

A

01149
16



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

*SIMULACIÓN COMPUTACIONAL DEL
CICLO DE LAVADO DE UNA LAVADORA
INTELIGENTE DE ROPA*

EJEMPLAR UNICO

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
MAESTRÍA EN INGENIERÍA

P R E S E N T A :
JOSÉ ANTONIO GUASCO ORTEGA

La Dirección General de Bibliotecas de la
UNAM difundirá en formato electrónico e impreso el
contenido de mi trabajo recepcional.

Nombre: _____
C.A.: _____
D.A.: _____



México, D.F.

2003



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

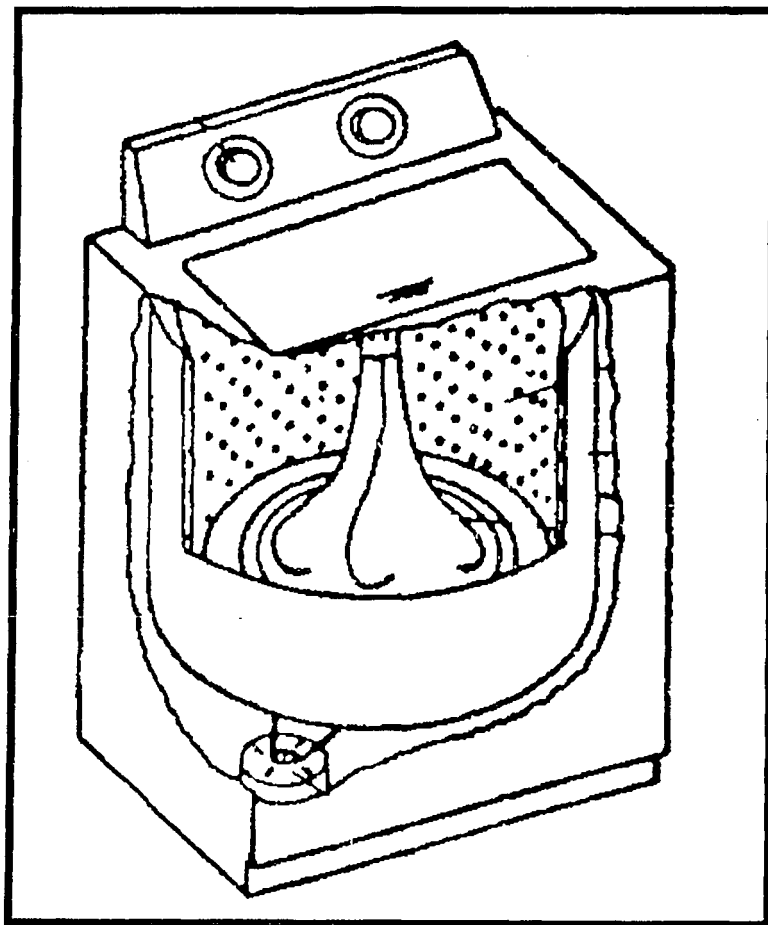
El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición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

**TESIS
CON
FALLA DE
ORIGEN**

PAGINACIÓN DISCONTINUA

B

**SIMULACIÓN COMPUTACIONAL DEL CICLO DE LAVADO
DE UNA LAVADORA INTELIGENTE DE ROPA**



José Antonio Guasco Ortega.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

9

ÍNDICE TEMÁTICO.

	CAP.	TEMA.	PAG.
0		Índice temático.	
0		Introducción.	0.1
1	1	Justificación de la tesis.	1.1
2	2	Antecedentes (tipos de lavadoras).	2.1
3	3	Planteamiento del problema.	3.1
4	4	Objetivos y alcances.	4.1
5	5	Proceso de lavado.	5.1
6	6	Caso de estudio y desarrollo del estudio.	6.1
7	7	Ajustes minicuadráticos.	7.1
8	8	Análisis de los resultados de los experimentos.	8.1
9	9	Solución al problema planteado (elaboración de las instrucciones de control).	9.1
10	10	Conclusiones.	10.1
11		Bibliografía y referencias.	11.1
12		Anexos: - Especificaciones del programa de computación. - Simulación computacional del proceso de lavado y del control.	12.1

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

INTRODUCCIÓN.

La empresa **Vitromatic Comercial de México**, ante la creciente competencia comercial internacional, se ha visto en la necesidad de modernizar sus lavadoras domésticas de ropa, las cuales han permanecido sin mejoras durante décadas.

Para tratar de subsanar la enorme y voluntaria brecha tecnológica que está poniendo en peligro a la industria mexicana, **Vitromatic Comercial de México** recurrió al **Centro de Diseño y Manufactura (CDM)** de la **Facultad de Ingeniería** de la **UNAM**. Este centro, en respuesta a tan importante demanda, ha estado desarrollando una tecnología mexicana de **lavadoras domésticas de ropa** que no solo se pretende sea altamente competitiva con las marcas de fabricantes extranjeros, sino que además permita un consumo de recursos de manera más racional. Este proyecto se denomina **banco experimental inteligente** y es un trabajo de equipo en el cual han participado muchas personas (tesistas, ingenieros, maestros y doctores). La presente tesis es tan solo una parte de este proyecto y mucha de la información utilizada ha sido fruto del mismo **CDM**.

El objetivo central de este trabajo es desarrollar las **instrucciones de control** que, mediante la implementación de sensores, permitan la retroalimentación del sistema. Esto último es una gran innovación dentro de las tecnologías de lavadoras domésticas de ropa que permitirá un uso más racional de los recursos empleados durante el proceso de lavado. Posteriormente, como parte del presente trabajo, se realizó la **simulación computacional** del control del proceso de lavado (basado en las **instrucciones de control**) y se obtuvieron conclusiones al respecto. De ahí que esta tesis se titule "**Simulación computacional del ciclo de lavado de una lavadora inteligente de ropa**".

En el capítulo #1 "**Justificación de la tesis**" se presenta la justificación técnica de proyecto "**banco experimental inteligente**".

En el capítulo #2 "**Antecedentes (tipos de lavadoras)**" se exponen los diferentes tipos de lavadoras que existen y se da la razón por la cual se eligió la **lavadora de impulsor**.

En el capítulo #3 "" se exponen los objetivos y alcances, tanto del proyecto como de la tesis.

En el capítulo #4 "**Planteamiento del problema**" se exponen los factores físicos que intervienen en el proceso de lavado, para entonces plantear las bases de lo que serán las **instrucciones de control**.

En el capítulo #5 "**Proceso de lavado**" se exponen con todo detalle los modelos matemáticos que rigen al proceso de lavado.

En el capítulo #6 "**Caso de estudio y metodología**" se dan las principales especificaciones de la lavadora de impulsor, así como las mas importantes interpretaciones de la información, obtenida acerca del proceso de lavado. Esta información fué obtenida por el CDM y se encuentra con todo detalle en el capítulo #8. De las nuevas interpretaciones surge la necesidad de encontrar nuevos modelos matemáticos, a partir de ajustes minicuadráticos.

En el capítulo #7 "**Ajustes minicuadráticos**" se desarrolla la teoría de los ajustes minicuadráticos, tanto para rectas como para curvas exponenciales asintóticas. El ajuste de exponenciales asintóticas es una aportación del autor y es necesaria para elaborar el **listado de instrucciones** para el control del proceso de lavado.

En el capítulo #8 "**Análisis de los resultados de los experimentos**" se exponen los resultados de los experimentos realizados por el CDM, así como las interpretaciones que el autor hace de ellos tras realizar los ajustes minicuadráticas de las curvas.

En el capítulo #9 "**Solución al problema planteado (elaboración de las instrucciones de control)**" se plantea el **listado de instrucciones** de control.

En el capítulo #10 "**Conclusiones**" se realiza el análisis de la simulación del proceso de lavado, controlado por el **listado de instrucciones**. La simulación se realizó con el programa **Mathematica 2.2**.

En el **Anexo (simulación computacional del proceso de lavado y del control)** se da información del programa **Mathematica 2.2**, su listado y sus corridas..

Cap. 1: JUSTIFICACIÓN DE LA TESIS.

El presente trabajo constituye una parte del proyecto denominado "banco experimental inteligente", el cual se está desarrollando en el Centro de Diseño y Manufactura (CDM) de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, en colaboración con la empresa Vitromatic Comercial de México.

El objetivo del proyecto es desarrollar lavadoras domésticas de ropa con tecnología mexicana que permita un consumo de recursos de manera mas racional. Tales recursos son:

- 1) Agua.
- 2) Detergente.
- 3) Gas.
- 4) Electricidad.

El cuidado de estos recursos tiene una gran importancia en todos los niveles, tanto doméstico como nacional y mundial, pues se contribuye al ahorro, a la preservación de los recursos naturales y a la disminución de la contaminación de los mantos acuíferos.

El banco experimental inteligente sirve para el diseño de una lavadora doméstica de ropa con control inteligente. Este banco experimental inteligente se construyó a partir de una lavadora doméstica de ropa, a la cual se le instalaron diversos equipos con la finalidad de:

- a) Obtener información a cerca del comportamiento de las diferentes variables que intervienen en el proceso de lavado.
- b) Ser la base para el desarrollo de una lavadora inteligente que se fabrique a gran escala para ser comercializada.

En cuanto a la tesis, esta es una parte muy importante del proyecto porque se enfoca al desarrollo conceptual del control de la lavadora. Es decir, a la elaboración del listado de instrucciones que le permitan a la lavadora interpretar la información captada a través de sus sensores, y tomar decisiones que permitan obtener ropa limpia con un mínimo de recursos.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Cap. 2: ANTECEDENTES (TIPOS DE LAVADORAS).

En este capítulo se exponen los diferentes tipos de lavadoras para tener un panorama amplio acerca de los diferentes diseños que se fabrican en todo el mundo, así como de sus ventajas y desventajas.

Los tipos de lavadoras son:

- 1) De impulsor.
- 2) De tambor.
- 3) De disco.
- 4) De burbujas.

1) Lavadora de impulsor.

Tiene un eje vertical de rotación.

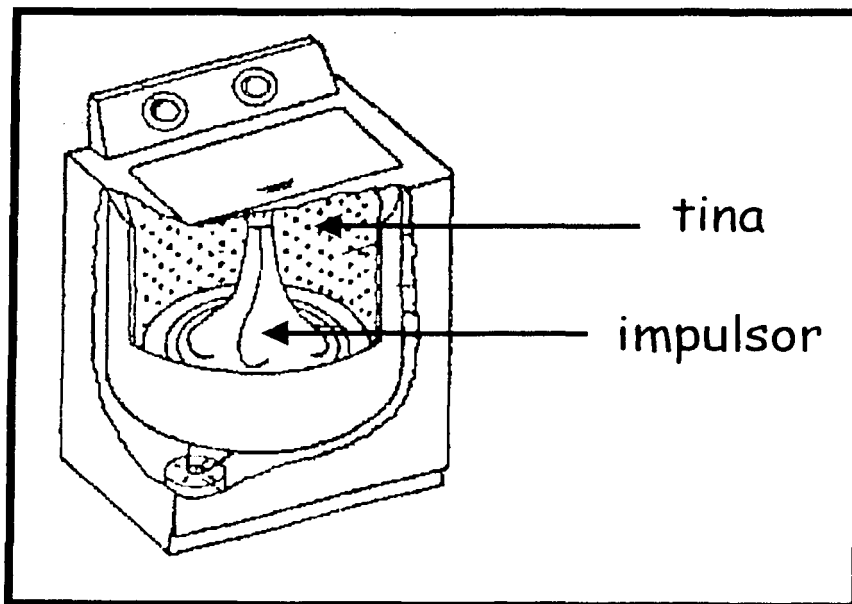


Fig. 2.01 Lavadora de impulsor.

Está constituida por:

TESIS CON
FALLA DE ESCRIBEN

+ un impulsor de plástico (rotacional de movimiento intermitente para agitar el agua y la ropa) provisto de aspas.

+ una tina (recipiente rotacional para centrifugar).

Lugar de mayor difusión: América.

2) Lavadora de tambor.

Tiene un eje horizontal de rotación.

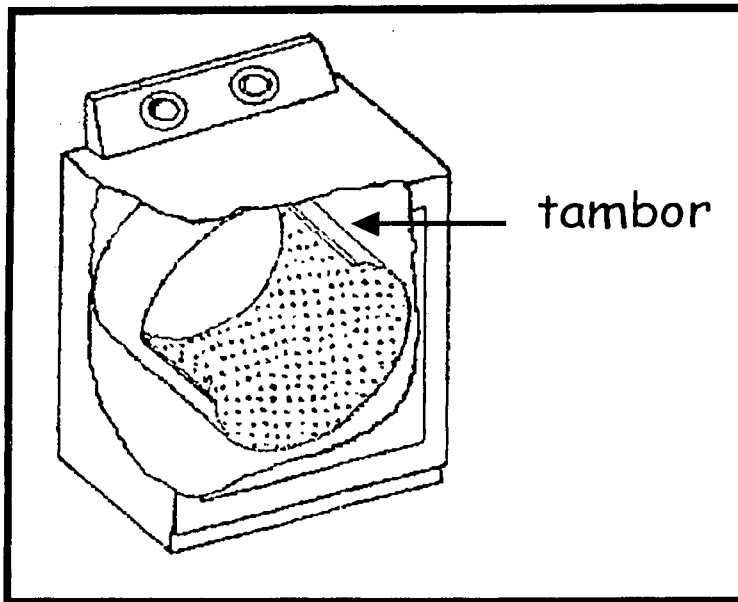


Fig. 2.02 Lavadora de tambor.

Está constituida por:

+ un tambor (recipiente rotacional para agitar la ropa).

Lugar de mayor difusión: Europa.

3) Lavadora de disco.

Tiene ejes verticales de rotación.

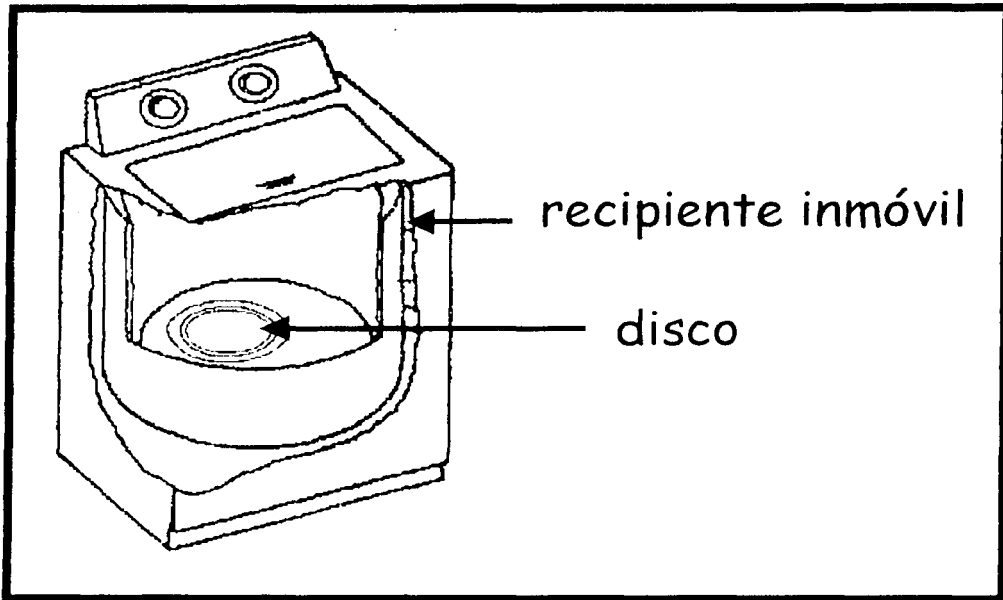


Fig. 2.03 Lavadora de disco.

Está constituida por:

+ discos (rotacionales para agitar el agua y la ropa).

+ recipiente inmóvil.

Lugar de mayor difusión: Europa.

4) Lavadora de burbujas.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

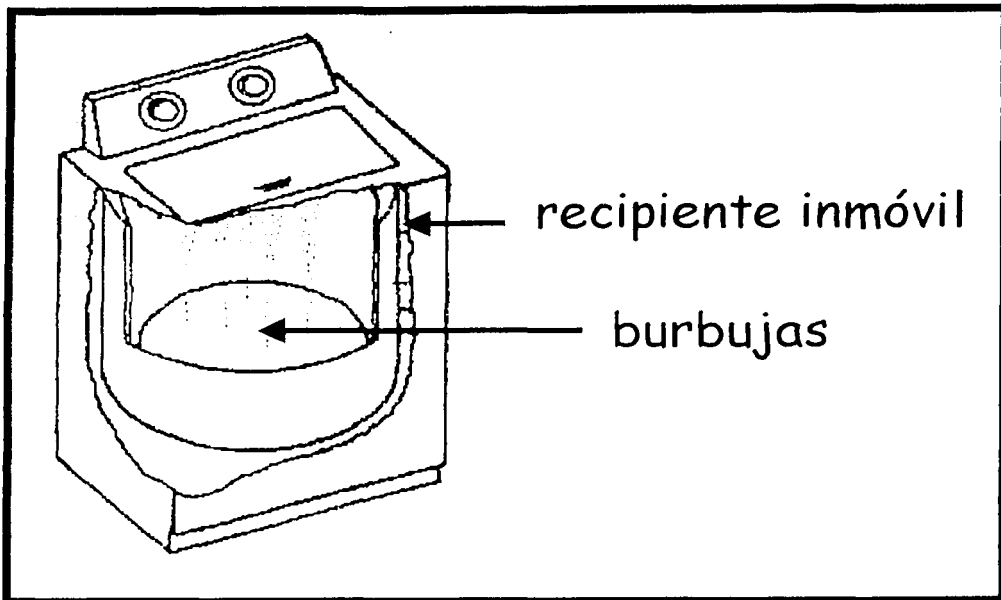


Fig. 2.04 Lavadora de burbujas.

Está constituida por:

+ recipiente inmóvil.

Lugar de mayor difusión: Asia.

Tabla comparativa de lavadoras.

	De impulsor	De tambor	De disco	De burbujas
Cantidad de agua:	medio	mínimo	medio	medio
Maltrato de la ropa:	medio	bajo	alto	mínimo
Agitador:	impulsor	-	disco	-
Velocidad de rotación del agitador:	alta	-	muy alta	-
Velocidad de rotación del recipiente:	media	alta	nula	nula
Eficiencia de lavado:	alto	muy alto	muy alto	medio
Costo:	alto	medio	medio	bajo
Espacio que ocupan:	medio	bajo	bajo	bajo
Capacidad de ropa:	alta	baja	baja	baja
Duración del proceso de lavado.	medio	largo	medio	medio

Tabla 2.01 tabla comparativa de lavadoras.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Esta tabla es una descripción cualitativa de las lavadoras domésticas de ropa, realizada por el CDM.

El "banco experimental inteligente" pertenece al tipo de lavadora de impulsor, pues este es el diseño que actualmente fabrica Vitromatic Comercial de México. Esta empresa no tiene intenciones de cambiar el tipo de lavadora porque ello implica enormes gastos en la línea de producción. Sin embargo, el control desarrollado en este proyecto se puede extender a todo tipo de lavadoras.

Cap. 3: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

4.1) El planteamiento del problema consiste en desarrollar las **instrucciones de control** que gobiernen a la lavadora durante el **proceso de lavado**.

Para lograr este objetivo es necesario analizar la información obtenida en el banco de pruebas.

Parte de la información que se requiere para que la lavadora trabaje es dada por el usuario, pues implementar sensores para determinar tal información es complicado y costoso. Esta información consiste en cuatro **parámetros**.

Los cuatro **parámetros** que determina el usuario son:

- 1) **Suciedad (s).**
- 2) **Cantidad de ropa (c).**
- 3) **Tipo de ropa (r1).**
- 4) **Color de ropa (r2).**

Además, existe información que es calculada por la lavadora, con base en los cuatro **parámetros** anteriores. Esta información consiste en cuatro **variables físicas**.

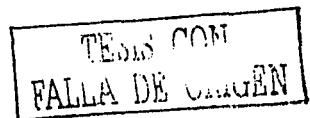
Las cuatro **variables físicas** que se calcularán mediante fórmulas (en el capítulo de "proceso de lavado") son:

- 1) **Volumen de agua (v).**
- 2) **Temperatura (te).**
- 3) **Masa de detergente (m).**
- 4) **Tiempo (t).**

Hasta este momento, toda esta información (**parámetros y variables físicas**) puede diferir de la realidad, pues depende toda ella, directa o indirectamente, de la apreciación del usuario. Las consecuencias indeseables de una apreciación inexacta son, o ropa insuficientemente limpia, o cierto desperdicio de recursos.

Para evitar estas anomalías, el proyecto "**banco experimental inteligente**" pretende desarrollar un **control inteligente** que sea capaz de lograr el **punto óptimo**: obtención de ropa limpia con un mínimo de recursos.

Para ello es necesario que la lavadora tenga **retroalimentación**, es decir, que sea capaz de obtener información real de lo que está ocurriendo durante el **proceso de lavado** y pueda tomar



decisiones que permitan llegar al punto óptimo. Esta información consiste en dos variables empíricas que son fácilmente medibles.

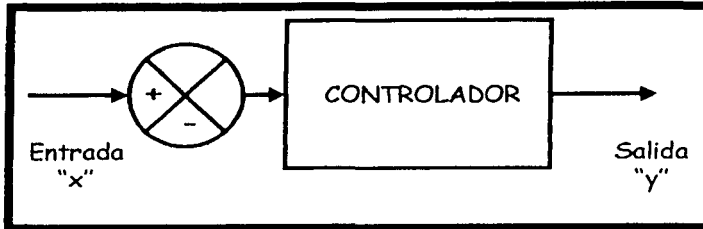


Fig. 3.01. Controlador sin retroalimentación.

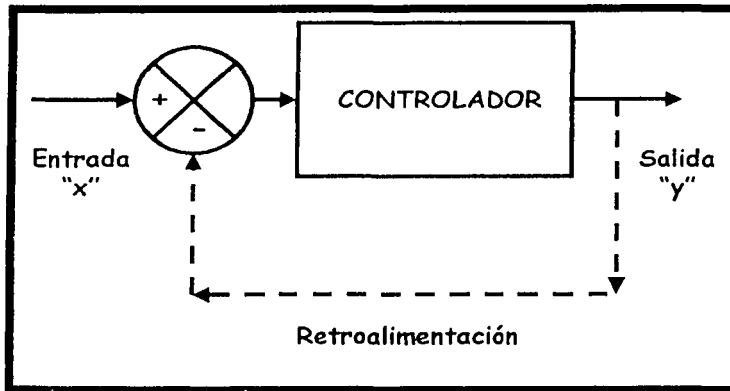


Fig. 3.02. Controlador retroalimentado.

Las dos variables empíricas que se cuantifican por medio de sensores son:

- 1) Conductividad (q): permite determinar si el detergente ya agotó su energía química, la cual sirve para desprender la suciedad de la ropa.
- 2) Turbiedad (tu): Permite determinar la cantidad de suciedad desprendida de la ropa, y luego contenida en el agua.

4.1.1) Consideraciones detalladas acerca del proceso de lavado:

I) Los parámetros son determinados al tanteo por el usuario, valiéndose de su experiencia y no de mediciones precisas y fórmulas. Por lo tanto, es en estos parámetros donde puede haber errores que afecten a las variables físicas y al proceso de lavado, de tal modo que ocurran dos posibilidades no deseadas:

- + La ropa no quede suficientemente limpia.
- + Haya exceso de detergente (y por lo tanto, desperdicio de recursos y contaminación).

TEMA 3
FALLA DE FUENTE

Es decir, la **masa de detergente (m)** (que se calculó mediante una fórmula que se proporciona en el capítulo "Proceso de lavado") debe ser parecida a la **masa ideal de detergente (m_{ideal})**, la cual es desconocida. Esta masa ideal (m_{ideal}) es la mínima necesaria para desprender toda la suciedad de la ropa.

II) El **parámetro de suciedad (s)** está muy relacionado con la **variable empírica de turbiedad (tu)**: La suciedad de la ropa, al ser desprendida por la acción del detergente, provoca turbiedad (tu) en el agua.

III) La **conductividad (q)** del agua está muy relacionada con la presencia de **detergente** y con su actividad removedora de suciedad (s). La **conductividad (q)** del agua aumenta cuando el **detergente** es agregado; y cuando éste ya liberó toda su energía química para remover la **suciedad (s)**, la **conductividad (q)** se estabiliza. A partir de este momento hay dos posibilidades:

- + Hace falta mas detergente para continuar con la remoción de suciedad.
- + Toda la suciedad (s) ya ha sido removida (y aunque se agregue mas detergente, ya no aumentará la turbiedad (tu) del agua).

Para resolver el problema, objetivo del presente trabajo, se propuso que el **programa de la lavadora** trabaje del siguiente modo:

1) Soltar cierta cantidad de detergente, por ejemplo, **75% del detergente (m)** (calculado mediante una fórmula que se proporciona en el capítulo "Proceso de lavado"). Es decir, soltar: **$0.75 \cdot m$** , y esperar a que se establezca la **conductividad (q)**.

Justificación: El usuario pudo haber sobreestimado la suciedad de la ropa y entonces la masa de **detergente (m)** será mayor a la necesaria.

2) Soltar una pequeña cantidad de **detergente**, por ejemplo: 10 gramos, y esperar a que se establezca la **conductividad (q)**. Si la **turbiedad (tu)** del agua no aumentó, entonces el proceso de lavado ha terminado y se puede proceder al enjuague. Pero si la **turbiedad (tu)** del agua sí aumentó, entonces habrá que añadir otra pequeña cantidad de **detergente**.

Justificación: Es necesario realizar acercamientos sucesivos en la **masa de detergente (m)** que es necesario agregar para acercarse a la **masa ideal de detergente (m_{ideal})** y obtener ropa limpia sin desperdicio de recursos.

Cap. 4: OBJETIVOS Y ALCANCES.

El objetivo central de la tesis es: Modelar matemáticamente el control durante el ciclo de lavado, para lo cual es necesario elaborar las instrucciones de control.

Y el alcance de la tesis es realizar una simulación computacional que considere:

- 1) El comportamiento de las variables físicas que intervienen durante el ciclo de lavado.
- 2) Obtener los resultados que sirvan para la programación del control del electrodoméstico.
- 3) Elaborar el listado de intrucciones de control.

El proyecto "banco experimental inteligente" (perteneciente al tipo de lavadora de impulsor) tiene tres etapas:

I) Desarrollo del banco experimental inteligente que arroje datos acerca del proceso de lavado.

II) Análisis de la información obtenida para establecer una base de conocimiento con las variables (cantidad de agua, cantidad de detergente, turbiedad, temperatura, conductividad) que intervienen en el proceso de lavado de ropa.

III) Establecer ciclos de trabajo de alta eficiencia que aprovechen al máximo los recursos (agua, detergente, gas y electricidad) y:

Satisfagan favorablemente a las normas nacionales de lavadoras.

Satisfagan las demandas del mercado.

Respondan favorablemente a las necesidades ecológicas.

Y la presente tesis, siendo parte del proyecto, se enfocó a terminar de resolver las dos últimas etapas:

+ Parte de la segunda etapa (II): Para establecer una descripción aún mas profunda del proceso de lavado, a partir del estudio de la información obtenida, y relacionarla con la información ya existente.

+ Parte de la tercera etapa (III): Para diseñar un ciclo de trabajo básico que sirva para evaluar los resultados obtenidos de la etapa anterior (II), por medio de la simulación computacional.

PAUTA DE CALIFICACION

Cap. 5: PROCESO DE LAVADO.

En este capítulo se describe matemáticamente al **proceso de lavado**, exponiendo sus cuatro **parámetros** y sus cuatro **variables físicas**, así como la relación que existe entre todos ellos. Estos modelos matemáticos fueron considerados para el desarrollo del **listado de instrucciones** para el control de la lavadora, y fueron tomados de investigaciones anteriores a la presente tesis [1].

El **proceso de lavado** requiere de las siguientes **formas de energía**:

- 1) Química.
- 2) Térmica.
- 3) Mecánica.

Los **recursos materiales** son:

- 0) Agua.
- 1) Detergente.
- 2) Gas.
- 3) Electricidad.

La **energía química** proviene del **detergente** y se desencadena al entrar en contacto con el agua caliente (o tibia) [1]. La **energía térmica** almacenada en el agua tiene su origen en la combustión del gas (**recurso material**).

La **energía mecánica** proviene del **electromotor** (convertidor de energía eléctrica a mecánica) y es la que permite tallar la ropa y agitar el agua.

La combinación óptima de los recursos materiales, durante un mínimo de tiempo, da como resultado ropa limpia con un maltrato mínimo.

La **concentración "k"** de una mezcla (que en este caso es de **detergente y agua**) se cuantifica mediante la siguiente fórmula [2]:

$$k\% = \frac{m}{M+m} \cdot 100\% \quad 5.01$$

Donde:

$k\%$ = Concentración [%].

m = Masa de detergente [g].

M = Masa de agua [g].

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Los cuatro parámetros (adimensionales y relativos), según Minassian [1], que intervienen en el proceso de lavado (y sus posibles valores) son:

1) Suciedad (s):

Poca.	s=0.25
Regular.	s=0.50
Mucha.	s=0.75
Extra.	s=1.00

2) Cantidad de ropa (c):

Poca.	c=3/6=1/2=0.50
Regular.	c=4/6=2/3=0.67
Mucha.	c=5/6=0.83
Completa.	c=6/6=1.00

3) Tipo de ropa (r1):

Algodón.	r1=5
Sintética.	r1=1
Delicada.	r1=2

4) Color de ropa (r2):

Coloreada.	r2=0
Blanca.	r2=1

Las cuatro variables físicas [1] que intervienen en el proceso de lavado (se calculan a partir de los cuatro parámetros) son:

1) Volumen de agua (v) [=litros] [1]:

$$v = \text{Min} \left[40, \frac{10 \cdot (17 - r1) \cdot c}{3} \right] \quad 5.02$$

Donde:

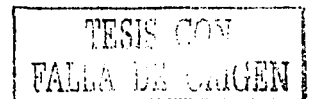
V = Volumen de agua [l].

r1 = Tipo de ropa [].

C = Cantidad de ropa [].

Min = Operación mínimo (compara dos números y elige el menor).

Ejemplo: Min [2 , 5] = 2



2) Temperatura (te), [$^{\circ}C$ =grados celsius] [1]:

$$te = \text{Max}[20, 7 \cdot (s + r1 + 4 \cdot r2) - 10.5] \quad 5.03$$

Donde:

te = Temperatura [$^{\circ}C$].

s = Suciedad [].

$r1$ = Tipo de ropa [].

$r2$ = Color de ropa [].

Max = Operación máximo (compara dos números y elige el mayor).

Ejemplo: $\text{Max} [2 , 5] = 5$

3) Masa de detergente (m), [g =gramos] [1]:

$$m = v \cdot (0.534 \cdot s - 0.0096 \cdot te + 2.69) \quad 5.04$$

Donde:

m = Masa de detergente [g].

v = Volumen de agua [l].

s = Suciedad [ppm].

te = Temperatura [$^{\circ}C$].

La masa ideal de detergente (m_{ideal}) es la cantidad mínima necesaria para remover toda la suciedad " s " contenida en la ropa. Vertir una mayor cantidad de detergente implica desperdicio, no solo del detergente mismo sino también de agua, pues se requiere mayor volumen " v " del vital líquido para remover el exceso detergente.

La siguiente gráfica (Fig. 5.01) fue elaborada por el autor de esta tesis para ilustrar, cualitativamente, el comportamiento del detergente. Este comportamiento es descrito por Minassian [1].

La gráfica dice que, aunque se vierta una cantidad de detergente mayor a la masa ideal de detergente (m_{ideal}), ya no se puede remover mas suciedad porque ya ha sido removida toda. Es decir, mayor detergente al necesario se convierte en desperdicio.

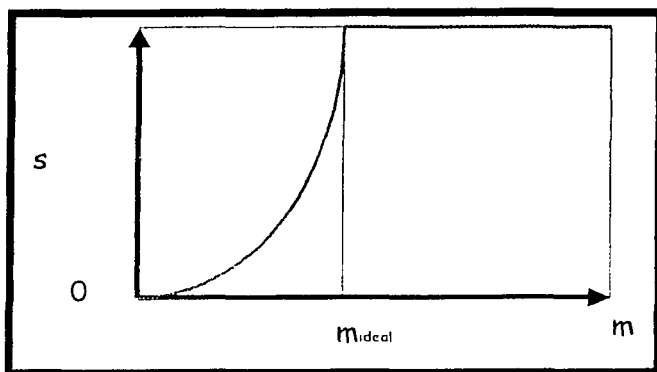


Fig. 5.01 Suciedad "s" desprendida en función de la cantidad de detergente "m".

La eficacia del detergente " \mathcal{E} " [1] (o rendimiento máximo de detergente) es una medida de la capacidad del detergente para remover la suciedad "s". La eficacia del detergente " \mathcal{E} " depende de la concentración "k%" y de la composición química del detergente. Se calcula como el cociente de suciedad removida "s" entre detergente "m" [1]:

$$\mathcal{E} = \frac{s}{m} \quad 5.05$$

Donde:

\mathcal{E} = Eficacia [ppm/g].

s = Suciedad removida [ppm].

m = Masa de detergente [g].

La eficacia del detergente " \mathcal{E} " y el concepto de eficiencia de una máquina "l" son equivalentes.

La siguiente gráfica también fue elaborada por el autor de esta tesis para ilustrar, cualitativamente, el comportamiento del detergente. Este comportamiento es descrito en trabajos anteriores [1].

La gráfica dice que el máximo rendimiento de detergente (o eficacia máxima del detergente " \mathcal{E} ") se obtiene cuando la cantidad de masa ideal de detergente (m_{ideal}) (a la cual le corresponde una concentración ideal " k_{ideal} "), ha sido vertida.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

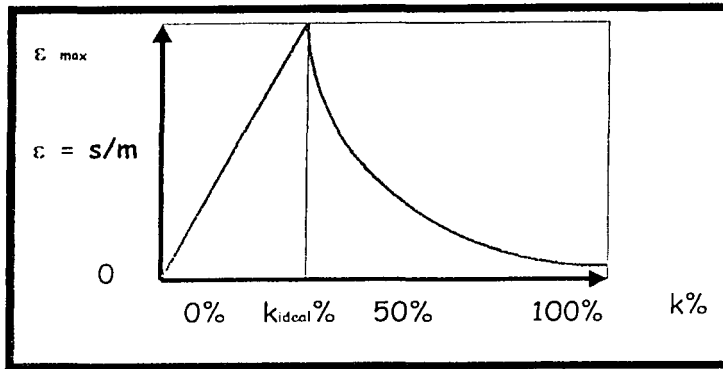


Fig. 5.02 Eficiacia del detergente "ε" vs. concentración (de la mezcla agua-detergente "k%").

$$k_{ideal}\% = \frac{m_{ideal}}{M+m_{ideal}} \cdot 100\%$$

Donde:

$k_{ideal}\%$ = Concentración ideal [%].

m_{ideal} = Masa ideal de detergente [g].

M = Masa de agua [g].

$$\varepsilon_{max} = \frac{s}{m_{ideal}}$$

Donde:

ε_{max} = Eficacia máxima [ppm/g].

s = Suciedad removida [ppm].

m_{ideal} = Masa ideal de detergente [g].

TESORO
FALLA DE CALIDAD

A medida que la **concentración de detergente "k%"** se acerca a la **concentración ideal "k_{ideal}%"**, la **eficacia del detergente "ε"** es mayor.

Y a medida que la **concentración "k%"** rebasa a la **concentración ideal "k_{ideal}%"**, la **eficacia del detergente "ε"** se va reduciendo, pues ya no es posible remover mas **suciedad "s"**. Esto se debe a que toda la **suciedad "s"**, que el detergente era capaz de remover, ya ha sido removida (o a que la **suciedad "s"** solo puede ser desprendida mediante otros productos químicos).

4) Tiempo de lavado (tL), [min=minutos] [1]:

$$tL = \text{Max}[3, 2 \cdot (s + 0.5) \cdot (c + 1) \cdot \text{Abs}[r1 - 2.75]]$$

5.06

Donde:

tL = Tiempo de lavado [min].

S = Suciedad [ppm].

C = Cantidad de ropa [].

$r1$ = Tipo de ropa [].

Max = Operación máximo (compara dos números y elige el mayor).

Ejemplo: $\text{Max} [2 , 5] = 5$

Abs = Operación absoluto (convierte a positivo lo que resulte negativo).

Ejemplo: $\text{Abs} [-3] = 3$

Las dos variables empíricas que intervienen en el proceso de lavado se cuantifican por medio de sensores, no por fórmulas, y son:

1) Conductividad (q) [mho=1/ohm].

2) Turbiedad (tu), [ppm=partes por millón].

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Cap. 6: CASO DE ESTUDIO Y DESARROLLO DEL ESTUDIO.

6.1) CASO DE ESTUDIO.

Las especificaciones de la lavadora que ha sido estudiada y que se pretende modernizar son:

Marca: Roper (grupo Vitro).

Tipo: Impulsor.

Motor:

Tipo: Eléctrico de inducción.

Potencia: $\frac{1}{4}$ Hp.

Voltaje: 115 V.

Electrocorriente: 1.6 A.

Torca: 3 Nm.

Frecuencia mecánica: 1725 rpm.

Tecnología del controlador: Cableada (usa relevadores).

Antigüedad de la tecnología: 3 décadas.

6.2) DESARROLLO DEL ESTUDIO.

Para conocer el comportamiento de las **variables empíricas** (conductividad "q" y turbiedad "tu"), cuyos valores se miden durante el **proceso de lavado** por medio de sensores, se estudió la información obtenida por el **banco de pruebas**. Esta información se obtuvo antes del desarrollo del presente trabajo y de ella se tomaron **siete experimentos**. La información se elaboró en forma de **gráficas**:

- 1) Conductividad vs tiempo (q vs t).
- 2) Turbiedad vs tiempo (tu vs t).

De las **gráficas** se obtuvieron **puntos**, los cuales fueron empleados para realizar el estudio de la información por medio de **ajustes minicuadráticos**. Del estudio se determinaron:

- + Formas de la **curvas**.
- + Ecuaciones de las **curvas**.
- + **Tiempo estabilizador "tf"** que tarda una **curva exponencial asintótica** en estabilizarse.
- + **Oscilaciones** de las variables con respecto a las **curvas**.

- 1) Formas de la **curvas**.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Mediante la observación cuidadosa de las **gráficas** (obtenidas en experimentos anteriores a la presente tesis y que se exponen en el capítulo "análisis de los resultados de los experimentos") y mediante el conocimiento cualitativo que se tiene del comportamiento de las **variables empíricas** (conductividad "q" y turbiedad "tu"), se encontró que el comportamiento es **exponencial ascendente asintótica** (con asíntota horizontal).

2) Ecuaciones de las curvas.

Por medio de la **regresión lineal** (que se explica en el capítulo "ajustes minicuadráticos (o regresión lineal)") se obtuvieron las fórmulas que sirven para realizar los **ajustes minicuadráticos** de las exponenciales; es decir, las fórmulas que permiten construir las ecuaciones de las exponenciales de la conductividad "q" y turbiedad "tu", como funciones del tiempo "t":

$$q = f(t)$$

$$tu = g(t)$$

3) Tiempo estabilizador "tf".

La siguiente gráfica describe cualitativamente el comportamiento de una **exponencial asintótica**. Todas las exponenciales de los experimentos fueron de la forma ascendente "f1(t)".

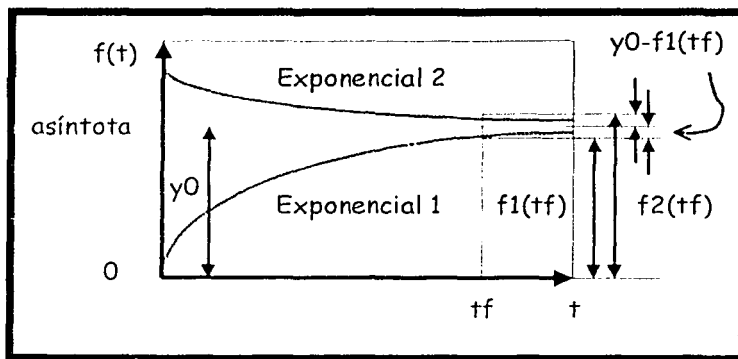


Fig. 6.01 Tiempo estabilizador "tf".

Este tiempo es el que tarda una **exponencial** en estabilizarse (o sea, en estar muy cerca de su **asíntota horizontal**). La **cercanía** se estableció numéricamente en 5%, lo cual quiere decir que:

Cuando la separación entre la **curva** y la **asíntota horizontal** sea igual al 5% de la altura "y0" de la **asíntota horizontal**, entonces la **cercanía** será de 5%. Matemáticamente se expresa así:

$$Abs[y_0 - f(t)] = \frac{\text{cercanía}}{100} \cdot y_0$$

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Pero como:

$$cercania = 5\%$$

Queda.

$$Abs[y_0 - f(tf)] = \frac{5}{100} \cdot y_0$$

a) Exponencia decreciente: $y_0 < f_1(tf)$, por lo tanto:

$$f_1(tf) - y_0 = \frac{cercania}{100} \cdot y_0 \Rightarrow tf = f_1^{-1}(y_0 + \frac{cercania}{100} \cdot y_0)$$

De modo similar:

a) Exponencia creciente (caso de estudio): $y_0 > f_2(tf)$, por lo tanto:

$$y_0 - f_2(tf) = \frac{cercania}{100} \cdot y_0 \Rightarrow tf = f_2^{-1}(y_0 - \frac{cercania}{100} \cdot y_0)$$

El tiempo estabilizador "tf" es importante para que el control de la lavadora trabaje y espere lo suficiente para que las variables empíricas se estabilicen, eliminando la posibilidad de que el proceso de lavado termine antes de tiempo y la ropa no quede bien limpia.

+ Oscilaciones.

Las gráficas de las variables empíricas presentan oscilaciones porque la mezcla (de agua, detergente y partículas de suciedad) es heterogénea y turbulenta. Las oscilaciones se determinaron a partir de los errores "e" de los ajustes minicuadráticos.

La presencia de oscilaciones durante el proceso de lavado hace que las mediciones no sean del todo estables; en consecuencia, surge el inconveniente de que el control de la lavadora considere al proceso de lavado como inconcluso.

Conocer la magnitud de las oscilaciones es importante para poder establecer un margen de error que le permita al control de la lavadora, una vez transcurrido el tiempo estabilizador "tf", considerar que las variables empíricas ya se estabilizaron.

Cap. 7: AJUSTES MINICUADRÁTICOS (o REGRESIÓN LINEAL).

La finalidad de este capítulo es encontrar la ecuación que mas se acerca a los conjuntos de puntos que se obtuvieron experimentalmente en el banco experimental inteligente.

En este capítulo se exponen dos casos de ecuaciones:

- 1) Recta binómica.
- 2) Exponencial asintótica.

El primer caso es el mas usual, pues considera que el comportamiento de dos variables "x" y "y" está descrito del modo mas simple, es decir, por una recta. Esta descripción se puede consultar en libros de Estadística [4].

El segundo caso es una aportación que el autor de esta tesis realizó para describir el comportamiento de dos variables "x" y "y" mediante una exponencial asintótica. Se eligió esta curva porque es común encontrarla en diversas fenómenos físicos, principalmente en aquellos que tienden a la estabilidad; por ejemplo, en problemas de termodinámica, el ascenso y descenso de temperatura (de dos sustancias que inicialmente tienen temperaturas distintas y que son puestas en contacto) presenta un comportamiento exponencial asintótico. De igual modo, verter detergente en una lavadora debe ser un proceso que tiende a la estabilidad, pues la energía química del detergente se va agotando conforme desprende la suciedad de la ropa.

¿Qué caso es el que realmente describe al proceso de lavado?. La respuesta se encontró después de realizar los análisis de los experimentos (en el capítulo "Análisis de los resultados de los experimentos").

Una vez encontrado el caso que describe al proceso de lavado, se procede a realizar los cálculos que permitan obtener la ecuación.

Después se elabora una gráfica en donde aparezcan la línea generada por la ecuación y los puntos obtenidos en los experimentos.

Y finalmente se determina el error de cada punto (el cual dice qué tan alejado de la línea se encuentra cada punto).

El error sirve para determinar las fluctuaciones de cada variable durante el proceso de lavado. Cuando las fluctuaciones se han reducido a un cierto valor, el control puede considerar que la variable ya se encuentra estable, y por lo tanto puede pasar a la siguiente etapa del proceso de lavado.

TERMINADO
FALLA DE ORIGEN

Además, en el caso de que la línea sea una **exponencial asintótica**, es posible determinar cuánto tiempo es necesario para que la variable esté suficientemente cercana a la **asíntota** y se le considere como **estable**, para que a partir de este momento el **control** continúe con la siguiente etapa del **proceso de lavado**.

AJUSTES MINICUADRÁTICOS

Esta información fue elaborada por el autor y muchos términos fueron formulados por él mismo.

Objetivo de los AJUSTES MINICUADRÁTICOS: Hallar la función " $y=f(x)$ " que más se acerque a un conjunto de puntos cartesianos " (x_i, y_i) ".

Nomenclatura:

x = Variable independiente.
 y = Variable dependiente.
 k = Cantidad de puntos cartesianos.

x_i = Valor conocido de la variable independiente.
 y_i = Valor conocido de la variable dependiente.
 (x_i, y_i) = Punto cartesiano conocido.

Promedios (de las " x_i " y de las " y_i ":

$$x_p = \frac{1}{k} \cdot \sum_{i=1}^{i=k} x_i \quad 7.01$$

$$y_p = \frac{1}{k} \cdot \sum_{i=1}^{i=k} y_i \quad 7.02$$

Donde:

x_p = Promedio de las " x_i ".

y_p = Promedio de las " y_i ".

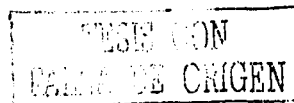
x_i = Valor conocido de la variable independiente.

y_i = Valor conocido de la variable dependiente.

k = Cantidad de puntos cartesianos, $1 \leq i \leq k$

$y=f(x)$ = Función buscada que más se ajusta al conjunto de puntos cartesianos conocidos " (x_i, y_i) ". Esta ecuación sirve para encontrar valores esperados de " y " para cualquier valor de " x ", por lo tanto, se pueden interpolar y extrapolar puntos desconocidos.

$y=f(x_i)$ = Valor esperado de " y ", calculado por la función para el valor de " x_i ".



a_i = Coeficiente(s) de la función " $y=(x)$ ". Estos coeficientes son desconocidos y deben ser calculados.

e_i = Error puntual: Es el error de la ecuación en el punto " i ".

E_a = Error total absoluto: Es la suma de los errores puntuales absolutos (y el error puntual absoluto es el error puntual " e_i " hecho positivo mediante la operación valor absoluto).

E_{ap} = Error total absoluto promedio. Este error es el error puntual absoluto promedio.

E = Error total cuadrático: Es la suma de los errores puntuales cuadráticos (y el error puntual cuadrático es el error puntual " e_i " hecho positivo mediante la operación potencia cuadrática).

Ecuación del error puntual:

$$e_i = y_i - f(x_i) \quad 7.03$$

Ecuación del error total absoluto:

$$E_a = \sum_{i=1}^{i=k} \| e_i \| \quad 7.04$$

$$E_a = \sum_{i=1}^{i=k} \| y_i - f(x_i) \| \quad 7.05$$

Ecuación del error total absoluto promedio:

$$E_{ap} = \frac{E_a}{k} \quad 7.06$$

$$E_{ap} = \frac{1}{k} \cdot \sum_{i=1}^{i=k} \| e_i \| \quad 7.07$$

$$E_{ap} = \frac{1}{k} \cdot \sum_{i=1}^{i=k} \| y_i - f(x_i) \| \quad 7.08$$

Ecuación del error total cuadrático:

$$E = \sum_{i=1}^{i=k} (e_i)^2 \quad 7.09$$

$$E = \sum_{i=1}^{i=k} (y_i - f(x_i))^2 \quad 7.10$$

Donde:

e_i = Error puntual.

E_a = Error total absoluto.

E_{ap} = Error total absoluto promedio.

E = Error total cuadrático.

x_i = Valor conocido de la variable independiente.

y_i = Valor conocido de la variable dependiente.

$f(x_i)$ = Valor de " y " calculado por la función para el valor conocido " x_i ".

Las funciones " $y=f(x)$ " se determinan mediante la ecuación del error total cuadrático "E" porque ésta es más fácil de manejar que la ecuación del error total absoluto "Ea".

Ejemplo: Se tienen los siguientes puntos:

P1 = (-1,0.5)

P2 = (0,2.5)

P3 = (1,-0.5)

P4 = (2,-0.5)

P5 = (2.5,4)

Y la gráfica de la función " $y=f(x)$ " es:

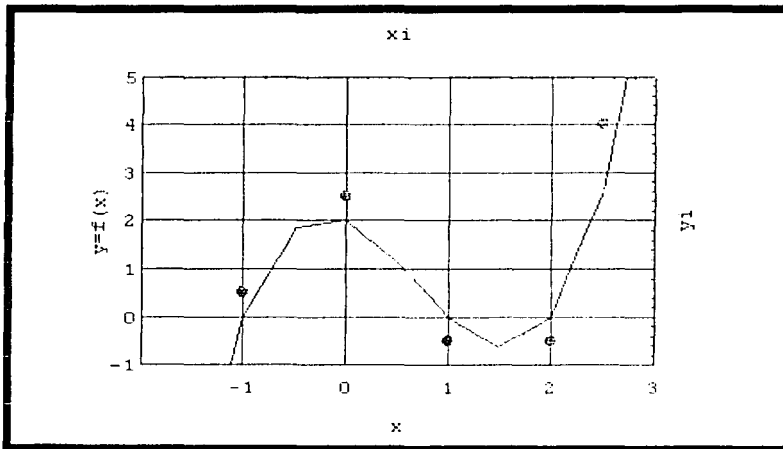


Fig. 7.01 Función para 5 puntos cartesianos.

Los errores puntuales " e_i " son:

$e_1 = 0.5$

$e_2 = 0.5$

$e_3 = -0.5$

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

$$e4 = -0.5$$

$$e5 = 1$$

Casos de estudio (funciones " $y=f(x)$ "):

1) Recta binómica.

2) Exponencial asintótica.

El error total será mínimo si:

+ Se selecciona la función adecuada.

+ Los coeficientes " a_i " de la función " $y=f(x)$ " son calculados adecuadamente, mediante **Cálculo Diferencial**.

Al método de **Ajustes Minicuadráticos** también se le conoce como **Regresión Lineal** porque la función " $y=f(x)$ " es lineal con respecto a los coeficientes " a_i " (aunque muchas veces no exista linealidad con respecto a la variable " x ").

El método de **Ajustes Minicuadráticos** emplea el **Cálculo Diferencial** para minimizar el error (o lejanía) de la función " $y=f(x)$ " con respecto a los puntos cartesianos " (x_i, y_i) " dados.

1) **Caso 1: Recta binómica.**

Esta información fue elaborada por el autor, desarrollos similares pueden encontrarse en libros de **Estadística** [4].

$$y = a_0 + a_1 \cdot x \quad 7.11$$

Donde:

a_0 = Ordenada al origen.

a_1 = Pendiente.

Si: $a_1 > 0$: recta creciente.

Si: $a_1 = 0$: recta horizontal.

Si: $a_1 < 0$: recta decreciente.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

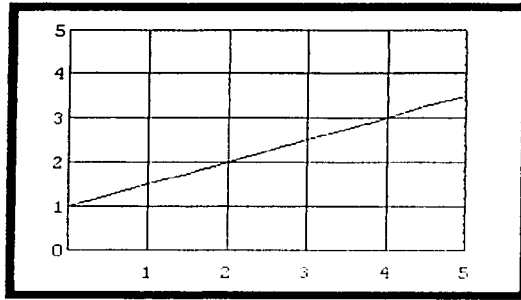


Fig. 7.02 Recta binómica.

La ecuación del error total cuadrático para este caso es:

$$E = \sum_{i=1}^{i=k} (y_i - [a_0 + a_1 \cdot x_i])^2$$

Ahora hay que derivarla parcialmente con respecto a los coeficientes "a0" y "a1":

a) Con respecto a "a0":

$$\frac{\partial E}{\partial a_0} = \frac{\partial}{\partial a_0} \sum_{i=1}^{i=k} (y_i - a_0 - a_1 \cdot x_i)^2$$

$$\frac{\partial E}{\partial a_0} = 2 \cdot \sum_{i=1}^{i=k} [(y_i - a_0 - a_1 \cdot x_i)^1 \cdot (-1)] = 0$$

$$\sum_{i=1}^{i=k} (y_i - a_0 - a_1 \cdot x_i) = 0$$

$$\sum_{i=1}^{i=k} y_i - \sum_{i=1}^{i=k} a_0 - \sum_{i=1}^{i=k} a_1 \cdot x_i = 0$$

$$\sum_{i=1}^{i=k} y_i - \sum_{i=1}^{i=k} a_0 - \sum_{i=1}^{i=k} a_1 \cdot x_i = 0$$

$$\sum_{i=1}^{i=k} y_i - a_0 \cdot \sum_{i=1}^{i=k} 1 - a_1 \cdot \sum_{i=1}^{i=k} x_i = 0$$

Al aplicar las fórmulas de "xp" y "yp":

$$k \cdot y_p - a_0 \cdot \sum_{i=1}^{i=k} 1 - a_1 \cdot k \cdot x_p = 0$$

$$k \cdot y_p - a_0 \cdot k - a_1 \cdot k \cdot x_p = 0$$

$$y_p - a_0 - a_1 \cdot x_p = 0$$

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Ordenando:

$$a_0 + a_1 \cdot xp = yp$$

b) Con respecto a "a1":

$$E = \sum_{i=1}^{i=k} (y_i - [a_0 + a_1 \cdot x_i])^2$$

$$\frac{\partial E}{\partial a_1} = \frac{\partial}{\partial a_1} \sum_{i=1}^{i=k} (y_i - a_0 - a_1 \cdot x_i)^2$$

$$\frac{\partial E}{\partial a_1} = 2 \cdot \sum_{i=1}^{i=k} [(y_i - a_0 - a_1 \cdot x_i)^1 \cdot (-x_i)] = 0$$

$$\sum_{i=1}^{i=k} (-y_i \cdot x_i + a_0 \cdot x_i + a_1 \cdot x_i^2) = 0$$

$$-\sum_{i=1}^{i=k} y_i \cdot x_i + \sum_{i=1}^{i=k} a_0 \cdot x_i + \sum_{i=1}^{i=k} a_1 \cdot x_i^2 = 0$$

$$-\sum_{i=1}^{i=k} y_i \cdot x_i + a_0 \cdot \sum_{i=1}^{i=k} x_i + a_1 \cdot \sum_{i=1}^{i=k} x_i^2 = 0$$

$$-\sum_{i=1}^{i=k} y_i \cdot x_i + a_0 \cdot k \cdot xp + a_1 \cdot \sum_{i=1}^{i=k} x_i^2 = 0$$

$$a_0 \cdot k \cdot xp + a_1 \cdot \sum_{i=1}^{i=k} x_i^2 = \sum_{i=1}^{i=k} y_i \cdot x_i$$

Se tiene un sistema de dos ecuaciones con dos incógnitas "a0" y "a1":

$$a_0 + a_1 \cdot (xp) = yp$$

$$a_0 \cdot (k \cdot xp) + a_1 \cdot \left(\sum_{i=1}^{i=k} x_i^2 \right) = \sum_{i=1}^{i=k} y_i \cdot x_i$$

Al resolver mediante la Regla de Cramer se obtienen las fórmulas para calcular los coeficientes "a0" y "a1" de la recta binómica:

$$a_0 = \frac{yp \cdot \sum_{i=1}^{i=k} x_i^2 - xp \cdot \sum_{i=1}^{i=k} y_i \cdot x_i}{\sum_{i=1}^{i=k} x_i^2 - k \cdot (xp)^2}$$

7.12

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

$$a1 = \frac{\sum_{i=1}^{i=k} xi \cdot yi - k \cdot xp \cdot yp}{\sum_{i=1}^{i=k} xi^2 - k \cdot (xp)^2} \quad 7.13$$

Donde:

xi = Valor conocido de la variable independiente.

yi = Valor conocido de la variable dependiente.

xp = Promedio de las " xi ".

yp = Promedio de las " yi ".

k = Cantidad de puntos cartesianos "(xi , yi)".

2) Caso 2: Exponencial asintótica.

Esta información es una aportación del el autor y no fue extraída de ningún libro.

$$y = a0 + ae \cdot e^{-x} \quad 7.14$$

Donde:

$a0 + ae$ = Ordenada al origen.

$a0$ = Asíntota.

Si: $ae > 0$: curva decreciente.

Si: $ae < 0$: curva creciente.

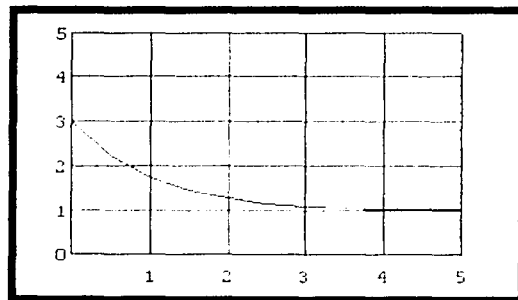


Fig. 7.03 Exponencial asintótica decreciente.

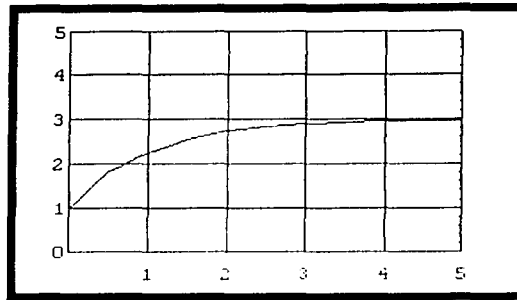


Fig. 7.04 Exponencial asintótica creciente.

La ecuación del error total cuadrático para este caso es:

$$E = \sum_{i=1}^{i=k} (y_i - [a_0 + a e \cdot e^{-x_i}])^2$$

Ahora hay que derivarla parcialmente con respecto a los coeficientes "a0" y "an":

a) Con respecto a "a0":

$$\frac{\partial E}{\partial a_0} = \frac{\partial}{\partial a_0} \sum_{i=1}^{i=k} (y_i - a_0 - a e \cdot e^{-x_i})^2$$

$$\frac{\partial E}{\partial a_0} = 2 \cdot \sum_{i=1}^{i=k} [(y_i - a_0 - a e \cdot e^{-x_i})^1 \cdot (-1)] = 0$$

$$\sum_{i=1}^{i=k} (y_i - a_0 - a e \cdot e^{-x_i}) = 0$$

$$a_0 \cdot (k) + a e \cdot (\sum_{i=1}^{i=k} e^{-x_i}) = k \cdot y_p$$

b) Con respecto a "ae":

$$E = \sum_{i=1}^{i=k} (y_i - [a_0 + a e \cdot e^{-x_i}])^2$$

$$\frac{\partial E}{\partial a e} = \frac{\partial}{\partial a e} \sum_{i=1}^{i=k} (y_i - a_0 - a e \cdot e^{-x_i})^2$$

$$\frac{\partial E}{\partial a e} = 2 \cdot \sum_{i=1}^{i=k} [(y_i - a_0 - a e \cdot e^{-x_i})^1 \cdot (-e^{-x_i})] = 0$$

$$\sum_{i=1}^{i=k} (-y_i \cdot e^{-x_i} + a_0 \cdot e^{-x_i} + a e \cdot e^{-2 \cdot x_i}) = 0$$

$$a_0 \cdot \left(\sum_{i=1}^{i=k} e^{-xi} \right) + ae \cdot \left(\sum_{i=1}^{i=k} e^{-2 \cdot xi} \right) = \sum_{i=1}^{i=k} yi \cdot e^{-xi}$$

Se tiene un sistema de dos ecuaciones con dos incógnitas "a0" y "ae":

$$a_0 \cdot (k) + ae \cdot \left(\sum_{i=1}^{i=k} e^{-xi} \right) = k \cdot yp$$

$$a_0 \cdot \left(\sum_{i=1}^{i=k} e^{-xi} \right) + ae \cdot \left(\sum_{i=1}^{i=k} e^{-2 \cdot xi} \right) = \sum_{i=1}^{i=k} yi \cdot e^{-xi}$$

Al resolver mediante la Regla de Cramer se obtienen las fórmulas para calcular los coeficientes "a0" y "an" de la exponencial asintótica:

$$a_0 = \frac{k \cdot yp \cdot \sum_{i=1}^{i=k} e^{-2 \cdot xi} - \sum_{i=1}^{i=k} e^{-xi} \cdot \sum_{i=1}^{i=k} yi \cdot e^{-xi}}{k \cdot \sum_{i=1}^{i=k} e^{-2 \cdot xi} - \left(\sum_{i=1}^{i=k} e^{-xi} \right)^2} \quad 7.15$$

$$ae = \frac{k \cdot \sum_{i=1}^{i=k} yi \cdot e^{-xi} - k \cdot yp \cdot \sum_{i=1}^{i=k} e^{-xi}}{k \cdot \sum_{i=1}^{i=k} e^{-2 \cdot xi} - \left(\sum_{i=1}^{i=k} e^{-xi} \right)^2} \quad 7.16$$

Donde:

xi = Valor conocido de la variable independiente.

yi = Valor conocido de la variable dependiente.

yp = Promedio de las " yi ".

k = Cantidad de puntos cartesianos "(xi , yi)".

LEJANÍA DE LA EXPONENCIAL Y SU ASÍNTOTA.

Esta exponencial tiene una asíntota horizontal en:

$$y = a_0$$

Y la ordenada al origen (intersección con el eje "y") es el punto:

$$(0, a_0 + ae)$$

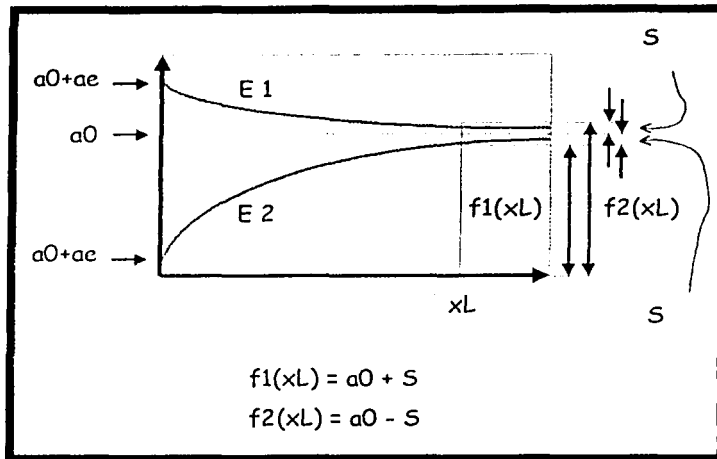


Fig. 7.05 Exponenciales asintóticas.

E 1: Exponencial decreciente: $ae > 0$

E 2: Exponencial creciente: $ae < 0$

La exponencial jamás toca a su asíntota, y la separación "S" que siempre existe entre ellas en un determinado punto " (x_L, y_L) " es:

$$S = +y_L - a_0 \text{ (exponencial decreciente)}$$

$$S = +a_0 - y_L \text{ (exponencial creciente)}$$

Juntándolas:

$$S = \pm(y_L - a_0)$$

El signo positivo es para la exponencial decreciente.

Y el signo negativo es para la exponencial creciente.

La lejanía "%L" se puede expresar como un porcentaje del valor "a0" de la asíntota:

$$\%L = 100\% \cdot \frac{S}{a_0}$$

Al despejar "S":

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

$$S = \frac{\%L}{100\%} \cdot a0$$

Y como:

$$yL = a0 \pm S$$

Se llega a:

$$yL = a0 \pm \frac{\%L}{100\%} \cdot a0$$

Por otro lado:

$$yL = f(xL) = a0 + ae \cdot e^{-xL}$$

De las dos expresiones anteriores se obtiene:

$$a0 + ae \cdot e^{-xL} = a0 \pm \frac{\%L}{100\%} \cdot a0$$

Al despejar "xL":

$$xL = -Ln \left[\frac{\%L \cdot a0}{100\% \cdot ae} \right] \quad 7.17$$

Donde:

$\%L$ = Lejanía entre la exponencial y la asíntota.

xL = Coordenada abscisa donde ocurre la cercanía deseada " $\%L$ ".

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Cap. 8: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LOS EXPERIMENTOS.

Los resultados experimentales presentados en este capítulo fueron obtenidos por el CDM, previamente al desarrollo de la presente tesis.

En todos los casos se estudió la **etapa de lavado**; y las variables analizadas fueron:

- + Conductividad q [mho].
- + Turbiedad tu [ppm].

Todas las gráficas de los experimentos presentaron comportamiento **exponencial asintótico**, descrito por:

$$q = a0 + ae \cdot e^{-t}$$

$$tu = a0 + ae \cdot e^{-t}$$

Una vez realizados los **ajustes minicuadráticos**, se elaboraron las gráficas de las ecuaciones encontradas y se calcularon los siguientes **errores y tiempos** (tanto para la conductividad "q" como para la turbiedad "tu"):

$$Ea = \sum_{i=1}^{i=k} \| ei \| = \text{Error total absoluto [mho, ppm].}$$

$$Eap = \frac{Ea}{k} = \frac{\sum_{i=1}^{i=k} \| ei \|}{k} = \text{Error total absoluto promedio [mho, ppm].}$$

$$\%Eap = 100\% \cdot \frac{Eap}{yp} = 100\% \cdot \frac{\sum_{i=1}^{i=k} \| ei \|}{k \cdot yp} = \text{Error total absoluto promedio porcentual [\%].}$$

$$Max[\| ei \|] = \text{Mayor error puntual [mho, ppm].}$$

$$Max[100\% \cdot \| \frac{ei}{yp} \|] = \text{Mayor error puntual porcentual [\%].}$$

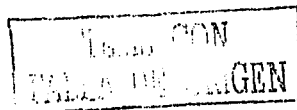
t_f = Tiempo estabilizador [min].

t_T = Duración del experimento [min].

Donde:

k = Cantidad de puntos.

yp = Promedio de las "y" [mho, ppm].



Las oscilaciones están representadas por: Eap y $\%Eap$

EXPERIMENTO: 1

Conductividad (q):

Tiempo t [min]	Conductividad q [mho]	Eap	$\%Eap$
0	65	-0.6	-0.7%
1.5	85	2.9	3.6%
3	85	-0.8	-1%
4	85	-1.5	-1.9%

$$yp = 80 \text{ mho}$$

$$Eap = 1.44 \text{ mho (este es el valor de las oscilaciones)}$$

$$\%Eap = 1.8\%$$

$$Max[|| ei ||] = 2.87 \text{ mho}$$

$$Max[100\% \cdot || \frac{ei}{yp} ||] = 3.6\%$$

$$tf = 1.6 \text{ min}$$

$$IT = 21 \text{ min}$$

$$q = 86.9 - (21.4) \cdot e^{-t}$$

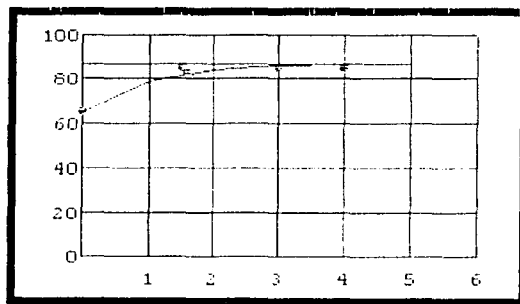


Fig. 8.01 Experimento 1 de conductividad.

Observaciones: El comportamiento es exponencial asintótico. El error es alto en el minuto 1.5, y después disminuye. Se debe prolongar el tiempo para permitir la estabilidad de la conductividad.

Turbiedad (tu):

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Tiempo t [min]	Turbiedad t_u [ppm]	E_{ap}	$\%E_{ap}$
0	4,000	-5.7	-0.03%
0.5	13,000	132.5	-0.6%
2	23,000	-480	-2.3%
3	25,000	-407	-2%
3.5	26,000	152	0.7%
4	26,000	-115	-0.6%
4.5	27,000	722	3.5%

$$y_p = 20,571 \text{ ppm}$$

$$E_{ap} = 720 \text{ ppm (este es el valor de las oscilaciones)}$$

$$\%E_{ap} = 3.5\%$$

$$\text{Max}[\| e_i \|] = 722 \text{ ppm}$$

$$\text{Max}[100\% \cdot \| \frac{e_i}{y_p} \|] = 1.4\%$$

$$t_f = 2.8 \text{ min}$$

$$t_T = 21 \text{ min}$$

$$t_u = 26528 - (22522) \cdot e^{-t}$$

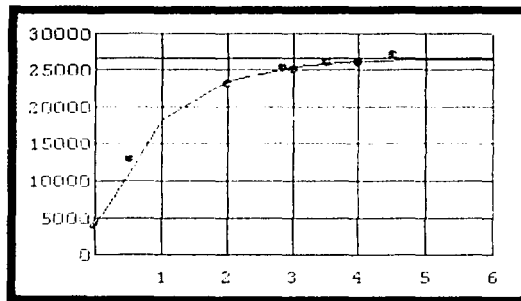


Fig. 8.02 Experimento 1 de turbiedad.

Observaciones: El comportamiento es exponencial asintótico. El error es casi nulo al principio, luego disminuye y al final se vuelve alto. Se debe prolongar el tiempo para permitir una mayor estabilidad de la turbiedad.

EXPERIMENTO: 2

Conductividad (q):

Tiempo t [min]	Conductividad q [mho]	E_{ap}	$\%E_{ap}$
------------------	-------------------------	----------	------------

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

0	44	-1.8	-3%
1	62	4.7	8%
2	62	0.5	0.9%
4	62	-1.6	-2.8%
5	62	-1.8	-3.1%

$$yp = 58.4 \text{ mho}$$

$$Eap = 2.1 \text{ mho (este es el valor de las oscilaciones)}$$

$$\%Eap = 3.6\%$$

$$\text{Max}[\| ei \|] = 4.73 \text{ mho}$$

$$\text{Max}[100\% \cdot \| \frac{ei}{yp} \|] = 8.1\%$$

$$tf = 1.6 \text{ min}$$

$$tT = 5 \text{ min}$$

$$q = 64 - (18.2) \cdot e^{-t}$$

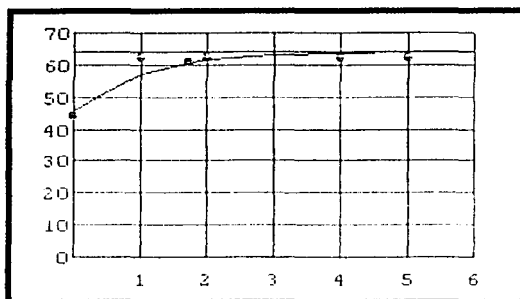


Fig. 8.03 Experimento 2 de conductividad.

TESIS CON
FALLA EN EL
ANÁLISIS

Observaciones: El comportamiento es exponencial asintótico. El error es casi nulo al principio, luego disminuye y al final se vuelve alto. Se debe prolongar el tiempo para permitir una mayor estabilidad de la conductividad.

Turbiedad (tu):

Tiempo t [min]	Turbiedad tu [ppm]	Eap	%Eap
0	4,000	3,532	-81%
0.4	12,000	-7,729	-99%
1.2	25,000	6,597	217%
1.6	18,000	-2,951	135%
1.8	25,000	3,110	224%
2.3	21,000	-2,559	177%

$$y_p = 15,700 \text{ ppm}$$

$$E_{ap} = 4,412 \text{ ppm (este es el valor de las oscilaciones)}$$

$$\%E_{ap} = 28.1\%$$

$$\text{Max}[\| ei \|] = 3,110 \text{ ppm}$$

$$\text{Max}[100\% \cdot \| \frac{ei}{y_p} \|] = 224\%$$

$$t_f = 3 \text{ min}$$

$$t_T = 5 \text{ min}$$

$$tu = 26133 - (25665) \cdot e^{-t}$$

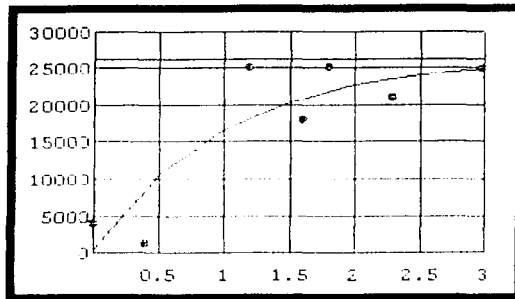


Fig. 8.04 Experimento 2 de turbiedad.

Observaciones: El comportamiento es exponencial asintótico. El error alto al principio, luego crece mucho y al final se reduce un poco. Se debe prolongar el tiempo para permitir una mayor estabilidad de la turbiedad, pues fue muy breve en este experimento.

EXPERIMENTO: 3

Conductividad (q):

Tiempo t [min]	Conductividad q [mho]	E_{ap}	$\%E_{ap}$
0.1	70	-1.3	-1.6%
1	80	2.8	3.6%
2	81	1.3	1.6%
3	80	-0.7	-0.8%
4	80	-1	-1.3%
5	80	-1.1	-1.5%

$$y_p = 78.5 \text{ mho}$$



$Eap = 1.33$ mho (este es el valor de las oscilaciones)

$\%Eap = 1.7\%$

$Max[|| ei ||] = 2.8$ mho

$Max[100\% \cdot || \frac{ei}{yp} ||] = 3.6\%$

$tf = 1$ min

$tT = 6$ min

$q = 81.2 - (11) \cdot e^{-t}$

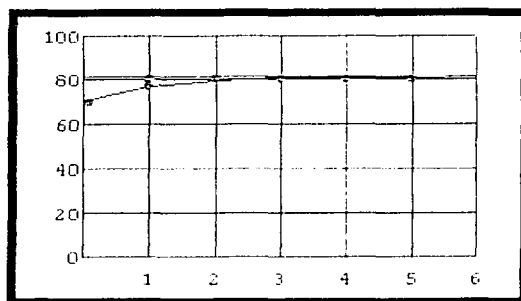


Fig. 8.05 Experimento 3 de conductividad.

Observaciones: El comportamiento es exponencial asintótico. El error es casi nulo al principio, luego crece mucho en el minuto 1, y después se reduce. Se recomienda prolongar el tiempo para permitir una mayor estabilidad de la conductividad.

Turbiedad (tu):

Tiempo t [min]	Turbiedad tu [ppm]	Eap	$\%Eap$
0	7,000	-1,557	-8.7%
1	21,000	4,803	26.8%
2	17,500	-1,507	-8.4%
3	20,000	-41	-0.2%
4.8	23,000	2,457	13.7%
5.2	11,000	-9,576	-53.4%
5.25	26,000	5,421	30.2%

$yp = 17,929$ ppm

$Eap = 3,622$ ppm (este es el valor de las oscilaciones)

$\%Eap = 20.2\%$

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

$$\text{Max}[\| ei \|] = 9,576 \text{ ppm}$$

$$\text{Max}[100\% \cdot \| \frac{ei}{yp} \|] = 53.4\%$$

$$t_f = 2.5 \text{ min}$$

$$t_T = 6 \text{ min}$$

$$t_u = 20643 - (12086) \cdot e^{-t}$$

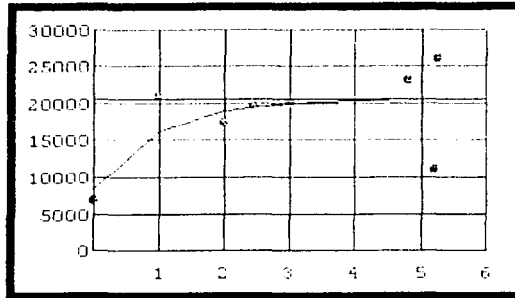


Fig. 8.06 Experimento 3 de turbiedad.

Observaciones: El comportamiento es, a diferencia de los experimenton anteriores, muy errático; apenas se aprecia la exponencial asintótica. El error es bajo en el minuto 3, luego crece mucho en el minuto 1, y después se reduce. Se debe prolongar el tiempo para permitir que la gráfica de la turbiedad adquiera una forma mejor definida.

EXPERIMENTO 4

Conductividad (q):

Tiempo t [min]	Conductividad q [mho]	E_{ap}	$\%E_{ap}$
0	65	-1.17	-1.6%
1	78	3.32	4.4%
2	78	0.19	0.3%
3	78	-0.96	-1.3%
4	78	-1.38	-1.8%

$$yp = 75.4 \text{ mho}$$

$$E_{ap} = 1.4 \text{ mho (este es el valor de las oscilaciones)}$$

$$\%E_{ap} = 1.8\%$$

$$\text{Max}[\| ei \|] = 3.3 \text{ mho}$$

$$\text{Max}[100\% \cdot \| \frac{ei}{yp} \|] = 4.4\%$$

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2.000
 2.000
 2.000

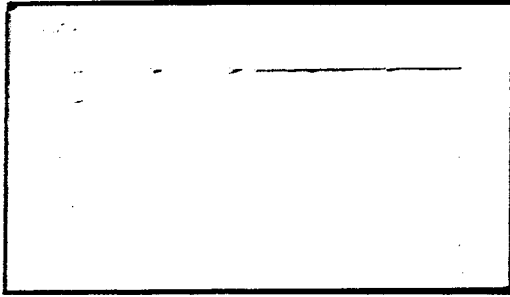


Fig. 2.000.2.000.2.000

Este resultado se comparó con los resultados de la prueba 5, en donde se demostró que el
 tiempo de respuesta de la máquina es menor que el tiempo de respuesta de la computadora. Se recomendó prolongar el tiempo
 de respuesta de la máquina para que sea mayor que el tiempo de respuesta de la computadora.

Resultados (%)

Prueba	Resultados (%)	EAP	%EAP
1	11.11%	1.11%	-11.11%
2	11.11%	1.11%	-11.11%
3	11.11%	1.11%	-11.11%
4	11.11%	1.11%	-11.11%
5	11.11%	1.11%	-11.11%

$f_p = 13.00 \text{ ppm}$

$f_{ap} = 2.110 \text{ ppm}$ (este es el mda de las oscilaciones)

$\% f_{ap} = 15.9\%$

$\Delta t_{ca} || \text{ci} || = 4.500 \text{ ppm}$

$\Delta t_{ca} || 100\% \cdot || \frac{f_p}{f_p} || = 32.9\%$

$tf = 2.1 \text{ min}$

$tf = 6 \text{ min}$

$tu = 178.19 - (1.3202) \cdot e^{-t}$

**TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN**

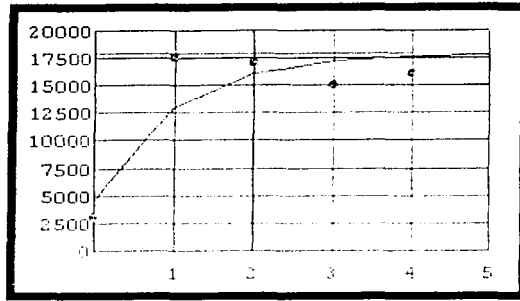


Fig. 8.08 Experimento 4 de turbiedad.

Observaciones: El comportamiento es exponencial asintótico. El error es casi nulo al principio, luego se hace máximo en el minuto 1, y luego decrece. Se recomienda prolongar el tiempo para permitir mayor estabilidad de la turbiedad.

EXPERIMENTO: 5

Conductividad (q):

Tiempo t [min]	Conductividad q [mho]	Eap	%Eap
0	56.5	-50.5	-0.9%
1	59	1.1	1.8%
2	59	0.7	1.2%
3	59	0.6	1%
4	58	-0.5	-0.8%
5	58	-0.5	-0.8%
6	58	-0.5	-0.8%
7	58	-0.5	-0.8%

$$yp = 58.2 \text{ mho}$$

$$Eap = 0.6 \text{ mho (este es el valor de las oscilaciones)}$$

$$\%Eap = 1\%$$

$$\text{Max}[\| ei \|] = 1.1 \text{ mho}$$

$$\text{Max}[100\% \cdot \| \frac{ei}{yp} \|] = 1.8\%$$

$$tf = -0.7 \text{ min}$$

$$tT = 7 \text{ min}$$

$$q = 58.5 - (1.47) \cdot e^{-t}$$



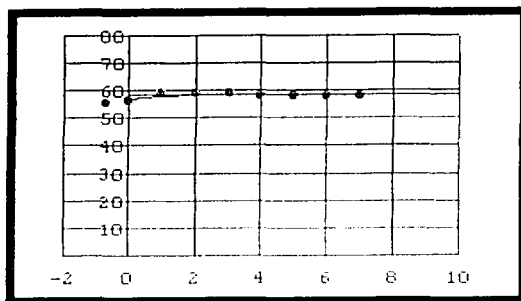


Fig. 8.09 Experimento 5 de conductividad.

Observaciones: Esta es la gráfica que presenta el comportamiento mas claro como exponencial asintótico. El error es bajo en el minuto 1, y casi nulo en el resto de los tiempos. El tiempo de 7 minutos fué suficiente para permitir la estabilidad de la conductividad.

Turbiedad (tu):

Tiempo t [min]	Turbiedad tu [ppm]	<i>Eap</i>	% <i>Eap</i>
0	1,500	-1,827	-133.8%
1	15,000	3,855	29.1%
2	17,000	2,979	22.5%
3	15,500	421	3.2%
4	15,500	32	0.2%
5	14,500	-1,112	-8.4%
6	13,000	-2,664	-20.1%
7	14,000	-1,684	-12.7%

$$yp = 13,250 \text{ ppm}$$

$$Eap = 1,815 \text{ ppm (este es el valor de las oscilaciones)}$$

$$\%Eap = 13.7\%$$

$$Max[|| ei ||] = 3,855 \text{ ppm}$$

$$Max[100\% \cdot || \frac{ei}{yp} ||] = 29.1\%$$

$$tf = 2.8 \text{ min}$$

$$tT = 7 \text{ min}$$

$$tu = 15695 - (12368) \cdot e^{-t}$$

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

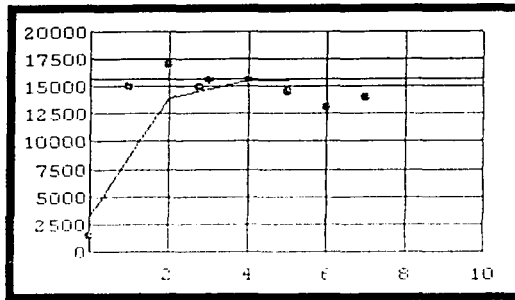


Fig. 8.10 Experimento 5 de turbiedad.

Observaciones: El comportamiento es exponencial asintótico. El error es muy alto al principio, y a partir del primer minuto comienza a decrecer. Se recomienda prolongar el tiempo para permitir la estabilidad de la turbiedad.

CONCLUSIONES DE LOS RESULTADOS:

En la siguiente tabla se resumen los resultados de los experimentos de conductividad "q":

Experimento:	tT [min] (duración del experimento)	t_f [min] (tiempo estabilizador)	E_{ap} [mho] (error total. abs. promedio)	$\%E_{ap}$ (error total. abs. Promedio %)
1	4	1.6	1.44	1.8%
2	5	1.6	2.1	3.6%
3	5	1	1.33	1.7%
4	4	1.2	1.4	1.8%
5	7	0.7	0.6	1%

En la siguiente tabla se resumen los resultados de los experimentos de turbiedad "tu":

Experimento:	tT [min] (duración del experimento)	t_f [min] (tiempo estabilizador)	E_{ap} [mho] (error total. abs. promedio) [ppm]	$\%E_{ap}$ (error total. abs. promedio %)
1	4.5	2.8	720	3.5%
2	2.3	3	4,412	28.1%
3	6	2.5	3,622	20.2%
4	4	2.7	2,178	15.9%
5	7	2.8	1,815	13.7%

En ambas variables empíricas (q y tu) se puede ver que:

TESIS CON
FALLA DE CALIEN

1) Mientras mas dura el proceso de lavado, las oscilaciones "%Eap" van disminuyendo, sin llegar a cero.

2) Durante el primer minuto de lavado, las oscilaciones son muy bajas. Esto es porque el detergente se encuentra en proceso de disolución en el agua; y por lo tanto, la suciedad apenas empieza a desprenderse.

De este punto se ve que el control, durante el **proceso de lavado**, debe aguardar al menos **dos minutos** para entonces comenzar a medir las oscilaciones, las cuales indican el grado de estabilidad a que se ha llegado en el proceso.

La conductividad (q):

Tiene errores "%Eap" que están entre 1% y 3.6%.

La turbiedad (tu):

Tiene errores "%Eap" que están entre 3.5% y 30%.

Por lo tanto, en la **etapa de lavado** hay dos posibilidades:

a) (para control sin retroalimentación) El tiempo debe ser de al menos 5 min de duración para permitir que la **turbiedad (tu)** se estabilice y las oscilaciones se reduzcan.

b) (para **control retroalimentado**, que es el objetivo del proyecto) Aguardar hasta que el error alcance un valor aceptable (5%, por ejemplo).

Estos resultados son de gran importancia para elaborar las **instrucciones del control** de la lavadora.

Cap. 9: SOLUCIÓN AL PROBLEMA PLANTEADO (ELABORACIÓN DE LAS INSTRUCCIONES DEL CONTROL).

El listado de instrucciones de control se ordenó en un **diagrama de flujo**.

Los cuatro **parámetros** (los asigna el usuario) son:

- 1) **Suciedad (s).**
- 2) **Cantidad de ropa (c).**
- 3) **Tipo de ropa (r1).**
- 4) **Color de ropa (r2).**

Las cuatro **variables físicas** (las calcula el programa mediante fórmulas expuestas en el capítulo del "proceso de lavado") son:

- 1) **Volumen de agua (v) [l=litros].**
- 2) **Temperatura (te), [°C=grados celsius].**
- 3) **Masa de detergente (m), [g=gramos].**
- 4) **Tiempo de lavado (tL), [min=minutos].**

Las dos **variables empíricas** (se cuantifican por medio de sensores) son:

- 1) **Conductividad (q) [mho=1/ohm].**
- 2) **Turbiedad (tu), [ppm=partes por millón].**

Descripción de los pasos del diagrama de flujo.

Paso #1: Es el inicio.

Paso #2: El usuario da valores a los cuatro **parámetros** (s, c, r1, r2).

Paso #3: El control calcula las cuatro **variables físicas** (v, te, m, tL).

Paso #4: El control ordena llenar la tina con un **volumen de agua "v"** a una **temperatura "te"**, y ordena verter el 75% de la **masa de detergente "m"** calculada (o sea, $0.75*m$).

Paso 5a: El control ordena agitar durante un **tiempo** de al menos 5 minutos.

Paso 5b: El control mide la **conductividad (q)**.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Paso #6: El control mide las fluctuaciones de la conductividad ($\text{Max}[|| q_i ||]$) para determinar si el detergente ya agotó su capacidad limpiadora. El valor de tales fluctuaciones se estableció de 1mho (valor mas chico obtenido en los experimentos, con el cual se puede considerar que la conductividad ya se estabilizó). Entonces el control decide:

+ Si las fluctuaciones de conductividad sí son inferiores a 1 mho, el paso siguiente es el #7.

+ Si las fluctuaciones de conductividad no son inferiores a 1 mho, los pasos siguientes son el #5a y el #5b.

Paso #7: El control mide la turbiedad (t_u) y decide:

+ Si la turbiedad es menor de 2,000 ppm, considerará que el agua está prácticamente limpia y continuará con el paso #18.

+ En caso contrario, pasará al paso #8.

Paso #8: El control mide la turbiedad (t_u) y decide:

+ Si la turbiedad es mayor de 25,000 ppm, considerará que el agua está excesivamente sucia y continuará con el paso #9.

+ En caso contrario, pasará al paso #10.

Paso #9: El control, al determinar que el agua está muy sucia ($t_u > 25,000$), ordena que una parte sea drenada al desagüe y luego repuesta de la llave. Tal volumen de agua " v_n " se determina mediante la siguiente fórmula lineal (que es una aportación del autor y está basada en la experiencia cualitativa de usuarios de lavadoras de ropa):

$$volumen = \left(\frac{(0.5) \cdot v}{30,000 - 25,000} \right) \cdot (t_u - 25,000)$$

$$v_n = \text{Min} \left[\frac{v}{2}, volumen \right]$$

9.01

Donde:

v_n = Volumen de agua desechado y luego renovado [l].

$volumen$ = Volumen preliminar calculado de agua [l].

v = Volumen de agua calculado [l].

t_u = Turbiedad medida [ppm].

30,000 = Turbiedad máxima posible [ppm].

25,000 = Turbiedad crítica [ppm].

De este modo, a lo mucho se drena la mitad del volumen de agua " v " contenido en la tina.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Paso #10: El control mide el valor de turbiedad y lo almacena en su memoria con el nombre de "tu0".

Paso #11: El control agrega 5 gramos de masa de detergente al agua de la tina.

Paso #12a: El control ordena agitar durante un tiempo de al menos 3 minutos.

Paso #12b: El control mide la conductividad (q).

Paso #13: El control mide las fluctuaciones de la conductividad ($\text{Max}[|q_i|]$) para determinar si el detergente ya agotó su capacidad limpiadora. El valor de tales fluctuaciones se estableció de 1mho. Entonces el control decide:

+ Si las fluctuaciones de conductividad sí son inferiores a 1 mho, el paso siguiente es el #14.

+ Si las fluctuaciones de conductividad no son inferiores a 1 mho, los pasos siguientes son el #12a y el #12b.

Paso #14: El control mide el valor de turbiedad y lo almacena en su memoria con el nombre de "tu1".

Paso #15: El control compara los valores de turbiedad "tu0" y "tu1" y decide:

#16. + Si la turbiedad sí aumentó ($\text{tu1} - \text{tu0} > 2,000$), entonces el paso siguiente es el

#17. + Si la turbiedad no aumentó ($\text{tu1} - \text{tu0} < 2,000$), entonces el paso siguiente es el

En este paso, el valor de 2000 ppm se tomó como valor límite para considerar que la turbiedad se ha mantenido estable. Este valor corresponde aproximadamente al valor de las fluctuaciones mas pequeñas de turbiedad. La estabilidad en este paso significa que el poco detergente que se agregó ya no desprendió mas suciedad, pues ya ha sido desprendida toda.

Paso #16: El control compara la masa total de detergente vertida en la tina, con la masa crítica de detergente ($1.15 \cdot m$), la cual es 15% mas alta que la masa de detergente que calculó en el paso #3, y decide:

+ Si la la masa total de detergente vertida sí es mayor a la masa crítica de detergente, entonces el paso siguiente es el #17.

+ Si la la masa total de detergente vertida no es mayor a la masa crítica de detergente, entonces el paso siguiente es el #11.

Este paso sirve para limitar, por seguridad, el consumo total de detergente durante todo el proceso. Este consumo, en el peor de los casos, es ligeramente mayor (en 15%) a la masa de detergente "m" calculada en el paso #3..

Paso #17: El control ordena drenar toda el agua de la tina hacia el desagüe.

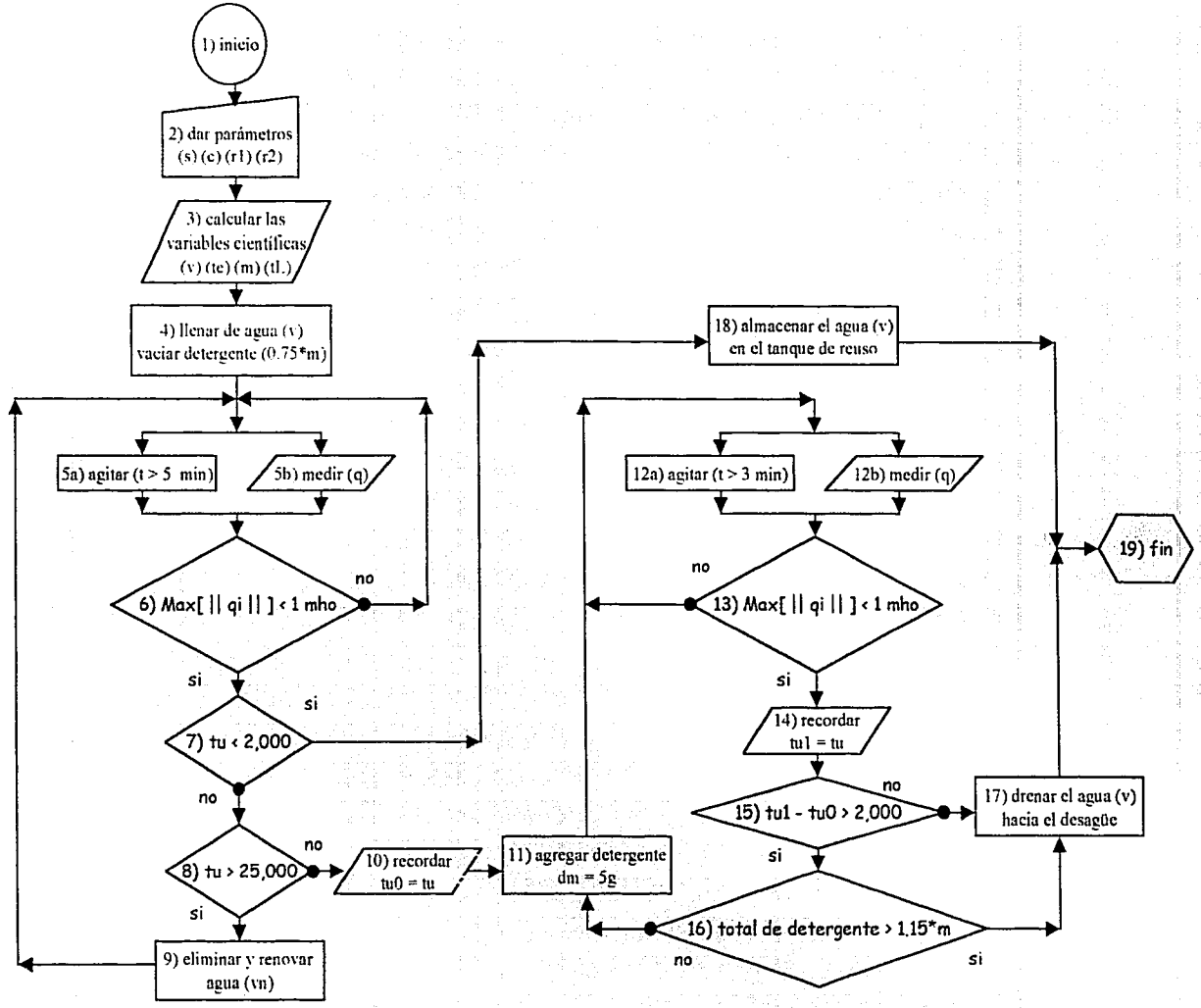
Paso #18: El control almacena el agua de la tina en el tanque de reuso.

Este paso permite ahorrar agua e el detergente que lava disuelto, cuando la turbiedad "tu" es baja ($tu < 2,000$).

Paso #19: Fin del proceso de lavado.

TESIS CON
FALLA DE CUBIEN

Fig. 9.01 Diagrama de flujo del listado de instrucciones.



Cap. 10: CONCLUSIONES.

El objetivo (modelar matemáticamente el control durante el ciclo de lavado, para lo cual es necesario elaborar las instrucciones de control) sí se cumplió satisfactoriamente, tal como se comprobó en las simulaciones.

En un principio se consideró que el control debería ser resuelto mediante **Lógica Difusa (Fuzzy Logic)**, pero no fue así, pues este tipo de control se emplea cuando las reglas físicas de un proceso son, o muy complicadas para ser resueltas y manejadas, o son desconocidas. Y como se puede ver en el capítulo de "proceso de lavado", tales reglas sí existen y no son muy complicadas.

Una vez resuelto el problema de elaborar el listado de intrucciones del control, se realizaron diversas pruebas con el simulador y los resultados siempre fueron satisfactorios. Las puebas consistieron en dar muy diversos valores a los parámetros de entrada (s , c , $r1$, $r2$) y siempre se obtuvieron buenos resultados de remoción de suciedad.

En este trabajo de investigación no se abordó cómo debe ser la lógica que controle al llenado de la tina con agua a la temperatura deseada (la temperatura se calcula mediante fórmula, como ya se vió anteriormente), pues tal problema ya fue resuelto con anterioridad a esta tesis [1].

En cuanto al comportamiento de las variables empíricas se concluye que:

1) Mientras mas dura el proceso de lavado, las oscilaciones "%Eap" van disminuyendo, sin llegar a cero.

2) Durante el primer minuto de lavado, las oscilaciones son muy bajas. Esto es porque el detergente se encuentra en proceso de disolución en el agua; y por lo tanto, la suciedad apenas empieza a desprenderse. Después, las oscilaciones aumentan mucho y poco a poco empiezan a reducirse, lo cual es un indicador de que el proceso se está estabilizando.

De este punto se ve que el control, durante el proceso de lavado, debe aguardar al menos dos minutos para entonces comenzar a medir las oscilaciones.

La conductividad (q) tiene errores "%Eap" que están entre 1% y 3.6%. En el las intrucciones del control se consideró que las oscilaciones " $\text{Max}[|| q_i ||]$ " deben ser menores a $Eap = 1 \text{ mho}$ para considerar que la variable se ha estabilizado.

La turbiedad (tu) tiene errores "%Eap" que están entre 3.5% y 30%.

En la etapa de lavado se vió que existen dos posibilidades:

a) (Para control sin retroalimentación) el tiempo debe ser de al menos 5 min de duración para permitir que la turbiedad (t_u) se estabilice y las oscilaciones se reduzcan.

b) (Para control retroalimentado, que es el objetivo del proyecto) aguardar hasta que el error alcance un valor aceptable "Eap".

El listado de instrucciones de control, aplicado al banco experimental inteligente, se espera que arroje resultados satisfactorios. Es probable que existan algunos ajustes en los valores asignados dentro del diagrama de flujo, pero nada de gravedad, pues la investigación está apoyada, en gran medida, en resultados de investigaciones previas realizadas en el CDM (Centro de Diseño y Manufactura) de la UNAM [1].

BIBLIOGRAFÍA.

1) Vilém Novák

Fuzzy Sets & their applications.

Adam Hilger, Bristol & Philadelphia 1989.

Clasificación (Universidad Iberoamericana): QA 248 / N68 / 1989.

2) B. Martín del Brío, A. Sanz Molina.

Redes Neuronales y Sistemas Borrosos.

Textos Universitarios.

Clasificación (Facultad de Ingeniería de la UNAM): QA 76 / 87 / M33 / 1997.

3) Gieck, Kurt.

Manual de fórmulas técnicas.

Representaciones y servicios de Ingeniería, S. A.. México, 1981.

18a edición.

4) Murray R. Spiegel.

Estadística.

Mc. Graw Hill, Schaum.

México, 1970.

REFERENCIAS.

[1] Minassian, Rafael.

Desarrollo de sistemas innovadores para lavadoras de ropa (control electrónico y reuso de agua).

UNAM, Facultad de Ingeniería.

Octubre 1998.

[2] Moore, John; Davies, William; Collins, Ronald.

Química.

Mc. Graw Hill.

1981.

ANEXO

12.1) ANEXO 1: Especificaciones del programa de computación.

El programa de simulación fué realizado en MATHEMATICA 2.2 y presenta las siguientes especificaciones técnicas:

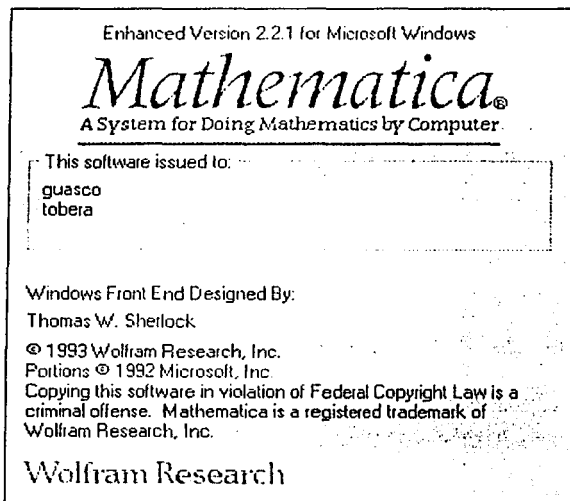


Fig. 12.01 especificaciones del mathematica 2.2

TESIS CON
FALLA DE CUBIEN

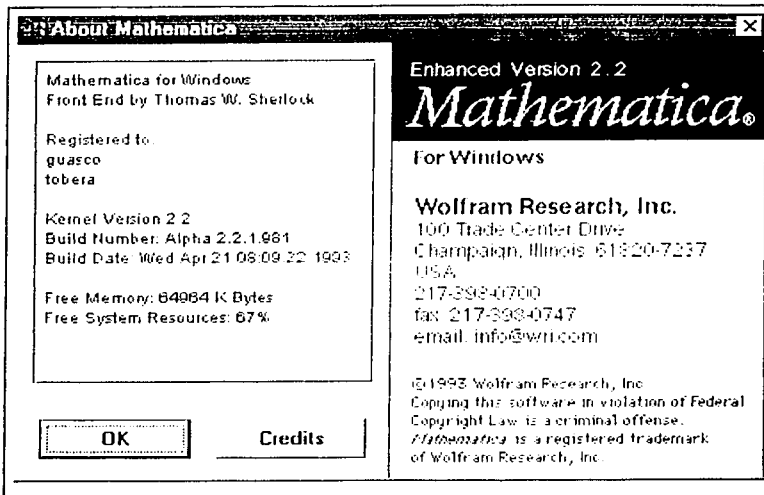


Fig. 12.02 especificaciones del mathematica 2.2

La ventana del programa es la siguiente (la imagen abarca solo una pequeña porción del listado de instrucciones):

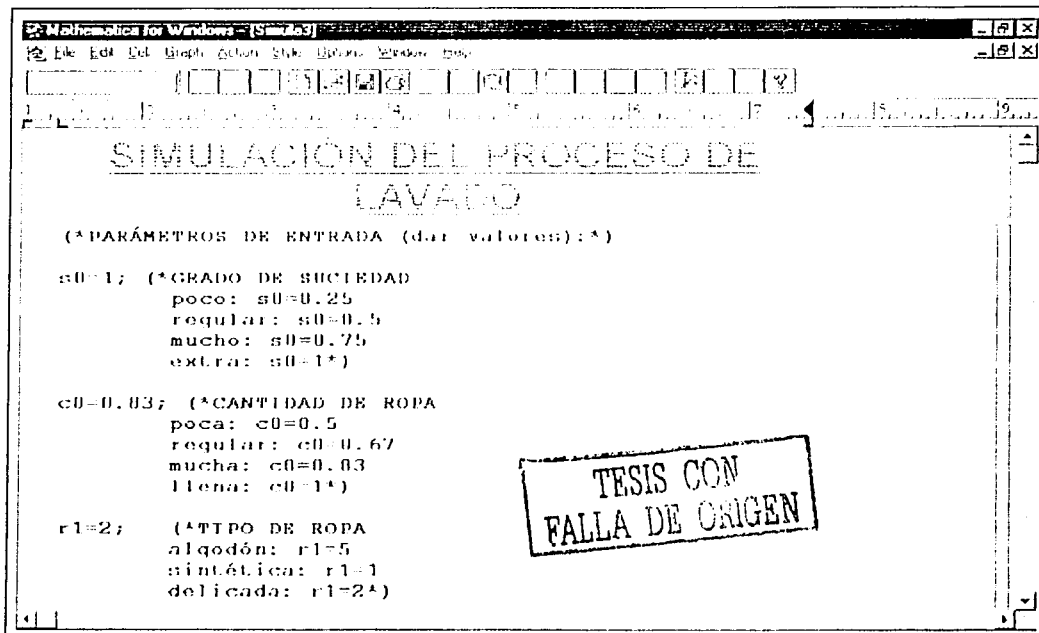


Fig. 12.03 ventana del mathematica 2.2

12.2) ANEXO 2: Simulación computacional del proceso de lavado y del control.

Para la simulación se dieron estos datos:

s0 = grado de suciedad (estimado) = 1

c0 = cantidad de ropa = 0.83 de la capacidad total

r1 = tipo de ropa = 2

r2 = color de ropa = 0

El programa está dividido en celdas, y cada una tiene su corrida.

El programa es el siguiente:

SIMULACIÓN DEL PROCESO DE LAVADO

(*PARÁMETROS DE ENTRADA (dar valores):*)

s0=1; (*GRADO DE SUCIEDAD

poco: s0=0.25

regular: s0=0.5

mucho: s0=0.75

extra: s0=1*)

c0=0.83; (*CANTIDAD DE ROPA

poca: c0=0.5

regular: c0=0.67

mucha: c0=0.83

llena: c0=1*)

r1=2; (*TIPO DE ROPA

algodón: r1=5

sintética: r1=1

delicada: r1=2*)

r2=0; (*COLOR DE ROPA

blanca: r2=1;

coloreada: r2=0*)

(*algodón coloreado (ac)

algodón blanco (ab)

sintética coloreada (sc)

sintética blanca (sb)

delicada coloreada (dc)

delicada blanca (db)*)

Print["s0 = grado de suciedad (estimado) = ",s0];

Print["c0 = cantidad de ropa = ",c0,
" de la capacidad total"];

Print["r1 = tipo de ropa = ",r1];

Print["r2 = color de ropa = ",r2];

s0 = grado de suciedad (estimado) = 1

c0 = cantidad de ropa = 0.83 de la capacidad total

r1 = tipo de ropa = 2

r2 = color de ropa = 0

```
(*VARIABLES DE LAVADO*)  
vmax=60; (*volumen máximo de agua*)  
  
    (*cantidad de agua:*)  
v0=1.5*Min[40,c0*(17-r1)/0.3];  
  
    (*temperatura de lavado:*)  
te0=Max[20,28*r2+7*(s0+r1)-10.5];  
  
    (*cantidad de detergente:*)  
m0=(v0/1.5)*(0.534*s0-0.0096*te0+2.69);  
  
    (*tiempo de prelavado:*)  
x0=Max[20,20*s0*r1];  
  
    (*tiempo de lavado:*)  
x00=Max[3,2*(s0+0.5)*(c0+1)*Abs[r1-2.75]];  
  
    (*tiempo de enjuague:*)  
x000=Max[2,2*(s0+0.3)*Abs[r1-3]];  
  
    (*tiempo de exprimido:*)  
x0000=Max[2,3*(c0+0.16)*Abs[Abs[r1-1.5]-1.7]];  
  
    (*frecuencia alta:*)  
fa=816*(s0+5)*Abs[r1-2.8]/(v0/1.5+120);  
  
    (*frecuencia baja:*)  
fb=8.64*fa;  
  
    (*frecuencia de exprimido:*)  
fe=400+100*Abs[r1-1.4];  
  
    (*torca relativa (de agitación):*)  
torca=Abs[r1-2.8]/0.022;  
  
Print["v0 = cantidad de agua calculada = ",v0,  
      " litros"];  
Print["te0 = temperatura de lavado calculada = ",  
      te0," gC"];  
Print["m0 = cantidad de detergente calculada = ",  
      m0," gramos"];  
Print["x0 = tiempo de prelavado calculado = ",x0,  
      " minutos"];  
Print["x00 = tiempo de lavado calculado = ",x00,  
      " minutos"];
```



```
Print["x000 = tiempo de enjuague calculado = ",x000,
      " minutos"];
Print["x0000 = tiempo de exprimido calculado = "
      ,x0000," minutos"];

Print["fa = frecuencia alta = ",fa," rpm"];
Print["fb = frecuencia baja = ",fb," rpm"];
Print["fe = frecuencia de exprimido = ",fe," rpm"];
Print["torca = relativa de agitación = ",torca,
      " %"];

(*IMAGEN DE LA LAVADORA*)

col=1; (*hue*)
sat=0/3; (*Saturación*)
bri=1; (*brillo*)

Print["TURBIEDAD DEL AGUA PURA:"];

p1={0,0};
p2={0,5};
p3={3,5};
p4={3,0};

Lineas={Line[{p1,p2}],Line[{p2,p3}],
        Line[{p3,p4}],Line[{p4,p1}]};

rayos=Graphics[{AbsoluteThickness[2],Lineas}];

rectangulo=Rectangle[p1,p3];
(*Rectangle[{un vertice},{vertice opuesto}]*)

agua=Graphics[{Hue[col,sat,bri],rectangulo}];

Show[agua,rayos,
      Axes->True,PlotRange->{{-1,4},{-1,6}}];

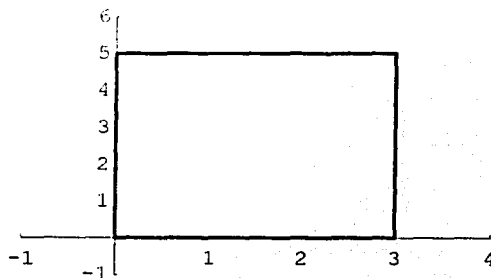
(*CONTADORES:*)

v=0; (*agua*)
m=0; (*detergente*)
s=0; (*suciedad*)

al=0; (*prelavado*)
a2=0; (*lavado*)

v0 = cantidad de agua calculada = 60. litros
te0 = temperatura de lavado calculada = 20 gC
m0 = cantidad de detergente calculada = 121.28 gramos
```

x0 = tiempo de prelavado calculado = 40 minutos
x00 = tiempo de lavado calculado = 4.1175 minutos
x000 = tiempo de enjuague calculado = 2.6 minutos
x0000 = tiempo de exprimido calculado = 3.564 minutos
fa = frecuencia alta = 24.48 rpm
fb = frecuencia baja = 211.507 rpm
fe = frecuencia de exprimido = 460. rpm
torca = relativa de agitacion = 36.3636
TURBIEDAD DEL AGUA PURA:



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

```
(*ENTRADA DE INFORMACION (dar valores*))

q0=27; (*conductividad del agua*)

Print["s0 = suciedad estimada = ",s0];

sf=0.98; (*suciedad exacta y desconocida de la carga
0<=sf<=3*)

Print["sf = suciedad desconocida de la carga = ",
sf];

sss=0.9; (*suciedad crítica para renovar agua*)

Print["sss = suciedad crítica = ",sss];

fraccion=0.75; (*fracción de detergente que
inicialmente será vaciado*)

m1=fraccion*m0; (*detergente inicial que será
vaciado*)

If[m1<46,m1=46];
If[m1>121,m1=121];

Print["m1 = detergente inicial que será vaciado = "
,m1];

mf=(v0/1.5)*(0.534*sf-0.0096*te0+2.69); (*cantidad
óptima y desconocida de detergente*)

Print["mf = cantidad óptima y desconocida de
detergente = ",mf," gramos"];

dm=5; (*adiciones de detergente*)

Print["dm = adiciones de detergente = ",dm," gramos"];

s0 = suciedad estimada = 1
sf = suciedad desconocida de la carga = 0.98
sss = suciedad crítica = 0.9
m1 = detergente inicial que será vaciado = 90.96
mf = cantidad óptima y desconocida de detergente = 120.853 gramos
dm = adiciones de detergente = 5 gramos
```

1a ETAPA: PRELAVADO

```
b1=a1+1;
a1=b1;

Print["PRELAVADO # ",a1];

Print["v0 = cantidad de agua calculada = ",v0,
      " litros"];

vx=v0+v;
v=vx;

Print["v = agua total empleada = ",v," litros"];

mx=m1+m;
m=mx;

Print["m0 = detergente teórico = ",m0," gramos"];
Print["m1 = detergente vaciado = ",m1," gramos"];
Print["mf = cantidad óptima y desconocida de
      detergente = ",mf," gramos"];
Print["m = detergente total vaciado = ",m," gramos"];

s1=s0*m1/m0; (*suciedad desprendida*)
            (*s1/s0=m1/m0*)

If[s+s1>sf,s1=sf-s];

sx=s1+s;
s=sx;

Print["s0 = suciedad estimada = ",s0];
Print["s1 = suciedad desprendida = ",s1];
Print["sf = suciedad desconocida de la carga = ",sf];
Print["s = suciedad total desprendida = ",s];

If[s1>sss,j=siRENOVO,j=noRENOVO];
Print[j];

If[s1>sss,vn=(s1-sss)*vmax,vn=0];
Print["vn = agua desechada y renovada = ",vn];

vx=vn+v;
v=vx;

Print["v = agua total empleada = ",v];

If[s1>sss,mn=m1*vn/v0];
If[s1>sss,mw=m1-mn];
```

```
b2=a2+1;
a2=b2;

Print["LAVADO # ",a2];

Print["dm = cantidad de detergente
      en cada adición = ",dm," gramos"];

my=dm+m;
m=my;

If[a2==1,m2=m1];
mz=dm+m2;
m2=mz;

Print["m0 = detergente teórico = ",m0," gramos"];
Print["m2 = detergente vaciado = ",m2," gramos"];
Print["mf = cantidad óptima y desconocida de
      detergente = ",mf," gramos"];
Print["m = detergente total vaciado = ",m," gramos"];

If[a2==1,s2=s1];
sinicial=s2;

ds=s0*dm/m0; (*suciedad desprendida*)
            (*ds/s0=dm/m0*)

If[s+ds>sf,ds=sf-s];

sy=ds+s;
s=sy;

sz=ds+s2;
s2=sz;

sfinal=s2;

delta=sfinal-sinicial;
Print["delta = ds/dm = ",delta];

If[delta==0,j=ENJUAGAR,j=LAVAR];
Print[j];

Print["s0 = suciedad estimada = ",s0];
Print["ds = suciedad desprendida = ",ds];
Print["sf = suciedad desconocida de la carga = ",sf];
Print["s = suciedad total desprendida = ",s];
```

```
If[(s2>sss) &&(delta>0), j=siRENOVO, j=noRENOVO];
Print[j];

If[(s2>sss) &&(delta>0), vn=(s2-sss)*vmax, vn=0];
Print["vn = agua desechada y renovada = ", vn];

vy=vn+v;
v=vy;

Print["v = agua total empleada = ", v];

If[(s2>sss) &&(delta>0), mn=m2*vn/v0];
If[(s2>sss) &&(delta>0), mw=m2-mn];
If[(s2>sss) &&(delta>0), m2=mw];
Print["m2 = detergente presente = ", m2];

If[(s2>sss) &&(delta>0), s2=sss];
Print["s2 = suciedad presente = ", s2];

(*IMAGEN DE LA LAVADORA*)

col=1; (*hue*)
sat=s/3; (*Saturación*)
bri=1; (*brillo*)

Print["TURBIEDAD ACTUAL:"];

rectangulo=Rectangle[p1,p3];
(*Rectangle[{un vertice},{vertice opuesto}]*)

agua=Graphics[{Hue[col,sat,bri],rectangulo}];

Show[agua,rayos,
      Axes->True,PlotRange->{{-1,4},{-1,6}}];

(*IMAGEN DE LA LAVADORA*)

col=1; (*hue*)
sat=sf/3; (*Saturación*)
bri=1; (*brillo*)

Print["TURBIEDAD MÁXIMA QUE SE PUEDE LOGRAR:"];

rectangulo=Rectangle[p1,p3];
(*Rectangle[{un vertice},{vertice opuesto}]*)

agua=Graphics[{Hue[col,sat,bri],rectangulo}];
```

```
b1=a1+1;
a1=b1;

Print["PRELAVADO # ",a1];

Print["v0 = cantidad de agua calculada = ",v0,
      " litros"];

vx=v0+v;
v=vx;

Print["v = agua total empleada = ",v," litros"];

mx=m1+m;
m=mx;

Print["m0 = detergente teórico = ",m0," gramos"];
Print["m1 = detergente vaciado = ",m1," gramos"];
Print["mf = cantidad óptima y desconocida de
      detergente = ",mf," gramos"];
Print["m = detergente total vaciado = ",m," gramos"];

s1=s0*m1/m0; (*suciedad desprendida*)
            (*s1/s0=m1/m0*)

If[s+s1>sf,s1=sf-s];

sx=s1+s;
s=sx;

Print["s0 = suciedad estimada = ",s0];
Print["s1 = suciedad desprendida = ",s1];
Print["sf = suciedad desconocida de la carga = ",sf];
Print["s = suciedad total desprendida = ",s];

If[s1>sss,j=siRENOVO,j=noRENOVO];
Print[j];

If[s1>sss,vn=(s1-sss)*vmax,vn=0];
Print["vn = agua desechada y renovada = ",vn];

vx=vn+v;
v=vx;

Print["v = agua total empleada = ",v];

If[s1>sss,mn=m1*vn/v0];
If[s1>sss,mw=m1-mn];
```

**FALTA
PAGINA**

7


```
b2=a2+1;
a2=b2;

Print["LAVADO # ",a2];

Print["dm = cantidad de detergente
      en cada adición = ",dm," gramos"];

my=dm+m;
m=my;

If[a2==1,m2=m1];
mz=dm+m2;
m2=mz;

Print["m0 = detergente teórico = ",m0," gramos"];
Print["m2 = detergente vaciado = ",m2," gramos"];
Print["mf = cantidad óptima y desconocida de
      detergente = ",mf," gramos"];
Print["m = detergente total vaciado = ",m," gramos"];

If[a2==1,s2=s1];
sinicial=s2;

ds=s0*dm/m0; (*suciedad desprendida*)
            (*ds/s0=dm/m0*)

If[s+ds>sf,ds=sf-s];

sy=ds+s;
s=sy;

sz=ds+s2;
s2=sz;

sfinal=s2;

delta=sfinal-sinicial;
Print["delta = ds/dm = ",delta];

If[delta==0,j=ENJUAGAR,j=LAVAR];
Print[j];

Print["s0 = suciedad estimada = ",s0];
Print["ds = suciedad desprendida = ",ds];
Print["sf = suciedad desconocida de la carga = ",sf];
Print["s = suciedad total desprendida = ",s];
```

```
If[(s2>sss) &&(delta>0), j=siRENOVO, j=noRENOVO];
Print[j];

If[(s2>sss) &&(delta>0), vn=(s2-sss)*vmax, vn=0];
Print["vn = agua desechada y renovada = ", vn];

vy=vn+v;
v=vy;

Print["v = agua total empleada = ", v];

If[(s2>sss) &&(delta>0), mn=m2*vn/v0];
If[(s2>sss) &&(delta>0), mw=m2-mn];
If[(s2>sss) &&(delta>0), m2=mw];
Print["m2 = detergente presente = ", m2];

If[(s2>sss) &&(delta>0), s2=sss];
Print["s2 = suciedad presente = ", s2];

(*IMAGEN DE LA LAVADORA*)

col=1; (*hue*)
sat=s/3; (*Saturación*)
bri=1; (*brillo*)

Print["TURBIEDAD ACTUAL:"];

rectangulo=Rectangle[p1, p3];
(*Rectangle[{un vertice}, {vertice opuesto}]*)

agua=Graphics[{Hue[col, sat, bri], rectangulo}];

Show[agua, rayos,
      Axes->True, PlotRange->{{-1, 4}, {-1, 6}}];

(*IMAGEN DE LA LAVADORA*)

col=1; (*hue*)
sat=sf/3; (*Saturación*)
bri=1; (*brillo*)

Print["TURBIEDAD MÁXIMA QUE SE PUEDE LOGRAR:"];

rectangulo=Rectangle[p1, p3];
(*Rectangle[{un vertice}, {vertice opuesto}]*)

agua=Graphics[{Hue[col, sat, bri], rectangulo}];
```

```
Show[agua, rayos,
      Axes->True, PlotRange->{{-1, 4}, {-1, 6}}];
```

```
LAVADO # 7
dm = cantidad de detergente en cada adición = 5 gramos
m0 = detergente teorico = 121.28 gramos
m2 = detergente vaciado = 116.859 gramos
mf = cantidad óptima y desconocida de detergente = 120.853 gramos
m = detergente total vaciado = 125.96 gramos
delta = ds/dm = 0.
ENJUAGAR
s0 = suciedad estimada = 1
ds = suciedad desprendida = 0.
sf = suciedad desconocida de la carga = 0.98
s = suciedad total desprendida = 0.98
noRENOVO
vn = agua desechada y renovada = 0
v = agua total empleada = 64.8
m2 = detergente presente = 116.859
s2 = suciedad presente = 0.9
```

3a ETAPA: ENJUAGUE

```
k1=1;
k2=0.2;

q=k1*(m2-s0*m2/m0+q0)/(m2+q0); (*conductividad*)
(*s2/s0=m2/m0*)

volumen=k2*q; (*cantidad de agua de enjuague*)

v3=v+volumen;
v=v3;

Print["v0 = cantidad de agua calculada = ",v0,
      " litros"];
Print["volumen = agua de enjuague = ",volumen,
      " litros"];
Print["v = agua total empleada = ",v," litros"];

v0 = cantidad de agua calculada = 60. litros
volumen = agua de enjuague = 5.64456 litros
v = agua total empleada = 70.4446 litros
```

```
(*CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA (dar valores*))

precio=0.50; (*precio del kilo*watt*hora*)

(*potencias [watts] de los equipos:*)

pv=25; (*bobina de electroválvula*)
pb=(1/4)*746; (*bomba*)
pe=(1/4)*746*torca; (*electromotor*)

(*tiempos [horas] de operación:*)

z1=(10/60)*v/vmax; (*llenado de la lavadora*)
z2=(5/60)*v/vmax; (*vaciado de la lavadora*)
z3=a1*x0; (*prelavado*)
z4=x00+a2*(3/60); (*lavado*)
    (*cada adición "dm" requiere 3 minutos*)
z5=x000; (*ejuague*)
z6=x0000; (*centrifugado*)

(*tiempos [horas] de operación de los equipos:*)

zv=z1; (*bobina de electroválvula*)
zb=z2; (*bomba*)
ze=x00+z4+z5+z6; (*electromotor*)
    (*durante el prelavado, el motor trabaja
    intermitente, así que se estimó un tiempo
    eficaz "x00", como lavado sin adiciones*)

(*energías [watts*hora] de los equipos:*)

ev=pv*zv;
eb=pb*zb;
ee=pe*ze;

costo=precio*(ev+eb+ee)/1000;

Print["costo de operación = $",costo];
costo de operacion = $50.0241
```

```
Clear[x,y];
```

```
abscisa=0.05*sf; (*abscisa = suciedad que
desprendería el agua sola (sin detergente)
0<=abscisa<1*)
```

```
a0=fraccion*s0; (*a0 = asíntota horizontal*)
```

```
ae=abscisa-a0;
```

```
Print["a0 = asíntota horizontal = ",a0];
```

```
Print["ae = ",ae];
```

```
Print["abscisa = a0 + ae = ",abscisa];
```

```
y=a0+ae*Exp[-x];
```

```
(*"x" es el tiempo y "y" es la suciedad*)
```

```
Print["y = ",y//N];
```

```
a0 = asíntota horizontal = 0.75
```

```
ae = -0.701
```

```
abscisa = a0 + ae = 0.049
```

```
0.701
```

```
y = 0.75 - -----
```

```
1. x
```

```
2.71828
```

TESIS CON
FALLA EN EL PROCESO

```
cc=0.9; (*cercania de la curva a la asintota*)
```

```
dd=1-cc; (*lejania de la curva a la asintota*)
```

```
(*si ae>0: exponencial sobre la asintota*)
```

```
(*si ae<0: exponencial bajo la asintota*)
```

```
signo=ae/Sqrt[ae^2];
```

```
y1=a0*(1+signo*dd);
```

```
Print["y1 = ",y1//N];
```

```
ly=Abs[(y1-a0)/ae];
```

```
x1=-Log[ly];
```

```
Print["x1 = ",x1//N];
```

```
y1=a0+ae*Exp[-x1];
```

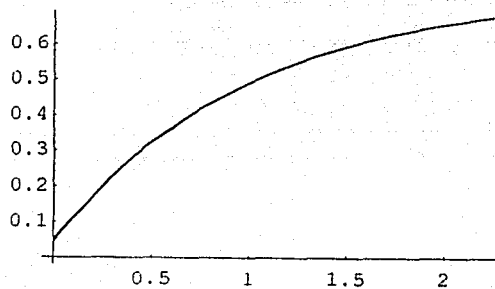
```
Print["y1 = ",y1//N];
```

```
Plot[y,{x,0,x1}];
```

```
y1 = 0.675
```

```
x1 = 2.23502
```

```
y1 = 0.675
```

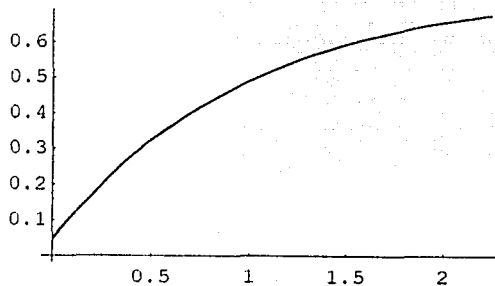


TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

```
cc=0.9; (*cercanía de la curva a la asíntota*)
dd=1-cc; (*lejanía de la curva a la asíntota*)

(*si ae>0: exponencial sobre la asíntota*)
(*si ae<0: exponencial bajo la asíntota*)

signo=ae/Sqrt[ae^2];
y1=a0*(1+signo*dd);
Print["y1 = ",y1//N];
  ly=Abs[(y1-a0)/ae];
x1=-Log[ly];
Print["x1 = ",x1//N];
y1=a0+ae*Exp[-x1];
Print["y1 = ",y1//N];
Plot[y,{x,0,x1}];
y1 = 0.675
x1 = 2.23502
y1 = 0.675
```



TESIS COM
FALLA LE ORIGEN

```

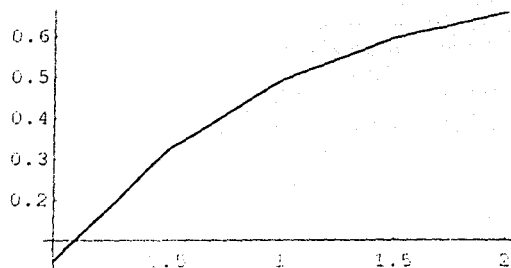
i=0.5; (*intervalo para "x"*)
expo=Table[{x,y},{x,0,x1,i}];
expo//TableForm//N
exponencial=ListPlot[expo,PlotJoined->True];

```

```

0      0.049
0.5    0.324622
1.     0.492117
1.5    0.593580
2.     0.65513

```



```

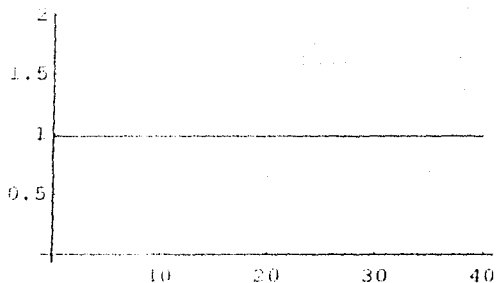
y=sf;
asin=Table[{x,y},{x,0,x0,x0}];
asin//TableForm//N
asintota=ListPlot[asin,PlotJoined->True];

```

```

0      0.9e
40.    0.9e

```



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN


```

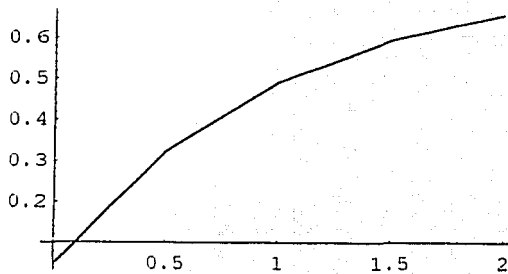
i=0.5; (*intervalo para "x"*)
expo=Table[{x,y},{x,0,x1,i}];
expo//TableForm//N
exponencial=ListPlot[expo,PlotJoined->True];

```

```

0      0.049
0.5    0.324822
1.     0.492117
1.5    0.593586
2.     0.65513

```



```
y=sf;
```

```

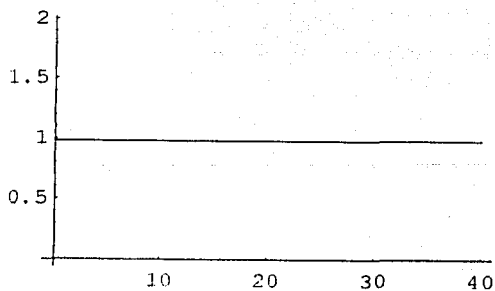
asin=Table[{x,y},{x,0,x0,x0}];
asin//TableForm//N
asintota=ListPlot[asin,PlotJoined->True];

```

```

0      0.98
40.    0.98

```

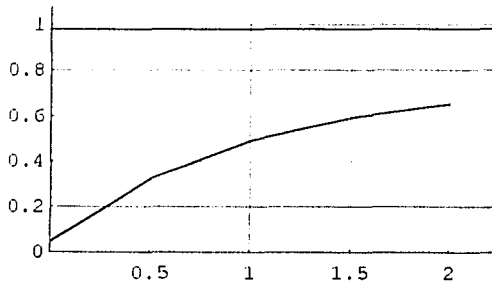


TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

```
Print["gráfica que describe al PRELAVADO # 1"];
```

```
Show[exponencial,asintota,  
      Axes->True,  
      GridLines->Automatic,  
      PlotRange->{{0,x1},{0,sf+0.1}}];
```

gráfica que describe al PRELAVADO # 1



TRISIS CON
FALLA EN LA CALIFICACION

```
Print["s0 = suciedad estimada = ",s0];
Print["s1 = suciedad desprendida = ",s1];
Print["sf = suciedad desconocida de la carga = ",sf];
Print["s = suciedad total desprendida = ",s];
```

```
Print[j];
```

```
(*IMAGEN DE LA LAVADORA*)
```

```
col=1; (*hue*)
sat=abscisa/3; (*Saturación*)
bri=1; (*brillo*)
```

```
Print["TURBIEDAD DEBIDA A LA ACCIÓN DEL AGUA
      SIN DETEREGENTE:"];

```

```
rectangulo=Rectangle[p1,p3];
(*Rectangle[{un vertice},{vertice opuesto}]*)
```

```
agua=Graphics[{Hue[col,sat,bri],rectangulo}];
```

```
Show[agua,rayos,
      Axes->True,PlotRange->{{-1,4},{-1,6}}];
```

```
(*IMAGEN DE LA LAVADORA*)
```

```
col=1; (*hue*)
sat=s1/3; (*Saturación*)
bri=1; (*brillo*)
```

```
Print["TURBIEDAD AL FINAL DEL PRELAVADO:"];

```

```
rectangulo=Rectangle[p1,p3];
(*Rectangle[{un vertice},{vertice opuesto}]*)
```

```
agua=Graphics[{Hue[col,sat,bri],rectangulo}];
```

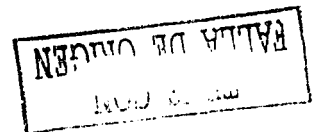
```
Show[agua,rayos,
      Axes->True,PlotRange->{{-1,4},{-1,6}}];
```

```
(*IMAGEN DE LA LAVADORA*)
```

```
col=1; (*hue*)
sat=sf/3; (*Saturación*)
bri=1; (*brillo*)
```

```
Print["TURBIEDAD MÁXIMA QUE SE PUEDE LOGRAR:"];

```



```

rectangulo=Rectangle[p1,p3];
(*Rectangle[{un vertice},{vertice opuesto}]*)

agua=Graphics[{Hue[col,sat,bri],rectangulo}];

Show[agua,rayos,
      Axes->True,PlotRange->{{-1,4},{-1,6}}];

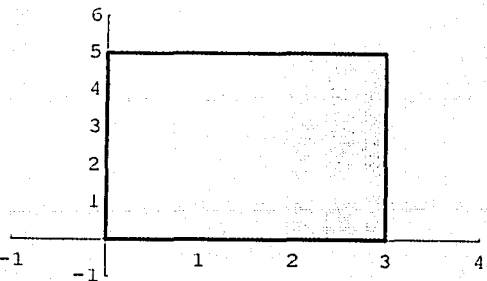
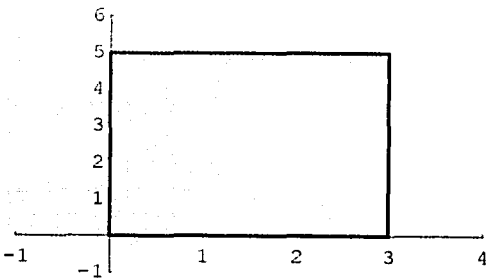
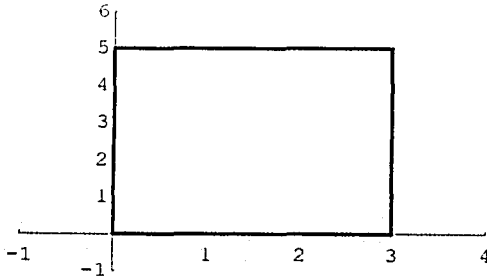
```

```

s0 = suciedad estimada = 1
s1 = suciedad desprendida = 0.75
sf = suciedad desconocida de la carga = 0.98
s = suciedad total desprendida = 0.75

```

LAVAR
 TURBIEDAD DEBIDA A LA ACCIÓN DEL AGUA SIN DETEREGENTE:
 TURBIEDAD AL FINAL DEL PRELAVADO:
 TURBIEDAD MAXIMA QUE SE PUEDE LOGRAR:



FALTA DE ORIGEN
 PRECIO POR