radiación). El almacenamiento de las resinas ha propiciado su deterioro aparente y la formación de colonias bacteriológicas alrededor de ellas. Todos los lotes de resinas están contaminadas, pero sólo algunos de estos lotes son susceptibles de regenerarse ya que en algunos casos las resinas están muy deterioradas y no tiene caso hacerles el tratamiento, mientras que en otros casos se han formado colonias de bacterias por lo que resultaría difícil (y costoso en ambos casos) el descontaminarla y regenerarlas.

La técnica a emplear para lograr la descontaminación de las resinas es Ultrasonido (que involucra bajos costos y una alta seguridad para obtener los resultados deseados), la cual relaciona parámetros óptimos tales como: tiempo de aplicación del ultrasonido, potencia del ultrasonido (frecuencia de las ondas ultrasónicas), medio en el cual se trabaja, temperatura del medio de trabajo, porcentaje de resinas fracturadas, para que las resinas sean descontaminadas adecuadamente y además no se fracturen ya que no servirían.

Éste trabajo representa una parte de un proyecto denominado "Descontaminación y Regeneración de Resinas de Intercambio Iónico por medio de Ultrasonido", en el cual se han hecho las pruebas de fragilidad de las Resinas a nivel Laboratorio para saber cuales serán los parámetros adecuados para lograr la posterior descontaminación radioquímica.

Para disminuir el tiempo de experimentación, los gastos generados y como consecuencia los costos del proceso para determinar los parámetros óptimos, dado que el objetivo principal es generar un ahorro para el Centro Nuclear de México (lo cual se logra al evitar un gasto extra para la adquisición de resinas nuevas, reutilizando las ya adquiridas previamente); se plantea como alternativa el uso de una Red Neuronal Artificial, el cual es un programa de computadora basado en la Inteligencia Artificial, y que tiene la capacidad de simular el razonamiento humano.

La "Inteligencia Artificial", nace como una necesidad para hacer que una computadora adquiera la capacidad de "aprender" o de "razonar" de manera similar al que pudiese tener un humano, con lo cual puedan tener la capacidad de resolver diferentes problemas con características diferentes cada uno de ellos.

La Inteligencia Artificial es una novedosa tecnología, donde las principales aplicaciones están en desarrollo, y se relaciona con programas computacionales para hacer computadoras inteligentes. La resolución de problemas por medio de Inteligencia Artificial se guían por reglas heurísticas, en procesos para los cuales la solución algorítmica no existe.

Inicialmente, los conocimientos que adquiere la computadora no son suficientes para satisfacer las necesidades que tiene el usuario para resolver sus problemas, por lo cual se hacen nuevas investigaciones para lograr que la computadora tenga mayor capacidad de aprendizaje, naciendo como consecuencia los "Sistemas Expertos", los cuales son programas que sirven de guía al usuario, siendo capaces de imitar a un experto humano, utilizando la información proporcionada por el usuario para elaborar una opinión sobre el problema en cuestión.

LISP (1960) y PROLOG (1972), son lenguajes de programación que permiten al usuario crear su propio Sistema Experto, el cual no es capaz de manejar bases de gran tamaño, y éstos son sólo recomendables como herramientas educacionales en cursos de programación.

Cuando los Sistemas Expertos son sometidos a nuevas investigaciones para su mejoramiento (como necesidad para la resolución de problemas ahora con mayor exactitud), nacen como consecuencia las "Redes Neuronales Artificiales", los cuales son programas que simulan el comportamiento de neuronas del cerebro humano con capacidad para aprender, razonar y resolver diferentes problemas que pueden ser presentados a esta red.

A una Red Neuronal Artificial (RNA) se le suministran datos; después de un número suficiente de pruebas la red aprende a reconocer un patrón en los datos y crea un modelo interno que gobierna la información proporcionada. Dichos modelos no requieren más que el conocimiento básico del proceso o fenómeno a modelar. Además, esta Red Neuronal Artificial es capaz de generalizar este conocimiento para diagnosticar nuevas combinaciones de datos aunque éstas no estén especificadas inicialmente.

Una Red Neuronal Artificial tiene la capacidad para filtrar las variaciones de las salidas y clasificarlas, proporcionando un diagnóstico automático, cuantitativo, estable, altamente sensitivo y económico.

La operación de una Red Neuronal Artificial consiste de:

- 1) Una fase de seguimiento o de aprendizaje.
- 2) Una fase de llamado.
- 3) Una fase de generalización.

Algunas de las áreas de aplicación de las Redes Neuronales Artificiales, se encuentran en: Ingeniería Química, Medicina, Economía, etc.

Las Redes Neuronales Artificiales se basan en el algoritmo de retropropagación, que involucra dos fases:

- 1) En la primera fase, las entradas son propagadas de una manera hacia adelante a través de la red para proceder los valores de salida resultando una señal de error para cada uno de los nodos de salida.
- 2) En la segunda fase, el error es propagado hacia atrás a través de la red y usado para ajustar los valores.

En los experimentos de simulación, se utiliza una Red Neuronal Artificial llamada: "NeuroShell", la cual tiene la capacidad de generar resultados adecuados con márgenes de error muy pequeños (0.1%). Para generar el modelo neuronal se obtienen conjuntos de datos experimentales los cuales son introducidos a la Red Neuronal Artificial para que con estos, pueda lograr el aprendizaje y generar dicho modelo, el cual tendrá la capacidad de predecir resultados que se puedan obtener cuando se introduzcan nuevos valores.

Cabe mencionar que en la Planta Nuclear de Laguna Verde, también se utiliza este tipo de resina, razón por lo cual tiene mayor trascendencia la investigación realizada en éste proyecto, ya que generará un ahorro en ambas dependencias gubernamentales, y como consecuencia un ahorro en el gasto interno nacional.

CAPITULO 1

RESINAS DE INTERCAMBIO IONICO

1.1 INTRODUCCION.

El Intercambio Iónico ha revestido gran importancia por el extenso campo de aplicación no solo ahora, sino desde hace mucho tiempo; por lo cual se puede hablar de este como un campo de estudio específico en la Industria Química. Siendo además, el principio fundamental para el diseño de las columnas de Intercambio Iónico en las cuales se realiza esta operación unitaria con diferentes finalidades. En este caso, este proceso se utiliza fundamentalmente para dos casos específicos y que van relacionados ambos entre sí, y que son:

1. para mantener limpia y pura el agua de enfriamiento del Reactor Nuclear utilizando como medio a Resinas de Intercambio Iónico grado nuclear, y
2. para descontaminar estas Resinas y poder reutilizarlas.

La selección del tipo de Resinas de Intercambio Iónico que se utilicen, depende de varios factores, como pueden ser:

1. medio en el que se va a trabajar (ácido, neutro o básico).
2. tipo de ión que se va a eliminar (catión o anión).

Existen también diferentes proveedores, los cuales ofrecen Resinas de Intercambio Iónico con características similares, pero con diferentes precios y también diferentes calidades, por lo cual es necesario hacer un balance en el cual se determine cual de los proveedores ofrece la mayor calidad al menor costo posible, y que además ofrezca otras ventajas, tales como asesoría técnica, etc. En este caso se eligió el tipo denominado "Amberlite".

Las Resinas de Intercambio Iónico Amberlite standard, pueden describirse de la siguiente forma: "son pequeñas perlas perfectamente esféricas con un tamaño efectivo variable entre 0.40 y 1.0 mm., polielectrolitos o macromoléculas insolubles en agua, compuestos por una alta concentración de grupos polares, ácidos o básicos, incorporados a una matriz de un polímero sintético (resinas estirénicas, acrílicas, etc.)".

Estas Resinas de Intercambio Iónico pueden reaccionar como ácidos, bases o sales; pero además, tienen la peculiaridad de tener solo cationes o aniones con la habilidad para tomar parte en la reacción química, por su gran capacidad de migración.

Es decir, tienen un ión migratorio (libre) y un ión estacionario con cargas eléctricas contrarias para mantener el balance de dichas cargas. Según sea el ión migratorio, se llaman resinas catiónicas (si es un catión) o aniónicas (si tienen un anión).

La ventaja de las Resinas de Intercambio Iónico es que tienen habilidad para recuperar la capacidad original de trabajo, mediante el tratamiento con una solución que puede ser un ácido, una base o una sal, según sea la resina y el uso que se le haya dado, lo anterior con la finalidad que desplace los iones retenidos por la resina y los reemplace por los iones deseados.

Este procedimiento se llama regeneración y es el que permite reutilizar la resina una y otra vez hasta que ya no sea rentable su regeneración, es decir, que la capacidad de trabajo sea proporcional al costo que involucre su regeneración.

1.2 COMO TRABAJA UNA RESINA DE INTERCAMBIO IONICO.

En general, las Resinas de Intercambio Iónico se utilizan en columnas de Intercambio Iónico para favorecer el proceso, y en algunos casos particulares, se utilizan como catalizadores o para usos farmacéuticos.

El proceso dentro de una columna de Intercambio Iónico, se puede representar como un sistema compuesto por series de equilibrios químicos; para hacerlo más gráfico, lo podemos comparar con la idealización de la teoría de destilación en "platos": dado que la solución fluye hacia abajo en la columna, la reacción de intercambio se desplaza en el lecho a niveles inferiores de acuerdo a las condiciones de equilibrio de cada nuevo "plato" encontrado.

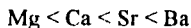
Al diseñar una columna de Intercambio Iónico, se establece a priori la máxima concentración admisible de iones indeseables en el efluente producido. Así, cuando se llega a esa concentración, se debe proceder a regenerar la resina, para poder utilizarla nuevamente; lo cual es posible gracias a los diferentes tipos de resina que hay para cada tipo de iones dependiendo de su afinidad (selectividad).

A continuación se dan unas simples reglas empíricas que se cumplen generalmente, sobre las normas de selectividad relativa; en soluciones acuosas diluidas y a temperaturas normales, la selectividad aumenta con:

- * la valencia de los iones.



- * el aumento del número atómico.



Considerando lo descrito anteriormente, se muestran algunos valores de selectividad en las tablas 1.1 y 1.2.

CATION	COEFICIENTE
Li^+	1.00
H^+	1.26
Na^+	1.88
NH_4^+	2.22
K^+	2.63
Ag^+	7.36

TABLA 1.1 Coeficientes relativos de selectividad de una resina catiónica fuerte.

ANION	COEFICIENTE
F^-	0.09
OH^-	0.09
Br^-	2.80
NO_3^-	3.80

TABLA 1.2 Coeficientes relativos de selectividad de una resina aniónica fuerte tipo I.

1.3 TIPOS DE RESINAS DE INTERCAMBIO IONICO.

Básicamente, se pueden dividir a las Resinas de Intercambio Iónico en cuatro categorías primarias, esencialmente análogas con los ácidos y bases y sus reacciones refiriéndose a los términos de química inorgánica. En la tabla 1.3 se muestran las categorías primarias de Resinas de Intercambio Iónico, mostrándose el que es su ácido o base análogo según corresponda al tipo de Resina que se trate, así como algunas resinas del tipo Amberlite que cumplen con la característica que se menciona (categoría de la resina).

Un aspecto muy importante en las Resinas de Intercambio Iónico es que son insolubles, y por lo tanto tienen la capacidad de remover iones de las soluciones, reaccionando químicamente y formando sales de resinas, mientras que los ácidos y sales más comunes, forman sales solubles que se mantienen presentes en la solución.

De manera general se puede afirmar que existen 4 tipos de Resinas de Intercambio Iónico, dependiendo del ión libre y de su capacidad de trabajo:

- catiónicas fuertes y catiónicas débiles
- aniónicas fuertes, y aniónicas débiles.

Dentro de las resinas aniónicas fuertes, existen dos subtipos según sean sus grupos activos:

- resinas aniónicas fuertes tipo I (amonio cuaternarias).
- resinas aniónicas fuertes tipo II (generalmente con grupos etanolamina)

Las Resinas tipo I tienen características más básicas que las del tipo II, por lo que se producen leves diferencias en su comportamiento y en ciertos casos, en que la concentración de sílice en el efluente de tratamiento no sea crítica, es preferible la utilización de resinas aniónicas fuertes tipo II por su mayor capacidad y eficiencia.

CATEGORIA DE RESINA	ACIDO/BASE INORGANICO ANALOGO A LA RESINA	RESINAS DE INTERCAMBIO IONICO	EJEMPLOS DE RESINAS AMBERLITE
RESINA CATIONICA FUERTE	H ₂ SO ₄	RzSO ₃ H	IR - 120 IR - 200 IR - 252
RESINA CATIONICA DEBIL	CH ₃ COOH	Rz COOH	IRC - 84 IRC - 50 D P 1
RESINA ANIONICA FUERTE	NaOH	Rz NR ₃ OH	IRA - 400 IRA - 410 IRA - 402 IRA - 900 IRA - 910 IRA - 458
RESINA ANIONICA DEBIL	NH ₃	Rz NR ₂ ó Rz N	IRA - 47 IRA - 93 IRA - 68

Rz representa la matriz insoluble de la resina.

R representa grupos hidrógenos o alifáticos.

TABLA 1.3 Categorías primarias de Resinas de Intercambio Iónico.

1.4 RESINAS DE INTERCAMBIO IONICO "AMBERLITE" GRADO NUCLEAR.

Uno de los proveedores que trabajan con resinas de intercambio iónico es la marca "Amberlite", del cual son las resinas que se utilizaron en este trabajo experimental. Cabe mencionar que las resinas que se utilizaron para hacer pruebas experimentales son: IRN-77, IRN-78, IRN-150.

1.4.1 RESINAS DE INTERCAMBIO CATIONICO "AMBERLITE" GRADO NUCLEAR.

Amberlite IRN - 77. Es una fuerte resina ácida de intercambio catiónico conteniendo 95% de estos sitios de intercambio en forma de iones hidronio. La capacidad mínima de intercambio de la resina Amberlite IRN-77 es 39.2 kilogramos (como CaCO_3) por pie cúbico ó 1.8 miliequivalentes por mililitro en forma de iones hidronio.

Amberlite IRN - 163. Esta fuerte resina ácida de intercambio catiónico contiene 99% de iones de intercambio en forma de iones litio. La capacidad mínima de intercambio de esta resina es de 38.4 kilogramos (como CaCO_3) por pie cúbico ó 1.76 miliequivalentes por mililitro en forma de iones litio.

Amberlite IRN - 169. Esta fuerte resina ácida de intercambio catiónico tiene un contenido del 99% de iones de intercambio en forma de iones amonio. Su capacidad mínima de intercambio es de 36.8 kilogramos (como CaCO_3) por pie cúbico ó 1.68 miliequivalentes por mililitro en forma de iones amonio.

Amberlite IRN - 218. Es una fuerte resina ácida de intercambio catiónico tiene una capacidad mínima de intercambio de 38.4 kilogramos (como CaCO_3) por pie cúbico ó 1.76 miliequivalentes por mililitro en forma de litio, contiene 99% de estos iones litio.

1.4.2 RESINAS DE INTERCAMBIO ANIONICO "AMBERLITE" GRADO NUCLEAR

Amberlite IRN - 78. Esta fuerte resina básica de intercambio aniónico del tipo amonio-cuaternaria contiene un mínimo del 80% de iones hidroxilo para intercambio; un máximo de 5% de cloruros y un máximo de 15% de carbonatos. La capacidad mínima de intercambio de la resina Amberlite IRN-78 es 17 kilogramos (como CaCO_3) por pie cúbico ó 0.78 miliequivalentes por mililitro en forma de iones hidroxilo.

1.4.3 RESINAS DE LECHO MIXTO "AMBERLITE" GRADO NUCLEAR.

Amberlite IRN - 150. Es una mezcla de las resinas IRN-77 e IRN-78. Esta resina de intercambio iónico grado nuclear de lecho mixto tiene una capacidad de operación de 12.0 kilogramos (como CaCO_3). Esta mezcla contiene un equivalente de ión hidronio por cada equivalente de ión hidroxilo. El efluente producido durante su servicio es agua de alta calidad.

Amberlite IRN - 154. Es una mezcla de las Resinas IRN-163 e IRN-78. Esta resina de intercambio iónico grado nuclear de lecho mixto tiene una capacidad de operación de 10.7 kilogramos (como CaCO_3); además contiene un equivalente de ión litio por cada equivalente de ión hidroxilo. El efluente producido durante su servicio es LiOH (hidróxido de litio) diluido.

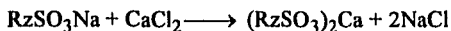
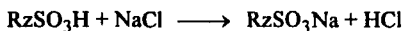
Amberlite IRN - 170. Es una mezcla de las fuertes resinas de intercambio iónico grado nuclear, IRN-169 e IRN-78. Esta resina de lecho mixto tiene una capacidad de operación de 10.0 kilogramos (como CaCO_3), y contiene un equivalente de ión amonio por cada equivalente de ión hidroxilo. El efluente que se produce durante su servicio es NH_4OH (hidróxido de amonio) diluido.

Amberlite IRN - 217. Esta resina de intercambio iónico grado nuclear de lecho mixto, es una mezcla de las resinas IRN-218 e IRN-78, y tiene una capacidad de operación de 10.0 kilogramos (como CaCO_3), produciendo un efluente de Li^7OH (hidróxido de litio 7) diluido. Esta mezcla contiene un equivalente de ión litio⁷ por cada equivalente de ión hidroxilo.

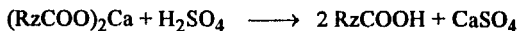
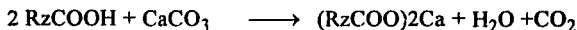
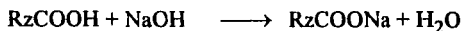
1.5 REACCIONES TIPICAS DE RESINAS DE INTERCAMBIO IONICO

A continuación se presentan las reacciones típicas propias de cada tipo de resinas, cuando se combinan con compuestos inorgánicos.

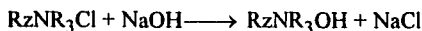
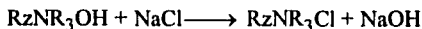
1.5.1 RESINAS CATIONICAS FUERTES.



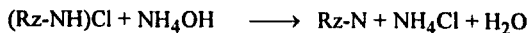
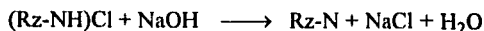
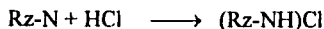
1.5.2 RESINAS CATIONICAS DEBILES.



1.5.3 RESINAS ANIONICAS FUERTES.



1.5.4 RESINAS ANIONICAS DEBILES.



1.6 CARACTERISTICAS FISICAS DE LAS RESINAS DE INTERCAMBIO IONICO.

Hay una serie de características físicas de las Resinas de Intercambio Iónico que se deben tomar en cuenta cuando se requieran para diseñar un equipo. Es decir, hecha la selección apropiada de la categoría de la resina a utilizar, en base a su funcionalidad química, corresponde hacer las consideraciones respecto a las características físicas, de acuerdo al fluido a tratar y a sus impurezas, ya que generalmente se producen dificultades en la operación con resinas por no tener en cuenta o por subestimar los efectos que pueden tener los coloides o materia orgánica, por nombrar solo dos elementos adversos sobre las resinas.

Las estructuras que presentan las Resinas son muy similares a las que tienen algunos absorbentes tales como carbón, alúmina o sílice.

En realidad se trata de esqueletos rígidos macroporosos, obtenidos de la polimerización de estireno con divinilbenceno (como las resinas tipo gel), pero con microperlas aglomeradas.

Estas resinas (resinas estirénicas macrorreticulares) tienen características especiales, derivadas de su estructura interna, y realmente no reemplazan a las resinas tipo gel en todos los campos de aplicación, pero evidentemente han abierto el camino para una serie de aplicaciones que con anterioridad estaban vedadas al Intercambio Iónico.

1.7 RESINAS ACRILICAS.

Posteriormente a las Resinas estirénicas macrorreticulares, se desarrollaron una serie de Resinas de base acrílica convencionales y macrorreticulares con las que se han obtenido resultados asombrosos, en lo que se refiere a capacidad de intercambio, resistencia física y química al envenenamiento orgánico, lo que ha significado una nueva ampliación en el ya amplio espectro de aplicación de las Resinas de Intercambio Iónico.

En la tabla 1.4 se dan algunos valores comparativos para ilustrar algunas de las diferencias que existen entre resinas tipo "gel" y tipo "macrorreticular".

Las resinas tipo "gel" se caracterizan por proporcionar mayor capacidad de intercambio, sacrificando su resistencia física en comparación con las resinas macrorreticulares, las cuales tienen una extraordinaria resistencia física y habilidad para retener macromoléculas, tales como la materia orgánica, y así lograr su posterior eliminación en la etapa de regeneración.

RESINA	TIPO DE RESINA	SUPERFICIE TOTAL m ² /g	POROSIDAD (%)	DIAMETRO PROMEDIO DEL PORO (Å)
Amberlyst 15	Macrorre - ticular	42.00	32	290
Amberlite IR-120	G e l	0.10	1	-----
Amberlyst A-27	Macrorre - ticular	62.90	52	645
Amberlite IRA-400	G e l	0.10	1	-----

TABLA 1.4 Diferencias entre resinas tipo "gel" y tipo "macrorreticular".

CAPITULO 2

CONTAMINACION RADIOQUIMICA EN RESINAS DE INTERCAMBIO IONICO

2.1 INTRODUCCION.

La llegada y el incremento del uso de reactores nucleares como unidades generadoras de energía ha ocasionado gran énfasis en la seguridad y eficiencia en su operación, ya que cualquier descuido puede resultar de graves consecuencias (basta recordar las tragedias en Hiroshima y Nagasaki con la devastación sufrida con las bombas atómicas, o en Chernobil con la tragedia nuclear ocurrida ahí).

En el I.N.I.N. se utiliza un Reactor Nuclear que es enfriado inicialmente con agua, razón por lo que la seguridad y la eficiencia con que se maneja debe ser extremada.

En caso que se genere material contaminado radioactivamente, este sea confinado a áreas protegidas; además, todos los metales y superficies que transfieren calor deben ser mantenidas en las mejores condiciones posibles para evitar fugas de material radioactivo al medio ambiente.

En estos reactores enfriados con agua, el uso de Resinas de Intercambio Iónico "Amberlite" Grado Nuclear han ofrecido seguridad y economía para obtener estas metas, ya que sirven como medio para atrapar la energía nuclear que pudiese atravesar las paredes del reactor con tendencia a escapar hacia el medio.

Estas Resinas Grado Nuclear han sido desarrolladas especialmente para atender los problemas asociados con radiación nuclear y la necesidad de la reutilización continua del agua del reactor en su interior.

Con el uso de Resinas de Intercambio Iónico "Amberlite" Grado Nuclear, las cantidades más pequeñas de material radioactivo solubilizados pueden ser removidos.

Como un factor adicional en el control de la corrosión, estas resinas son disponibles en varias formas iónicas para ayudar al control del pH del agua de enfriamiento para tener un nivel mínimo de detrimento de las superficies metálicas.

Para economizar, se deben reutilizar las resinas, por lo que es necesario primero, eliminar la contaminación radioactiva que tiene en su derredor como consecuencia de encontrarse en contacto con el cuerpo del reactor, y posteriormente regenerándolas al eliminarles los elementos químicos que tengan como consecuencia del proceso de descontaminación, es decir, hacerle un tratamiento completo para eliminarle la contaminación radioquímica que contengan.

Cabe mencionar que en la Planta Nuclear de Laguna Verde en el estado de Veracruz, también se utiliza este tipo de resina, razón por la cual tiene mayor trascendencia esta investigación ya que generará un ahorro en ambas dependencias gubernamentales, y como consecuencia un ahorro en el gasto interno del país.

2.2 IMPORTANCIA DE LA ENERGIA NUCLEAR.

Desde hace mucho tiempo, se ha obtenido energía eléctrica de medios tales como hidroeléctricas (las cuales funcionan en base al movimiento natural de agua en grandes cantidades), por medio de plantas generadoras que utilizan como medio algún combustible que generalmente ocasiona una gran cantidad de contaminación la cual repercute en un daño notable del ambiente.

En la actualidad se han creado consultorías que en conjunción del Gobierno están trabajando para realizar una estrecha vigilancia en cualquier tipo de empresa, y no solo en las plantas generadoras de electricidad, ya que todas y cada una de ellas (sin importar el o los procesos que en ella se realicen), ocasiona contaminación.

En muchas partes del mundo, no solo en países industrializados, sino también en países en vías de desarrollo como el nuestro, se ha encontrado una nueva tecnología para la generación de energía eléctrica: a través de la energía nuclear, la cual se basa en el uso de materiales radioactivos con la consecuente generación de desperdicios radioactivos.

Existen fundamentalmente dos usos para la energía nuclear:

1. el uso tan extenso que se le puede dar al aplicarla en beneficio de la humanidad tales como: generación de energía; servicios médicos (ya que pueden destruirse inclusive tumores cancerígenos); esterilización de alimentos, medicinas, equipo médico, e inclusive detección de compuestos químicos o de grupos funcionales presentes en un material determinado con tan solo pequeñas dosis de radioactividad.
2. el uso contrario como la producción de armamento nuclear que ocasiona desastres ecológicos muy grandes aunque los países que utilizan este equipo no quieran aceptarlo.

2.3 DESCONTAMINACION RADIOACTIVA DE RESINAS DE INTERCAMBIO IONICO DE LECHO MIXTO.

Los métodos convenientemente utilizados para descontaminación radioactiva de resinas son: el uso de filtros ultrasónicos y la aplicación de pequeñas corrientes eléctricas para separar sus iones radioactivos. Estos métodos se aplican preferentemente en Reactores Nucleares de Potencia, donde la radioactividad es elevada.

Para el caso de resinas de lecho mixto que contienen bajo nivel de radiación, es posible realizar una regeneración con cloruro de sodio para descontaminarlas.

La ventaja de realizar este tipo de regeneración radica en que es posible evaporar el agua de lavado, en la que se puede concentrar el regenerante y las impurezas para su almacenamiento y confinamiento final.

La característica más importante de las resinas de grado nuclear, es que son macromoléculas insolubles en agua, con alta concentración de grupos polares ácidos (SO_3^-) en el caso de resinas catiónicas, y de grupos polares básicos ($\text{CH}_2\text{N}(\text{CH}_3)_3^+$) para las resinas aniónicas.

Cada uno de los grupos activos migratorios H^+ y OH^- , son los que intervienen en el intercambio de cationes y aniones respectivamente.

Para explicar el proceso de contaminación y descontaminación radioactiva de resinas, a continuación se presentan las reacciones propias para cada tipo de intercambio.

Donde:

Rz Representa la matriz insoluble de las resinas aniónicas.

R Representa la matriz insoluble de las resinas catiónicas.

SO₃H Es el grupo activo sulfónico fuertemente ácido de las resinas catiónicas.

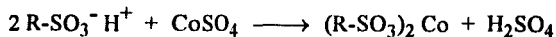
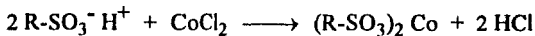
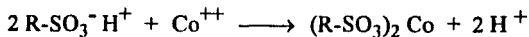
CH₃N(CH₃)₃OH Es el grupo activo amonio cuaternario fuertemente básico de las resinas aniónicas.

H⁺ Ion migratorio que se intercambia en el proceso de intercambio catiónico.

OH⁻ Ion migratorio que se intercambia en el proceso de intercambio aniónico.

2.3.1 CONTAMINACION RADIOACTIVA DE RESINAS CATIONICAS CON EL Co-60.

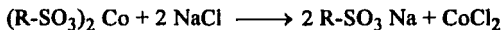
Una de las formas en que se ocasiona la contaminación radioactiva de Resinas de Intercambio Iónico durante el proceso de intercambio con el Co-60, es por medio de la secuencia de reacciones que se presenta a continuación:



2.3.2 DESCONTAMINACION RADIOACTIVA DE RESINAS CATIONICAS.

Cuando las Resinas se encuentran contaminadas como consecuencia del proceso de intercambio iónico, se debe proceder a su descontaminación radioactiva si se desean reutilizar estas resinas catiónicas, en este proceso se utiliza una solución de cloruro de sodio (NaCl), con una concentración de 100 g/l.

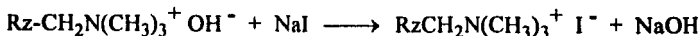
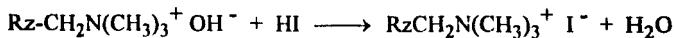
La reacción que se lleva a cabo, es la siguiente:



En este proceso como se puede observar se obtiene como producto el Cloruro de Cobalto que es un compuesto que puede ser manejado con mayor facilidad, además de tener a la Resina en un estado con capacidad de ser reutilizada.

2.3.3 CONTAMINACION RADIOACTIVA DE RESINAS ANIONICAS CON EL I-131.

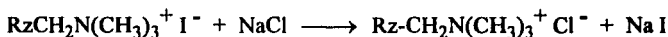
De manera análoga, se puede representar la secuencia de reacciones del proceso de contaminación radioactiva de resinas aniónicas con el I-131, durante el intercambio con resinas aniónicas nuevas.



2.3.4 DESCONTAMINACION RADIOACTIVA DE RESINAS ANIONICAS.

Si las Resinas aniónicas se encuentran contaminadas, se debe proceder a su descontaminación radioactiva si se desean reutilizar, en este proceso se utiliza una solución de cloruro de sodio (NaCl), con una concentración de 100 g/l.

La reacción que se lleva a cabo, es la siguiente:



Ahora, en este proceso se obtiene como producto el Yoduro de Sodio que es un compuesto manejable, además se tiene a la Resina en una forma tal que puede ser reutilizada.

La finalidad principal de utilizar una solución de cloruro de sodio como medio para lograr la descontaminación de las Resinas, es para obtener un producto estable que se pueda aislar con facilidad para poder recuperar el elemento radioactivo para su reutilización o en todo caso si el material ya no sirve, confinarlo a un área protegida.

Además, con el uso de cloruro de sodio se forma un compuesto con la Resina que ofrece la posibilidad de recuperarla con solo eliminar el elemento que se una químicamente a esta (sodio en el caso de resinas catiónicas y cloro en el caso de resinas aniónicas).

2.4 PRECAUCIONES EN EL MANEJO DE DESECHOS RADIOACTIVOS.

En el caso del Reactor Nuclear del I.N.I.N., por ser utilizado para hacer pruebas, se obtienen cantidades muy pequeñas de elementos radioactivos las cuales son confinadas en cápsulas de plomo dentro de la piscina del mismo reactor. En cambio, cuando se utilizan reactores de gran tamaño (Reactores Nucleares de Potencia) con capacidad de producir grandes cantidades de energía, los desechos que se generan son cuantiosos y estos, por lo tanto deben ser confinados en espacios más grandes y con cuidados especiales. Una de las formas de hacerlo, es utilizando contenedores de gruesas paredes hechas de plomo (las cuales tienen la capacidad de disminuir el paso de radiación hacia el exterior) revestidas de concreto (también de un espesor considerable).

Generalmente se espera hasta generar cantidades grandes de desechos para que estos sean confinados, ya que el proceso de confinación final es relativamente costoso y tardado ya que debe hacerse con sumo cuidado para evitar alguna tragedia. Cuando se tienen cantidades relativamente pequeñas de desechos nucleares, estos se mantienen en contenedores especiales de menor tamaño en espera de que sean producidos una cantidad mayor para su confinamiento final.

Así como se deben tener precauciones especiales en el manejo de los desechos radioactivos, también el personal debe tener una vestimenta especial que consiste de un traje, careta con un espacio para observar al exterior, guantes largos y botas largas (los cuales deben ser adheridos al traje con una cinta adhesiva especial para evitar que haya penetración de radiación hacia el cuerpo). Todos estos equipos están hechos de materiales con capacidad para evitar el paso de radiación (generalmente de plomo). Además, se utilizan dosímetros para saber cuanta radiación es la que ha absorbido el cuerpo humano, y así poder evitar que esta persona sufra daños posteriores por la excesiva exposición a la radioactividad o también, que con el contacto hacia otras personas, les pueda perjudicar su salud.

CAPITULO 3

ULTRASONIDO

3.1 INTRODUCCION.

La inspección por ultrasonido se define como un procedimiento de ensayo no destructivo (END) de tipo mecánico, el cual utiliza ondas de alta frecuencia. El principio en que se basa éste método es la Impedancia Acústica (ver 3.5.1).

Para realizar la inspección, el sonido es transmitido a través del material de prueba por medio de un transductor ultrasónico. La interacción de ese sonido con el material puede indicar la velocidad, densidad, espesor y, por supuesto la presencia de anomalías como son las discontinuidades o fallas del mismo en la estructura interna y/o externa (esto depende directamente de la longitud de onda y del tamaño del material), sin causarle deterioro, alteración o afectar de forma permanente sus propiedades, ya sean físicas, químicas o mecánicas, por lo cual se tiene una mayor facilidad para detectar las fallas tales como:

- fracturas.
- espacios vacíos.
- fallas en soldadura (soldadura mal realizada).
- fallas en unión de materiales.

Cuando se tiene una mayor frecuencia (es decir, una longitud de onda muy pequeña), se puede generar una mayor sensibilidad sobre el material.

De manera similar a la radioactividad, el ultrasonido es una técnica que se emplea para obtener muchos beneficios para el hombre. Así también, tiene muchos campos de aplicación entre los que se pueden mencionar: Medicina, Biología, Ingeniería, Mecánica. En este caso, el ultrasonido será utilizado para eliminar la contaminación radioactiva que contengan las resinas, por medio del movimiento.

En esta etapa de la fase experimental, se utiliza el ultrasonido para hacer pruebas de fragilidad de las resinas, esto con la finalidad de saber que cantidad de resinas se fracturan durante un determinado tiempo, y con esto saber si es o no conveniente (hablando en términos económicos) aplicar la etapa de descontaminación radioactiva.

Cuando se ha eliminado la contaminación radioactiva de las resinas, se tiene que estas han formado un compuesto determinado (ver capítulo 2) el cual contiene cloro o sodio el cual debe ser eliminado durante el proceso de regeneración para que la resina sea totalmente reutilizable.

3.2 GENERACION DE ONDAS ULTRASONICAS.

Para comprender mejor el concepto de ultrasonido, es necesario revisar la información concerniente al espectro de ondas acústicas. Dicho espectro es la serie resultante del análisis de las ondas de sonido, la cual es expresada en términos de frecuencias (figura 3.1) en el que se observan tres regiones o zonas:

Infrasónica: Comprendida entre el rango de frecuencia de 1 a 16 Hz. (1 ciclo por segundo = 1 Hertz).

Sónica o audible: Comprendida en el rango entre 16 Hz y 20 KHz, valor que representa la máxima frecuencia media audible del oído humano.

Cabe recordar que una onda es audible no sólo por su frecuencia sino también por su intensidad, la cual se mide en decibelios.

Ultrasónica: Es la zona del espectro que comprende las frecuencias mayores de 20 KHz. El límite superior de sus frecuencias no está definido físicamente.

Las frecuencias más usuales para las ondas ultrasónicas que se utilizan en el ensayo de materiales comienzan en la proximidad superior de la zona audible (para hormigones) y se extiende hasta los 25 MHz. En el caso de los materiales metálicos, las frecuencias utilizables varían entre 0.2 y 25 MHz.

De manera general, tanto las ondas acústicas como las ultrasónicas, son vibraciones mecánicas de las partículas del medio en que se propagan.

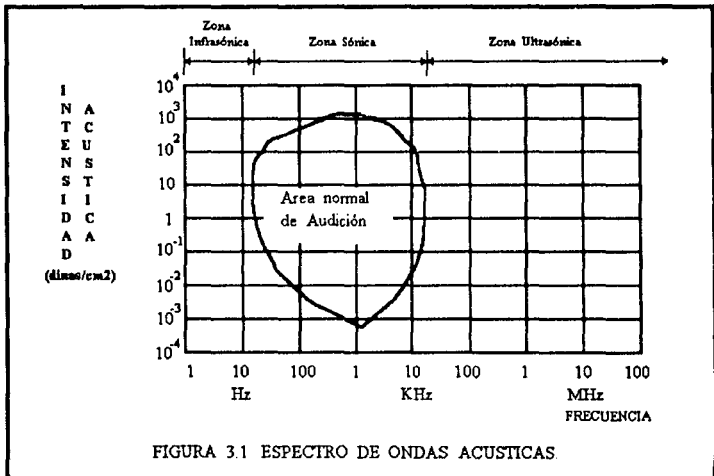
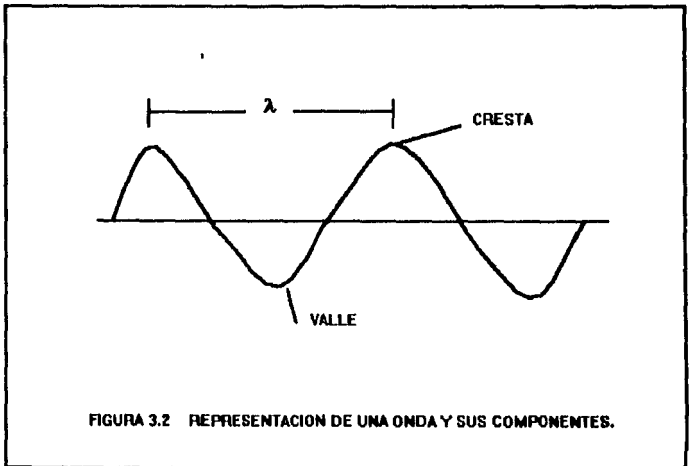


FIGURA 3.1 ESPECTRO DE ONDAS ACUSTICAS

3.3 TRANSMISION DE ONDAS: LEYES FUNDAMENTALES.

Las ondas ultrasónicas, al igual que cualquier otro movimiento ondulatorio, se encuentran definidas por los siguientes parámetros, los cuales representan los términos generales para su comprensión:

- Frecuencia (F): Número de vibraciones que son completadas por cada segundo (ciclos/seg o hertzios).
- Longitud de onda (λ): Distancia mínima entre dos puntos en el mismo estado de vibración, es decir, puede ser la distancia encontrada entre dos valles, dos crestas, etc.



- **Velocidad (v):** Distancia recorrida por las ondas en el medio por unidad de tiempo.

- **Amplitud:** Máximo desplazamiento de una partícula desde la posición de reposo.

Los tres primeros parámetros se relacionan por:

$$\lambda = v/F \quad (3.1)$$

La velocidad es un parámetro característico del medio, la frecuencia es característica del cristal (palpador) utilizado, y la longitud de onda (λ) está determinada por ambas (velocidad y frecuencia), es decir, es función de estas.

3.4 TIPOS DE ONDAS.

Desde el punto de vista de los ensayos no destructivos, existen tipos de onda interesantes, los cuales se mencionan a continuación.

3.4.1 ONDAS LONGITUDINALES O DE COMPRESION.

Estas se caracterizan porque los desplazamientos de las partículas son en la dirección paralela a la de propagación, la cual puede darse a través de sólidos, líquidos y gases.

Produce cambios de volumen al aplicarse, aunque no es perceptible a simple vista.

3.4.2 ONDAS TRANSVERSALES O DE CIZALLADURA.

En este caso las partículas se desplazan en dirección perpendicular a la de propagación que se realiza sólo en los sólidos (por tener elasticidad a la cizalladura).

Produce distorsión en el material, pero no cambios de volumen. Se usan principalmente en el ensayo de soldaduras.

3.4.3 ONDAS SUPERFICIALES O DE RAYLEIGH.

Las ondas ultrasónicas pueden propagarse a lo largo de la superficie de un sólido, donde sus partículas describen trayectorias elípticas.

Las vibraciones se atenúan exponencialmente en dirección normal a la superficie, de forma que la perturbación sólo existe, prácticamente, en una capa superficial de pocas longitudes de onda.

Cuando se encuentra presente un segundo medio, ya sea líquido o sólido, las vibraciones se atenúan grandemente, lo cual permite detectar su trayectoria con solo utilizar un dedo de la mano.

Las ondas ultrasónicas son muy sensibles, por lo cual son adecuadas para detectar defectos en superficies de poca rugosidad.

3.4.4 ONDAS DE LAMB.

Denominadas así en honor a su descubridor. Se crean en tubos o en láminas delgadas; se clasifican en dos grandes grupos: simétricas y asimétricas.

Se caracterizan principalmente por tener atenuación, velocidad y ángulos de generación distintos.

3.5 VELOCIDAD DE LAS ONDAS EN SOLIDOS.

La velocidad de propagación de las ondas en sólidos, depende de las constantes elásticas del material. En el caso de las ondas longitudinales que se propagan en un medio de dimensiones mayores que la longitud de onda, la velocidad viene dada por la expresión:

$$V_L = \left| \frac{E(1-\gamma)}{\rho(1+\gamma)(1-2\gamma)} \right|^{1/2} \quad (3.2)$$

donde:

- V_L = Velocidad de longitud de onda.
- E = Módulo de Young.
- ρ = Densidad.
- γ = Coeficiente de Poisson.

Para ondas transversales, la velocidad queda determinada por la expresión:

$$V_T = G / \rho \quad (3.3)$$

donde:

- V_T = Velocidad transversal de la onda.
- G = Módulo de rigidez.
- ρ = Densidad.

La velocidad superficial y la velocidad transversal, se relacionan por:

$$V_S = 0.93 V_T \quad (3.4)$$

Existen además otros términos que pueden definirse aquí, y que ayudarían a hacer un análisis más somero de los tipos de ondas.

3.5.1 IMPEDANCIA ACUSTICA.

La Impedancia Acústica es la resistencia que oponen los materiales al paso de una onda ultrasónica y es igual al producto de la velocidad de propagación de un modo de vibración dado por la densidad del material, y juega un papel primordial en los fenómenos de reflexión y refracción en la superficie de separación de los medios. Está definida por:

$$Z = \rho V \quad (3.5)$$

donde:

Z = Impedancia acústica.

ρ = Densidad del material.

V = Velocidad de propagación.

Cuando una onda longitudinal se propaga a través de un medio, existe una relación entre la amplitud (A) y la sobrepresión (P) que se crea en el medio y es:

$$P = \rho V w A \quad (3.6)$$

donde:

P = Sobrepresión.

w = Frecuencia angular.

A = Amplitud.

ρ = Densidad del material.

V = Velocidad de propagación.

Además, la frecuencia angular se calcula como:

$$w = 2 \pi f \quad (3.7)$$

donde:

f = Frecuencia de la onda.

P = Sobrepresión.

3.5.2 INTENSIDAD ULTRASONORA (I.U.).

Es la energía que pasa a través de un cuerpo por unidad de superficie y tiempo. (Observese que la intensidad es proporcional al cuadrado de la sobrepresión y al cuadrado de la amplitud). Se expresa como:

$$I = 0.5 P^2 / \rho V \quad (3.8)$$

Substituyendo la ecuación (3.6) en la ecuación (3.8):

$$I = 0.5 \rho V w^2 A^2 \quad (3.9)$$

3.6 APLICACIONES DEL ULTRASONIDO.

El ultrasonido se utiliza fundamentalmente en las siguientes áreas:

- A. Detección de discontinuidades o defectos en los materiales y soldaduras. Algunos de estos defectos son:
- * Defectos de laminación (en hojas).
 - * Rechupes y escorias en lingotes.
 - * Defectos en tubos, pernos, etc.
 - * Grietas y otros defectos de forja.
 - * Defectos típicos de soldadura: grietas, faltas de fusión y penetración, escoria, etc.
- B. Medida de espesores y estructuras metalúrgicas. Esta técnica presenta numerosas ventajas entre las que se pueden destacar:
- * Se realiza por una sola superficie.
 - * Se realiza con rapidez.

Para realizar la medición del espesor, se mide el tiempo que tarda en llegar el impulso electrónico desde un extremo a otro del material. Este tiempo es función por lo tanto, del espesor del material y de la velocidad de las ondas en el material. Existen aparatos del tamaño de una cajetilla de tabaco que muestran una presentación digital de la lectura con una precisión de ± 0.05 mm.

Una aplicación industrial de ésta técnica, es para determinar los efectos de corrosión en equipos químicos de plantas industriales (tales como calderas, tuberías, etc.). Otra aplicación que no es muy generalizada, es la estimación o determinación de la estructura de materiales policristalinos (tamaño de grano, fundamentalmente) midiendo la atenuación de las ondas en los materiales manteniendo constantes otras variables (recorrido, acoplamiento, etc.), se puede disponer de información valiosa relativa a la estructura y, como consecuencia, a tratamientos térmicos, y estado de procesado de un material (fundición, forja, laminado).

3.7 PROBLEMAS Y LIMITACIONES DEL ULTRASONIDO.

A. Algunos problemas al realizar este tipo de ensayos son:

1. Dificultad de interpretación de resultados: El operador debe confiar más en su experiencia y las características del material que examina, que en las lecturas obtenidas.
2. En ensayos manuales (no automáticos), no existe un adecuado registro objetivo de resultados.
3. La validez de los resultados se encuentra fuertemente condicionada a la calidad, experiencia y responsabilidad del operador.
4. El dimensionado de aquellos defectos son dimensiones del mismo orden que las del haz ultrasónico, es tan sólo aproximado y difícil de efectuar.

B. Las limitaciones del Ultrasonido se derivan de la forma geométrica o de la estructura del material que se ensaya.

Al hacer un estudio con Ultrasonido, es preciso analizar una serie de aspectos que podemos agrupar de la siguiente forma:

1. Influencia del operador (objetividad).
2. Capacidad de manejo y maniobra.
3. Espesor de la pieza o componente.
4. Naturaleza y geometría.
5. Estado de la superficie del material.
6. Capacidad de detección de defectos.
7. Registro e interpretación de resultados.

3.8 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL ULTRASONIDO.

El Ultrasonido (como cualquier método o técnica que se haya aplicado hasta ahora) presenta ciertas ventajas y desventajas.

VENTAJAS:

1. Gran sensibilidad a la detección de grietas y faltas de fusión (defectos bidimensionales).
2. Buena capacidad de manejo y maniobra.
3. No existen limitaciones prácticas para determinar espesores.

DESVENTAJAS:

1. No existe un registro permanente salvo en el caso de ensayos automatizados.
2. La interpretación de resultados requiere un operador de gran experiencia y responsabilidad.

CAPITULO 4

REDES NEURONALES ARTIFICIALES

4.1 INTRODUCCION.

En la actualidad, las Redes Neuronales están captando la atención debido a su aplicación tan amplia que tienen, y la facilidad que tienen para manejar problemas sencillos y complejos. La tecnología en que se basan las Redes Neuronales se adapta fácilmente a la resolución de problemas en general que pudiesen presentarse en Ingeniería Química, además de otras áreas tales como Medicina, Economía, etc.

Las Redes Neuronales son una de las áreas de la Inteligencia Artificial que más se ha desarrollado debido a que poseen la capacidad de resolver problemas que habitualmente una computadora digital ya no puede resolver, e inclusive la velocidad con que los resuelve una computadora digital es mucho menor que una Red Neuronal.

Otra característica importante, es que una Red Neuronal tiene la capacidad de aprender, es decir, antes de utilizar la Red se le debe presentar una serie de ejemplos de los cuales la Red aprende las relaciones que gobiernan el aprendizaje. Una vez que han aprendido, dichas redes pueden ser empleadas para predecir los resultados a partir de nuevos datos de entrada.

4.2 INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y SISTEMAS EXPERTOS.

La solución de problemas por medio del uso de programas de computadora por medio de Redes Neuronales Artificiales, tiene su base fundamental en lo que se ha dado a llamar Inteligencia Artificial, la cual nace como una necesidad para hacer que una computadora adquiera la capacidad de "aprender" o de "razonar" de manera similar al que pudiese tener un humano, con lo cual puedan tener la capacidad de resolver diferentes problemas con características diferentes cada uno de ellos.

La Inteligencia Artificial también conocida como inteligencia de máquinas o programación heurística, es una tecnología que desarrolla el estudio del comportamiento inteligente a través de una computadora.

Además, sirve como base para la ingeniería del conocimiento, una área relacionada a la aplicación de las técnicas de Inteligencia Artificial para fines prácticos; esta característica es la que ha generado considerable atención en los últimos años.

La mayoría de las principales aplicaciones están en desarrollo, y otras tantas ya se han implementado en diversos campos, y principalmente se relaciona con programas computacionales para hacer computadoras inteligentes.

Para enfatizar la diferencia que existe entre los programas de Inteligencia Artificial y los programas de computo convencionales, se mencionan algunas características típicas para ambos casos en la tabla 4.1.

La resolución de problemas por medio de Inteligencia Artificial, se guía por reglas heurísticas, en procesos para los cuales la solución algorítmica no existe y en donde su investigación es requerida.

PROGRAMACION EN I.A.	PROGRAMACION CONVENCIONAL
<p>PROCESOS PREDOMINANTEMENTE SIMBOLICOS</p>	<p>PROCESOS PREDOMINANTEMENTE NUMERICOS.</p>
<p>BUSQUEDA HEURISTICA (PASOS IMPLICITOS ENCAMINADOS HACIA LA SOLUCION)</p>	<p>SE BASA EN ALGORITMOS (PASOS EXPLICITOS ENCAMINADOS HACIA LA SOLUCION)</p>
<p>ESTRUCTURA DE CONTROL SEPARADA DEL DOMINIO DE CONOCIMIENTO.</p>	<p>LA INFORMACION Y CONTROL ESTAN INTEGRADOS CONJUNTAMENTE.</p>
<p>FACIL DE MODIFICAR, ACTUALIZAR Y EXPANDER.</p>	<p>DIFICIL DE MODIFICAR.</p>
<p>ALGUNAS RESPUESTAS INCORRECTAS SON TOLERABLES A MENUDO</p>	<p>REQUIERE RESPUESTAS CORRECTAS.</p>
<p>LAS RESPUESTAS ACEPTADAS SON GENERALMENTE SATISFACTORIAS.</p>	<p>SE BUSCA LA MEJOR SOLUCION POSIBLE.</p>
<p>SON PROGRAMAS EXPLORATORIOS.</p>	<p>SON PROGRAMAS ESTRUCTURADOS</p>

TABLA 4.1 PROGRAMACION EN I.A. v.s. PROGRAMACION CONVENCIONAL

Inicialmente, los conocimientos que adquiere la computadora no son suficientes para satisfacer las necesidades que tiene el usuario para resolver los problemas presentados, por lo cual se hacen nuevas investigaciones para hacer que la computadora tenga mayor capacidad de aprendizaje, debido a esto nacen nuevos programas de computadora para solventar estas necesidades: los Sistemas Expertos.

Los Sistemas Expertos pueden definirse como programas capaces de imitar a un experto humano, que utiliza la información proporcionada por el usuario para elaborar una opinión sobre el objeto en cuestión. Este objetivo se logra al responder afirmativa o negativamente (si o no) a una serie de preguntas que finalmente permiten identificar al objeto que cumple con la descripción dada por las respuestas.

Los Sistemas Expertos tienen otro tipo de características, por lo cual se deben conocer sus diferencias. A los Sistemas Expertos no se les puede enseñar, básicamente este tipo de programas ya tienen información específica almacenada, la cual debe ser proporcionada por un experto en el área en la cual se esté desarrollando el programa, y que además, debe tener una estructura muy detallada y precisa. En cambio, la Red Neuronal tiene la capacidad de aprender de cada nuevo dato que se le vaya almacenando sin la necesidad de contar con un experto humano.

A diferencia de otros sistemas informáticos, en los Sistemas Expertos, el conocimiento está representado en forma de reglas descriptivas, y se utiliza un mecanismo de razonamiento específico, llamado motor de inferencia, que permite realizar deducciones como lo haría un experto humano a partir de la información contenida en la base del conocimiento y de las opiniones aportadas por el usuario.

En 1960 John Mc.Carthy desarrolló **LISP** (LISt Processing Lenguaje) y en 1972 se desarrolló **PROLOG**, los cuales son lenguajes utilizados para realizar programas de Inteligencia Artificial que permiten al usuario crear su propio Sistema Experto, pero no son capaces de manejar bases de gran tamaño, y solo son recomendables como herramientas educacionales en cursos de programación.

Al usar LISP y PROLOG como lenguajes de investigación dentro del campo de la Inteligencia Artificial, se pueden desarrollar Sistemas Expertos para diferentes usos.

4.3 ESTRUCTURA BASICA DE LAS REDES NEURONALES ARTIFICIALES.

Cuando los Sistemas Expertos son sometidos a nuevas investigaciones para su mejoramiento (como necesidad para la resolución de problemas ahora con mayor exactitud), nacen como consecuencia los programas conocidos como Redes Neuronales Artificiales, los cuales son programas que simulan el comportamiento de neuronas del cerebro humano con capacidad para aprender, razonar y resolver diferentes problemas, imitando el aprendizaje inicial de los humanos: ensayo y error.

La Red aprende por medio de la alimentación continua y repetida de datos base (de entrada) y los datos objetivo (de salida). Después de un número de iteraciones, la neurona aprende a reconocer un patrón determinado en la serie de datos alimentados, y crea un "modelo neuronal" interno del proceso de estudio, con un porcentaje mínimo de error, el cual no requiere más que el conocimiento básico del proceso o del fenómeno a modelar, con lo que gobierna la información. Se debe resaltar que este modelo se basa principalmente en el mecanismo específico del proceso.

Con este modelo puede hacer "predicciones" cuando se le presentan a la red nuevas condiciones o datos de entrada, ya que es capaz de generalizar este conocimiento para diagnosticar nuevas combinaciones de datos aunque éstas no estén especificadas inicialmente, y puede filtrar las variaciones de las salidas y clasificarlas, proporcionando un diagnóstico automático, cuantitativo, estable, altamente sensitivo y económico.

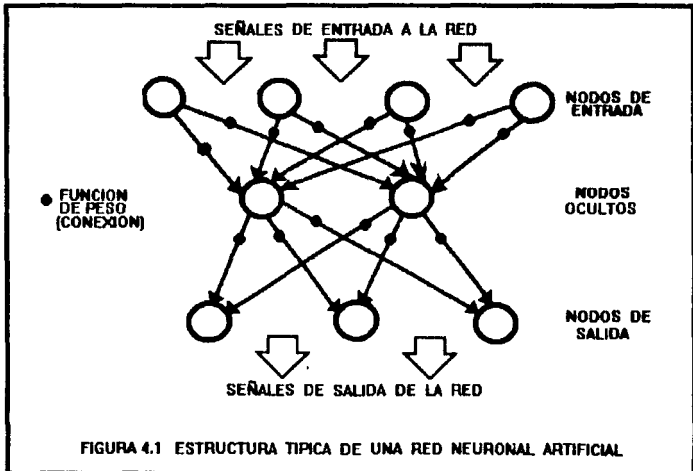
Una de las desventajas de las Redes Neuronales, es que no pueden manejar problemas que contengan datos imprecisos o alterados, así como datos complejos.

También se debe señalar, que la red hace predicciones de datos de salida cuando se alimentan datos de entrada, pero no se pueden predecir los datos de entrada cuando se alimenta los datos de salida. Aún con esto, las Redes Neuronales pueden resolver un amplio rango de problemas en

Ingeniería Química y en otras áreas. En la figura 4-1 se presenta la estructura típica de una Red Neuronal.

Las Redes Neuronales muestran un impacto significativo en numerosas áreas de la tecnología y de los negocios, en donde anteriormente se utilizaban solamente métodos estadísticos, y ahora como una forma alternativa que resulta novedosa y muy versátil, se emplean también las Redes Neuronales.

Los métodos estadísticos requieren que el usuario especifique las funciones con las cuales se ajustarán los datos, donde el usuario debe conocer las ecuaciones que correlacionan tales datos entre sí; y si las funciones no se especifican adecuadamente, entonces los datos no son ajustados correctamente, generando un porcentaje de error muy grande.



En caso que las funciones sean complejas, se necesita el uso de modelos matemáticos y métodos numéricos adecuados para hacer que dichas funciones convergan, lo cual no es necesario en las Redes Neuronales, ya que aunque los datos que se alimenten a la red generen funciones complejas, sólo bastará con ajustar los parámetros de la red (relación de aprendizaje, momentum, error de aprendizaje, error de salida), o ampliar el número de nodos ocultos para generar mayor interacción entre el (los) nodo(s) de entrada y el (los) nodo(s) de salida, o en todo caso utilizar ambas variaciones para generar el modelo neuronal adecuado con el mínimo porcentaje de error posible.

Los rápidos avances en la Neurociencia y en la ciencia de la computación generan el interés en el desarrollo de las Redes Neuronales Artificiales como una nueva arquitectura potencial para la resolución de problemas, ya que son sistemas dinámicos compuestos de muchos niveles de interconexión de Neuronas Artificiales. Estos niveles son catalogados como:

1. Niveles de entrada: En este nivel, los patrones o características de cada caso son presentados a la Red.
2. Niveles ocultos: Son niveles intermedios o también conocidos como niveles ocultos ("hidden" -porque tales capas no comunican directamente con el medio externo-).

El número de niveles ocultos depende de la cantidad de regiones de decisión formadas las cuales corresponden a la complejidad del problema y que son necesarios para corregir las clasificaciones, y así minimizar el error del modelo neuronal.

3. Niveles de salida: Contienen las respuestas para una entrada dada, la cual está en función del número de nodos ocultos.

4.4 NEURONA ARTIFICIAL.

Una Neurona Artificial (figura 4.2) o elemento de procesamiento (EP) forma parte de una Red Neuronal Artificial, sirve como una Función de Transferencia (o de enlace) con una entrada múltiple recibida de otra(s) neurona(s) artificial(es) o estímulo externo, generando una salida única (también llamada Función de Transferencia Sigma) que es distribuida a la siguiente Neurona Artificial a través de conexiones de peso.

Las Neuronas del nivel de entrada tienen como entrada la señal que se introduzca al iniciar el aprendizaje (estímulo externo).

Las Neuronas de los nodos ocultos recibe la señal de todas y cada una de las neuronas del nivel de entrada, y a su vez genera una señal de salida que se conecta con los niveles de salida.

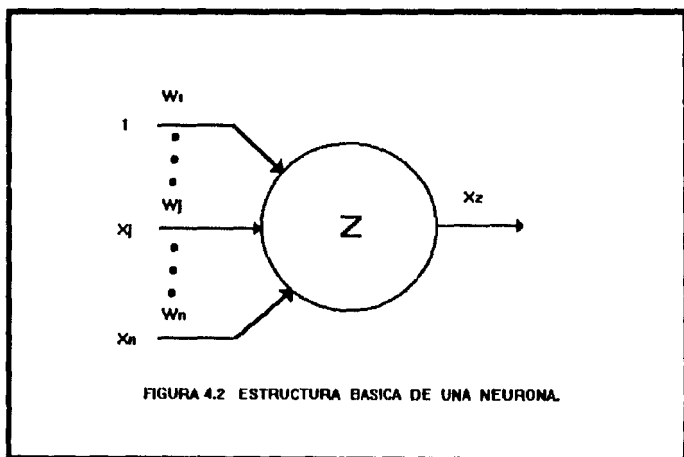
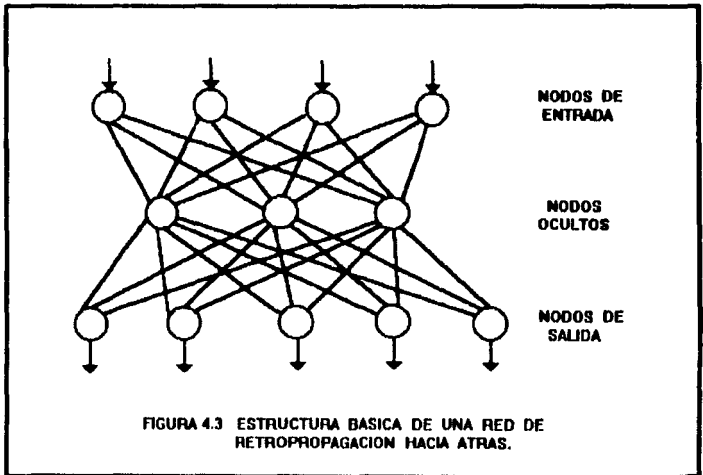


FIGURA 4.2 ESTRUCTURA BASICA DE UNA NEURONA.

4.5 RETROPROPAGACION EN REDES NEURONALES ARTIFICIALES.

El algoritmo de retropropagación (o propagación hacia atrás) del aprendizaje que fué desarrollado por Werbos en 1974, por Rumelhart y otros, en 1986, y por James y Hoskins en 1987, ha sido altamente explorado en años recientes y ha producido afortunadamente aprendizajes y generalización de resultados en diversas labores dominadas. La retropropagación es intentada para redes con un nivel de entrada, cualquier número de niveles ocultos, y un nivel de salida. Este tipo de Red se esquematiza en la figura 4.3.

Cada nivel es totalmente conectado con el nivel posterior, y las conexiones dentro de un nivel o desde niveles altos o bajos son prohibidos; además, un error es generado para cada nodo de salida basado en la diferencia del valor de salida para el nodo.



Aprender por vía de retropropagación involucra dos fases:

- 1) En la primera fase, las entradas son propagadas hacia adelante a través de la red para obtener los valores de salida que son comparados con los valores deseados, los cuales se introducen antes de iniciar el aprendizaje de la red, resultando una señal de error para cada uno de los nodos de salida.
- 2) En la segunda fase, el error es propagado hacia atrás, a través de la red y usado para ajustar los valores.

La propagación hacia atrás es un ejemplo de una Red Neuronal que desarrolla una aproximación de la función $y=f(x)$, es decir de pares (x,y) .

La retropropagación ha sido aplicada en una gran variedad de problemas prácticos, y ha tenido gran éxito por su habilidad de modelar relaciones no lineales. Entre las aplicaciones de las Redes Neuronales, se pueden mencionar:

1. Síntesis y reconocimiento del lenguaje.
2. Reconocimiento visual de patrones.
3. Análisis de señales utilizando un sonar.
4. Análisis del mercado del gas natural.
5. Aplicaciones militares.
6. Diagnóstico médico.
7. Aprendizaje en sistemas de control.

Además, la retropropagación se ha empleado con éxito en la simulación no-lineal del espectro fluorescente inducido para predecir las concentraciones de algunas sustancias químicas en el diseño de controles para columnas de destilación a partir de ejemplos presentados a la red.

4.6 FUNCIONAMIENTO Y OPERACION DE UNA RED NEURONAL ARTIFICIAL.

La operación o el funcionamiento básico de una Red Neuronal Artificial consiste principalmente de tres fases, las cuales son:

1. **Fase de seguimiento o de aprendizaje:** A la Red se le presentan frecuentemente una serie de patrones de entrada-salida. El aprendizaje es acompañado por una regla general que modifica dinámicamente los significados de todas las interconexiones en un intento por generar el patrón de salida deseado para cada patrón de entrada presentado, con lo cual el aprendizaje es completado.
2. **Fase de llamado:** Se generan respuestas a patrones de entrada, los cuales son usados en la siguiente fase.
3. **Fase de generalización:** Se generan respuestas a patrones similares o a nuevos patrones de entrada.

Para la representación de un patrón de entrada-salida, las entradas totales (net_j), para el j -ésimo elemento de procesamiento (EP $_j$) es obtenido por el cálculo de la sumatoria de todas las salidas de los EP $_i$ que son conectados a EP $_j$:

$$net_j = \sum_i W_{ji}X_i + b_j \quad (4.1)$$

donde:

net_j = Valor de entrada del j -ésimo EP.

W_{ji} = Es la conexión del i -ésimo EP al j -ésimo EP.

X_i = Es la salida del i -ésimo EP.

b_j = Es la diagonal de los j -ésimos EP.

Además, la diagonal b_j es eliminada por cada presentación de un elemento de procesamiento como conexión de entrada extra con un nivel de actividad fijado en uno.

Una Función de Transferencia Sigma es entonces aplicada al valor de entrada (net_j) para obtener la salida del j -ésimo EP:

$$X_j = FTS(net_j) = \frac{1}{[1 + \exp(-\beta net_j)]} \quad (4.2)$$

donde:

- X_j = Valor de salida del EP $_j$.
- β = Es una constante que determina la pendiente de la función en $net_j = 0$.

La salida obtenida sirve como entrada al nivel siguiente donde es continuada hasta que se alcanza el nivel de salida; este proceso se conoce como flujo de activación "forward". El proceso de aprendizaje es fundamentado en el algoritmo de aprendizaje por retropropagación, el cual tiene como objetivo, minimizar iterativamente el promedio del cuadrado del error entre los valores de salida de los elementos de procesamiento y los patrones corregidos provistos por una entrada inicial. Esto es acompañado primero por el cálculo del gradiente error de salida (δ_i) para cada elemento de procesamiento en el nivel de entrada:

$$\delta_i = X_j (1 - X_j) (t_{pj} - X_j) \quad (4.3)$$

donde:

- δ_i = Error en el nivel de entrada.
- X_j = Valor de salida del EP $_j$.
- t_{pj} = Es el valor experimental o real que se debe enseñar para el p -ésimo patrón de entrada y para la j -ésima unidad de salida.

Ahora se calcula el gradiente de error en los niveles de salida:

$$\delta_k = X_k (1 - X_k) (X_j - X_k) \quad (4.4)$$

donde:

- δ_k = Error en el nivel de salida.
- X_j = Valor de salida del EP $_j$.
- X_k = Valor de salida del EP $_k$.

El gradiente de error es entonces determinado en los niveles ocultos para calcular la sumatoria de los errores de los niveles previos:

$$\delta_j = X_j (1 - X_j) \sum_k \delta_k W_{kj} \quad (4.5)$$

donde:

δ_j = Error en el nivel oculto.

X_j = Valor de salida del EPj.

δ_k = Error en el nivel de salida.

W_{kj} = Es la conexión del j-ésimo EP al k-ésimo EP.

Generalmente, se asegura una rápida convergencia al utilizar un tamaño de paso ("steep") grande donde no se utilicen oscilaciones para el aprendizaje de la Red. Sin embargo, la convergencia puede ser improvisada al incluir un término de momentum α ($0 < \alpha < 1$), el cual determina el efecto de los cambios más importantes presentes en el espacio manejado. El cambio significativo después de la n-ésima presentación del dato es:

$$\Delta W_{ji}(n) = \eta \delta_j X_i + \alpha \Delta W_{ji}(n-1) \quad (4.6)$$

donde:

n indica la presentación del número durante el seguimiento

η es la razón de aprendizaje que provee el tamaño del paso durante el descenso del gradiente.

Así, los errores son propagados hacia atrás un nivel (retropropagación), y el mismo procedimiento es repetido hasta que se alcanzan los niveles de entrada.

Los gradientes de error son entonces usados para la Red usando:

$$W_{ji}(n+1) = W_{ji}(n) + \Delta W_{ji}(n) \quad (4.7)$$

4.7 PRECISION DE LOS RESULTADOS.

La precisión del nodo de salida, es definido como el valor absoluto de la diferencia entre el valor deseado y el valor que ha sido determinado durante la fase de llamado o fase de generalización. La precisión de la red para patrones de entrenamiento simple es calculada como el promedio de todas las precisiones de entrada. La precisión total es la precisión promedio de la red.

Para comprobar la capacidad de aprendizaje y así la convergencia de la red, los resultados de las 'n' entradas son mostradas para todo el entrenamiento de la red. Durante esta etapa, estos procedimientos son rápidos (en segundos) y se genera una clasificación corregida para los valores correctos. Las redes, por lo tanto, son capaces de aprender la asociación correcta entre los síntomas generales del problema que se trate y de los valores que pueda tener como valor de salida.

En conclusión, puede decirse que las Redes Neuronales Artificiales son:

- programas de computadora no convencionales, basados en Inteligencia Artificial, usando lenguajes de programación tales como LISP y PROLOG.
- una forma alternativa para resolver gran variedad de problemas para los cuales se utilizaban anteriormente métodos matemáticos y/o estadísticos los cuales eran muy tardados en su resolución.
- programas con capacidad de "aprender" rápidamente a partir de datos que se le alimentan inicialmente, generar un modelo neuronal con capacidad de generar resultados adecuados, y almacenar datos en memoria; todo esto sin necesidad de especificar la función o funciones que rigen el proceso.
- sobre todo programas con capacidad de resolver problemas sencillos o complejos de una forma fácil, económica, rápida y con una gran exactitud y precisión.

CAPITULO 5

PROCEDIMIENTO

5.1 GENERALIDADES.

Para lograr descontaminar y regenerar las resinas mencionadas para utilizarlas nuevamente, se emplea la técnica de Ultrasonido, por lo que se desea en ésta primera etapa, saber cuál es la resistencia mecánica que tienen las resinas de intercambio iónico al aplicarles ultrasonido, siendo sometidas a diferentes condiciones de trabajo tales como tiempo de aplicación del ultrasonido, potencia del ultrasonido, medio en el cual se trabaja (en este caso: agua destilada, solución de NaCl al 10 % y solución de NaOH al 4%) y temperatura del medio de trabajo, simulando lo que se puede presentar en la fase de descontaminación de dichas resinas, para lo cual es necesario observar cuáles son los parámetros adecuados para tener un porcentaje mínimo de resinas fracturadas, para que las resinas no se fracturen ya que no servirían.

Por lo cual se han hecho las pruebas de fragilidad de las Resinas a nivel Laboratorio para saber cuales serán los parámetros adecuados para lograr la posterior descontaminación radioquímica, con el fin de generar resultados y hacer un análisis detallado de los valores o intervalos en los cuales se tiene una mayor descontaminación, lo cual permite un nivel más elevado de regeneración.

Para el caso de resinas de lecho mixto que contienen bajo nivel de radiación, es posible realizar una regeneración con cloruro de sodio para descontaminarlas.

Para disminuir el tiempo de experimentación, los gastos generados y como consecuencia los costos del proceso para determinar los parámetros óptimos, se plantea como alternativa el uso de una Red Neuronal Artificial llamada: "NeuroShell", la cual genera resultados con márgenes de error muy pequeños (0.1%).

Para generar el modelo neuronal se obtienen conjuntos de datos experimentales los cuales son introducidos a la Red Neuronal Artificial para que con estos, pueda lograr el aprendizaje y generar dicho modelo, el cual tendrá la capacidad de predecir resultados que se puedan obtener cuando se introduzcan nuevos valores cuando se hagan nuevos experimentos.

Los nodos de entrada para la Red Neuronal son:

- Sistema de trabajo: 0 = Agua Destilada
 1 = Solución de NaOH 4%
 2 = Solución de NaCl 10%
- Tiempo de exposición al Ultrasonido (minutos)
- Temperatura de trabajo (Grados Celsius)

Los nodos de salida para la Red Neuronal son:

- Porcentaje de Resinas IRN-77 Fracturadas
- Porcentaje de Resinas IRN-78 Fracturadas
- Porcentaje de Resinas IRN-150 Fracturadas

5.2 MEMORIA DE CALCULO.

Para el desarrollo de la fase experimental (y por lo tanto la obtención de los conjuntos de datos) de este trabajo se ha seguido el procedimiento que se describe a continuación.

1. Tomar muestras de las Resinas de Intercambio Iónico, que se utilizan en el sistema del Reactor.
2. Depositar las muestras de resina en vasos de precipitados de 250 ml. (aproximadamente el equivalente a 40ml. de Resinas).
3. Establecer los tiempos en que se aplicará el ultrasonido a la muestra.
4. Someter las muestras de resina al ultrasonido, anotando la temperatura del sistema.
5. Se toman pequeñas muestras de resina en portaobjetos para ser vistas al microscopio.
6. Se cuenta el número de resinas fracturadas y el número total de resinas en la muestra.
(Este paso, se aplica también a resinas nuevas, es decir, sin ser sometidas a ultrasonido.)

7. Se calcula el porcentaje de resinas fracturadas en cada muestra de resinas de la siguiente manera:

$$\% \text{ R.F.} = (\text{R.F.M.} / \text{T.R.M}) * 100 \quad (5.1)$$

donde:

% R.F. = Porcentaje de Resinas Fracturadas
R.F.M. = Resinas Fracturadas en la Muestra
T.R.M. = Total de Resinas en la Muestra.

8. Posteriormente, se tabulan los datos obtenidos con el siguiente formato:

Tiempo en el Ultrasonido (min)	Temperatura del Ultrasonido (°C)	% de Resinas IRN-77 Fracturadas	% de Resinas IRN-78 Fracturadas	% de Resinas IRN-150 Fracturadas

9. Con los datos obtenidos, y dado que la potencia del equipo de ultrasonido es constante, se hacen gráficas de TIEMPO v.s. % R.F.
10. Los datos obtenidos son introducidos a la Red Neuronal Artificial, para generar un modelo matemático que represente a los datos.
11. Hacer que la Red haga predicciones de datos en base al modelo neuronal, de los cuales no se hayan obtenido en la fase experimental anterior.

12. Realizar experimentalmente las pruebas en base a los parámetros de entrada para la Red Neuronal (Tiempo, temperatura, medio de trabajo, tipo de resina), conforme a los datos que se hayan utilizado en el punto anterior; con lo cual se obtendrá experimentalmente el porcentaje de resinas fracturadas las cuales serán calculadas conforme al punto 7.
13. Graficar los datos de los puntos 11 y 12.
14. Calcular el porcentaje de error entre cada uno de los datos (entre los reales y los que predice la Red):

$$\beta_i = \left| \frac{A - B}{A} \right| * 100 \quad (5.2)$$

donde:

- β_i : % de error.
 A : Valor experimental.
 B : Predicción hecha por la Red.

15. Calcular el error promedio total del modelo neuronal.

$$\delta = \frac{\sum_i^m \beta_i}{m} \quad (5.3)$$

donde:

- δ : Error promedio total del modelo neuronal.
 m: Número total de datos.

CAPITULO 6

RESULTADOS

6.1 GENERALIDADES.

En este capítulo se presentan los datos tabulados, así como las gráficas de dichos datos obtenidos durante el estudio realizado, en la forma que ya se explicó en el procedimiento, considerando los tres sistemas de estudio:

- agua destilada
- solución de NaOH al 4%.
- solución de NaCl al 10 %, y

Se debe considerar que la potencia del equipo de Ultrasonido, es constante, por lo que la intensidad del ultrasonido es siempre la misma.

6.2 DATOS EXPERIMENTALES.

En las siguientes tres tablas (6.1, 6.2 y 6.3) se presentan los datos obtenidos experimentalmente al hacer pruebas de fragilidad utilizando ultrasonido en tres diferentes medios de trabajo: agua destilada, solución de NaOH al 4% y solución de NaCl al 10%.

Tiempo en el Ultrasonido (minutos)	Temperatura del Ultrasonido (° C)	% Resinas IRN-77 Fracturadas	% Resinas IRN-78 Fracturadas	% Resinas IRN-150 Fracturadas
0	23.0	0.6	1.8	3.3
5	23.5	1.8	2.0	3.9
10	23.5	2.2	2.7	4.0
20	24.0	2.7	4.0	7.3
30	25.5	3.0	5.7	8.7
40	26.5	3.4	6.7	9.3
50	28.0	3.7	7.3	11.3
60	29.0	4.0	8.0	14.0
70	30.0	4.4	8.7	14.7
90	30.5	4.7	10.0	18.0
110	32.0	5.3	11.3	18.7
120	34.0	5.4	12.0	19.3
150	34.5	6.0	12.7	20.0
180	35.0	6.7	13.3	21.5
220	37.5	7.3	13.5	22.7
260	38.5	7.7	14.0	23.3

Tabla 6.1 *Resultados obtenidos experimentalmente al tratar las Resinas de Intercambio Iónico con agua destilada.*

Tiempo en el Ultrasonido (minutos)	Temperatura del Ultrasonido. (° C)	% Resinas IRN-77 Fracturadas	% Resinas IRN-78 Fracturadas	% Resinas IRN-150 Fracturadas
0	23.0	3.5	3.7	16.2
10	23.0	4.0	4.0	19.7
15	24.0	4.7	4.3	20.0
20	25.0	5.0	4.6	21.2
30	25.5	6.0	5.3	25.0
40	26.5	7.3	5.7	31.3
50	28.0	8.7	8.2	32.1
60	29.0	10.0	10.3	36.6
70	30.0	10.7	11.3	38.1
90	30.5	11.3	12.0	40.0
110	32.0	12.0	12.5	41.8
115	32.5	12.5	12.7	43.8
150	34.5	13.3	13.3	46.0
180	35.0	14.0	14.0	46.2
220	37.5	14.4	15.5	47.0
260	38.5	14.7	16.7	47.3

Tabla 6.2 *Resultados obtenidos experimentalmente al tratar las Resinas de Intercambio Iónico con solución de NaOH al 4%.*

Tiempo en el Ultrasonido (minutos)	Temperatura del Ultrasonido (° C)	% Resinas IRN-77 Fracturadas	% Resinas IRN-78 Fracturadas	% Resinas IRN-150 Fracturadas
0	23.0	1.8	26.7	24.0
5	23.0	2.0	28.2	25.8
10	23.0	2.1	28.8	26.1
15	24.0	2.3	29.1	26.5
20	24.0	2.7	29.6	28.5
25	25.0	2.9	30.4	30.0
30	26.0	3.1	33.9	32.6
35	26.0	3.3	34.7	32.7
40	27.0	3.6	36.0	32.9
45	28.0	3.7	38.0	34.0
50	29.0	4.0	38.4	34.9
55	29.0	4.7	39.0	35.0
60	29.0	5.0	39.5	35.0
70	30.0	5.1	40.0	35.3
75	30.0	5.3	41.3	35.7
90	31.0	5.7	43.2	36.3
105	32.0	6.3	44.0	36.7
110	32.0	6.7	44.7	37.3
120	33.0	6.8	45.0	38.0
135	34.0	6.9	47.0	38.0
150	34.0	7.0	47.7	38.2
165	35.0	7.3	48.2	38.6
180	36.0	7.7	49.6	38.6
195	37.5	8.0	48.6	39.0
210	38.0	8.2	49.3	39.0
220	37.5	8.5	49.9	39.0
225	38.0	8.7	50.0	39.3
240	38.5	9.0	51.8	39.3
260	38.5	9.7	54.0	39.3

Tabla 6.3 Resultados obtenidos experimentalmente al tratar las Resinas de Intercambio Iónico con solución de NaCl al 10%.

6.3 PARAMETROS PARA LA OBTENCION DEL MODELO NEURONAL.

Posteriormente se introducen los datos anteriores a la Red neuronal para que genere el modelo neuronal, el cual tiene los siguientes parámetros:

Versión en la que fué realizada la Red:	Analog
Número de nodos de entrada:	3
Número de nodos ocultos:	12
Número de nodos de salida:	3
Número total de casos en la Red:	61
Error de salida:	0.00000
Relación de aprendizaje:	0.60000
Momentum:	0.90000
Error de aprendizaje:	0.00010

El formato del modelo neuronal es:

0	2	Sistema: 0=AguaDest, 1=Sol.NaOH4%, 2=Sol.NaCl10%
0	400	Tiempo de exposición al Ultrasonido (minutos)
20	40	Temperatura de trabajo (Grados Celsius)

0	100	Porcentaje de Resinas IRN-77 Fracturadas
0	100	Porcentaje de Resinas IRN-78 Fracturadas
0	100	Porcentaje de Resinas IRN-150 Fracturadas

La primer columna indica el valor mínimo que puede tomar esa característica, la segunda columna indica el valor máximo que puede tomar esa característica, y la tercer columna indica la característica. La primer característica, solo puede tener tres valores: 0, 1 y 2; mientras que las otras tres características pueden tomar cualquier valor (inclusive una cifra decimal) que se encuentre entre los valores mínimo y máximo. A continuación se muestran los 61 conjuntos de datos como fueron introducidos a la Red Neuronal para generar el modelo neuronal.

Sample case: 1

0	Sistema: 0 = Agua Dest, 1 = Sol.NaOH 4%, 2 = Sol.NaCl 10%
0	Tiempo de exposición al Ultrasonido (minutos)
23	Temperatura de trabajo (Grados Celsius)

0.6	Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-77
1.8	Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-78
3.3	Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-150

Sample case: 2

0	Sistema: 0 = Agua Dest, 1 = Sol.NaOH 4%, 2 = Sol.NaCl 10%
5	Tiempo de exposición al Ultrasonido (minutos)
23.5	Temperatura de trabajo (Grados Celsius)

1.8	Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-77
2.0	Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-78
3.9	Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-150

Sample case: 3

0	Sistema: 0 = Agua Dest, 1 = Sol.NaOH 4%, 2 = Sol.NaCl 10%
10	Tiempo de exposición al Ultrasonido (minutos)
23.5	Temperatura de trabajo (Grados Celsius)

2.2	Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-77
2.7	Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-78
4.0	Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-150

Sample case: 4

0	Sistema: 0 = Agua Dest, 1 = Sol.NaOH 4%, 2 = Sol.NaCl 10%
20	Tiempo de exposición al Ultrasonido (minutos)
24	Temperatura de trabajo (Grados Celsius)

2.7	Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-77
4.0	Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-78
7.3	Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-150

Sample case: 5

0	Sistema: 0 = Agua Dest, 1 = Sol.NaOH 4%, 2 = Sol.NaCl 10%
30	Tiempo de exposición al Ultrasonido (minutos)
25.5	Temperatura de trabajo (Grados Celsius)

3.0	Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-77
5.7	Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-78
8.7	Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-150

Sample case: 1

0 Sistema: 0 = Agua Dest, 1 = Sol.NaOH 4%, 2 = Sol.NaCl 10%
 0 Tiempo de exposición al Ultrasonido (minutos)
 23 Temperatura de trabajo (Grados Celsius)

0.6 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-77
 1.8 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-78
 3.3 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-150

Sample case: 2

0 Sistema: 0 = Agua Dest, 1 = Sol.NaOH 4%, 2 = Sol.NaCl 10%
 5 Tiempo de exposición al Ultrasonido (minutos)
 23.5 Temperatura de trabajo (Grados Celsius)

1.8 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-77
 2.0 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-78
 3.9 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-150

Sample case: 3

0 Sistema: 0 = Agua Dest, 1 = Sol.NaOH 4%, 2 = Sol.NaCl 10%
 10 Tiempo de exposición al Ultrasonido (minutos)
 23.5 Temperatura de trabajo (Grados Celsius)

2.2 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-77
 2.7 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-78
 4.0 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-150

Sample case: 4

0 Sistema: 0 = Agua Dest, 1 = Sol.NaOH 4%, 2 = Sol.NaCl 10%
 20 Tiempo de exposición al Ultrasonido (minutos)
 24 Temperatura de trabajo (Grados Celsius)

2.7 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-77
 4.0 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-78
 7.3 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-150

Sample case: 5

0 Sistema: 0 = Agua Dest, 1 = Sol.NaOH 4%, 2 = Sol.NaCl 10%
 30 Tiempo de exposición al Ultrasonido (minutos)
 25.5 Temperatura de trabajo (Grados Celsius)

3.0 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-77
 6.7 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-78
 8.7 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-150

Sample case: 6

0 Sistema: 0 = Agua Dest, 1 = Sol.NaOH 4%, 2 = Sol.NaCl 10%
 40 Tiempo de exposición al Ultrasonido (minutos)
 26.5 Temperatura de trabajo (Grados Celsius)

3.4 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-77
 6.7 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-78
 9.3 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-150

Sample case: 7

0 Sistema: 0 = Agua Dest, 1 = Sol.NaOH 4%, 2 = Sol.NaCl 10%
 50 Tiempo de exposición al Ultrasonido (minutos)
 28 Temperatura de trabajo (Grados Celsius)

3.7 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-77
 7.3 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-78
 11.3 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-150

Sample case: 8

0 Sistema: 0 = Agua Dest, 1 = Sol.NaOH 4%, 2 = Sol.NaCl 10%
 60 Tiempo de exposición al Ultrasonido (minutos)
 29 Temperatura de trabajo (Grados Celsius)

4.0 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-77
 8.0 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-78
 14.0 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-150

Sample case: 9

0 Sistema: 0 = Agua Dest, 1 = Sol.NaOH 4%, 2 = Sol.NaCl 10%
 70 Tiempo de exposición al Ultrasonido (minutos)
 30 Temperatura de trabajo (Grados Celsius)

4.4 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-77
 8.7 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-78
 14.7 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-150

Sample case: 10

0 Sistema: 0 = Agua Dest, 1 = Sol.NaOH 4%, 2 = Sol.NaCl 10%
 90 Tiempo de exposición al Ultrasonido (minutos)
 30.5 Temperatura de trabajo (Grados Celsius)

4.7 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-77
 10.0 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-78
 18.0 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-150

Sample case: 11

0 Sistema: 0 = Agua Dest, 1 = Sol.NaOH 4%, 2 = Sol.NaCl 10%
 110 Tiempo de exposición al Ultrasonido (minutos)
 32 Temperatura de trabajo (Grados Celsius)

5.3 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-77
 11.3 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-78
 18.7 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-150

Sample case: 12

0 Sistema: 0 = Agua Dest, 1 = Sol.NaOH 4%, 2 = Sol.NaCl 10%
 120 Tiempo de exposición al Ultrasonido (minutos)
 34 Temperatura de trabajo (Grados Celsius)

5.4 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-77
 12.0 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-78
 19.3 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-150

Sample case: 13

0 Sistema: 0 = Agua Dest, 1 = Sol.NaOH 4%, 2 = Sol.NaCl 10%
 150 Tiempo de exposición al Ultrasonido (minutos)
 34.5 Temperatura de trabajo (Grados Celsius)

6.0 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-77
 12.7 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-78
 20.0 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-150

Sample case: 14

0 Sistema: 0 = Agua Dest, 1 = Sol.NaOH 4%, 2 = Sol.NaCl 10%
 180 Tiempo de exposición al Ultrasonido (minutos)
 35 Temperatura de trabajo (Grados Celsius)

6.7 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-77
 13.3 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-78
 21.5 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-150

Sample case: 15

0 Sistema: 0 = Agua Dest, 1 = Sol.NaOH 4%, 2 = Sol.NaCl 10%
 220 Tiempo de exposición al Ultrasonido (minutos)
 37.5 Temperatura de trabajo (Grados Celsius)

7.3 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-77
 13.5 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-78
 22.7 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-150

Sample case: 16

0	Sistema: 0 = Agua Dest, 1 = Sol.NaOH 4%, 2 = Sol.NaCl 10%
260	Tiempo de exposición al Ultrasonido (minutos)
38.5	Temperatura de trabajo (Grados Celsius)

7.7	Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-77
14.0	Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-78
23.3	Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-150

Sample case: 17

1	Sistema: 0 = Agua Dest, 1 = Sol.NaOH 4%, 2 = Sol.NaCl 10%
0	Tiempo de exposición al Ultrasonido (minutos)
23	Temperatura de trabajo (Grados Celsius)

3.5	Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-77
3.7	Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-78
16.2	Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-150

Sample case: 18

1	Sistema: 0 = Agua Dest, 1 = Sol.NaOH 4%, 2 = Sol.NaCl 10%
10	Tiempo de exposición al Ultrasonido (minutos)
23	Temperatura de trabajo (Grados Celsius)

4.0	Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-77
4.0	Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-78
19.7	Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-150

Sample case: 19

1	Sistema: 0 = Agua Dest, 1 = Sol.NaOH 4%, 2 = Sol.NaCl 10%
15	Tiempo de exposición al Ultrasonido (minutos)
24	Temperatura de trabajo (Grados Celsius)

4.7	Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-77
4.3	Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-78
20.0	Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-150

Sample case: 20

1	Sistema: 0 = Agua Dest, 1 = Sol.NaOH 4%, 2 = Sol.NaCl 10%
20	Tiempo de exposición al Ultrasonido (minutos)
25	Temperatura de trabajo (Grados Celsius)

5.0	Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-77
4.6	Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-78
21.2	Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-150

Sample case: 21

1 Sistema: 0 = Agua Dest, 1 = Sol.NaOH 4%, 2 = Sol.NaCl 10%
 30 Tiempo de exposición al Ultrasonido (minutos)
 25.5 Temperatura de trabajo (Grados Celsius)

6.0 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-77
 5.3 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-78
 25.0 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-150

Sample case: 22

1 Sistema: 0 = Agua Dest, 1 = Sol.NaOH 4%, 2 = Sol.NaCl 10%
 40 Tiempo de exposición al Ultrasonido (minutos)
 26.5 Temperatura de trabajo (Grados Celsius)

7.3 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-77
 5.7 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-78
 31.3 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-150

Sample case: 23

1 Sistema: 0 = Agua Dest, 1 = Sol.NaOH 4%, 2 = Sol.NaCl 10%
 50 Tiempo de exposición al Ultrasonido (minutos)
 28 Temperatura de trabajo (Grados Celsius)

8.7 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-77
 8.2 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-78
 32.1 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-150

Sample case: 24

1 Sistema: 0 = Agua Dest, 1 = Sol.NaOH 4%, 2 = Sol.NaCl 10%
 60 Tiempo de exposición al Ultrasonido (minutos)
 29 Temperatura de trabajo (Grados Celsius)

10.0 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-77
 10.3 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-78
 36.6 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-150

Sample case: 25

1 Sistema: 0 = Agua Dest, 1 = Sol.NaOH 4%, 2 = Sol.NaCl 10%
 70 Tiempo de exposición al Ultrasonido (minutos)
 30 Temperatura de trabajo (Grados Celsius)

10.7 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-77
 11.3 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-78
 38.1 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-150

Sample case: 26

1 Sistema: 0 = Agua Dest, 1 = Sol.NaOH 4%, 2 = Sol.NaCl 10%
 90 Tiempo de exposición al Ultrasonido (minutos)
 30.5 Temperatura de trabajo (Grados Celsius)

11.3 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-77
 12.0 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-78
 40.0 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-150

Sample case: 27

1 Sistema: 0 = Agua Dest, 1 = Sol.NaOH 4%, 2 = Sol.NaCl 10%
 110 Tiempo de exposición al Ultrasonido (minutos)
 32 Temperatura de trabajo (Grados Celsius)

12.0 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-77
 12.5 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-78
 41.8 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-150

Sample case: 28

1 Sistema: 0 = Agua Dest, 1 = Sol.NaOH 4%, 2 = Sol.NaCl 10%
 115 Tiempo de exposición al Ultrasonido (minutos)
 32.5 Temperatura de trabajo (Grados Celsius)

12.5 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-77
 12.7 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-78
 43.8 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-150

Sample case: 29

1 Sistema: 0 = Agua Dest, 1 = Sol.NaOH 4%, 2 = Sol.NaCl 10%
 150 Tiempo de exposición al Ultrasonido (minutos)
 34.5 Temperatura de trabajo (Grados Celsius)

13.3 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-77
 13.3 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-78
 46.0 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-150

Sample case: 30

1 Sistema: 0 = Agua Dest, 1 = Sol.NaOH 4%, 2 = Sol.NaCl 10%
 180 Tiempo de exposición al Ultrasonido (minutos)
 35 Temperatura de trabajo (Grados Celsius)

14.0 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-77
 14.0 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-78
 46.2 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-150

Sample case: 31

1 Sistema: 0 = Agua Dest, 1 = Sol.NaOH 4%, 2 = Sol.NaCl 10%
 220 Tiempo de exposición al Ultrasonido (minutos)
 37.5 Temperatura de trabajo (Grados Celsius)

14.4 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-77
 15.5 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-78
 47.0 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-150

Sample case: 32

1 Sistema: 0 = Agua Dest, 1 = Sol.NaOH 4%, 2 = Sol.NaCl 10%
 260 Tiempo de exposición al Ultrasonido (minutos)
 38.5 Temperatura de trabajo (Grados Celsius)

14.7 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-77
 16.7 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-78
 47.3 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-150

Sample case: 33

2 Sistema: 0 = Agua Dest, 1 = Sol.NaOH 4%, 2 = Sol.NaCl 10%
 0 Tiempo de exposición al Ultrasonido (minutos)
 23.0 Temperatura de trabajo (Grados Celsius)

1.8 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-77
 26.7 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-78
 24.0 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-150

Sample case: 34

2 Sistema: 0 = Agua Dest, 1 = Sol.NaOH 4%, 2 = Sol.NaCl 10%
 5 Tiempo de exposición al Ultrasonido (minutos)
 23 Temperatura de trabajo (Grados Celsius)

2.0 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-77
 26.7 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-78
 24.0 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-150

Sample case: 35

2 Sistema: 0 = Agua Dest, 1 = Sol.NaOH 4%, 2 = Sol.NaCl 10%
 10 Tiempo de exposición al Ultrasonido (minutos)
 23 Temperatura de trabajo (Grados Celsius)

2.1 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-77
 28.8 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-78
 26.1 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-150

Sample case: 36

- 2 Sistema: 0 = Agua Dest, 1 = Sol.NaOH 4%, 2 = Sol.NaCl 10%
 15 Tiempo de exposición al Ultrasonido (minutos)
 24 Temperatura de trabajo (Grados Celsius)

- 2.3 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-77
 29.1 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-78
 26.5 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-150

Sample case: 37

- 2 Sistema: 0 = Agua Dest, 1 = Sol.NaOH 4%, 2 = Sol.NaCl 10%
 20 Tiempo de exposición al Ultrasonido (minutos)
 24 Temperatura de trabajo (Grados Celsius)

- 2.7 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-77
 29.6 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-78
 28.5 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-150

Sample case: 38

- 2 Sistema: 0 = Agua Dest, 1 = Sol.NaOH 4%, 2 = Sol.NaCl 10%
 25 Tiempo de exposición al Ultrasonido (minutos)
 25 Temperatura de trabajo (Grados Celsius)

- 2.9 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-77
 30.4 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-78
 30.0 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-150

Sample case: 39

- 2 Sistema: 0 = Agua Dest, 1 = Sol.NaOH 4%, 2 = Sol.NaCl 10%
 30 Tiempo de exposición al Ultrasonido (minutos)
 26 Temperatura de trabajo (Grados Celsius)

- 3.1 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-77
 33.9 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-78
 32.6 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-150

Sample case: 40

- 2 Sistema: 0 = Agua Dest, 1 = Sol.NaOH 4%, 2 = Sol.NaCl 10%
 35 Tiempo de exposición al Ultrasonido (minutos)
 26 Temperatura de trabajo (Grados Celsius)

- 3.3 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-77
 34.7 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-78
 32.7 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-150

Sample case: 41

- 2 Sistema: 0 = Agua Dest, 1 = Sol.NaOH 4%, 2 = Sol.NaCl 10%
 40 Tiempo de exposición al Ultrasonido (minutos)
 27 Temperatura de trabajo (Grados Celsius)

- 3.6 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-77
 36.0 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-78
 32.9 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-150

Sample case: 42

- 2 Sistema: 0 = Agua Dest, 1 = Sol.NaOH 4%, 2 = Sol.NaCl 10%
 45 Tiempo de exposición al Ultrasonido (minutos)
 28 Temperatura de trabajo (Grados Celsius)

- 3.7 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-77
 38.0 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-78
 34.0 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-150

Sample case: 43

- 2 Sistema: 0 = Agua Dest, 1 = Sol.NaOH 4%, 2 = Sol.NaCl 10%
 50 Tiempo de exposición al Ultrasonido (minutos)
 29 Temperatura de trabajo (Grados Celsius)

- 4.0 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-77
 38.4 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-78
 34.9 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-150

Sample case: 44

- 2 Sistema: 0 = Agua Dest, 1 = Sol.NaOH 4%, 2 = Sol.NaCl 10%
 55 Tiempo de exposición al Ultrasonido (minutos)
 29 Temperatura de trabajo (Grados Celsius)

- 4.7 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-77
 39.0 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-78
 35.0 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-150

Sample case: 45

- 2 Sistema: 0 = Agua Dest, 1 = Sol.NaOH 4%, 2 = Sol.NaCl 10%
 60 Tiempo de exposición al Ultrasonido (minutos)
 29 Temperatura de trabajo (Grados Celsius)

- 5.0 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-77
 39.5 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-78
 35.0 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-150

Sample case: 46

2 Sistema: 0 = Agua Dest, 1 = Sol.NaOH 4%, 2 = Sol.NaCl 10%
 70 Tiempo de exposición al Ultrasonido (minutos)
 30 Temperatura de trabajo (Grados Celsius)

5.1 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-77
 40.0 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-78
 35.3 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-150

Sample case: 47

2 Sistema: 0 = Agua Dest, 1 = Sol.NaOH 4%, 2 = Sol.NaCl 10%
 75 Tiempo de exposición al Ultrasonido (minutos)
 30 Temperatura de trabajo (Grados Celsius)

5.3 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-77
 41.3 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-78
 35.7 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-150

Sample case: 48

2 Sistema: 0 = Agua Dest, 1 = Sol.NaOH 4%, 2 = Sol.NaCl 10%
 90 Tiempo de exposición al Ultrasonido (minutos)
 31 Temperatura de trabajo (Grados Celsius)

5.7 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-77
 43.2 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-78
 36.3 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-150

Sample case: 49

2 Sistema: 0 = Agua Dest, 1 = Sol.NaOH 4%, 2 = Sol.NaCl 10%
 105 Tiempo de exposición al Ultrasonido (minutos)
 32 Temperatura de trabajo (Grados Celsius)

6.3 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-77
 44.0 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-78
 36.7 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-150

Sample case: 50

2 Sistema: 0 = Agua Dest, 1 = Sol.NaOH 4%, 2 = Sol.NaCl 10%
 110 Tiempo de exposición al Ultrasonido (minutos)
 32 Temperatura de trabajo (Grados Celsius)

6.7 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-77
 44.7 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-78
 37.3 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-150

Sample case: 51

2	Sistema: 0 = Agua Dest, 1 = Sol.NaOH 4%, 2 = Sol.NaCl 10%
120	Tiempo de exposición al Ultrasonido (minutos)
33	Temperatura de trabajo (Grados Celsius)

6.8	Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-77
45.0	Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-78
38.0	Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-150

Sample case: 52

2	Sistema: 0 = Agua Dest, 1 = Sol.NaOH 4%, 2 = Sol.NaCl 10%
135	Tiempo de exposición al Ultrasonido (minutos)
34	Temperatura de trabajo (Grados Celsius)

6.9	Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-77
47.0	Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-78
38.0	Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-150

Sample case: 53

2	Sistema: 0 = Agua Dest, 1 = Sol.NaOH 4%, 2 = Sol.NaCl 10%
150	Tiempo de exposición al Ultrasonido (minutos)
34	Temperatura de trabajo (Grados Celsius)

7.0	Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-77
47.7	Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-78
38.2	Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-150

Sample case: 54

2	Sistema: 0 = Agua Dest, 1 = Sol.NaOH 4%, 2 = Sol.NaCl 10%
165	Tiempo de exposición al Ultrasonido (minutos)
35	Temperatura de trabajo (Grados Celsius)

7.3	Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-77
48.2	Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-78
38.6	Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-150

Sample case: 55

2	Sistema: 0 = Agua Dest, 1 = Sol.NaOH 4%, 2 = Sol.NaCl 10%
180	Tiempo de exposición al Ultrasonido (minutos)
36	Temperatura de trabajo (Grados Celsius)

7.7	Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-77
48.6	Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-78
38.6	Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-150

Sample case: 56

2 Sistema: 0 = Agua Dest, 1 = Sol.NaOH 4%, 2 = Sol.NaCl 10%
 195 Tiempo de exposición al Ultrasonido (minutos)
 37.5 Temperatura de trabajo (Grados Celsius)

8.0 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-77
 48.6 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-78
 38.6 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-150

Sample case: 57

2 Sistema: 0 = Agua Dest, 1 = Sol.NaOH 4%, 2 = Sol.NaCl 10%
 210 Tiempo de exposición al Ultrasonido (minutos)
 38 Temperatura de trabajo (Grados Celsius)

8.2 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-77
 49.3 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-78
 39.0 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-150

Sample case: 58

2 Sistema: 0 = Agua Dest, 1 = Sol.NaOH 4%, 2 = Sol.NaCl 10%
 220 Tiempo de exposición al Ultrasonido (minutos)
 37.5 Temperatura de trabajo (Grados Celsius)

8.5 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-77
 49.9 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-78
 39.0 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-150

Sample case: 59

2 Sistema: 0 = Agua Dest, 1 = Sol.NaOH 4%, 2 = Sol.NaCl 10%
 225 Tiempo de exposición al Ultrasonido (minutos)
 38 Temperatura de trabajo (Grados Celsius)

8.7 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-77
 50.0 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-78
 39.3 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-150

Sample case: 60

2 Sistema: 0 = Agua Dest, 1 = Sol.NaOH 4%, 2 = Sol.NaCl 10%
 240 Tiempo de exposición al Ultrasonido (minutos)
 38.5 Temperatura de trabajo (Grados Celsius)

9.0 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-77
 51.8 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-78
 39.3 Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-150

Sample case: 61

2	Sistema: 0 = Agua Dest, 1 = Sol.NaOH 4%, 2 = Sol.NaCl 10%
260	Tiempo de exposición al Ultrasonido (minutos)
38.5	Temperatura de trabajo (Grados Celsius)

9.7	Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-77
54.0	Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-78
39.3	Porcentaje de Resinas Fracturadas IRN-150

6.4 RESULTADOS OBTENIDOS POR MEDIO DEL MODELO NEURONAL.

Ahora, se procede a realizar experimentalmente pruebas adicionales, las cuales se obtienen en base los parámetros de entrada para la Red Neuronal (Tiempo, temperatura, medio de trabajo).

Dado que ya se cuenta con el modelo neuronal, se hacen predicciones utilizando como referencia los parámetros de entrada que se utilizaron para obtener los datos del punto anterior.

Con los datos de los dos puntos anteriores, se calcula el error para cada uno de ellos y así calcular el error del modelo neuronal.

También se grafican estos datos, para cada uno de los conjuntos de datos y poder hacer un análisis comparativo entre los valores reales y los que predice el modelo neuronal.

Tiempo en el Ultrasonido (minutos)	Temperatura del Ultrasonido (° C)	% de Resinas IRN - 77 Fracturadas		Diferencia	% de error (β_i)
		Valor Experimental	Predicción de la Red		
0	30.0	0.6	0.6	0.0	0.00
15	30.0	2.0	1.3	0.7	35.00
30	30.0	2.4	2.0	0.4	16.67
45	30.0	2.7	2.8	-0.1	3.70
60	30.0	3.1	3.6	-0.5	16.13
75	30.0	3.8	4.3	-0.5	13.16
90	30.0	4.4	4.8	-0.4	9.09
105	30.0	5.2	5.3	-0.1	1.92
120	30.0	5.6	5.6	0.0	0.00
135	30.0	5.8	5.9	-0.1	1.72
150	30.0	6.0	6.1	-0.1	1.67
165	30.0	6.2	6.3	-0.1	1.61
180	30.0	6.4	6.4	0.0	0.00
195	30.0	6.4	6.5	-0.1	1.56
210	30.0	6.6	6.6	0.0	0.00
225	30.0	6.8	6.7	0.1	1.47
240	30.0	6.8	6.7	0.1	1.47
255	30.0	6.9	6.7	0.2	2.90

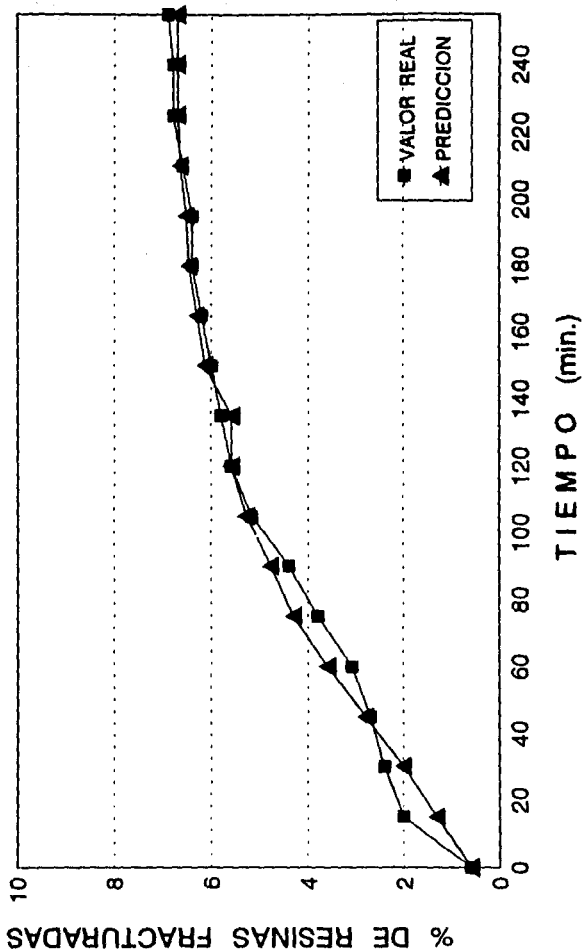
Error total = 108.07

Número de datos = 18

Error = $\gamma_1 = 108.07 / 18 = 6.00$

Tabla 6.4 *Resultados comparativos entre valores experimentales y valores obtenidos al hacer predicciones con el Modelo Neuronal para la Resina IRN-77 en agua destilada (Temp=30°C).*

SISTEMA: AGUA DESTILADA
RESINA: IRN - 77



Tiempo en el Ultrasonido (minutos)	Temperatura del Ultrasonido (° C)	% de Resinas IRN-77 Fracturadas		Diferencia	% de error (β_i)
		Valor Experimental	Predicción de la Red		
0	35.0	5.2	6.2	- 1.0	19.23
15	35.0	6.0	7.3	- 1.3	21.67
30	35.0	7.9	8.3	- 0.4	5.06
45	35.0	8.7	9.3	- 0.6	6.90
60	35.0	9.4	10.1	- 0.7	7.45
75	35.0	10.0	10.9	- 0.9	9.00
90	35.0	10.9	11.5	- 0.6	5.50
105	35.0	11.8	12.0	- 0.2	1.69
120	35.0	12.0	12.5	- 0.5	4.17
135	35.0	12.3	12.9	- 0.6	4.88
150	35.0	12.9	13.3	- 0.4	3.10
165	35.0	13.2	13.6	- 0.4	3.03
180	35.0	13.6	13.9	- 0.3	2.20
195	35.0	13.9	14.2	- 0.3	2.16
210	35.0	14.1	14.5	- 0.4	2.84
225	35.0	14.4	14.8	- 0.4	2.78
240	35.0	15.0	15.1	- 0.1	0.67
255	35.0	15.8	15.3	0.5	3.16

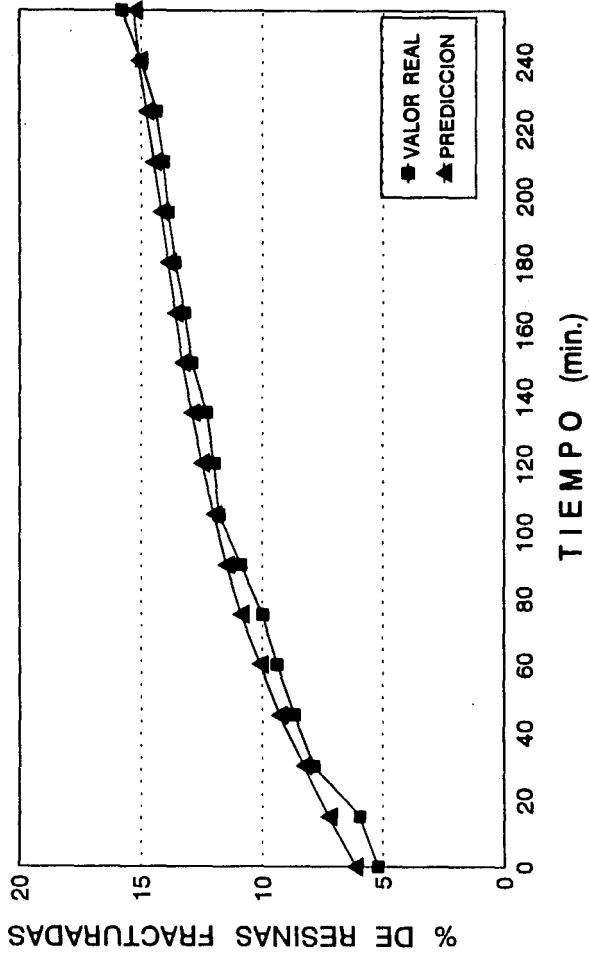
Error total = 105.49

Número de datos = 18

Error = $\gamma_2 = 105.49 / 18 = 5.86$

Tabla 6.5 Resultados comparativos entre valores experimentales y valores obtenidos al hacer predicciones con el Modelo Neuronal para la Resina IRN-77 en solución de NaOH al 4% (Temp=35°C).

SISTEMA: SOLUCION DE NaOH AL 4%
RESINA: IRN - 77



Tiempo en el Ultrasonido (minutos)	Temperatura del Ultrasonido (° C)	% de Resinas IRN - 78 Fracturadas		Diferencia	% de error (β_i)
		Valor Experimental	Predicción de la Red		
0	25.0	4.0	2.6	1.4	35.00
15	25.0	4.5	4.1	0.4	8.89
30	25.0	5.2	5.7	-0.5	9.61
45	25.0	6.6	7.3	-0.7	10.61
60	25.0	8.0	8.8	-0.8	10.00
75	25.0	9.1	10.2	-1.1	12.09
90	25.0	10.4	11.3	-0.9	8.65
105	25.0	11.7	12.2	-0.5	4.27
120	25.0	12.5	13.0	-0.5	4.00
135	25.0	13.3	13.7	-0.4	3.01
150	25.0	13.8	14.3	-0.5	3.62
165	25.0	14.3	14.9	-0.6	4.19
180	25.0	14.9	15.6	-0.7	4.70
195	25.0	15.5	16.2	-1.0	6.45
210	25.0	16.0	16.8	-0.8	5.00
225	25.0	16.6	17.4	-0.8	4.82
240	25.0	17.1	18.0	-0.9	5.26
255	25.0	17.9	18.7	-0.8	4.47

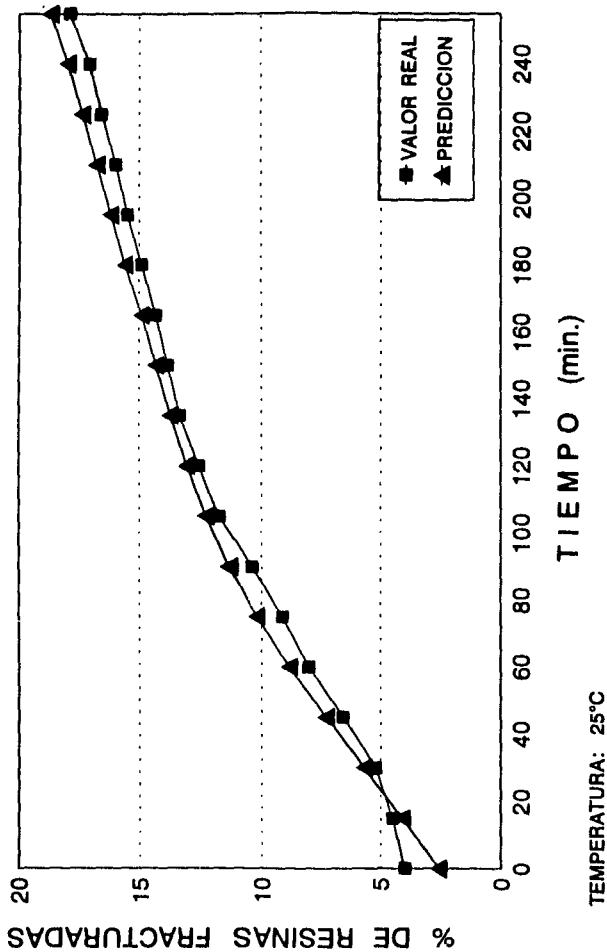
Error total = 144.63

Número de datos = 18

Error = $\gamma_3 = 144.63 / 18 = 8.03$

Tabla 6.6 Resultados comparativos entre valores experimentales y valores obtenidos al hacer predicciones con el Modelo Neuronal para la Resina IRN-78 en solución de NaOH al 4% (Temp=25°C).

SISTEMA: SOLUCION DE NaOH AL 4%
RESINA: IRN - 78



Tiempo en el Ultrasonido (minutos)	Temperatura del Ultrasonido (° C)	% de Resinas IRN - 150 Fracturadas		Diferencia	% de error (β_i)
		Valor Experimental	Predicción de la Red		
0	35.0	17.0	17.9	- 0.9	5.29
15	35.0	21.9	22.5	- 0.6	2.74
30	35.0	25.7	27.3	- 1.6	6.23
45	35.0	31.0	31.6	- 0.6	1.93
60	35.0	34.3	35.3	- 1.0	2.91
75	35.0	37.0	38.2	- 1.2	3.24
90	35.0	39.5	40.4	- 0.9	2.28
105	35.0	41.2	42.1	- 0.9	2.18
120	35.0	42.9	43.3	- 0.4	0.93
135	35.0	44.1	44.3	- 0.3	0.68
150	35.0	45.0	45.1	- 0.1	0.22
165	35.0	45.8	45.7	0.1	0.22
180	35.0	46.4	46.2	0.2	0.43
195	35.0	46.8	46.7	0.1	0.21
210	35.0	47.2	47.1	0.1	0.21
225	35.0	47.6	47.5	0.1	0.21
240	35.0	47.9	47.8	0.1	0.21
255	35.0	48.2	48.1	0.1	0.21

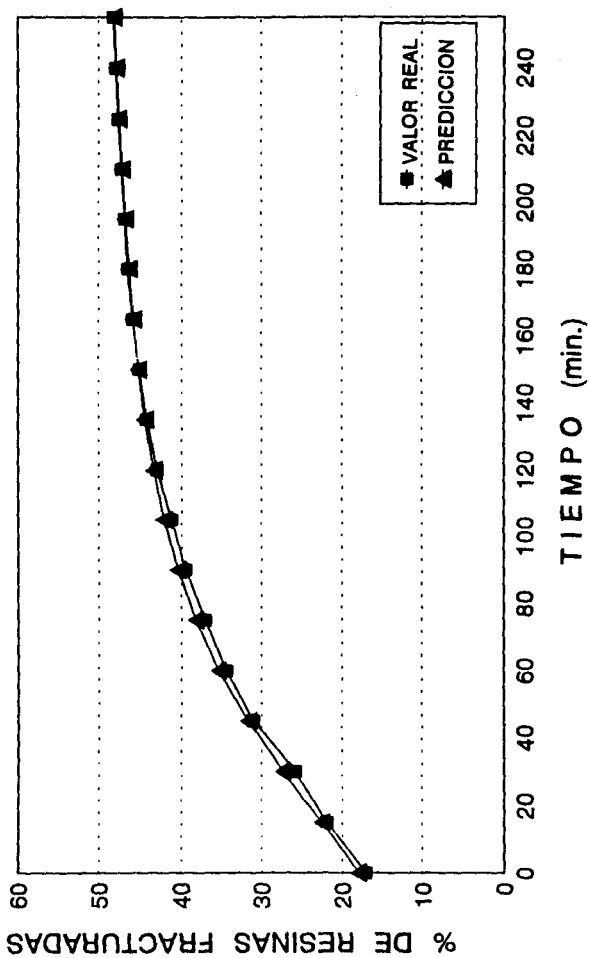
Error total = 30.33

Número de datos = 18

Error = $\gamma_4 = 30.33 / 18 = 1.68$

Tabla 6.7 *Resultados comparativos entre valores experimentales y valores obtenidos al hacer predicciones con el Modelo Neuronal para la Resina IRN-150 en solución de NaOH al 4% (Temp=35°C).*

SISTEMA: SOLUCION DE NaOH AL 4%
RESINA: IRN - 150



Tiempo en el Ultrasonido (minutos)	Temperatura del Ultrasonido (° C)	% de Resinas IRN - 77 Fracturadas		Diferencia	% de error (β_i)
		Valor Experimental	Predicción de la Red		
0	25.0	2.0	1.6	0.4	20.00
15	25.0	2.6	2.4	0.2	7.69
30	25.0	3.3	3.2	0.1	3.03
45	25.0	4.0	3.9	0.1	2.50
60	25.0	4.8	4.5	0.3	6.25
75	25.0	5.1	5.0	0.1	1.96
90	25.0	5.4	5.5	-0.1	1.85
105	25.0	5.8	5.9	-0.1	1.72
120	25.0	6.1	6.3	-0.2	3.28
135	25.0	6.4	6.3	0.1	1.56
150	25.0	6.9	7.1	-0.2	2.90
165	25.0	7.2	7.5	-0.3	4.17
180	25.0	7.4	7.8	-0.4	5.40
195	25.0	7.8	8.2	-0.4	5.13
210	25.0	8.4	8.6	-0.2	2.38
225	25.0	8.7	9.0	-0.3	3.45
240	25.0	9.1	9.4	-0.3	3.30
255	25.0	9.4	9.8	-0.4	4.25

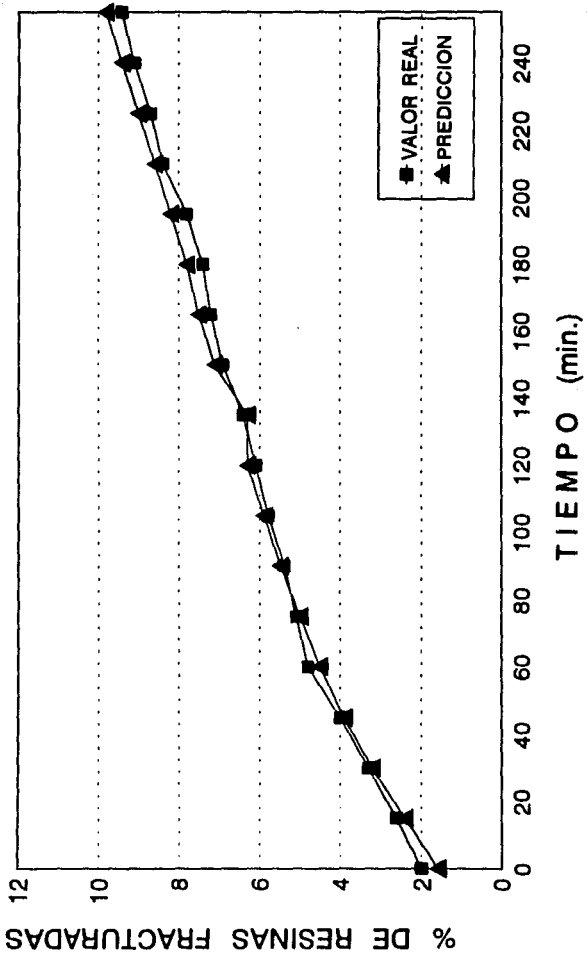
Error total = 80.82

Número de datos = 18

Error = $\gamma_5 = 80.82 / 18 = 4.49$

Tabla 6.8 *Resultados comparativos entre valores experimentales y valores obtenidos al hacer predicciones con el Modelo Neuronal para la Resina IRN-77 en solución de NaCl al 10% (Temp=25°C).*

SISTEMA: SOLUCION DE NaCl AL 10%
RESINA: IRN - 77



Tiempo en el Ultrasonido (minutos)	Temperatura del Ultrasonido (° C)	% de Resinas IRN - 77 Fracturadas		Diferencia	% de error (βi)
		Valor Experimental	Predicción de la Red		
0	35.0	2.4	2.3	0.1	4.17
15	35.0	2.9	3.1	- 0.2	6.90
30	35.0	3.6	3.8	- 0.2	5.55
45	35.0	4.2	4.4	- 0.2	4.76
60	35.0	4.7	4.9	- 0.2	4.25
75	35.0	5.3	5.4	- 0.1	1.89
90	35.0	5.7	5.8	- 0.1	1.75
105	35.0	6.1	6.1	0.0	0.00
120	35.0	6.4	6.5	- 0.1	1.56
135	35.0	6.7	6.8	- 0.1	1.49
150	35.0	7.1	7.1	0.0	0.00
165	35.0	7.5	7.4	0.1	1.33
180	35.0	7.9	7.8	0.1	1.26
195	35.0	8.2	8.1	0.1	1.22
210	35.0	8.5	8.4	0.1	1.18
225	35.0	8.8	8.7	0.1	1.14
240	35.0	9.3	9.1	0.2	2.15
255	35.0	9.5	9.5	0.0	0.00

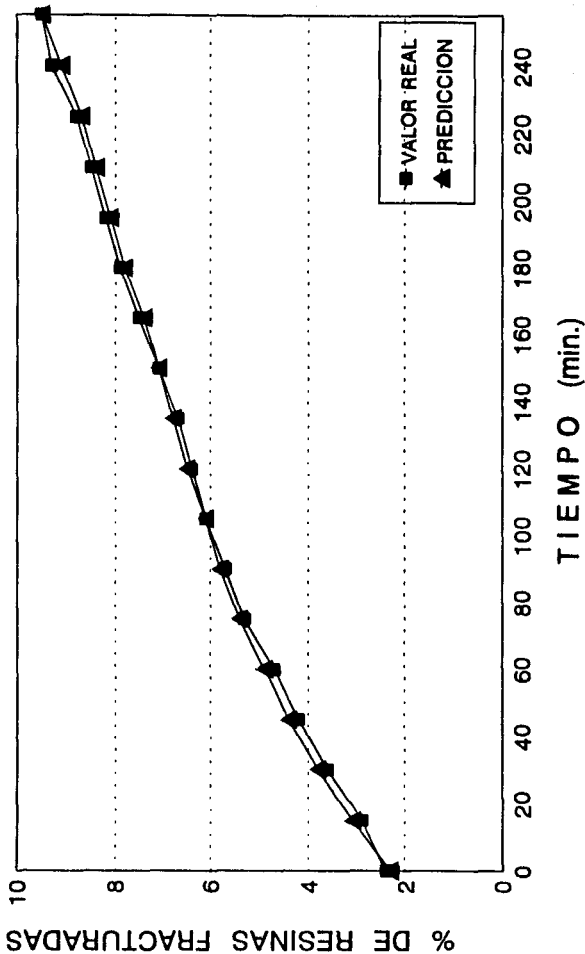
Error total = 40.6

Número de datos = 18

Error = $\gamma_6 = 40.6 / 18 = 2.25$

Tabla 6.9 *Resultados comparativos entre valores experimentales y valores obtenidos al hacer predicciones con el Modelo Neuronal para la Resina IRN-77 en solución de NaCl al 10% (Temp=35°C).*

SISTEMA: SOLUCION DE NaCl AL 10%
RESINA: IRN - 77



ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA
TITULO 6: RESULTADOS

Tiempo en el Ultrasonido (minutos)	Temperatura del Ultrasonido (° C)	% de Resinas IRN - 78 Fracturadas		Diferencia	% de error (β_i)
		Valor Experimental	Predicción de la Red		
0	25.0	27.0	26.7	0.3	1.11
15	25.0	30.5	29.9	0.6	1.97
30	25.0	33.1	32.9	0.2	0.60
45	25.0	35.9	35.4	0.5	1.39
60	25.0	37.8	37.5	0.3	0.79
75	25.0	39.7	39.3	0.4	1.01
90	25.0	41.2	40.7	0.5	1.21
105	25.0	42.0	41.8	0.2	0.48
120	25.0	43.1	42.8	0.3	0.70
135	25.0	43.9	43.7	0.2	0.45
150	25.0	44.8	44.4	0.4	0.89
165	25.0	45.5	45.1	0.4	0.88
180	25.0	46.0	45.8	0.2	0.43
195	25.0	46.6	46.4	0.2	0.43
210	25.0	47.3	46.9	0.4	0.84
225	25.0	48.0	47.5	0.5	1.04
240	25.0	48.6	48.0	0.6	1.23
255	25.0	49.1	48.5	0.6	1.22

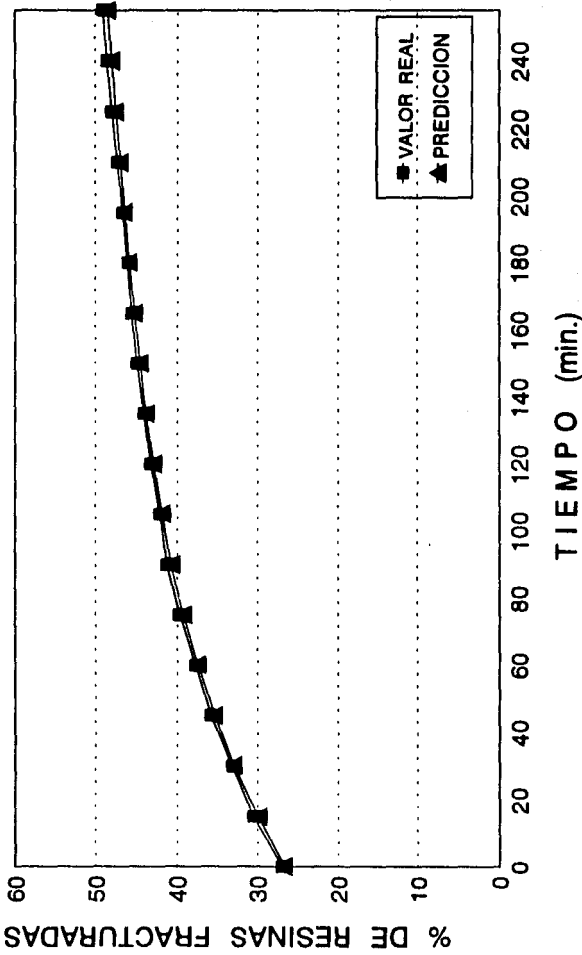
Error total = 16.67

Número de datos = 18

Error = $\gamma = 16.67 / 18 = 0.93$

Tabla 6.10 Resultados comparativos entre valores experimentales y valores obtenidos al hacer predicciones con el Modelo Neuronal para la Resina IRN-78 en solución de NaCl al 10% (Temp=25°C).

SISTEMA: SOLUCION DE NaCl AL 10%
RESINA: IRN - 78



Tiempo en el Ultrasonido (minutos)	Temperatura del Ultrasonido (° C)	% de Resinas IRN - 78 Fracturadas		Diferencia	% de error (β_i)
		Valor Experimental	Predicción de la Red		
0	35.0	29.7	30.3	- 0.6	2.02
15	35.0	32.8	33.5	- 0.7	2.13
30	35.0	35.9	36.3	- 0.4	1.11
45	35.0	38.2	38.7	- 0.5	1.31
60	35.0	39.8	40.7	- 0.9	2.26
75	35.0	41.7	42.3	- 0.6	1.44
90	35.0	43.2	43.6	- 0.4	0.92
105	35.0	44.4	44.7	- 0.3	0.67
120	35.0	46.1	45.7	0.4	0.87
135	35.0	46.9	46.5	0.4	0.86
150	35.0	47.8	47.3	0.5	1.05
165	35.0	48.5	48.0	0.5	1.03
180	35.0	49.0	48.7	0.3	0.61
195	35.0	49.6	49.3	0.3	0.60
210	35.0	50.3	49.9	0.4	0.79
225	35.0	51.0	50.5	0.5	0.98
240	35.0	51.6	51.1	0.5	0.97
255	35.0	52.1	51.6	0.5	0.96

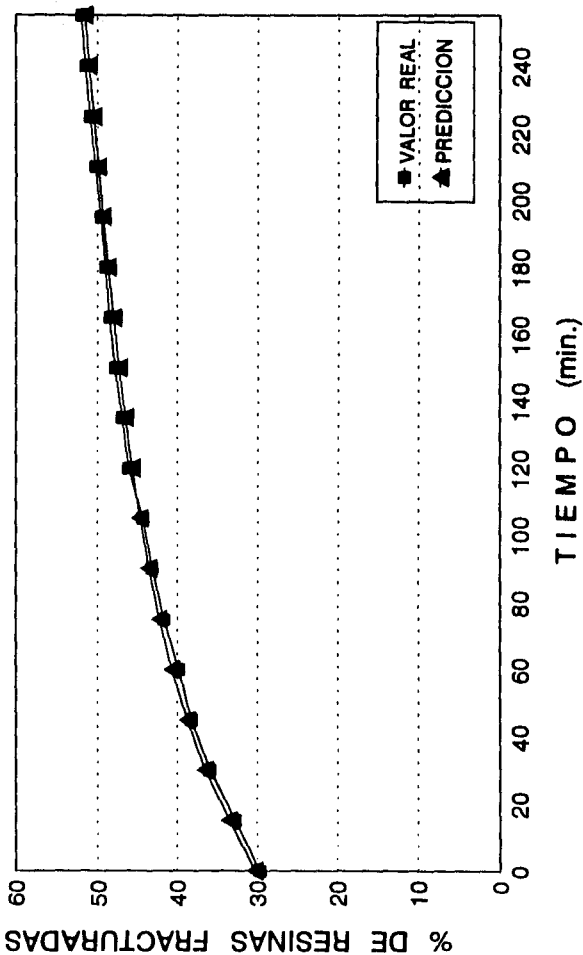
Error total = 19.14

Número de datos = 18

Error = $\gamma_g = 19.14 / 18 = 1.06$

Tabla 6.11 Resultados comparativos entre valores experimentales y valores obtenidos al hacer predicciones con el Modelo Neuronal para la Resina IRN-78 en solución de NaCl al 10% (Temp=35°C).

SISTEMA: SOLUCION DE NaCl AL 10%
RESINA: IRN - 78



Tiempo en el Ultrasonido (minutos)	Temperatura del Ultrasonido (° C)	% de Resinas IRN - 150 Fracturadas		Diferencia	% de error (β_i)
		Valor Experimental	Predicción de la Red		
0	25.0	24.5	22.9	1.6	6.53
15	25.0	28.0	27.6	0.4	1.43
30	25.0	31.5	31.9	-0.4	1.27
45	25.0	34.9	35.6	-0.7	2.00
60	25.0	37.9	38.4	-0.5	1.32
75	25.0	39.4	40.6	-1.2	3.04
90	25.0	40.5	42.2	-1.7	4.20
105	25.0	40.7	43.3	-2.6	6.39
120	25.0	40.9	44.2	-3.3	8.07
135	25.0	41.1	44.9	-3.8	9.24
150	25.0	41.4	45.4	-4.0	9.66
165	25.0	41.8	45.9	-4.1	9.81
180	25.0	42.3	46.4	-4.1	9.69
195	25.0	42.7	46.9	-4.2	9.84
210	25.0	43.1	47.3	-4.2	9.74
225	25.0	43.4	47.8	-4.4	10.14
240	25.0	43.9	48.3	-5.6	12.76
255	25.0	44.4	48.8	-4.4	9.91

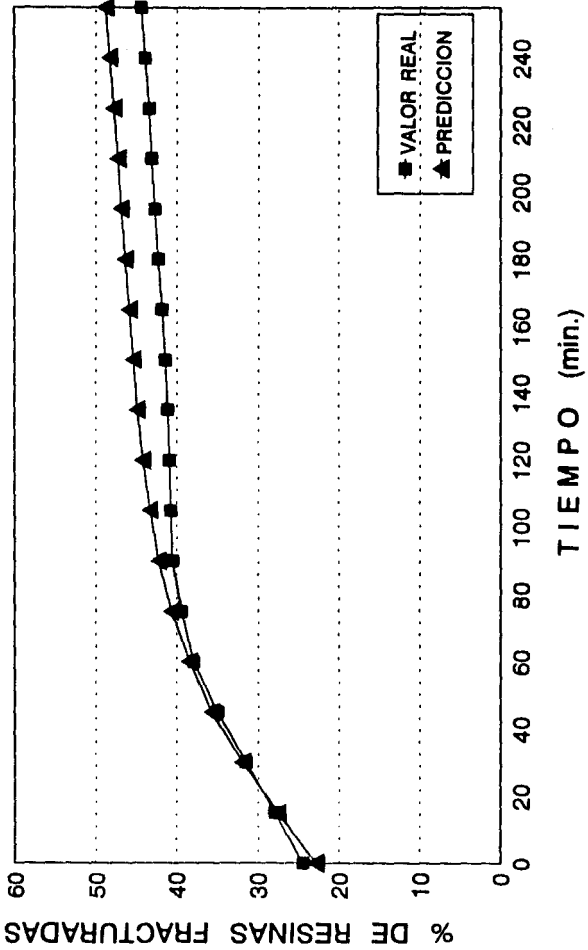
Error total = 125.04

Número de datos = 18

Error = $\gamma_g = 125.04 / 18 = 6.95$

Tabla 6.12 Resultados comparativos entre valores experimentales y valores obtenidos al hacer predicciones con el Modelo Neuronal para la Resina IRN-150 en solución de NaCl al 10% (Temp=25°C).

**SISTEMA: SOLUCION DE NaCl AL 10%
RESINA: IRN - 150**



Tiempo en el Ultrasonido (minutos)	Temperatura del Ultrasonido (° C)	% de Resinas IRN - 150 Fracturadas		Diferencia	% de error (β_i)
		Valor Experimental	Predicción de la Red		
0	35.0	25.0	19.7	5.3	21.20
15	35.0	27.3	23.8	3.5	12.82
30	35.0	27.6	27.3	0.3	1.09
45	35.0	30.9	30.3	0.6	1.94
60	35.0	32.9	32.5	0.4	1.21
75	35.0	34.4	34.2	0.2	0.58
90	35.0	35.5	35.4	0.1	0.28
105	35.0	36.7	36.4	0.3	0.82
120	35.0	36.9	37.1	- 0.2	0.54
135	35.0	37.1	37.7	- 0.6	1.62
150	35.0	37.4	38.2	- 0.8	2.14
165	35.0	37.8	38.7	- 0.9	2.38
180	35.0	38.3	39.1	- 0.8	2.06
195	35.0	38.7	39.6	- 0.9	2.32
210	35.0	39.1	40.1	- 1.0	2.56
225	35.0	39.4	40.6	- 1.2	3.04
240	35.0	39.9	41.2	- 1.3	3.26
255	35.0	40.2	41.7	- 1.5	3.73

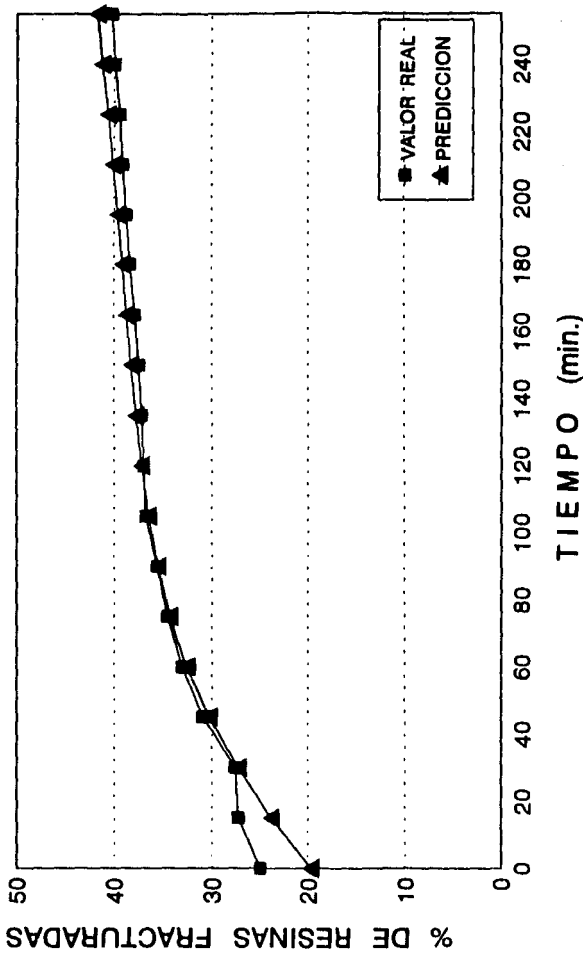
Error total = 61.21

Número de datos = 18

Error = $\gamma_{10} = 61.21 / 18 = 3.40$

Tabla 6.13 Resultados comparativos entre valores experimentales y valores obtenidos al hacer predicciones con el Modelo Neuronal para la Resina IRN-150 en solución de NaCl al 10% (Temp=35°C).

SISTEMA: SOLUCION DE NaCl AL 10%
RESINA: IRN - 150



6.5 CALCULO DEL ERROR DEL MODELO NEURONAL.

El error del modelo neuronal, se calcula de la siguiente manera:

$$\delta = (6.00+5.86+8.03+1.68+4.49+2.25+0.93+1.06+6.95+3.40) / 10$$

$$\delta = 40.65 / 10$$

$$\delta = 4.065 \%$$

CAPITULO 7

ANALISIS DE RESULTADOS

De manera general, cuando se aplica Ultrasonido a Resinas Amberlite de Intercambio Iónico Grado Nuclear, estas sufren un deterioro conforme aumenta el tiempo de aplicación, con lo cual se tiene un mayor número (y como consecuencia, el porcentaje en la muestra) de resinas fracturadas. Lo anterior se puede observar en los datos y en las gráficas que se presentan.

Cuando las resinas son tratadas en agua destilada en un tiempo máximo de 260 minutos, los porcentajes de resinas fracturadas son muy bajos.

- Resinas catiónicas IRN-77 (máximo = 7.7 %)
- Resinas aniónicas IRN-78 (máximo = 14.0 %)
- Resinas mezcladas IRN-150 (máximo = 23.3 %)

Cuando las resinas de este tipo se tratan con solución de NaOH al 4%, se observa que el porcentaje de fracturación en las resinas, se incrementa.

- Resinas catiónicas IRN-77 (máximo = 14.7 %)
- Resinas aniónicas IRN-78 (máximo = 16.7 %)
- Resinas mezcladas IRN-150 (máximo = 47.3 %)

Por último, se observa que si las resinas son tratadas con una solución de NaCl al 10%, entonces el porcentaje de resinas fracturadas es:

- Resinas catiónicas IRN-77: (máximo = 9.7 %)
- Resinas aniónicas IRN-78: (máximo = 54 %)
- Resinas mezcladas IRN-150: (máximo = 39.3%)

El proveedor indica que la Resina IRN-150, es una mezcla de las Resinas IRN-77 y de la IRN-78, pero no especifica en que proporción se encuentran, aunque se puede observar a simple vista que se encuentra en mayor proporción la Resina IRN-78 en comparación de la Resina IRN-77, lo cual se puede comprobar al observar los datos obtenidos en cuanto a porcentajes de resinas fracturadas.

El procedimiento para descontaminar las Resinas, implica el uso de Cloruro de Sodio (NaCl) en solución al 10%, como se menciona en el capítulo 2.

El uso de NaCl es recomendable solo para la resina IRN-77, ya que al someterla al Ultrasonido en este medio, se tiene un porcentaje relativamente bajo (9.7 %) en comparación de cuando se usa solución de NaOH al 4% (14.7 %), además de ser mejor la descontaminación con NaCl que con NaOH. Con esto se puede lograr recuperar hasta un 90% de la Resina IRN-77 y reutilizarla.

Para poder lograr una mayor recuperación de Resina IRN-78, se observa que es más conveniente y menos perjudicial el trabajar con una solución de NaOH que con una de NaCl, ya que el porcentaje de Resinas fracturadas es menor (16.7 % contra 54%), lo cual implicará (en teoría) recuperar hasta un 83 % de Resina IRN-78.

Para descontaminar la Resina mezclada IRN-150, se observa que ninguno de los dos medios es adecuado para su manejo, ya que en ambos casos se tienen altos porcentajes de resinas fracturadas (47.3 % al tratarla con solución de NaOH al 4% y 39.3 al usar solución de NaCl al 10%) lo cual implica recuperar una cantidad relativamente baja de Resina con capacidad de ser reutilizada (52 % y 60 % respectivamente), por lo cual se deben plantear métodos alternos para su descontaminación.

Con respecto al modelo neuronal, se puede observar que los valores que predice son muy similares a los valores reales, teniendo un margen total de error pequeño (4.065 %).

De hecho, al observar las gráficas se puede notar que algunas de ellas casi se superponen dada la diferencia tan pequeña entre los datos reales (que son los obtenidos experimentalmente) y los que la Red (modelo neuronal) predice.

CAPITULO 8

CONCLUSIONES

Se ha hecho este estudio para la obtención de los parámetros adecuados con la finalidad de determinar la resistencia mecánica que tienen las resinas que se utilizan en el reactor del I.N.I.N., ya que el hecho de someterlos a ultrasonido, daña las resinas y les produce fracturas, con lo cual las resinas ya no servirían y no tendría caso el descontaminarlas ni regenerarlas.

Considerando el análisis que se hizo en el capítulo anterior, se puede concluir lo siguiente:

1. Para descontaminar la Resina catiónica IRN-77, es recomendable usar solución de NaCl al 10%, ya que es el medio en el cual se tiene menor número de resinas fracturadas, además que se puede lograr una descontaminación adecuada.
2. Para lograr la descontaminación de la Resina catiónica IRN-78, se recomienda utilizar solución de NaOH al 4%, ya que en este medio se tiene menor número de resinas fracturadas.

3. En el caso de la Resina mezclada IRN-150, en que no se sabe en que porcentajes se encuentran las Resinas IRN-77 e IRN-78, se plantea como alternativa lo siguiente:
 - separar por medios físicos ambas resinas, considerando que la Resina IRN-77 es menos densa que la Resina IRN-78, se podrán separar en una columna de vidrio aplicando primero una pequeña agitación, y posteriormente por sedimentación, este paso se puede repetir hasta lograr su total separación.
 - ya que se encuentran separadas ambas Resinas, entonces se les hace el tratamiento respectivo conforme a los puntos 1 y 2 anteriores.
4. Dado que el error que presentaron los datos experimentales para probar el modelo neuronal es muy pequeño (4.065 %), se puede concluir al respecto que el modelo neuronal es adecuado para predecir valores en este caso y dentro de los rangos especificados.
5. Considerando el punto anterior, se puede mencionar que el modelo neuronal tiene un alto rango de confiabilidad, ya que no genera grandes errores.
6. Cuando se pretenda conocer que porcentaje de cualquiera de estos tres tipos de Resinas (IRN-77, IRN-78 o IRN-150) se fractura al aplicarles Ultrasonido durante un determinado tiempo, con la temperatura conocida al estarla midiendo con un termómetro, y en algún medio que sea "agua destilada", "solución de NaOH al 4%" o "solución de NaCl al 10%", ya no se tendrá que perder tiempo entrando nuevamente al laboratorio a hacer la determinación experimental para el caso que se necesite.

Ahora, solo bastará con tener a la mano una computadora personal, el programa "NeuroShell" y el modelo neuronal, para activar la Red, introducir al programa los "parámetros de entrada" y se obtendrán automáticamente los "parámetros de salida".

7. Con lo anterior se logran las siguientes ventajas:

- se evita pérdida de tiempo al estar experimentando nuevamente para obtener el o los datos deseados.
- no es necesario desperdiciar más Resinas para hacer las nuevas pruebas.
- dado el alto costo del equipo del Ultrasonido, se evita que sea usado de manera prolongada y continua, logrando su conservación.
- se ahorran horas-hombre, ya que se disminuye sustancialmente el tiempo que se utiliza para obtener el o los datos deseados.
- se puede dedicar tiempo para avanzar en otros puntos pendientes de este proyecto, o iniciar o avanzar en otros proyectos de investigación.

CAPITULO 9

BIBLIOGRAFIA

1. **"Regeneración de Resinas de Intercambio Iónico a Nivel Laboratorio"**
I.N.I.N. Gerencia de Sistemas Nucleares.
Departamento de Física de Reactores.
Reporte Técnico GR-91-027. Marzo, 1992.
2. **American Society for Nondestructive Testing.**
Recommended Practice.
No. SNT-TC-IA (Third Edition)
Supplement C.
"Ultrasonic Testing Method".
3. **"Introducción al examen de materiales y soldaduras por Ultrasonido"**
Revisión 5. 1990. CIMEX.
4. **Ultrasound. Its Chemical, Physical, and Biological effects.**
Suslick, Keneth S.
V.C.H. Publishers Inc. U.S.A.

5. **Ultrasonic Cleaning of Deep-bed Resins for Condensate Demineralizer Systems.**
Holloway, J.H. & Hollifield, P.J.

6. **Eduardo Vázquez Z.**
"Que son las Redes Neuronales".
Tópicos de Investigación y Posgrado.
Febrero 1992. PP. 11 - 18.

7. **Phiroz Bagat.**
"An Introduction to Neural Nets"
Chemical Engineering Progress.
August, 1990. pp. 56 - 60.

8. **W. B. Gevarter**
"Introduction to Artificial Intelligence".
Chemical Engineering Progress.
September, 1987. pp. 21 - 37.

9. **Bruce A. Hohne and Thomaz H. Pierce.**
"Expert System Applications in Chemistry"
A.C.S. Symposium Series 408.
Published by The American Chemical Society.

10. **John H. Powers Jr.**
Computer-Automated Manufacturing
Ed. Mc Graw Hill
1986. pp. 92 - 109.

11. **The Handbook of Artificial Intelligence**
Barr, Avron and Feigenbaum, Edward A.
Addison-Wesley Publishing Company Inc.
Vol. I pp. 3

12. **A Practical Guide to Neural Nets.**
Marilyn McCord Nelson and W.T. Illingworth
Addison-Wesley Publishin Company Inc.
5ª imp. Feb. 1993

13. **Technical Bulletin fluid process Chemicals, Amberlite, Ion Exchange Resins, Sumary chart of typical properties and applications.**
Rohm and Haas Company
Philadelphia, Pa 19105, IE-241. January 1978.

14. **Kunnin.**
Ion Exchange Resins.
John Wesley I. Sonc.
Second edition. New York.

15. **Lizcano Cabrera David.**
Seguridad Radiológica.
I.N.I.N. CN Comunicación Privada. 1991.

16. **Productos Químicos Merk.**
Catálogo 1985.

17. **Artificial Intelligence in Chemical Engineering.**
Quantrille, Thomas E. and Liu, Y. A.
Academic Press Inc.
U.S.A. 1991

18. **Stephanopoulos, George.**
The Future of Expert Systems in Chemical Engineering
Chemical Engineering Progress.
September, 1987 pp. 44 - 51

19. **SanGiovanni, JohnPaul and Romans, Clarke.**
Expert Systems In Industry: A Survey.
Chemical Engineering Progress.
September, 1987. pp. 52 - 59

20. **D. Baur**
Nuclear Grade Amberlite Ion Exchange Resins.

21. **Water Technology of Nuclear Reactors.**
Irving I. Zucherman.
Combustion Engineering, Inc. (Nuclear Division)

APENDICE A

USO DE NEUROHELL

Este apéndice contiene información necesaria para conocer el uso de NeuroShell. Se explica paso a paso el uso general del programa, se incluyen también las ventanas tal y como son presentadas al usuario.

Cada problema creado con NeuroShell está formado de cuatro archivos. Cada uno de estos archivos, está formado por el nombre del problema seguido por una de cuatro extensiones, .FIG, .CHR, .CLS o .NET.

El archivo con extensión .FIG es llamado el archivo de configuración. Contiene las definiciones de las características y los valores mínimos y máximos que las características pueden tener.

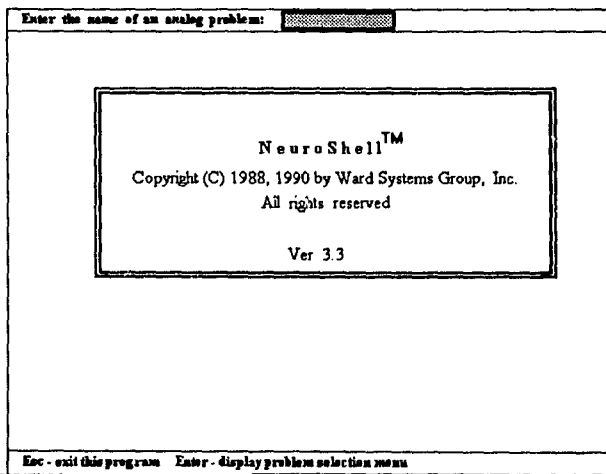
Para cada problema, el archivo .CHR contiene las características de los casos muestra, que son los casos para lograr el aprendizaje para obtener el modelo neuronal.

El archivo .CLS es similar al archivo .CHR, excepto que los casos en el archivo .CLS son casos que NeuroShell clasifica siguiendo el proceso aprendido. Finalmente el archivo .NET contiene los valores de las interconexiones después que el aprendizaje ha sido completado.

Los archivos .FIG, .CHR y .CLS son archivos en código ASCII que se pueden examinar usando el comando TYPE del Sistema Operativo, un editor de texto, o un procesador de palabras. Mientras que el archivo .NET está hecho con código binario por lo cual no puede ser creado fuera de NeuroShell.

A continuación se presenta un ejemplo sencillo de aplicación del programa NeuroShell con lo cual se espera lograr una mayor comprensión sobre el uso de las Redes Neuronales.

1. Inicialmente se muestra la pantalla de presentación de NeuroShell, donde se le debe dar un nombre al problema en cuestión en donde se encuentra el cursor, el cual no debe exceder de ocho caracteres, y posteriormente presionar Enter.



2. Seleccionar la opción "**Define the characteristics...**",

Memory available is ##### bytes - ###k; problem is _____

----- Main Menu Options -----

Define the characteristics...
 Enter characteristics for sample cases (training set) ...
 Check for duplicate sample cases
 Learn the sample cases (develop a neural model of the problem)
 Classify new cases (test set) according to the problem model ...
 Print the characteristic definitions
 Print the characteristic of sample cases (training set)
 Print the characteristic of classified cases (test set)
 Select from Advanced Options menu ...
 Quit this program

↑↓ - scroll Enter - select indicated option F1 - help

3. Se definen las características y sus límites inferior y superior

Defina características

0 Número de boletos vendidos antes del inicio del juego

0 Predicción de la temperatura (°F) el día del juego

0 Lugar que ocupa el equipo de casa en la división

0 Número de "hot dogs" que se venden durante el juego

0 Número de refrescos que se venden durante el juego

0 Dinero (dolares) que el equipo de casa obtiene del juego

0 Boletos vendidos al final del juego

Esc - menu ↑↓ - scroll → ← - min/max Enter-edit Ins/Del-Info F1-show Fx

4. Se introducen los datos que servirán para generar el modelo neuronal.

Case number: 1

Define characteristics

5413 Número de boletos vendidos antes del inicio del juego

96 Predicción de la temperatura (°F) el día del juego

7 Lugar que ocupa el equipo de casa en la división

11092 Número de "hot dogs" que se venden durante el juego

20282 Número de refrescos que se venden durante el juego

21230 Dinero (dolares) que el equipo de casa obtiene del juego

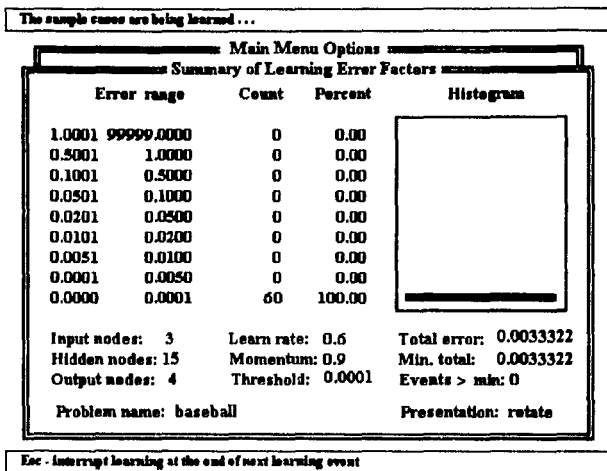
18850 Boletos vendidos al final del juego

Esc - menu ↑↓ - scroll → ← - cases Ins/Del - cases Enter - Menu F1 - show Fx

5. Ya que se han introducido todos los datos, se checa que no haya ningún dato repetido.

Match checking complete.	
	Cases with Matching Characteristics
Define the	Total matches found: 0
Enter char	
Check for d	
Learn the s	
Classify ne	
Print the ch	
Print the ch	
Print the ch	
Select from	
Quit this pr	
Esc - menu	

6. Se indica a NeuroShell que genere el modelo neuronal, lo cual se logra al aparecer el mensaje: "The sample cases are being learned..."



7. Ya que se tiene el modelo neuronal, se hacen clasificaciones (predicciones) para obtener datos que no han sido determinados anteriormente y de los cuales se desean saber sus valores.

Case number: 1

Identify Characteristics and Classify/Predict

5869 Número de boletos vendidos al inicio del juego
 68 Predicción de la temperatura (°F) el día del juego
 2 Lugar que ocupa el equipo de casa en la división

10648 Número de "hot dogs" que se venden en el juego
 12955 Número de refrescos que se venden en el juego
 68034 Dinero (dolares) que el equipo de casa obtiene del juego
 26164 Boletos vendidos para el final del juego

Esc- main menu ↑↓-scroll →←-cases F1-show Fx F3-classify F9-class out

En caso que se desee hacer algún cambio a los parámetros de aprendizaje de la red, entonces se selecciona: **"Select from Advanced Options Menu..."**

Memory available is ##### bytes - ###k; problem is _____

=====**Main Menu Options**=====

Define the characteristics...
 Enter characteristics for sample cases (training set) ...
 Check for duplicate sample cases
 Learn the sample cases (develop a neural model of the problem)
 Classify new cases (test set) according to the problem model ...
 Print the characteristic definitions
 Print the characteristic of sample cases (training set)
 Print the characteristic of classified cases (test set)
 Select from Advanced Options menu ...
 Quit this program

↑↓ - scroll Enter - select indicated option F1 - help

Luego seleccionar: "Set network factors..."

Memory available is ##### bytes - ####; problem is _____

----- Main Menu Options -----

- Define the characteristics...
- Enter characteristics for sample cases (training set) ...
- Check for duplicate sample cases
- Learn the sample cases (develop a neural model of the problem)
- Classify

----- Advanced Options -----

- Print the Change to a different problem file
- Print the Forget all learning for current problem
- Print the Display summary of learning error factors
- Select fr Display learning error factors
- Quit this Compute available memory
- Set network factors . . .
- Set hardware system factors . . .
- Use DOS (type 'exit' to return)
- Change working disk and/or directory
- Call another program (stay resident)
- Transfer to NeuroShell Utility

Esc-main menu ↑↓-scroll Enter-select option F1-help

... y finalmente se modifican los factores de aprendizaje de la red para lograr que el aprendizaje sea más rápido, y con mayor exactitud.

Generalmente se deben manipular estos factores cuando el aprendizaje es lento (ocasionado porque no hay convergencia en los cálculos de la red), o cuando la exactitud del modelo generado no es la deseada.

```

Memory available is ##### bytes - ###k; problem is _____

Main Menu Options
Networks Factors

0.00000 Output threshold (0.0 - 1.0)
0.00010 Learning threshold (0.0 - 3.0)
15.00000 Hidden nodes - 0 means default (0 - 32767)
0.60000 Learning rate (0.01 - 1.0)
0.90000 Momentum (0.0 - 0.9)
100.00000 Maximum cases in memory (1 - 32767)
80.00000 Maximum characteristics definitions (3 - 32767)
0.00000 Presentation: 0=rotate, 1=random (0 - 1)
5.00000 Characteristics: digits left of decimal (1 - 6)
0.00000 Characteristics: digits right of decimal (0 - 6)

Change working disk and/or directory
Call another program (stay resident)
Transfer to NeuroShell Utility

Esc - menu  ↑↓ - scroll  Enter - change indicated factor
    
```