BIBLIOTECA VIRTUAL
MIGUEL DE CERVANTES

Universidad Politécnica de Madrid

Estudio de los fenómenos de transporte en la reacción de tostación del Cinabrio en un reactor de lecho fluidizado

Carlos de la Cruz Gómez

Tesis de Doctorado

Facultad: Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales

Director: Dr. Francisco Javier Quintana Martin

1985

T E S I S

ESTUDIO DE LOS FENÓMENOS DE TRANSPORTE EN LA REACCIÓN DE TOSTACIÓN DEL CINABRIO EN UN REACTOR DE LECHO FLUIDIZADO

por

Carlos DE LA CRUZ GÓMEZ
Ingeniero Industrial por la E. T. S. de I. I. de Madrid

presentada en la

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES
de la
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

para la obtención del

Grado de Doctor Ingeniero Industrial

Madrid, Julio de 1985

TESIS DOCTORAL

ESTUDIO DE LOS FENÓMENOS DE TRANSPORTE EN LA REACCIÓN DE TOSTACIÓN DEL CINABRIO EN UN REACTOR DE LECHO FLUIDIZADO.

Por. D. Carlos de la Cruz Gómez

Director de la Tesis: D. Francisco Javier Quintana Martín

TRIBUNAL CALIFICADOR

Presidente: D. Francisco Vighi Arroyo

Vocales: D. Pedro Cobo Velasco

D. Carlos Ranninger Rodríguez

D. Mariano Rodríguez-Avial Llardent

D. Antinio Vizan Idoipe

Vocales Suplentes: D. Rafael Gamboa Atienza

D. Manuel López Aparicio

Madrid, de Septiembre de 1985

PLANTEAMIENTO Y RESUMEN DE LA TESIS

Siendo el mercurio uno de los siete metales conocidos desde la más remota antigüedad, su metalurgia es una de las menos estudiadas, quizá por ser una de las más simples desde el punto de vista de proceso, pues basta tostar la mena, a temperaturas relativamente bajas, con lo que el sulfuro se descompone, el azufre forma dióxido de azufre y el mercurio queda libre en estado volátil.

Desde 1955 se viene utilizando el horno de soleras múltiples que es el tipo de horno que convencionalmente se ha venido empleando como horno de secado y más generalmente para la tostación de sulfuros. Actualmente en la mayoría de estos procesos se utiliza la técnica de la fluidización en sustitución del horno de pisos, pues aquella técnica tiene un mayor rendimiento y representa un gran ahorro de combustible.

En la realización de esta Tesis se ha estudiado el comportamiento del mineral de mercurio (cinabrio) en un reactor de lecho fluidizado, exponiéndose los resultados obtenidos en la redacción de la misma.

En el capítulo primero se expone el estado actual de la técnica, y se aprovecha para hacer una breve descripción histórica de la metalurgia del mercurio. En el mismo se describe brevemente el yacimiento del mineral y las propiedades y estructura de este, pues su conocimiento servirá después para analizar los resultados que se obtengan.

Antes de tostar el mineral de cinabrio en lecho fluidizado se realizaron ensayos de una tostación en régimen estático. En el capítulo segundo se recogen los resultados de este tipo de tostación y se exponen las características del programa utilizado en el ajuste econométrico de series temporales, puesto que después con los resultados obtenidos en la tostación y mediante las técnicas del ajuste econométrico, se obtendrán ecuaciones que relacionen los diferentes parámetros que intervienen en el proceso.

Se realiza un análisis termogravimétrico y térmico diferencial de una muestra de cinabrio, y los resultados se exponen en el capítulo tercero.

En el capítulo cuarto se efectúa un estudio completo y exhaustivo del comportamiento fluidodinámico del cinabrio en un reactor de lecho fluidizado, llegándose a obtener una ecuación que relaciona la velocidad de mínima fluidización con el diámetro de partícula de mineral.

La tostación del cinabrio en lecho fluidizado se estudia en el capítulo quinto, donde se obtienen, mediante el ajuste econométrico las ecuaciones que relacionan los diferentes parámetros que intervienen en la tostación.

El capítulo sexto se dedica a la exposición de los resultados y conclusiones obtenidos en este trabajo, y por último en el capítulo séptimo se aplican los resultados obtenidos al diseño de un reactor de lecho fluidizado, con una capacidad de tratamiento de100 T/día.

Resulta, a veces, obligado manifestar gratitud a personas e instituciones en este tipo de obras. Pero en otras, como es mi caso, es un acto de voluntad y que sale del corazón. Mi más profundo agradecimiento al Profesor Dr. Francisco Javier Quintana Martín. ¡Gracias Paco! Me cabe la satisfacción que estoy seguro que sabes que es verdad y no un mero cumplido.

Deseo expresar mi agradecimiento al Profesor Doctor Miró Chavarría por la buena acogida que dispuso a la realización de este trabajo desde sus comienzos, y por todas las ayudas prestadas en el momento que se lo requerí, así como por sus consejos y estímulo en su ejecución.

A los Directores de la Escuela Universitaria Politécnica de Almadén, mis amigos y compañeros Cristóbal Ruiz Caballero y Juan Alberti Grifols, por las ayudas y facilidades que me han proporcionado en la realización de esta obra.

ÍNDICE

Pág

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN..... 1

1.1.Generalidades..... 1

1.2. Bosquejo Histórico de la Metalurgia del Mercurio..... 4

1.3. Estado Actual de la Técnica..... 30

1.4. El Mineral..... 45

1.4.1. Breve Descripción del Yacimiento..... 45

1.4.2. Variedades mineralógicas del Mercurio..... 49

1.4.2.1. Cinabrio..... 49

1.4.2.2. Metacinabrio..... 51

1.4.3. Estructura del Mineral de Mercurio de Almadén..... 52

1.5. Objetivo y Finalidad de la Tesis..... 54

CAPÍTULO 2. TOSTACIÓN DEL CINABRIO EN RÉGIMEN ESTACIONARIO..... 55

2.1. Introducción..... 55

2.2. Técnica Experimental..... 56

2.3. Análisis de Regresión..... 57

2.3.1. Características del Programa utilizado en el ajuste econométrico de series temporales..... 64

2.3.1.1. Estimación de Ecuaciones..... 65

2.3.1.1.1. Ecuaciones Lineales..... 65

2.3.1.1.2. Ecuaciones No Lineales..... 68

2.3.1.2. Informes Editacios para cada Regresión..... 69
2.3.1.3. Descripción de Gráficos..... 73
2.3.1.4. Resumen de Ecuaciones..... 74
2.3.1.5. Posibilidades del Programa..... 75
2.3.1.5.1. Modelos Uniecuacionales..... 76
2.3.1.5.1.1. Mínimos Cuadrados Ordinarios..... 76
2.3.1.5.1.2. Mínimos Cuadrados Generalizados (Teorema de Aitken)..... 83
2.3.1.5.1.2.1. Heterocedasticidad..... 84
2.3.1.5.1.2.2. Autocorrelación..... 86
2.3.1.5.1.3. Método de las Variables Instrumentales..... 89
2.3.1.5.1.4. Mínimos Cuadrados Aplicados a Ecuaciones No Lineales..... 91
2.3.1.5.2. Modelos multiecuacionales..... 99
2.3.1.5.2.1. Método de las Variantes Instrumentales..... 99
2.3.1.5.2.2. Método de los Mínimos Cuadrados Bietápicos..... 100

2.4. Descripción del Modelo de Núcleo sin Reaccionar..... 100
2.4.1. Modelo de Núcleo sin Reaccionar para Partículas Esféricas de tamaño Constante..... 101
2.4.1.1. La Difusión a través de la Película Gaseosa como etapa controlante..... 105
2.4.1.2. La Difusión a través de la capa de cenizas como etapa controlante..... 109
2.4.1.3. La Reacción Química como etapa controlante..... 113

2.4.1.4. Combinación de Resistencias..... 116

2.5. Criterios para la Selección de Posibles Ecuaciones..... 121

2.5.1. La Difusión a través de la Película Gaseosa como etapa controlante..... 124

2.5.2. La Difusión a través de la Capa de Cenizas como etapa controlante..... 124

2.5.3. La Reacción Química como etapa controlante..... 125

2.5.4. Velocidad de Reacción..... 127

2.6. Introducción de los Datos en Ordenador..... 128

2.7. Ecuaciones obtenidas en el Ajuste..... 141

2.8. Normas para la selección de Ecuaciones..... 200

2.8.1. Nomenclatura..... 200

2.8.2. Nivel de Significación de la Ecuación..... 200

2.8.3. Nivel de Significación de los Coeficientes..... 201

2.3.4. Autocorrelación de los Residuos..... 201

2.8.5. Otros Estadísticos..... 202

2.8.6. Otras Consideraciones..... 203

2.9.Selección de Ecuaciones..... 212

CAPÍTULO 3. TERMOANÁLISIS DE UNA MUESTRA DE CINABRIO..... 214

CAPÍTULO 4. ESTUDIO FLUIDODINÁMICO DEL CINABRIO..... 223

4.1. Descripción del Equipo..... 224

4.2. Procedimiento Experimental..... 226

4.2.1. Preparación del Sólido..... 226

4.2.2. Medida del Caudal y pérdida de Carga..... 227

4. 2. 3. Medidas de Temperaturas..... 232

4.3. Resultados..... 232

4.3.1. Porosidad y Velocidad de Mínima Fluidización..... 239

CAPÍTULO 5. TOSTACIÓN DEL CINABRIO EN LECHO FLUIDIZADO..... 241

5.1. Introducción..... 241

5.2. Técnica Experimental..... 241

5.3. Análisis de Regresión..... 242

5.4. Criterios para la Selección de posibles ecuaciones..... 246

5.4.1. Difusión a través de la película gaseosa como etapa controlante..... 246

5.4.2. Difusión a través de la capa de Cenizas como etapa controlante..... 246

5.4.3. Reacción Química como etapa controlante..... 247

5.4.4. Reacción más Difusión como etapa controlante..... 248

5.4.5. Otras consideraciones..... 248

5.4.6. Denominación de las Variables..... 249

5.5. Ecuaciones obtenidas en el ajuste..... 254

5.6. Selección de Ecuaciones..... 295

CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES..... 298

6.1. Tostación en Régimen Estacionario..... 298

6.2. Termoanálisis de una Muestra de Cinabrio..... 299

6.3. Estudio Fluidodinámico del Cinabrio..... 299

6.4. Tostación de Cinabrio en Lecho Fluidizado..... 300

CAPÍTULO 7. APLICACIÓN AL DISEÑO..... 302

7.1. Volumen y Composición de los Humos..... 303

7.2. Tiempo de Calentamiento del Mineral..... 305

7.3. Tiempo necesario para que se verifique la Tostación..... 306

7.4. Tostación del Mineral..... 307

7.5. Balance Térmico..... 308

7.6. Diseño del Reactor..... 311

7.7. Resumen..... 313

BIBLIOGRAFÍA..... 314

APÉNDICE I. Fotocopia del Abstract obtenido en la búsqueda retrospectiva realizada en el Instituto de Información y documentación en Ciencia y Tecnología realizada el día 22 de Julio de 1983. 322

APÉNDICE II. Fotocopia del Artículo "THE USE OF FLUIDIZED BED FURNACES OF ROADSTING MERCURY ORES" de S.M. MELNIKOV AND V. K. MIKHAILOV del Central Board of Rare Earth Metals. Moscow, URSS. 327

APÉNDICE III. Tablas de Equivalencias Milivoltios-Grados Centígrados, utilizadas para cambiar temperaturas de Creus (13). 331

APÉNDICE IV. Resúmenes de las Ecuaciones correspondientes a los Ensayos realizados en Régimen Estático. 344

APÉNDICE V. Fotocopia de los Listados de las Ecuaciones Seleccionadas. 362

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Generalidades

El mercurio es uno de los siete metales conocidos desde la más remota antigüedad; junto con el oro, la plata, el cobre, hierro, plomo y estaño, formaba el conjunto de los metales que servían de base a sus primitivas civilizaciones.

Este hecho se debe a la facilidad con que se libera de su mena. Se tuesta esta, a temperaturas relativamente bajas, el sulfuro se descompone y el azufre forma dióxido de azufre. El mercurio no se combina con el oxígeno, pues además de su poca afinidad por él, el óxido se descompone al calentarlo.

La metalurgia del mercurio es pues, sin duda alguna, una de las más sencillas desde el punto de vista de proceso y quizá por ello, también, una de las menos estudiadas.

Actualmente nos encontramos con que los minerales de mercurio son cada vez más pobres, resultando en ocasiones que las leyes del mineral extraído de la mina, son inferiores a las de las cenizas recogidas en las escombreras procedentes de la acumulación de los desechos del tratamiento de minerales ricos mediante procesos de escaso rendimiento tecnológico.

Nos consta que actualmente, en Almadén, se añade al horno y mezclado con el mineral de mina, cenizas de las escombreras antiguas.

Dado el elevado precio que en la actualidad tienen los combustibles, parece que la solución debía ir por el camino de concentrar los minerales por flotación y tratarlos después mediante procesos que tengan un elevado rendimiento.

Cuando cursábamos el cuarto año de carrera, al estudiar la Fluidización en la asignatura de "Operaciones Básicas de Ingeniería Química", de alguna manera esta tecnología nos cautivó, y en seguida se nos ocurrió la posibilidad de su aplicación a la metalurgia del mercurio, que ya conocíamos por nuestra primera formación Universitaria como Ingeniero Técnico de Minas en la Escuela de Almadén, y por ser natural de aquella zona. Propusimos al Profesor Quintana Martín la idea de realizar el Proyecto Fin de Carrera sobre la fluidización de minerales de mercurio, idea que le pareció bien y acogió con entusiasmo. Bajo su dirección se realizó el Trabajo Fin de Carrera con el Título "Planta para Beneficio de 100 T/día de Cinabrio en Horno de Lecho Fluidizado". (22).

Posteriormente nos planteamos la posibilidad de continuar la Tesis Doctoral estudiando el mismo proceso y he aquí que en estos momentos nos encontramos comenzando su redacción

La Fluidización es una tecnología relativamente joven. Fue en el año 1921, cuando el alemán Winbler (72) registró un procedimiento que eliminaba ciertas dificultades inherentes a la gasificación de carbones que dan cenizas fusibles a la temperatura de trabajo. El procedimiento consistía en someter las partículas de carbón, de pequeño tamaño, a una corriente ascendente de gases insuflada a tal velocidad que aquellas no necesitaban a los efectos de sustentación apoyarse en una parrilla, como es usual, pues se mantenían suspendidas en la corriente de aire y de vapor de agua. El

paso de los gases a través de un lecho en tales condiciones determina un estado de turbulencia elevado, de ahí la denominación alemana de Wirbelchicht-capa o lecho turbulento para designar esta técnica de trabajo.

El notable descubrimiento de Winbler no tuvo mayores repercusiones hasta que en los Estados Unidos se acudió, veinte años después, a esta misma técnica para resolver el problema del cracking catalítico de gases petrolíferos (40).

Pronto se apreció que esta técnica podía ser ampliada para abarcar, en principio, todas las operaciones o procesos básicos que se desarrollan por interacción sólido-fluido. Y así, a partir de 1943, ha ido extendiéndose a numerosas operaciones y reacciones, como son la desecación de sólidos finamente divididos, la extracción de sólidos con líquidos, la absorción de gases, el intercambio de calor sólido-fluido, y para pirólisis, halogenaciones, oxidaciones (tostación de sulfuros especialmente reducciones, etc).

Antes de comenzar la realización práctica de la Tesis, el Profesor Miró nos gestionó la estancia en la Planta de Sulfúrico que Unión de Explosivos Río Tinto, S.A., tiene en Huelva.

Pudimos ver de cerca, y ya no en libros y papel como hasta entonces, lo que es un reactor de lecho fluidizado, comprobando que nuestra idea de fluidizar minerales de mercurio no era descabellada.

Tres son, a nuestro juicio, las características de los lechos fluidizados que son la base de su aplicación técnica:

a)El gran desarrollo superficial del sólido y, por tanto, del área de interacción sólido-fluido.

b)El alto grado de turbulencia con que se produce esa interacción; y

c)La posibilidad de efectuar el contacto en forma continuada dada la facultad de fluir que tienen las capas o lechos fluidizados.

La razón fundamental que nos induce al estudio de la fluidización, como alternativa al horno de soleras múltiples es que se ha demostrado (4) que en los hornos con hogares múltiples, la mayor parte de la tostación tiene lugar durante el paso de la mena de un hogar a otro, mientras el aire caliente circula en contracorriente. A medida que las partículas de sulfuro descienden en dirección contraria a la que lleva la corriente de aire, exponen toda su superficie a la acción del oxígeno y, por consiguiente, se oxidan con mucha mayor rapidez.

1.2. Bosquejo Histórico de la Metalurgia del Mercurio

Al redactar esta Tesis no se quiere desaprovechar la ocasión de dedicar unas páginas para exponer, de una manera sucinta, la historia de la Metalurgia de un metal, del que se sabe, que la utilización de su sulfuro, el sulfuro rojo o cinabrio, como pigmento es anterior a la aparición de los primeros documentos escritos.

Con esta exposición se pretende, por una parte recoger algunos de los datos históricos encontrados en la bibliografía consultada, y de otra llegar a través del correr de los tiempos al ESTADO ACTUAL DE LA TÉCNICA, punto de arranque para la realización de esta Tesis.

En la provincia de Ciudad-Real, en la extensa región denominada Campo de Calatrava, que comprende desde Puerto Lapice a Cazorla y del Valle de Alcudia hasta orillas del río Mundo, donde tuvieron su cuna los pueblos oretanos, que desde las márgenes del Guadiana se corrían más allá de sierra Morena hasta las fuentes del Guadalquivir; en la Baturia túrdula de Ptolomeo, Estrabón, Plinio y Teofrasto se extiende un territorio agreste y poco poblado, metido ya en la cordillera Mariánica, de suelo más o menos desigual, de cañadas y llanos, separados por colinas y cerros, más bien que por montañas, regado por un río sumamente sinuoso y de lento curso, con algunos arroyos que se le unen para darle, cierta importancia en tiempos de avenidas. En este paraje abrupto, al que imprime cierta originalidad una multitud de cerros y farallones de cuarcita, y que desde lejos aparecen como fortísimos y altos muros caprichosamente almenados, y que Estrabón describe como abundantísimos en metales, estaba situada la antigua ciudad de Sisapón, de donde los romanos obtenían el minio o bermellón, que en grandes cantidades llevaban a Roma de la mina allí situada, que Plinio menciona en el libro 33, capítulo VII de su Historia Natural, y describe Vitrubio en el libro 7, capítulo VII de su Arquitectura.

Almadén, pueblo de origen árabe, nace de la agrupación de albergues construidos alrededor de las minas de cinabrio que los invasores descubrieron en la región sisaponense, de las que se apoderaron primero y disfrutaron después.

Los árabes, en guerra con los cristianos desde que pusieron pie en nuestro suelo, se vieron obligados a defender con las armas las preciadas minas de mercurio, que para ellos constituía un tesoro muy apreciado, por lo que construyeron además una fortaleza que las defendiera, y a la que dieron el nombre de HINS ALMADEN, Fuerte de la Mina.

Teofrasto habla de las minas de Almadén 372 años antes de Jesucristo y Celio Rediginio supone que Collias hizo las primeras excavaciones en estas minas en tiempos de la primera guerra púnica, que como esta ocurrió 490 años antes de nuestra era, resulta una antigüedad, para estas minas, de unos 2.475 años.

Los primeros datos sobre la metalurgia del mercurio nos las proporcionan Vitrubio, Teofrasto, Dioscórides y Plinio.

Vitrubio describe en su Arquitectura libro VII, cap. IX con bastante detalle, cómo se fabricaba bermellón en Roma con el cinabrio de España: "Secan, dice, el mineral en hornos, en los que se desprende, junto con la humedad del mismo un vapor, que se condensa en el piso o suelo del horno, formando gotas tenues, que son de mercurio, y que barridas y recogidas en un vaso y lavadas con agua se reúnen, poco a poco, y acaban por confundirse, formando una sola y única masa".

Teofrasto, según versión de Hoefer (His. de la Chimie, París 1842, Tomo I) dice: "En una vasija de cobre se coloca cinabrio y vinagre, mezclándose con la mano de un mortero también de cobre. El mineral ha sido molido previamente. Una vez batida la mezcla con el mortero se consigue blanquear con mercurio la mano del mortero y el fondo y paredes de la vasija, pero sin conseguir recoger gotas de mercurio".

Dioscórides, según describe de Kópp (Geschieht de Chemie, tomo 4), coloca el mineral en un plato de hierro, el cual se mete dentro de una vasija de barro cubierta con su tapadera, y se ponen todo al fuego; el hierro del plato sirve de desulfurante, y el mercurio se deposita en la tapadera.

Plinio (Historia Natural, libro XXXIII, caps. VI y VIII) dice que se coloca el mineral en tarteras o platos de barro cocido; y estas, a su vez, puestas dentro de una marmita de hierro cubierta con tapadera cóncava enlodada con arcilla. Por debajo se activa el fuego merced a un fuelle, recogiéndose en la tapadera un líquido del color de la plata y la fluidez del agua.

Adueñados los árabes de la región sisaponense y de las minas de cinabrio en ella enclavadas obtuvieron azogue, que sirvió a Geber en el siglo IX para realizar sus experimentos químicos.

No está claro cual era el procedimiento que utilizaban los naturales del país para la obtención de Mercurio, pero si no era el descrito por Plinio era otro análogo que conducía al mismo fin, y que sirvió a los invasores como fundamento para discurrir un método de mayor rendimiento.

El dispositivo u horno empleado durante la ocupación de los árabes (714-1492) fue, según describe Escosura (23) el horno denominado de xábecas (Figura l). De este tipo de hornos aún se conserva uno en Almadén. Se compone, el citado horno de cuatro paredes verticales, que forman a manera de cajón rectangular, y de una bóveda cilíndrica de medio punto, que servía de cubierta al horno. En la bóveda y a lo largo, había tres hileras de agujeros, en número de dieciocho, veintiuno o veinticuatro en total, correspondiendo por tanto seis, siete u ocho a cada hilera. En los agujeros se colocaban ollas de barro cocido a modo de crisoles, de forma cónica, y se les sujetaba con barro para que no saliera por la circunferencia del agujero de la bóveda humo alguno ni se perdiera calor.

El mineral triturado con porras de hierro hasta obtener

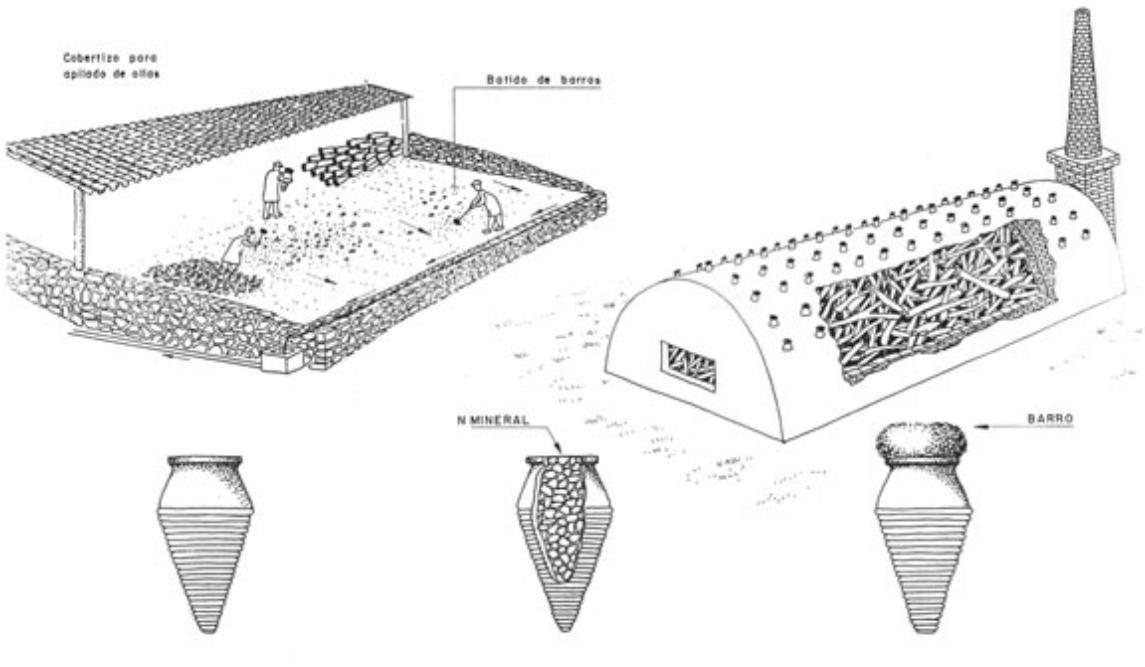


FIGURA 1. HORNO DE XÁBECAS

pedazos del tamaño de una nuez y mezclado con ceniza negra y fina, un poco mojada, se introducía en las ollas de barro colocadas en los agujeros de la xábecas. Las ollas no debían llenarse completamente pues, sobre el mineral, iba colocada una capa de ceniza de un dedo de espesor y aún debía quedar un espacio vacío de dos o tres dedos. Las ollas, cuya capacidad era de unas 27 libras de mineral, se cerraban herméticamente con tapas convexas. Concluidas las operaciones citadas anteriormente se encendían los hornos, generalmente por la noche, permaneciendo, encendidas durante doce horas aproximadamente.

El Historiador Konrad Habler, según nos cuenta ZARRALUQUI (75), describe así el procedimiento de tostación y posterior condensación del mercurio: "Por la influencia del calor, el mercurio vaporizado salía de los minerales; atravesando las cenizas, entraba en el hueco por debajo de las tapaderas y quedaba precipitado sobre las cenizas en forma líquida. Después de haberse enfriado el horno suficientemente, las fuentes se levantaban, y, una vez abiertas, se extraía el mercurio con cucharas de hierro, y, después de lavado cuidadosamente, se le trasladaba a los almacenes".

En 1525 las minas de Almadén fueron arrendadas a los alemanes Marcos y Cristobal Fuggers que las beneficiaron hasta 1645 sustituyendo los hornos de xábecas por hornos de reverbero.

Los hornos de reverbero, si bien fueron utilizados en Almadén, sólo se emplearon para la cochura de ollas llenas de cinabrio sin llegar a realizar en ellos la tostación del mineral directamente.

Terminado el arriendo de las minas a los Fuggers se

encargó de su explotación la Real Hacienda. Por Real Orden de 15 de septiembre de 1646 se dispone que Juan Alonso de Bustamante y Diego de Sotomayor, mineros venidos del Perú, pusieran en marcha un tipo de horno utilizado en las Indias en las minas de Guancavélica e ideado en 1633 por Saavedra Barba. El 25 de Octubre de 1646 se cargó por primera vez este tipo de hornos, denominado en Almadén Horno de Aludeles o de Bustamante.

Estos hornos eran de cuba (Figura 2), construyéndose por pares, de modo que cada batería constaba de dos vasos, terminados en su parte superior por una bóveda semiesférica.

El diámetro de la cuba era de dos metros, y a cierta altura estaban divididos horizontalmente por un tabique de ladrillos, formando huecos. Estos tabiques se llaman redes y sobre ellos se coloca la carga, que solía ser de unas 15 toneladas.

La parte inferior es la que servía de hogar y se la denominaba buitrón.

Cada horno tenía tres puertas; la superior constituida por un orificio situado en la parte más alta de la bóveda destinada a terminar la carga, y que se tapa con una chapa de hierro. La intermedia, cuyo plano era paralelo al eje de las cañas de aludeles, servía para efectuar la carga, y la tercera, situada en la parte inferior, servía para introducir la carga de combustibles y atizar al fuego, y estaba en comunicación con una chimenea que servía para dar salida a los humos del hogar, cuando este rebosaba al atizarle, debido a dificultades que encontraban los gases para atravesar la carga.

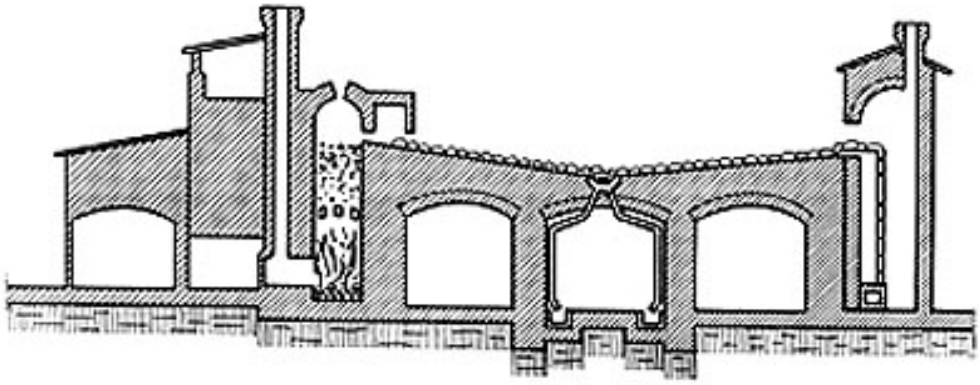


FIGURA 2. HORNO BUSTAMANTE

En el nacimiento de la bóveda de cada horno había seis ventanillas radiales que servían para la salida de los gases y humos a una "camareta" dividida en dos espacios por un tabique vertical, y cerrada por otro tabique también vertical y perpendicular al anterior, con doce orificios en donde penetraban los primeros aludeles de barro, llamados "muelas", constituyendo, pues, doce filas o "cañas", apoyadas sobre dos planos con inclinaciones contrarias, denominándose, al que está junto a los hornos "plan de cabecera" y al otro " plan de rabera". En la unión de ambos planos, que recibía el nombre de "quiebra", hay un canal para recoger el mercurio.

Las cañas del plan de cabecera tenían una inclinación uniforme de 11º, mientras que el de rabera tenía 9º, en los 1'45 mts. siguientes a la intersección de ambos planos o "quiebra" y 11º en la parte restante, terminando en una camareta que conduce a la chimenea.

Los aludeles tienen una forma como la indicada en la figura 3 y se colocaban como se indica en la misma figura. Para facilitar la recogida, la parte inferior del hogar tiene una depresión denominada "caldera".

Este tipo de horno era de marcha discontinua y cada operación duraba cuatro días constando de tres partes:

1er día. -Carga y caldeo o "cochura".
2º y 3º día. -Destilación.
4º día. -Destape y enfrío.

La carga, que era de unas 15 toneladas, se colocaba de la manera siguiente:

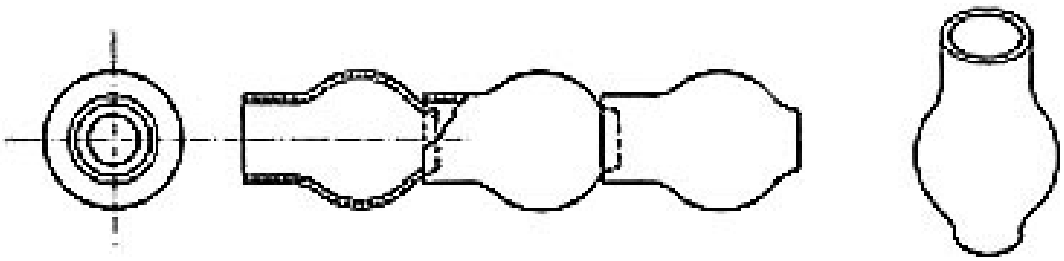


FIGURA 3. ALUDES DEL HORNO BUSTAMANTE

Primero se colocaba la "SOLERA", que se compone de 2.500 kilos de mineral grueso y pobre, cuyo tamaño oscila entre 10 y 35 centímetros y la ley del 0'7 al 1%.

Después se cargaba la "CHINA" en cantidad de 7.500 kilos, con ley del 4 al 6% y tamaño de 4'5 a 10 centímetros.

Luego se ponen 3.500 kilos de "RICO", mineral del mismo tamaño que al anterior, y de ley superior al 12%.

Por último se cargan unos 1.500 kilos de "ADOBES".

La colocación se hacía teniendo en cuenta, que cuanto mayor es la riqueza del mineral en mercurio mayor es su contenido en azufre y por tanto más calor se desprende al formarse SO_2.

La solera servía para acumular el calor mientras se efectuaba el caldeo, y el mineral se reducía de 4'5 a 10 centímetros con el fin de aumentar la superficie de contacto con los gases calientes, facilitando así su descomposición.

Los adobes se hacían con "hollines", "bacisco" y mineral menudo, todo aglomerado con arcilla. La carga se dispone de manera que no se impida la circulación de los gases.

Una vez hecha la carga, se cerraban todas las puertas, tapándose todas las juntas con arcilla. Se encendía el horno y comenzaba el caldeo, primero con leña y después con hulla y cok. Cuando la solera colocada en el horno estaba al rojoblanco, se dejaba de añadir carbón, dándose por terminada la operación de cochura, que venía a durar unas 15 horas.

Terminada la operación de cochura empezaba la operación denominada destilación. Durante esta operación el aire entraba por el cenicero, calentándose a expensas del calor de las brasas y del acumulado en la solera. Ya caliente, el aire, atravesaba la carga y se verificaba la tostación. Los gases que se producen pasaban a la camareta y a los caños donde al enfriarse los gases, se condensaba el mercurio, saliendo de los alúdeles por un orificio practicado en la parte inferior. Resbalaba por los "planes" hasta la "quiebra", que le conducía hasta una caja de hierro con un diafragma central para separar el mercurio del agua, y de esta caja va al almacén por medio de una tubería.

En cuanto a los gases, continuaban su marcha hasta la camareta de rabera, donde terminaba de condensarse el mercurio, pasando los gases restantes a la chimenea.

Una vez terminada la operación de destilación se abrían las puertas de los hornos y la de las camaretas para que se enfríe el contenido de los vasos, efectuándose la descarga y volviendo a cargar nuevamente. Esto es lo que constituía la operación denominada de destape y enfríe.

Posteriormente se pasaba a la operación denominada de LEVANTE o FREGADURA. Consistía esta operación en levantar todos los caños, sacudiéndolos para recoger el mercurio y los hollines que quedaban retenidos. La operación de levante o fregadura se efectuaba cada tres o cuatro operaciones completas.

Los alúdeles del plan de cabecera se suelen levantar una vez al mes, y los de rabera cada dos meses, quitando primero los de la quiebra y se continuaba limpiando hacia arriba

hasta llegar el primero (muela), y al último (trompeta) que eran los que penetraban en las camaretas y tenían forma troncocónica, que les diferenciaba de los demás. La limpieza de los alúdeles se realizaba con una escoba y la ceniza se rascaba con rodillos.

Los productos del levante, a los que se denominaban hollines, se acumulaban formando montones cerca de la regera para su posterior tratamiento.

El personal necesario para la marcha de estos hornos, es, por cada par de hornos:

Un encargado.

Dos calcinadores o fogoneros, encargados de atender el hogar durante la cochura.

Doce cargadores.

Dos retapadores, encargados de unir los alúdeles y tapar las juntas con arcilla.

Dos peones para la limpieza de las calderas.

Los hornos Bustamante adolecen de los defectos propios de todo horno de marcha discontinua, como la imposibilidad de variar la carga y la marcha una vez encendido el horno. Es también un gran inconveniente la imposibilidad de observar la marcha del proceso metalúrgico, pues no se ven las escorias hasta que no ha terminado la operación, así como la elevada temperatura (1.300 ºC) que se requiera para que el horno conserve el calor necesario para que la tostación se efectúe con aire solamente, lo que da lugar a que los vapores de mercurio vayan en un estado de tensión tal que dificulta la condensación, con las consiguientes pérdidas.

Hay además, otras causas de pérdidas evaluadas en un 10 %, debidas en su mayor parte, a las fugas que se producen por las juntas tapadas con arcilla, y al abrir las puertas para el enfrío.

En las postrimerías del siglo XVIII, el Consejo Supremo de las Indias, que a la sazón entendía en la dirección y administración de las Minas de Almadén, consiguió se dictase la Real Orden de 1º de Abril de 1796, por la que se dispuso que los Ingenieros de Minas Don Diego Larrañaga y Don Francisco de la Garza fuesen al extranjero para estudiar los métodos que en el mundo se utilizaban para el beneficio del cinabrio.

Los comisionados cumplida su misión, dieron cuenta de su viaje, en una extensa Memoria firmada por Larrañaga en Freyberg, el 18 de Diciembre de aquel año, dirigida al director de Almadén, Don Miguel Cayetano Soler, después de haber visitado diversas Minas y Fábricas en Austria, Stiria, Carintia, Carniola, Tirol y Bohemia, y especialmente el Establecimiento de Idría en la Carniola, donde se estudiaron las operaciones que allí se practicaban en la obtención del mercurio.

En 1803 al ser nombrado Larrañaga Director de Almadén, propuso la modificación de los métodos metalúrgicos que encontró instalados en el establecimiento minero, instalando nuevos hornos análogos a los estudiados por él en Idría.

En el año 1806 se puso en funcionamiento un par de hornos, basados fundamentalmente en los hornos de Idría. En el modelo adoptado, el vaso y el hogar eran cilíndricos, como en los hornos de aludeles, aunque de mayor capacidad. La

red se componía de cuatro arcos de fábrica de ladrillo, enlazados con grandes baldosas, colocadas a distancias convenientes para formar la parrilla. Tampoco había diferencia en el anillo superior ni en la válvula con que se cubre durante la cochura. Cada vaso tenía dos puertas de cargadero, una encima de la otra, situados, no a un costado, como la única que hay en el horno de alúdeles, sino sobre la bóveda del atizadero, que a su vez difiere poco del descrito en los hornos antiguos. El mineral y la solera se colocaba también sobre la red, y los gases y vapores salían por doce ventanillas radiales, situadas a derecha e izquierda de los vasos, para pasar, por los respectivos conductos, a las cámaras de condensación.

Cada vaso tenía doce de estas cámaras, seis a un lado y otras seis a otro, en linea, y los últimos, es decir, las sextas, comunican con otras superiores, que son las séptimas de modo que hay, a la derecha de cada vaso, una cámara primera, una segunda, etc., hasta la sexta, y otras tantas a la izquierda, y, por consiguiente, en el macizo que comprende dos vasos hay dos cámaras primeras a la derecha, y dos a la izquierda, y otras tantas de las demás clases, y sólo una cámara séptima o torre a la derecha y otra a la izquierda, encima de las sextas de cada lado. De las séptimas salen los vapores a las cuatro chimeneas de las torres, de las que corresponden dos a cada vaso. Se comunican entre sí las cámaras por tres aberturas situadas al mismo nivel en cada tabique, pero en unos este nivel está próximo al suelo y en otros cerca de la bóveda, alternando con el fin de que los vapores, antes de salir de una cámara para entrar en la inmediata, recorran la mayor parte de su altura y se enfríen, dando lugar a que el azogue se condense. Las chimeneas de los hogares no están sobre la bóveda del atizadero, como en los de alúdeles, sino al lado izquierdo, en la fábrica o mampostería del horno.

La descarga, la carga y la cochura se efectuaban de idéntica manera que en los hornos antiguos.

El fuego duraba doce horas, en las cuales se consumía por vaso cien cargas de monte bajo (jara), de cinco haces cada carga, y cada haz de arroba y media de peso (unos 17 kilos), resultando en total una carga de 8.500 kilos por cochura y por vaso.

El día siguiente al de fuego, llamado de brasa, se reducía a remover las ascuas o brasas que han quedado en la caldera del horno. El tercer día denominado de cenizas, se sacaban estas para, después de cribadas, llevarlas al almacén. El cuarto día era el de enfrío. En este día, primero se deshacían los tabiques de los cargadores y luego, después de bajar los contafuegos o paletones, colocados en los conductos que había entre los vasos y las primeras cámaras, se abrían las válvulas y derribaban los tabiques de los cargaderos. El quinto día se denominaba de descarga.

En los días de brasa y ceniza, el mercurio que salía de las cámaras corría por una cañerías especiales que cada horno tenía hasta el depósito correspondiente del almacén general.

En 1887, siendo Director Facultativo Don Eusebio de Oyarzábal, e Ingeniero del cerco Don José de Madariaga, ambos insignes Ingenieros de Minas, se instaló un nuevo horno sistema livermoor, con algunas modificaciones ideadas por el segundo de los citados Ingenieros. De este tipo de horno, llamado en Almadén DE CANALES, se construyeron dos. De marcha continua, este horno se componía de dos planos, inclinados en sentidos contrarios. En el más elevado se colocaba el

mineral en contacto con el hogar; en su parte superior estaba la tolva de carga y en el plano inferior la escoria resultante de la calcinación. Una vez cargado el horno, al retirar la escoria, descendía toda la carga en el mismo volumen que la escoria sacada, manteniéndose uniforme merced a unos ladrillos colocados en sentido transversal de treinta en treinta centímetros de distancia, apoyados en los tabiques divisores de los canales a unos ocho centímetros por encima de estos, según el tamaño del bacisco . Calcinado el mineral que se encontraba junto al fuego, se quitaba del borde inferior del plano donde se encontraba la escoria cierta cantidad de esta, con lo que la carga descendía gradualmente, advirtiéndose en la tolva un vacío equivalente, al volumen desalojado.

En este tipo de horno, los gases procedentes de la calcinación pasaban a las cámaras de condensación por un tragante de hierro que los recogía de la parte superior de los canales, y corriendo en zig-zig hasta llegar a las cámaras un trayecto de cien metros.

Las cámaras eran de mampostería y de cristal. En las primeras se efectuaba la mayor parte de la condensación, y a las segundas pasaban todos los gases.

A los lados de las cámaras de condensación, en su parte inferior se hallaban unos orificios provistos de tapones de madera destinados a la salida del mercurio. La operación de sacar el mercurio, denominada "hacer la sangría", se efectuaba de ocho en ocho horas, reconcentrándose el mercurio procedente de la calcinación en un depósito colocado horizontalmente en la parte media de los canales, de donde salía después, por una tubería de hierro al almacén.

Estos dos hornos tuvieron escaso éxito y se utilizaron únicamente para el tratamiento del mineral menudo.

En el año 1902, el Director Facultativo de Almadén, Don Eusebio de Oyarzábal, trabajó sin descanso hasta conseguir que, el 29 de Julio, se dictase un Real Decreto de conformidad con lo informado por el Consejo de Estado y el de Ministros, en virtud del cual se le autorizaba para que contratase con el Ingeniero Don Vicente Spirek (natural de Bubovice cerca de Praga) la construcción, en el Establecimiento de Almadén, de cuatro hornos sistema Cernak-Spirek.

El 28 de Febrero de 1904 se inauguran los hornos Cernak-Spirek. Los hornos inaugurados fueron cinco, tres sistema Cernak-Spirek y un horno doble de torre de sección cuadrada sistema Spirek.

En los hornos Cernak-Spirek se tratan minerales menudos de 0 a 45 milímetros, mientras que en los hornos Spirek el mineral tostado era de una granulometría comprendida entre 45 mm. y 20 cm.

Los hornos tipo Spirek, denominados en Almadén, HORNOS DE TORRE y también HORNOS ALMADÉN, son hornos de cuba cuyo vaso está formado por una camisa de material refractario, y cada cuatro vasos se reúnen en un macizo rectangular de obra, formando una batería, estando los vasos separados unos de otros por relleno de material menudo y suelto que servía de aislante. La capacidad de los hornos era de doce toneladas, y la cantidad de carbón que consumían era de 500 a 800 kilos de hulla, estando relacionada en sentido inverso con la riqueza del mineral.

Los hornos (figura 4) estaban provistos de tolva de

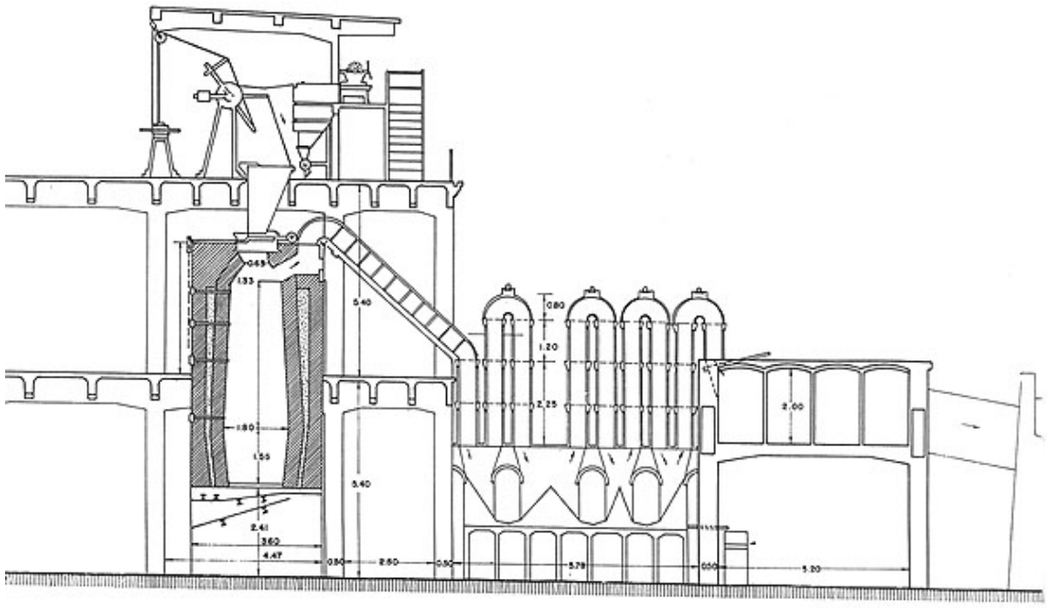


FIGURA 4. HORNOS DE ALMADÉN O DE TORRE

carga con doble cierre, el superior hidráulico y el inferior formado por una placa que gira alrededor de una charnela, y provisto de un contrapeso que la mantenía cerrada, apretándola contra la boca inferior de la tolva por medio de un punzón que se accionaba desde el exterior mediante una polea. La placa se bajaba por medio de una palanca.

En la parte inferior llevaba una parrilla para sujetar el mineral, y una tolva para la descarga en vagonetas, entrando el aire necesario para la destilación por esta parrilla.

Los hornos estaban dentro de un edificio de tres pisos; el superior para la carga, el intermedio para abrir la compuerta interior de la tolva de carga y vigilar el horno, y el inferior para la descarga.

La carga se efectúa por medio de una cinta transportadora.

La marcha del horno podía inspeccionarse desde el piso intermedio, a través de mirillas colocadas convenientemente, debiendo tener el mineral un color rojo sombra que es el que corresponde a una temperatura de 800 ºC a 850 ºC, suficiente para la tostación del mineral.

La escoria que sale por la parte inferior del horno, se carga en vagonetas para llevarla a la escombrera.

La puesta en marcha del horno se efectuaba colocando unos haces de leña sobre la parrilla inferior, y llenando el horno de escoria mezclada con carbón, se encendía la leña, y

cuando el horno tenía temperatura suficiente, se empezaba a descargar la escoria y cargar el mineral.

De la parte superior de los hornos partían dos tubos de fundición por vaso, denominados "elefantes", inclinados en forma de U, que conducían los gases de la tostación a la condensación, formada por unos tubos de cemento aplanados y rectos, unidos de dos en dos por uno curvo, y colocados verticalmente sobre un macizo de mampostería revestido de cemento, desembocando los tubos en unos espacios con paredes inclinadas para que el azogue condensado fuese conducido a tres canales colocados transversalmente a la condensación, en donde se recogen el mercurio y los hollines depositados. Estos canales estaban llenos de agua hasta una cierta altura, a fin de que los vapores no saliesen al exterior.

De estos condensadores pasaban los gases a un "laberinto", que era una cámara dividida por varios tabiques que dejaba paso a los gases, alternativamente, para aumentar el recorrido, favoreciendo la condensación del mercurio. Del laberinto partía una galería que conducía a la chimenea.

La sangría se hacía cada cuatro días, recogiéndose el mercurio y los hollines que se depositaban en las condensaciones, para lo que había tres orificios.

Para el servicio de cada batería había un encargado, un calcinador y cuatro peones por relevo de seis horas, para la carga y descarga, y un encargado y dos hombres para la sangría.

Estos hornos tenían las ventajas de la marcha continua

que permitía variar la carga, aumentando o disminuyendo su riqueza; controlar la marcha perfecta del horno, por medio del análisis de las escorias; mayor capacidad de tratamiento que los Bustamante, y, por último, que no necesitan hacer un quebrantado tan intenso como en estos. Las pérdidas también eran menores, y estimadas en un 5%.

Los hornos Cernak-Spirek (figura 5) se instalaban, cada cuatro, en el mismo edificio, dividido también en tres pisos, el superior para la carga, el intermedio en donde están el hogar, palancas de descarga y mirillas de control, y el inferior para la descarga.

La teoría de estos hornos es la misma que la de un horno de cuba, si bien se salva el inconveniente que estos presentan para el tratamiento de los menudos, haciendo que el mineral descendiera por medio de tejas inclinadas a 45º unidas en ángulo dos a dos, formando una serie de tejadillos alternados en zig-zig para que los gases calientes pudiesen circular por el espacio hueco que dejan los tejadillos, calcinando el mineral.

Los hornos están divididos en tres zonas, de desecación, de calcinación y de enfriamiento.

La sección era rectangular, y sus paredes, de material refractario, estaban recubiertas exteriormente con placas de cuero para evitar la fuga de gases.

Estaban divididos por dos partes por un hogar central provisto de dos atizaderos en sus extremos. Normalmente al hogar había colocadas seis filas horizontales y nueve verticales,

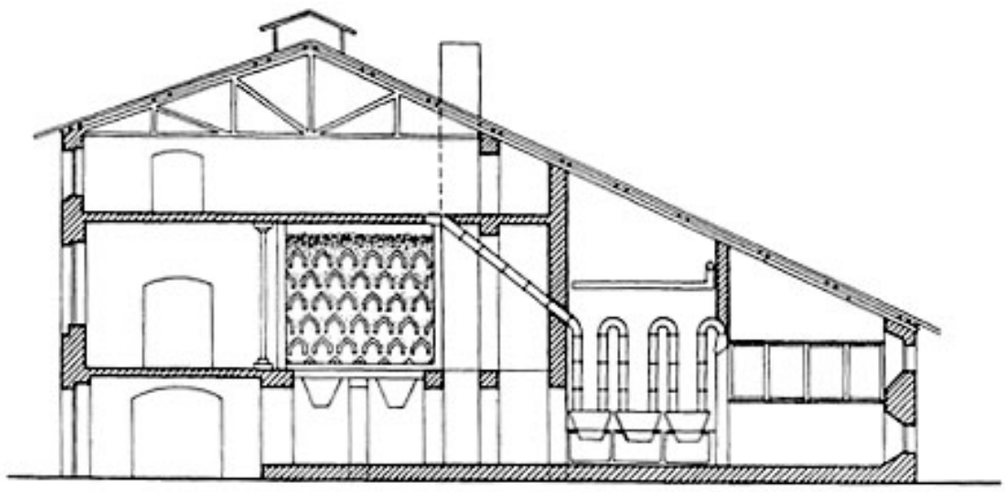


FIGURA 5. HORNO CERNAK SPIREK

de tejas, formando los tejadillos que llegan hasta las paredes. Cada fila estaba formada por dos tejas apoyadas en tres soportes en forma de tejado, uno central y dos en los extremos.

El aire necesario para la combustión del carbón y la tostación, entraba por una abertura situada debajo del cenicero del hogar, y se calentaba a expensas de las escorias situadas en la hilera inferior de tejas, que por acabar de salir de la zona de calcinación conservaban gran cantidad de calor, recorriendo el aire los conductos que formaban las tejas, del centro a las paredes. Cerca de estas pasa el aire a un conducto situado cerca de la pared, y de él subía a la hilada superior que recorría en sentido inverso, pasaba por un conducto situado a lo largo del hogar, y, de él, parte del aire iba al hogar para activar la combustión del carbón, y parte subía a la hilada superior de tejas. Los gases procedentes de la combustión pasaban a las dos hiladas superiores que estaban en comunicación directa con éste, y que corresponde a la zona de calcinación, llegaban hasta cerca de las paredes, y entonces, cada corriente de gas se dividía en dos que iban a las dos filas de tejas de la hilada superior, o sea, que cada fila de tejas recibía los gases de dos filas de tejas de la hilada inferior.

Los gases volvían al centro y penetraban en unos conductos situados encima del hogar, entre los cuales, o sea en el centro del horno, existía una cámara estrecha que comunicaba con el hogar, por cinco agujeros colocados a lo largo de ella, y en la que se quemaba el óxido de carbono que entraba por los orificios del hogar, para lo que recibía aire caliente que entraba en el horno por unas aberturas laterales, subía a lo largo de la pared, y al llegar a la altura de la cámara pasaba al centro y entraba en ella, calentándose el aire

en el recorrido. De este modo se verificaba la combustión del óxido de carbono, y el calor se transmitía por radiación a los conductos laterales, recalentando los gases, que vuelven a la pared exterior y otra vez al centro, donde entraban en el canal de gases. Encima de esta última hilada había dos hiladas más en las que se hacía la desecación del mineral con el calor del horno, sin que pasasen los gases por las tejas. En el centro había un canal para recoger el vapor que se desprendía.

El canal de gases comunicaba con otros dos normales a él formando una T, de los que subía a unos recipientes llamados "capillas" de donde salen los tubos de fundición llamados "elefantes" que llevaban los gases a la condensación, que se verificaba lo mismo que en los hornos de Almadén ya descritos.

El canal de vapor comunicaba con una capilla y con el tubo central.

La carga se efectuaba por la parte superior, en una parrilla provista de orificios de 45 mm. y movida por una biela, con el fin de hacer la operación mecánicamente y que no pase ningún trozo mayor de ese tamaño, que obstruiría el horno.

Para la descarga había unas tolvas fijas en la parte inferior, y debajo de estas una placa móvil con aberturas del mismo tamaño, que se las hacía coincidir más o menos con las de las tolvas por medio de una palanca, descargando la cantidad deseada.

En el momento de efectuar la carga, cuya operación se

hacía cada dos horas, los calcinadores, después de haber atizado el horno, abrían unas mirillas colocadas en los planos de calcinación, (4ª y 5ª hileras de tejas) y observaban por ellas la carga. Los peones accionaban las palancas de descarga, y al faltar la base, empezaba a descender toda la columna de mineral, y cuando se veía por la mirilla que bajaba el mineral crudo, lo que se distinguía con facilidad por su color más obscuro, se suspendía la descarga y se empezaba a cargar hasta que se volvía a llenar el horno.

La cantidad de hulla necesaria es de unos 700 kilos por cada doce toneladas de mineral, es decir, el 5'80%.

El servicio para cada cuatro hornos estaba compuesto de:

Un encargado.

Cuatro calcinadores.

Ocho peones para la carga.

Un encargado y cuatro peones para la sangría.

Este tipo de horno tenía la ventaja de la marcha continua y en facilidad de regulación, descargándose a voluntad las cantidades necesarias.

Tenían el inconveniente de necesitar que el bacisco entrara con menos del 5% de humedad, para que no se aglomerase, produciendo atascos. Había muchas pérdidas por radiación a través de las paredes del horno, a pesar de la camisa de material refractario y las planchas de hierro. También había pérdidas al abrir las ventanillas para observar la carga, además de que al abrirlas, salían vapores de mercurio muy perjudiciales para la salud. Las pérdidas estaban calculadas en un 80%.

El coste por tonelada de mineral en el año 1934 era de 15,9 pts.

La fuerte demanda de mercurio que obliga al beneficio de minerales de baja ley trae como consecuencia la necesidad de elevar la capacidad de los hornos, lo que exige la mecanización de estos, apareciendo así los hornos mecánicos de pisos y los rotatorios. En Almadén se instalaron cuatro hornos PACIFIC-HERRESHOF de soleras múltiples, construidos por la casa Pacific Foundry Co. Ltd, de San Francisco, California,

1.3 Estado Actual de la Técnica.

Nos situamos así en el año 1955, año este en el que se instalan los hornos PACIFIC-HERRESHOF citados en el capítulo anterior.

BIBLIOTECA VIRTUAL

En la actualidad es este el reactor utilizado en Almadén para la tostación del cinabrio, habiéndose introducido, desde su instalación, únicamente mejoras técnicas en la condensación, en el tratamiento de los hollines y en que se han instalado algunos sistemas automáticos de regulación de temperaturas.

En la (figura 6) se representa un esquema del horno, que como se sabe se trata de un horno mecánico de marcha continua utilizado, hasta que la fluidización empieza a tomar auge, como horno de secado y para la tostación de sulfuros, con aprovechamiento de los gases de escape en aquellos casos en que el contenido en SO_2 es alto.

Su construcción es la clásica de este tipo de horno. Consta de un cilindro vertical con ocho hogares de construcción abovedada. La solera, las paredes y el techo están revestidos

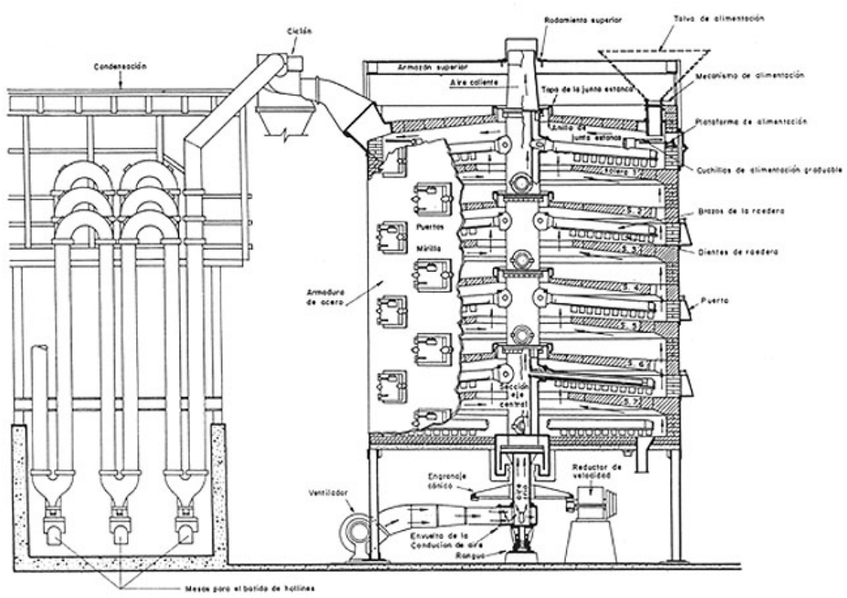


FIGURA 6. HORNO PACIFIC DE SOLERAS MÚLTIPLES

BIBLIOTECA VIRTUAL
MIGUEL DE CERVANTES

vestidos con ladrillos refractarios para proteger las partes metálicas y conservar el calor. Hay una cuba central vertical de 1'2 m. de diámetro aproximadamente, revestida con ladrillo en la parte anterior y a la que están acopladas los brazos del rable: dos por hogar. Esta cuba central contiene también las tuberías que llevan el aire o el agua de refrigeración a los brazos. A cada uno de estos brazos van acoplados siete rastrillos o rables. Esta cuba, que está accionada por un motor y un tren de engranajes que se encuentra en la parte inferior del horno, gira a una velocidad de una revolución por minuto. Una ventaja peculiar de este tipo de horno es que los obreros pueden trabajar en la cuba para desmontar y reparar los brazos del rable, pues, las elevadas temperaturas tienden a alabearlos y a corroerlos. La alimentación se realiza por el hogar superior, con lo que se seca simultáneamente la mena introducida por el calor general producido durante la tostación. Los brazos del rable están ajustados de tal modo que la mena va avanzando lentamente desde el borde exterior del hogar superior hasta el centro, para caer a través de un orificio practicado en este, en el hogar número 1. Los rastrillos la arrastran por la superficie de este hogar hasta alcanzar una ranura situada cerca de la periferia y por donde cae el hogar número 2, y, así, en un movimiento zigzagueaste, la mena va atravesando todos los hogares del horno hasta que, por el último cae en una vagoneta o transportador que se encuentra debajo del inferior. El horno va provisto de puertas en todos los hogares que permiten la observación de la operación, la admisión de aire y la realización de reparaciones. Como la reacción no produce el calor necesario para que continúe espontáneamente, se aporta calor mediante una serie de mecheros situados en los hogares 3º, 4º , 5º y 6º. Estos mecheros queman una mezcla de fuel y gas-oil, en la proporci6n 30% y 70% respectivamente.

De los ochos hogares, los tres primeros, de arriba a

bajo, se destinan al secado de la carga, los tres siguientes 4º, 5º y 6º constituyen la zona de tostación, y los últimos, 7º y 8º la zona de enfriamiento.

La temperatura máxima, que se alcanza en el hogar nº 6 oscila entre 750-800 ºC. La distribución típica de temperaturas es la siguiente:

Zona de Secado	Hogar nº 1	.....	300 ºC
	Hogar nº 2	.....	420 ºC
	Hogar nº 3	.....	485-500 ºC
Zona de Calcinación	Hogar nº 4	.....	635 ºC
	Hogar nº 5	.....	685 ºC
	Hogar nº 6	.....	775 ºC
Zona de enfriamiento	Hogar nº 7	.....	730 ºC
	Hogar nº 8	.....	600 ºC

El mineral es triturado previamente a 20-25 mm.

Los gases abandonan el horno a 300 ºC, pasando inmediatamente después por un ciclón caliente en que se recogen diariamente 100 kg. de polvos; la presión a la salida del ciclón es de 75 mm. de agua y a la entrada de 220 mm.

Los gases pasan a un sistema de condensaci6n (figura 7), formado por 3 hileras de tubos en U, de hierro fundido de 330 mm. de diámetro interior. La longitud del tramo recto de los tubos es de 8 m., existiendo 17 tubos porcada hilera y proporcionando una superficie total de refrigeración de 400 m^2 por horno. Los codos inferiores, o cuellos de cisne, del sistema de refrigeración desembocan en unas piletas llenas de

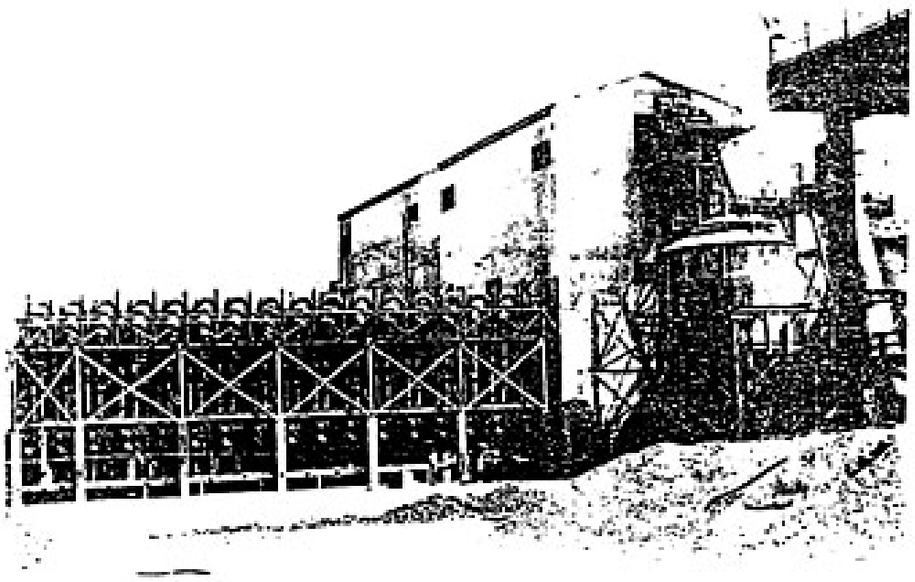


FIGURA 7. Vista de la Planta de destilación de Almadén. A la izquierda el Sistema de Condensación.

agua y comunicadas entre sí en un nivel superior, con lo que se consigue el cierre hidráulico de los mismos. En dichas piletas va cayendo el hollín y el mercurio ayudado por el riego, que periódicamente se hace en los tubos por una abertura situada en los codos de la parte superior; la mayor parte de estos hollines se recogen en las cuatro primeras piletas.

La capacidad de tratamiento del horno de soleras múltiples es de 100t/día, existiendo en la actualidad cuatro de estos hornos en funcionamiento en Almadén.

La potencia del ventilador de refrigeración es de 10 CV. El motor y reductor del eje del horno tiene una potencia de 15 CV. La potencia del compresor de los mecheros es también de 15 CV.

El diámetro del horno es de 5'5 m.

Hasta Febrero de 1972, que se instaló la planta que describiremos posteriormente, se trataban los hollines por el procedimiento siguiente:

Los hollines son sacados de las piletas y mezclados con cal viva en planos inclinados adyacentes a las mismas, (figura 8), todo ello manualmente. De esta manera, una buena parte del mercurio es separado y el residuo es devuelto a los hornos para su agotamiento.

Según un trabajo realizado por de la Cuadra y otros (20) las pérdidas de mercurio en el proceso ascienden a un 18%, de las que el 2% se estima en pérdidas en los humos y el resto son pérdidas en los hollines.

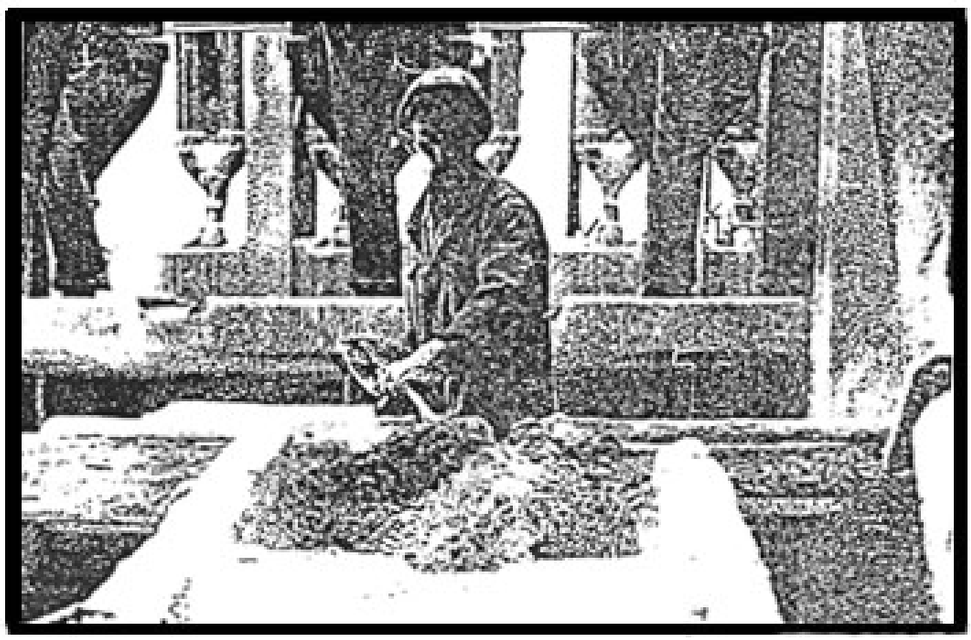


FIGURA 8. Tratamiento manual de hollines

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

El hollín es una fina emulsión que se recoge en la condensación. Estos hollines se forman por recubrimiento de las gotas de mercurio de una capa aceitosa, resultando un compuesto organomercúrico. La presencia de la materia orgánica se debe a la combustión incompleta del fuel-oil y también a las pizarras bituminosas que acompañan siempre al mineral.

Un análisis de los hollines recogidos en las piletas da la siguiente composición:

Agua.....	15%
Mercurio.....	79%
Sólidos (con un 2% de Hg ocluido).....	4'9%
HgO.....	0'1%
SHg.....	1%

Datos tomados de una publicación de Fernández Tallante (26).

Como antes se citaba las pérdidas de mercurio en los hollines era de un 16% cuando estos se trataban con cal, por lo que en el año 1972 se puso en funcionamiento un procedimiento desarrollado por el CENIM en colaboración con Minas de Almadén, S.A.

En esencia el procedimiento Almadén-CENIM consiste en el tratamiento a ebullición de los hollines con una solución que tiene sosa y sulfuro sódico, Fernández Tallante (26).

Actualmente es el tipo de horno que se utiliza en Minas de Almadén y se tienen noticias de que las investigaciones que se realizan hoy en la Empresa, para el tratamiento de minerales

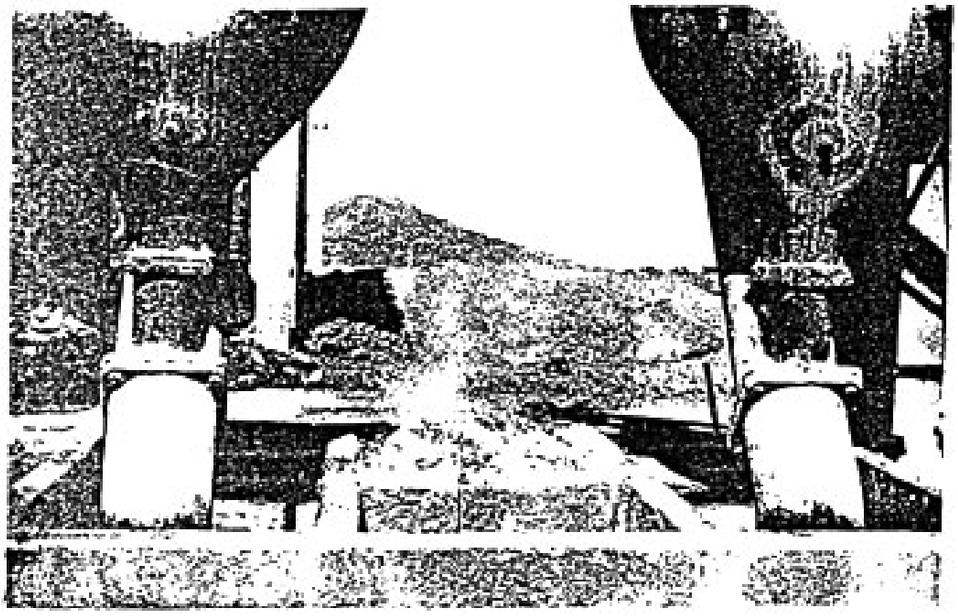


FIGURA 9. Desprendimiento de vapor después de la mezcla de Hollines y Cal

MIGUEL DE CERVANTES

pobres, van por el camino de la concentración por flotación, para, posteriormente, tratar el concentrado en los hornos que se acaban de describir.

En Estados Unidos el horno utilizado desde 1944 es el rotatorio, Bray (4), cuyo esquema se representa en la (figura 10). En la misma figura se representan las instalaciones de condensación. La capacidad de estos hornos varía de unas instalaciones a otras, por lo que, son de tamaño diferente, variando desde las de 60 cm. de diámetro y 5'4 m. de largo, con una capacidad de 10 toneladas/hora, hasta los de 1'5 m. de diámetro, 25'5 m. de largo y una capacidad de 150 toneladas/día. Estos hornos, que funcionan de acuerdo con el mismo principio de los de secado y modulación, tienen un revestimiento de ladrillo refractario de 10'5 cm. de espesor. La alimentación debe llevarse a cabo con aparatos especiales para evitar la pérdida de vapor de mercurio. Por la misma causa es necesario dotarlo de una junta de expansión para lograr un cierre hermético en el punto en el que el horno se une a la chimenea.

El horno se alimenta con mineral cuyo tamaño varía de 7'5 cm. al tamaño de polvo más fino mediante una tolva oscilante. Esta consiste en un tubo de 12'5 cm. de diámetro que se prolonga por la parte superior de la chimenea y penetra en el horno, y que está montado en una inclinación del terreno y sostenido por rodillos en la parte exterior de aquél. El movimiento producido por un mecanismo tipo excéntrico hace que la mena discurra por la tubería y penetre en el horno. En el punto en que la tubería penetra en este existe un cierre hermético para evitar la fuga de gases, mientras que cuando la tubería está llena de mena dicho escape es muy reducido. En el extremo de descarga se presentan pocas dificultades, porque la mayor parte del mercurio ya se ha separado y

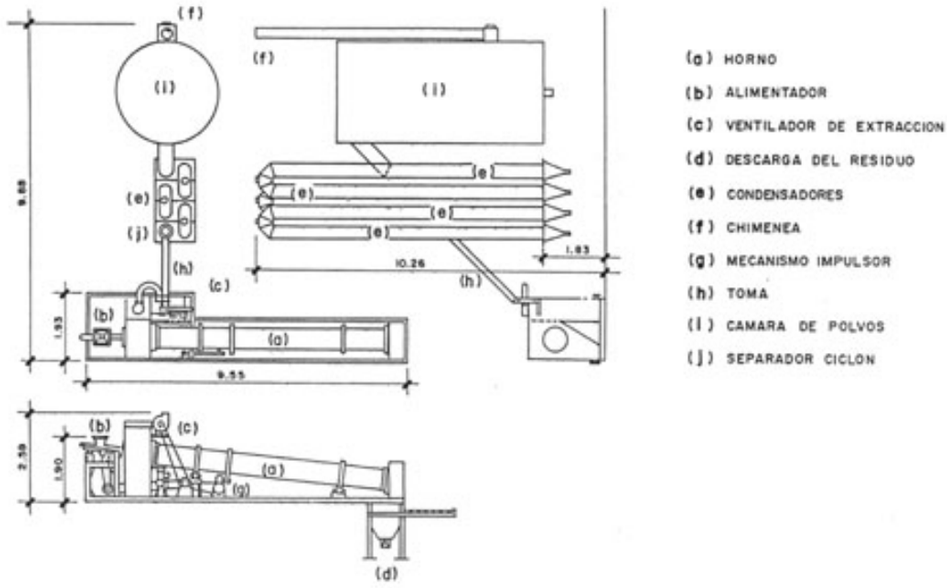


FIGURA 10. HORNO ROTATORIO

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

la elevada velocidad de la corriente evita pérdidas por difusión.

Según la fuente citada anteriormente, Bray (4), en Estados Unidos el 83% de los hornos en marcha son del tipo rotatorio, y el resto de soleras múltiples.

El día 22 de Julio de 1983, antes de comenzar la realización práctica de la Tesis, se realizó una búsqueda retrospectiva en el Instituto de Información y Documentación en Ciencia y Tecnología del C.S.I.C., apareciendo una sola referencia, relacionada con la tostación de cinabrio en reactor de lecho fluidizado. En el apéndice I, se recoge fotocopia del abstrac de la búsqueda.

La citada referencia alude a un artículo publicado en la revista Metallurgical Abstracts en Enero de 1980. En este artículo, de S.M. MELNIKOV y V.K. MIKHAILOV del Central Board of Rare Earth Metals de Moscú, se describe un procedimiento puesto en marcha en Rusia alrededor de 1977.

El citado artículo dice que se ha puesto en servicio en Rusia un horno de tostación en lecho fluidizado, que admite minerales con contenidos de mercurio de hasta 0'0005% con rendimientos en la recuperación de un 99%.

El horno, como puede verse en la (figura 11), comprende los siguientes elementos (de abajo a arriba): una tolva de descarga encima de la que se encuentran las Soleras de los quemadores. La cuba se expande hacia arriba y a través de un orificio en la parte superior comunica con la cámara de polvos. El horno, recubierto de refractario tiene una cubierta de acero cuidadosamente soldada para evitar pérdidas.

La alimentación del horno se realiza a través de un tubo que atraviesa el techo. Los finos pasan al sistema de recogida de polvos mientras que los gruesos que constituyen la mayor parte de la alimentación se descargan a través de la tolva que tiene un sistema de recuperación de calor.

El calentamiento del horno se hace mediante la combustión de gas natural y los humos, que alcanzan una temperatura de 1.500-16OO ºC se encuentran con el mineral que, molido a 30 mm., cae en contracorriente con ellos rebajando, casi instantáneamente, su temperatura a unos 550 ºC.

El consumo de calor se cifra en 250.000 Kcal/t de mineral, que es inferior a la de los hornos rotativos. Sin embargo, el problema que crea el gran arrastre de polvo que

da lugar, para su solución a un sofisticado sistema de captación compuesto por dos etapas de ciclonado y electrofiltro, acarrea un consumo adicional de energía, frente a los hornos rotativos que da lugar, en el consumo energético total (debidos a la mayor pérdida de carga y al uso de precipitadores electrostáticos) a que sea tres veces mayor.

A nuestro juicio este sistema no es una fluidización, tal y como se entiende hoy en el mundo occidental esta tecnología, sino que se trata más bien de una tostación relámpago o tostación por suspensión (flash roasting).

Un mineral con una granulometría de 30 mm., y un 0'0005% de Hg es un mineral en el que el 0'00058% es SHg y el 0'99942% ganga. Aceptar que en estas condiciones se puede alcanzar una recuperación del 99% de Hg. es bastante difícil. Por otra parte nos parece absurdo introducir en el reactor y calentar de 100 Tn., por ejemplo, 99'942 Tn. de piedra para tostar 58 gramos de mineral.

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

En el apéndice II se recoge una fotocopia del artículo donde se hacen estas afirmaciones.

1.4. El Mineral

1.4.1. Breve Descripción del Yacimiento

En la provincia de Ciudad Real, en su parte más occidental y próximo a las provincias de Badajoz y Córdoba se encuentra el yacimiento de mercurio de Almadén, junto a la localidad del mismo nombre.

La concesión estaba formada, hasta época muy reciente, por un círculo de 25 kilómetros de radio y centro el Pozo S. Teodoro, Grande Gil (31). Actualmente comprende la superficie limitada por un cuadrado, cuyo centro es el mismo pozo, y lado 50 kilómetros. La orientación del cuadrado es con dos lados paralelos al Norte.

BIBLIOTECA VIRTUAL

Dentro de los 2.500 kilómetros cuadrados de la concesión, se encuentran numerosos indicios de cinabrio y varias minas explotadas en épocas anteriores, algunas muy antiguas.

En la zona del yacimiento explotada actualmente, la mineralización aparece impregnando tres bancos de cuarcitas, llamadas cuarcitas de criadero. La dirección de la estratificación es, aproximadamente, Este-Oeste y su buzamiento, del orden de 80º al Norte.

El muro de la formación lo constituyen pizarras y entre éstas y la cuarcita anterior se encuentra interestratificado un sill de roca volcánica, de potencia variable de cero a un metro (figura 12). La cuarcita inferior, mineralizada, con una potencia variable de siete a diez metros, conocida como Banco San Pedro, tiene como techo o hastial Norte, pizarras con un espesor de unos 10 m. Siguiendo la serie hacia el Norte,

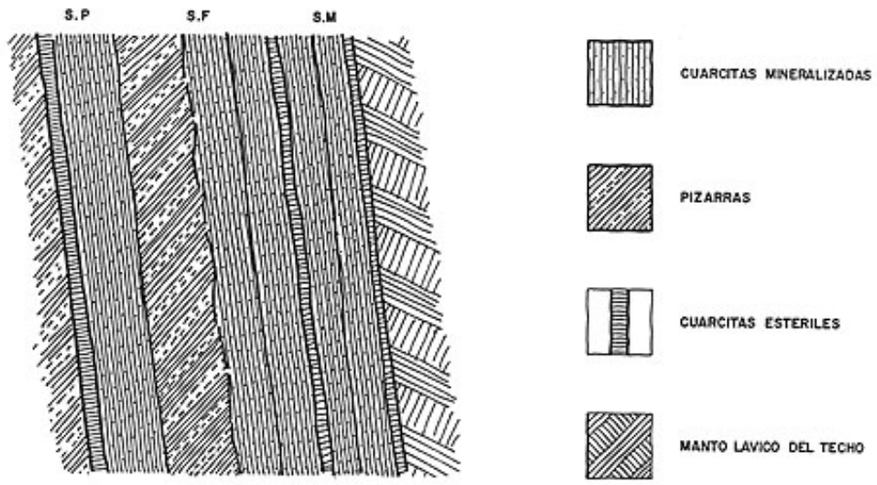


FIGURA 12. Forma del yacimiento de Almadén descrito por Grande Gil

BIBLIOTECA VIRTUAL
MIGUEL DE CERVANTES

se encuentra, tras las pizarras anteriores, un tramo de cuarcitas estériles, con lagunas intercalaciones de pizarras, hasta llegar al muro del Banco de San Francisco, que está mineralizado en una potencia de unos cinco metros. En el muro de este banco suelen aparecer bien visibles figuras de sedimentación del tipo RIPPLE-MARKS. El techo de San Francisco está formado por un tramo de cuarcitas estériles, con alguna intercalación de pizarra. Este tramo de cuarcitas tienen unos cinco metros de ancho, que separan aquel banco de San Nicolás cuyas cuarcitas tienen, aproximadamente, cuatro metros de potencia. El techo de este último banco está formado por pizarras grafitosas muy deleznables.

En la mina actual, los tres bancos anteriores son explotados en una corrida del orden de 450 metros, de largo y la cota a la que se encuentran las explotaciones es 504 metros por debajo del nivel de la superficie. Sondeos de investigación, realizados desde el interior, indican que la mineralización continúa en profundidad, al menos en otros 150 metros.

Los bancos descritos anteriormente se ven saltados por dos fallas principales: la de San Miguel, al Este, con dirección Noroeste y buzamiento 70º Suroeste, y la de San Aquilino al Oeste, con dirección Noreste y buzamiento 85º al Noroeste.

Como hemos dicho anteriormente, la planta más profunda en explotación, la 19, corresponde a la cota 504 metros. Actualmente se trabaja en labores de infraestructura, profundización de pozos y trazado de galerías en estéril, para preparar la mina hasta la planta 25, o sea hasta la cota 654 metros.

La mina dispone de tres pozos en servicio: San Teodoro,

San Joaquín y San Miguel.

Las características principales de los mismos son las siguientes:

Pozo San Teodoro.- Es el principal y por él se realiza normalmente la extracción. Tiene sección circular de 4'50 metros de diámetro, revestimiento de hormigón, dotado de máquina de extracción con polea KOEPE bicable. Dos jaulas y cada una de ella de dos pisos, con capacidad para dos vagonetas de 330 litros, por piso. La capacidad de extracción es de 50 toneladas hora desde planta 19. Este pozo es el normalmente empleado para personal.

Pozo San Joaquín.- Situado a 514 metros al Oeste del anterior, se utiliza fundamentalmente para la introducción del relleno. Es de sección circular, de 4'5 metros de diámetro y revestimiento de hormigón. La máquina de extracción es de tambores cilíndricos. Dispone de dos jaulas con capacidad para dos vagonetas cada una. La capacidad de extracción es de 25 toneladas hora desde planta 19. En la actualidad se está profundizando este pozo, habiendo alcanzado ya la planta 23.

Pozo San Miguel.- Situado a 117 metros al Este del Pozo San Teodoro, circular, de tres metros de diámetro, revestimiento de hormigón, se emplea exclusivamente como pozo de retorno de ventilación. El aire entra a la mina por los pozos San Teodoro y San Joaquín y sale por San Miguel, forzado por la aspiración de uno de los ventiladores situado en superficie en la boca de este pozo. En este punto existen dos ventiladores iguales, montados en paralelo, estando constantemente uno en funcionamiento y el otro en reserva, para ponerse en marcha

en caso de avería del primero.

Existe un cuarto pozo, el San Aquilino, situado a 95 metros al Oeste del San Teodoro, utilizado en la actualidad como acceso a viejas zonas de la mina, en las que se realizan trabajos de investigación para delimitar los macizos de mineral abandonados por los Fuggers, en la época en que estos banqueros explotaron el yacimiento.

Los resultados de las investigaciones son, hasta el momento, muy satisfactorios.

1.4.2. Variedades Mineralógicas del Mercurio

1.4.2.1. Cinabrio

Fórmula: SHg.

Sistema y Clase: Trigonal trapezoédrico (32).

Grupo espacial: $P3_1\ 21$ o $P3_2\ 21$.

d(A) = 3'35 - 2'863 - 1'980.

Color: Rojo púrpura.

Raya: Más clara.

Brillo: De adamantino o térreo.

Dureza: 2'5

Densidad: 8'1

Propiedad más característica: Brillos plateados debido al mercurio.

Forma de presentarse: En cristales normalmente romboédricos con maclas de penetración. La forma más frecuente de presentarse es en masa granular. Si es duro y compacto se le denomina cinabrio de labra, dado que en una época en Almadén eran talladas muchas figuras con esta clase de cinabrio. Normalmente se presenta impregnando ampliamente las cuarcitas.

Química: Contiene el 86'2% de mercurio, aunque suele estar muy impurificado.

Óptica: Translúcido. Gris azulado, con reflexiones internas rojas.

Empleo: Es la mena más importante de mercurio. Este elemento es usado para amalgamaciones y aparatos científicos

Forma da yacer: Hidrotermal de baja temperatura asociado con actividad volcánica reciente.

Paragénesis: Con pirita, marcasita, estibina y sulfuros de cobre, en gangas de ópalo, calcedonia, cuarzo, baritina, calcita, dolomita y fluorita.

Yacimiento principal: Almadén, en España, donde se explota desde tiempo de los romanos.

En España: Contamos en España, como acabamos de mencionar, con el primer yacimiento en cuanto a producción mundial de esta especie en Almadén (Ciudad Real), donde además se han recogido los más hermosos ejemplares en cuanto a cristalizaciones y coloraciones.

Aparece con mucha menor importancia el mineral en otros lugares, como son:

En Asturias, las importantes minas de Tarna, donde la ganga es la calcita; en Pola de Lena, donde contiene un elevado porcentaje le rejalgar, y en Mieres, Langreo, Villaviciosa y Caravias, con espato calizo. También en Riano y Barrios de Luna (León).

En pequeñas cantidades asociado a la smithosonita de

los Picos de Europa. En garralda (Pirineo Navarro).

Con óxidos de hierro en Tormón (Teruel) acompañado de pirita y calcita espática; con cuarzo en Utrillas y Albarracín, en la misma provincia.

En Sierra de Gádor, Sierra Filabres y Sierra Cabrera (Almería) y en los Alpujarrides (Torviscón, Albondón, Almejíjar); en Dólar y Sierra de Baza (Granada).

Con cuarzo ha sido encontrado en Virgen del Carmen Orihuela (Alicante). De color carmín terroso en Chovar y Alfondeguillas (Castellón) y con crisocola en la Creu (Valencia).

En algunas ocasiones, en las paragénesis de sulfuros de la Sierra de Mula, Mazarrón y Águilas (Murcia).

Con galena y cuarzo ferruginoso en Usagre (Badajoz) y Torrejoncillo (Cáceres).

Etimología: Este término parece que provine de la India, donde llaman así a la resina roja.

1.4.2.2. Metacinabrio

Fórmula: Shg.

Sistema y clase: Cúbico hermiédrico (43 m).

Grupo espacial: F43m.

d (A) = 3'38 - 2'06 - 1'76.

Color: De negro a gris.

Raya: Más clara.

Brillo: Metálico.

Dureza: 3.

Densidad: 7'5.

Propiedad más característica: En condiciones ambientales se muestra muy volátil.

Forma de presentarse: En cristales muy pequeños con forma de tetraedro o masivo.

Química: Polimorfo del cinabrio. El cinabrio se invierte a metacinabrio a 344º y una atmósfera de presión. El cambio inverso se da por sublimación.

Óptica: Opaco.
Empleo: Mena de mercurio.
Forma de yacer: 1º. Hidrotermal. 2º. Por metamorfismo de contacto.
Paragénesis: Con el cinabrio.
Yacimiento principal: Los de cinabrio de California.

En España: Se le encuentra en las areniscas y pizarras metamórficas, en formas masivas negras, en las localidades de Muñas, Brañalonga, Maramuñiz, Villatresmil y Pola de Lena en Asturias.

Con textura brechoide está citado de antiguo en Valdeazogues (Ciudad Real).

Etimología: Una fase metaestable del cinabrio.

1.4.3. Estructura del Mineral de Mercurio de Almadén

El beneficio optimo de un mineral debe basarse - cumplidos los requisitos económicos en el conocimiento de su naturaleza

y de su estructura.

Como no es el caso de proceder a realizar una investigación exhaustiva sobre la mineralogénesis del mineral de mercurio de Almadén, se recogen una serie de conclusiones sobre la estructura y la naturaleza del citado mineral que son a las que llega Calvo (6) y (7), y que nos sirven para conocer la mena con que se trabaja.

El mineral aparece en cuarcitas porosas impregnadas de SHg. Se encuentra también pirita, en pequeña cantidad, y mercurio metálico alojado bien en el propio SHg o en cavidades o defectos de los granos de cuarzo.

La cuarcita está formada por un agregado de cristales idiomórficos microscópicos de SiO_2 que, al crecer, han dejado los espacios intercristalinos que dan propiedad a la roca.

Estas cavidades y discontinuidades están enlazadas entre sí por conductos y cavidades de forma y dimensiones muy variadas, dando a la roca cuarcitica la estructura de una roca rígida.

La masa mineralizante de SHg, llena completamente estos espacios inter e intracristalinos, reproduciendo con extraordinaria fidelidad todos los detalles de los cristales que forman las paredes de la cavidad en que se sitúa.

A pesar de la fidelidad con que se reproducen los detalles, no existe la menor cohesión entre el cinabrio y el cuarzo.

El mercurio metálico se encuentra o bien segregado en

la propia masa de SHg o alojado en discontinuidades muy pequeñas de la roca -incluso grietas intercristalinas o límites- de los granos de cuarzo en forma de gotas que con frecuencia tienen tamaños microscópicos. El mercurio no moja el cuarzo, pero sí al cinabrio.

La superficie de rotura del SHg mineralizante, exhibe una estructura fibrosa muy deleznable, aunque compacta, sin poros ni cavidades. Se separa con gran facilidad de las superficies de cuarzo.

1.5. Objetivo y finalidad de la Tesis

Al realizar la presente Tesis doctoral nos proponemos comprobar la viabilidad técnica de la tostación del cinabrio en horno de lecho fluidizado, y estudiar los fenómenos de transferencia en un reactor del tipo citado.

Entre los fines que se pretenden alcanzar, se encuentran el estudio fluidodinámico del cinabrio y los fenómenos de transferencia de masa y energía. Para este último estudio se pretende someter a tostación en un reactor de lecho fluidizado muestras de diferentes pesos, leyes en mineral, diámetro de partícula, temperatura y tiempo de permanencia del mineral en el reactor. El análisis de estos resultados se hará mediante un análisis de regresión lineal, con el que se pretende encontrar una ecuación que nos defina el comportamiento del mineral en un reactor de lecho fluidizado.

2. TOSTACIÓN DEL CINABRIO EN RÉGIMEN ESTACIONARIO

2.1. Introducción

En un horno de mufla con calentamiento mediante resistencias eléctricas, se introducen muestras de mineral, para su tostación, con objeto de determinar la cinética de la reacción

$$SHg + 0_2 \rightarrow SO_2 + Hg$$

cuando esta se realiza en régimen estacionario.

2.2. Técnica Experimental

El horno utilizado en los ensayos realizados en régimen estacionario, cuyo esquema se representa en la figura 13, es un horno HERAEUS modelo K 1150/2, cuyas características técnicas se describen a continuación:

Máxima temperatura.	1.200 ºC
Potencia.	4'5 kw
Voltaje.	380 V
Tiempo de calentamiento a la temperatura máxima	190 min.
Peso.	75 kg.
Dimensiones internas:	
anchura.	225 mm.
altura.	215 mm.
profundidad.	300 mm.
Dimensiones externas:	
anchura.	535 mm.
altura.	215 mm.
profundidad.	595 mm.

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

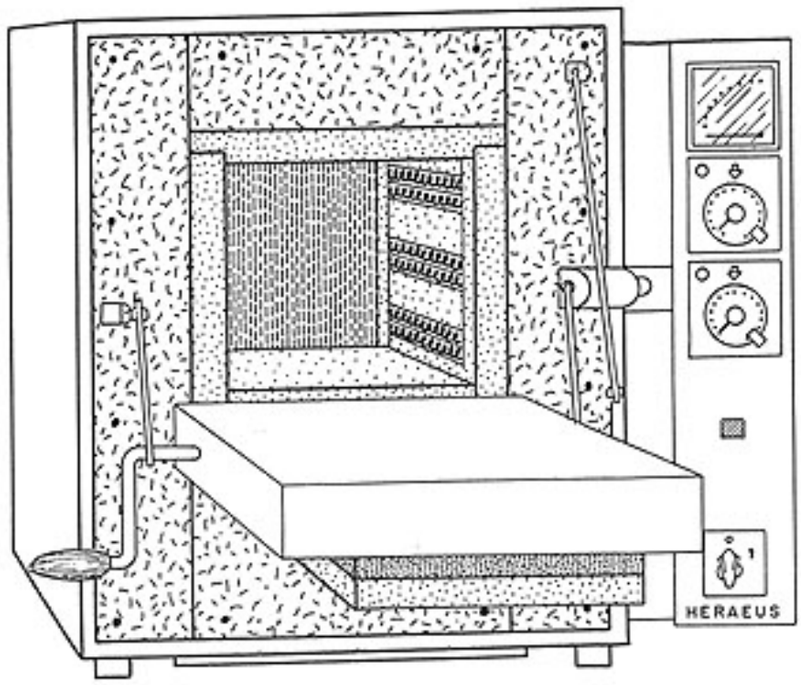


FIGURA 13. HORNO ELÉCTRICO UTILIZADO EN ENSAYOS DE TOSTACIÓN EN RÉGIMEN ESTACIONARIO

El horno dispone de un termostato que permite seleccionar y mantener constante la temperatura de ensayo.

Al comenzar el ensayo se pesaban varias muestras de mineral de la misma ley y granulometría y se introducían en el horno que estaba ya a la temperatura de ensayo. Después, cada cierto tiempo, se iban sacando las muestras una a una, con lo que su tiempo de permanencia a la temperatura de ensayo era distinta. Cada muestra era pesada para determinar el tanto por ciento de pérdida de peso. Se repetían, ensayos alterando el resto de las variables que intervienen en el proceso, ley del mineral, granulometría y temperatura.

Los resultados obtenidos son los que figuran en las tablas que se insertan a continuación.

Posteriormente y mediante el análisis de regresión lineal se determina la ecuación que define el comportamiento del cinabrio en su proceso de tostación en régimen estacionario.

MIGUEL DE CERVANTES

2.3. Análisis de regresión

Con los resultados de los ensayos descritos en el punto anterior se pretende encontrar, mediante el análisis de regresión, una ecuación que defina la cinética de la tostación del cinabrio en régimen estacionario y en un horno de las características del descrito anteriormente.

Para la realización por medio de ordenador de este análisis se ha utilizado un programa de 5.700 sentencias facilitado por el Profesor Quinta Martín, Director de esta Tesis. Este programa, actualmente, se está adaptando para su introducción en el ordenador del Departamento de Tecnología Química General, de esta Escuela.

LUZ DE MALLA (en mm.)	DIÁMETRO MEDIO DE PARTÍCULA (en mm.)	TEMPERATURA (en ºC)	TIEMPO (en min.)	PÉRDIDA DE PESO (en %)	LEY DEL MINERAL (en % de Hg)	MÁXIMA PÉRDIDA DE PESO (en %)
12'7	14'12	300	5	0'08	52'65	85'45
"	"	"	10	0'053	"	"
"	"	"	15	0'17	"	"
"	"	"	20	0'03	"	"
"	"	"	25	0'4	"	"
"	"	"	126	0'983	"	"
FINOS	0'044	"	126	1'85	"	"
9'53	10'89	500	15	22'08	"	"
"	"	"	30	47'3	"	"
"	"	"	45	61'8	"	"
"	"	"	60	40'3	"	"
"	"	"	75	29'66	"	"
"	"	"	80	26'03	"	"

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

LUZ DE MALLA (en mm.)	DIÁMETRO MEDIO DE PARTÍCULA (en mm.)	TEMPERATURA (en ºC)	TIEMPO (en min.)	PÉRDIDA DE PESO (en %)	LEY DEL MINERAL (en % de Hg)	MÁXIMA PÉRDIDA DE PESO (en %)
9'53	10'89	600	45	55'67	52'65	85'45
"	"	"	60	81'32	"	"
0'125	0'136	"	"	67'95	"	"
0'1	0'111	"	"	69'78	"	"
6'35	7'62	500	30	50'58	"	"
"	"	"	60	58'68	"	"
"	"	"	90	56'67	"	"
"	"	"	120	44'32	"	"
"	"	700	60	56'15	"	"
"	"	"	97	60'5	"	"
"	4'91	800	30	63'86	"	"
4	"	500	15	4'33	"	"
"	"	"	30	33'76	"	"
"	"	"	60	58'12	"	"
"		700	30	70'6	"	"

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

LUZ DE MALLA (en mm.)	DIÁMETRO MEDIO DE PARTÍCULA (en mm.)	TEMPERATURA (en ºC)	TIEMPO (en min.)	PÉRDIDA DE PESO (en %)	LEY DEL MINERAL (en % de Hg)	MÁXIMA PÉRDIDA DE PESO (en %)
4	4'91	700	60	67'35	52'65	85'45
"	"	800	15	69'88	"	"
"	"	"	30	54'63	"	"
"	"	"	45	59	"	"
2	2'67	500	15	47'69	"	"
"	"	"	30	60'23	"	"
"	"	"	60	37'03	"	"
1	1'33	"	15	42'38	"	"
"	"	"	30	73'8	"	"
"	"	"	60	70'27	"	"
6'35	"	1000	75	67'41	"	"
4	"	"	"	48'13	"	"
2	"	700	15	70'41	"	"
"	"	"	30	67'71	"	"

BIBLIOTECA VIRTUAL
MIGUEL DE CERVANTES

LUZ DE MALLA (en mm.)	DIÁMETRO MEDIO DE PARTÍCULA (en mm.)	TEMPERATURA (en ºC)	TIEMPO (en min.)	PÉRDIDA DE PESO (en %)	LEY DEL MINERAL (en % de Hg)	MÁXIMA PÉRDIDA DE PESO (en %)
2	2'67	700	60	71'03	52'65	85'45
1	1'33	"	15	65'27	"	"
"	"	"	30	68'95	"	"
"	"	"	60	65'49	"	"
0'5	0'67	600	30	76'26	"	"
"	"	"	60	73'60	"	"
"	"	"	90	71'44	"	"
0'25	0'33	"	30	64'3	"	"
"	"	"	60	73'2	"	"
"	"	"	90	70'23	"	"
1	1'33	400	15	8'5	49'07	79'69
"	"	"	30	27'46	"	"
"	"	"	45	49'36	"	"
"	"	"	60	45'5	"	"
"	"	"	75	49'8	"	"

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

LUZ DE MALLA (en mm.)	DIÁMETRO MEDIO DE PARTÍCULA (en mm.)	TEMPERATURA (en ºC)	TIEMPO (en min.)	PÉRDIDA DE PESO (en %)	LEY DEL MINERAL (en % de Hg)	MÁXIMA PÉRDIDA DE PESO (en %)
1	1'33	400	90	44'46	49'07	79'69
"	"	"	120	49'11	"	"
"	"	"	180	50'37	"	"
"	"	"	420	48'69	"	"
0'5	0'67	"	60	48'78	"	"
"	"	"	90	55'35	"	"
"	"	"	120	53'43	"	"
0'25	0'33	"	60	53'34	"	"
"	"	"	90	55'87	"	"
"	"	"	120	58'4	"	"
1	1'33	500	30	50'01	"	"
"	"	"	60	51'59	"	"
"	"	"	90	50'75	"	"
0'5	0'67	"	30	53'72	"	"
"	"	"	60	55'95	"	"

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

LUZ DE MALLA (en mm.)	DIÁMETRO MEDIO DE PARTÍCULA (en mm.)	TEMPERATURA (en ºC)	TIEMPO (en min.)	PÉRDIDA DE PESO (en %)	LEY DEL MINERAL (en % de Hg)	MÁXIMA PÉRDIDA DE PESO (en %)
0'5	0'67	500	90	56'33	49'07	79'69
1	1'33	1000	240	51'59	"	"
0'5	0'67	"	"	55'5	"	"
0'25	0'33	400	30	37'71	"	"
"	"	"	60	54'99	"	"
"	"	"	90	54'12	"	"
1	1'33	500	30	40'68	"	"
"	"	"	60	49	"	"
"	"	"	93	48'03	"	"
0'5	0'67	"	30	55'7	"	"
"	"	"	60	53'4	"	"
"	"	"	90	53'51	"	"
0'25	0'33	"	30	54'7	"	"
"	"	"	60	53'46	"	"
"	"	"	90	49'86	"	"

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

2.3.1. Características del programa utilizado en el ajuste econométrico de series temporales

El programa utilizado tiene como finalidad el análisis de regresión de series temporales. Puede aplicarse a ecuaciones lineales o no lineales. Ofrece también otras posibilidades susceptibles de ser aplicadas de forma independiente o complementaria de la principal.

Permite modificar los datos introducidos o almacenados durante la ejecución, de manera relativamente libre (paso a logaritmos, elevación a potencias, combinaciones lineales, crecimientos relativos, multiplicación o división de series, etc). La serie cuyos elementos son todos iguales a la unidad y la serie cuyos elementos son 1,2... pueden generarse automáticamente por el programa.

Puede utilizarse en modelos uniecuacionales o multiecuacionales. En los primeros existen las opciones de cálculo de los coeficientes por medio de los métodos de los mínimos cuadrados ordinarios, mínimos cuadrados generalizados y variables instrumentales. Pueden evaluarse los coeficientes de ecuaciones no lineales mediante las opciones de los mínimos cuadrados ordinarios o los generalizados aplicados a la ecuación linealizada.

En los segundos existen las opciones de cálculo por medio de los métodos de las variables instrumentales y el de los mínimos cuadrados bietápicos, estando muy avanzado el desarrollo para la incorporación a este programa de la estimación con junta de ecuaciones (la estimación conjunta se refiere a "joint estimation" y no debe confundirse con estimación de ecuaciones simultáneas "simultaneosu equation estimation") y el método de mínimos cuadrados trietápicos.

Para facilitar la interpretación de los resultados, cada serie y cada ecuación se identifican con un nombre alfanumérico. Aquellas ecuaciones que se desee pueden incluirse en un resumen final que permite estudiar y seleccionar las diversas ecuaciones propuestas con gran comodidad.

Asimismo se pueden evaluar funciones, obtener gráficos en función del tiempo o diagramas que expresen la relación entre dos variables.

2.3.1.1. Estimación de ecuaciones

2.3.1.1.1. Ecuaciones lineales

Los métodos de cálculo de los coeficientes de regresión son el de los mínimos cuadrados ordinarios y el de los mínimos cuadrados generalizados en presencia de un proceso autorregresivo de primer orden. Uno y otro pueden ser elegidos optativamente por el usuario.

En la primera etapa el programa aplica el método de los mínimos cuadrados ordinarios. En la segunda etapa, el programa obtiene una nueva variable "z" a partir de cada una "x" (explicada y/o explicativa) empleada en la primera etapa, de acuerdo con:

(2.1)

$$z_t = x_t - \hat{\rho}\ x_{t-1}$$

donde $\hat{\rho}$ es el coeficiente de autorregresión calculado en la primera etapa. Al conjunto de variables "z" así obtenidas, el programa aplica el método de los mínimos cuadrados ordinarios. En las dos etapas, los informes impresos obtenidos son análogos

al correspondiente a los mínimos cuadrados ordinarios. Téngase presente que para efectuar predicciones con la ecuación obtenida aplicando el método de los mínimos cuadrados generaliza dos descrito, la ecuación a aplicar es:

(2.2)

$$\hat{Y}_t = a_1 \cdot x_{1t} + \cdots + a_n \cdot x_n + e_T \, (\hat{\rho})^{(t-T)}$$

T = último período de tiempo de datos históricos conocidos.

t = período de tiempo en el que se desea predecir y_t. Debe ser mayor que T.

$\hat{Y}_t$ = variable explicada estimada correspondiente al período t.

x_{1t},... x_{nt} = valores de variables explicativas (las empleadas en la primera etapa) correspondientes al período t.

a_1,... a_n = coeficientes obtenidos en la segunda etapa. El coeficiente "a_i" (i-ésimo de la 2ª etapa) corresponde a la variable "x_{it}" (i-ésimo de la 1ª etapa).

$\hat{\rho}$ = coeficiente de autorregresión obtenido en la primera etapa.

e_T = residuo obtenido en la 2ª etapa. Correspondiente al último valor histórico "T" conocido.

También pueden hacerse las previsiones mediante la ecuación:

(2.3)

$$\hat{Y}_t = \hat{\rho}\, y_{t-1} + a_1 \cdot (x_{1t} - \hat{\rho}\, x_{1t-l}) + \cdots + a_n \cdot (x_{nt} - \hat{\rho}\, x_{nt-1})$$

que es válida para cualquier período t de tiempo.

Obsérvese que el "$\hat{Y}_t$" aquí indicado no es el que en el informe se imprime como "Y AJUSTADA" en ninguna de las dos etapas.

En el caso de los mínimos cuadrados ordinarios las predicciones se efectuarían con la ecuación:

(2.4)

$$\hat{Y}_t = a_1 \cdot x_{1t} + \cdots + a_n \cdot x_{nt}$$

donde

$\hat{Y}_t$ = variable explicada correspondiente al periodo t.

x_{it} = variable explicativa i-ésima correspondiente al período t.

a_i = coeficiente i-ésimo obtenido.

Si se desean almacenar los valores ajustados y/o los residuos se indicarán los nombres de las variables en las que se deseen almacenar, estando así disponibles para los trabajos siguientes. Dichos nombres pueden corresponder a nuevas variables o a variables existentes, siendo borrados en este último caso los valores que en ellas había.

Las diversas ecuaciones estimadas son independientes entre sí, pudiendo ser una variable endógena en una ecuación exógena en otra y no figurar en una tercera.

Si las longitudes de las series son diferentes, la regresión se adapta automáticamente sobre la longitud de la más corta.

2.3.1.1.2. Ecuaciones no lineales

El programa trata también ecuaciones no lineales. Determina el valor de los coeficientes de manera que la suma de los cuadrados de los residuos sea mínima.

A cada ecuación se le asigna un nombre. Puede imprimirse opcionalmente en el resumen final de resultados. Si se desea puede guardarse las series correspondientes a los valores obtenidos para la variable dependiente mediante la ecuación ajustada.

Durante el proceso de cálculo se utiliza una serie auxiliar en la que se almacenan los valores correspondientes a la variable explicada transformada. Puede ser una variable nueva o coincidir con una de las existentes, en cuyo caso se destruyen los valores que contenga. Los símbolos de los coeficientes de la ecuación se hacen corresponder con sendas series, de manera que si el nombre de alguno coincide con el de alguna variable almacenada previamente por el programa, resulta destruida ésta última. Para cada coeficiente se proporciona el valor inicial del primer tanteo y los límites máximo y mínimo. De esta manera se reduce el número de iteraciones y se evita intentar evaluar ciertas funciones con los valores de los argumentos fuera del rango de validez. Se dan también los errores relativos y absolutos máximos permitidos en la evaluación de los coeficientes y el porcentaje del valor de cada coeficiente que se utiliza en el cálculo de la derivada parcial de la ecuación respecto del mismo.

Falta por especificar la ecuación. Las operaciones con funciones pueden realizarse solamente con registros. Por tanto hemos de almacenar previamente en los registros los valores de los coeficientes y de las variables independientes mediante las sentencias apropiadas, así como de constantes numéricas. El número está incluído en el programa. Cada registro se identifica por un número. Los números empleados deben ser correlativos siendo el uno el primero.

Se observará que hay diversos tipos de sentencias. Mediante unas se asignan las variables dependientes, los coeficientes y los valores numéricos, entre ellos el del número a los registros. Otro tipo de sentencias permite operar con registros, aplicando diversos tipos de funciones. Los operandos son registros y el resultado se almacena en otro registro. Finalmente se asigna el resultado, contenido en uno de los registros a la variable dependiente o explicada.

2.3.1.2. Informes editados para cada regresión

Para cada regresión lineal el programa imprime sistemáticamente:

-Los nombres de la variable endógena y de las variables exógenas.
-Para cada variable exógena:

- su coeficiente.
- su desviación tipo.
- el estimador "t".
- el coeficiente de correlación parcial.
- el coeficiente de contribución incremental.

-El nombre del vector unidad en caso de que exista.

-La cantidad S (desviación típica estimada de los residuos).

-El efecto de multicolinealidad.

-Una tabla de análisis de la varianza: varianza total, explicada, residual (por varianza se entiende la suma de los cuadrados de las desviaciones con respecto a la media).

-El coeficiente de determinación R^2 (cuadrado del coeficiente de correlación múltiple).

-El coeficiente R^2 ajustado.

-El valor del estimador F con los grados de libertad correspondientes.

-Valores de la variable explicada observada, la ajustada, los residuos, el valor relativo (%) de los residuos respecto de la variable observada y el valor relativo de los residuos respecto de la media de la variable observada.

-Valor medio de la variable explicada observada.

-Un R^2 válido en todas las circunstancias.

-El test de DURBIN Y WATSON y el número de observaciones.

-La suma de los residuos.

-El coeficiente de autorregresión.

-El determinante de la matriz z'z (siendo $y = z \cdot \beta + \varepsilon$ el modelo).

-Los nombres de las variables en las que se almacenan eventualmente los valores ajustados y los residuos.

Para la serie unidad si existe los coeficiente de correlación

parcial y de contribución incremental se hacen iguales a cero ya que no tienen sentido.

La tabla de análisis de la varianza y el R^2 múltiple sólo son válidos si el modelo tiene término constante, o más exactamente, si en la combinación lineal una de las variables exógenas valiese 1 para cada observación.

Si se le pide al programa,

- $(z'z)$
- $(z'y)$
- $(z'z)^{-1}$
- $(z'z)\ (z'z)^{-1}$
- $(z'z)^{-1}\ (z'z)$

siendo el modelo

$$y = z \cdot \beta + \varepsilon$$

Pudiendo verificarse que las dos últimas matrices son aproximadamente iguales a la matriz unidad.

Todas estas matrices son matrices de momentos no centrados.

Si se piden las opciones necesarias, el programa imprime los gráficos de evolución de la serie observada y la ajustada por el modelo, en escala aritmética o logarítmica según el caso.

Si se pide, el programa edita las diferencias primeras ($\Delta y_t = y_t - y_{t-1}$) de los valores observados y ajustados y el coeficiente de correlación entre las dos series así como un gráfico representando la evolución de las dos series.

Si se desea, la ecuación pueden incluirse en el resumen de ecuaciones que el programa imprime al finalizar cada trabajo.

En el caso de ecuaciones no lineales, se imprime opcionalmente, lo antes indicado para la ecuación linealizada en cada tanteo, y en todos los casos los valores de los coeficientes, su desviación tipo, el estimador "t", los coeficientes de correlación parcial y contribución incremental, la desviación típica estimada de los residuos, el efecto de multicolinealidad, el análisis de la varianza, el coeficiente de determinación, el estimador "F". Una vez estimados los coeficientes de la ecuación linealizada e impreso el informe correspondiente a ésta, si exceden los límites máximo o mínimos impuestos, se substituyen por dichos límites.

Al finalizar el último tanteo se imprime un informe completo para la ecuación linealizada definitiva, y para la no lineal el coeficiente de correlación, el estimador "F", la desviación

típica estimada de los residuos (tomando como grados de libertad el número de elementos de la serie menos el de coeficientes), el análisis de la varianza (varianza residual, varianza total, varianza explicada), valores de la variable explicada observada, ajustada, residuos, valores relativos de los residuos respecto de la media y la variable observada, el test de DURBIN y WATSON, el número de observaciones, la suma de residuos, el coeficiente de autorregresión el determinante de la matriz z'z de la ecuación linealizada y eventualmente los nombres con que se guardan la variable explicada ajustada y los residuos. Muchos de los estadísticos que se proporcionan para la ecuación no lineal se tomarán con las debidas precauciones.

2.3.1.3. Descripción de gráficos

El programa puede trazar dos tipos de gráficos:

-Gráficos de evolución con escalas aritmética o logarítmica.

-Gráficos de dispersión.

El trazado de gráficos puede solicitarse:

-Directamente. En este caso las series que figuran en los gráficos se especifican de manera totalmente libre.

-Indirectamente acompañando a cada regresión. Las series que figuran entonces en los gráficos son la de valores observados y la de los valores ajustados por el modelo.

Para leer un gráfico de evolución hay que girar el listado

un cuarto de vuelta en el sentido contrario al de las agujas del reloj. Hecha esta operación encontramos en el eje de las "x" el tiempo, identificándose cada observación por su fecha o número de orden, y en el eje "y" en escala aritmética o logarítmica los valores le las series, todas en la misma escala si hay más de una. El gráfico es en escalera representándose cada observación por tres asteriscos "***" (para la serie observada o la primera serie) o por tres círculos "ooo" (para la serie de valores ajustados o la segunda serie). Si ambos coinciden se imprimen solamente tres asteriscos "***".

En los gráficos de dispersión, si x_i e y_i son las observaciones i-ésimas de las series x e y, el gráfico representa la nube de puntos (x_i, y_i) en el plano X-O-Y. En la opción "con lita" se imprime una lista de observaciones clasificadas según los valores de x_i y de y_i con lo que se puede encontrar con facilidad la observación que corresponde a un punto del gráfico.

BIBLIOTECA VIRTUAL

2.3.1.4. Resumen de ecuaciones

Al finalizar cada trabajo el programa imprime un resumen de ecuaciones en el que se incluyen aquellas que se deseen.

El resumen consta de dos partes:

En la primera parte para cada ecuación se incluye:

-nombre de la ecuación.
-nombre de la variable endógena o independiente.
-determinante de la matriz z'z (siendo $y = z \cdot \beta + \varepsilon$ el modelo).

-valor relativo (%) mínimo de los residuos respecto de la variable observada.
-valor relativo (%) máximo de los residuos respecto de la variable observada.
-cantidad S (desviación típica estimada de los residuos).
-efecto de multicolinealidad.
-coeficiente de determinación R^2 (cuadrado del de correlación múltiple).
-estimador F con los correspondientes grados de libertad.
-número de observaciones, número de variables exógenas y test de DURBIN y WATSON.
-coeficiente de autorregresión.

En la segunda parte para cada ecuación se imprime:

-nombre de la ecuación.
-nombre de la variable endógena o independiente.
-nombres de las variables exógenas, sus coeficientes y los estimadores t.

Estos resúmenes son de gran utilidad a la hora de seleccionar ecuaciones cuando se tiene un gran número de modelos.

2.3.1.5. Posibilidad del programa

El programa puede utilizarse para cálculo (transformación de series, evaluación de funciones, determinación de números de índices), cálculo de tendencias en función del tiempo,

gráficos de residuos (residuos frente a la variable endógena), correlación de residuos (residuo e_t frente a e_{t-1}), y los métodos siguientes que se describen a continuación con más detalle.

2.3.1.5.1. Modelos uniecuacionales

Comprende las técnicas de análisis de regresión para ecuaciones aisladas (single equation technique). Incluye los métodos de mínimos cuadrados ordinarios, mínimos cuadrados generalizados, variables instrumentales y mínimos cuadrados aplicados a ecuaciones no lineales.

2.3.1.5.1.1. Mínimos cuadrados ordinarios

El modelo a investigar es de la forma

$$y = z \cdot \beta + \varepsilon \tag{2.6}$$

donde "y" es un vector de observaciones de la variable dependiente de orden nx1, z es una matriz de observaciones de las k variables independientes, de orden nxk, es el vector de coeficientes desconocidos a estimar, y el vector de residuos o perturbaciones, de orden nx1, que se supone aleatorio. Para una estimación puntual las hipótesis de éste método son que

$$E(\varepsilon) = 0 \tag{2.7}$$

$$V(\varepsilon) = \sigma^2 \cdot I \tag{2.8}$$

siendo 0 un vector de orden nx1 e I la matriz unidad de orden nxn. Estas hipótesis suponen que las variables independientes

son fijas o no aleatorias. En el caso de que fueran aleatorias se requiere que exista independencia estocástica entre las variables independientes y el término de error. Bajo estas circunstancias las hipótesis del modelo se harían condicionadas a los valores de z, esto es,

(2.9)

$$E(\varepsilon/Z) = 0$$

(2.10)

$$V(\varepsilon/Z) = \sigma^2 \cdot I$$

Bajo estas hipótesis, el programa calcula el mejor estimador lineal e insesgado en un sentido dado (teorema de Gaus sMarkoff).

(2.11)

$$b = (Z'Z)^{-1} Z'Y$$

Asimismo calcula un estimador insesgado para el parámetro σ^2 dado por

(2.12)

$$S^2 = \frac{e'e}{n-k} = \frac{y'My}{n-k}$$

donde e es el residuo mínimo cuadrático y M la matriz idempotente.

(2.13)

$$M = I - Z(Z'Z)^{-1} Z'$$

Para estimación por intervalos y test de hipótesis el

modelo requiere la hipótesis adicional de que la distribución de ε es multinormal, esto es

(2.14)

$$\varepsilon \sim N(0, \sigma^2 I)$$

Bajo estas condiciones el programa calcula los valores de los estadísticos t y F para los correspondientes tests sobre los coeficientes de las variables independientes.

Paralelamente el programa calcula el coeficiente de determinación R^2 (coeficiente de correlación múltiple) y un análisis de la varianza mediante el procedimiento siguiente:

Sea A la matriz idempotente

$$A = I - \frac{1}{n} ii' \quad \text{, de orden nxn}$$

y asimismo

$$i = \begin{vmatrix} 1 \\ 1 \\ \bullet\bullet\bullet \\ 1 \end{vmatrix} \text{ un vector columna unidad de orden nx1}$$

(2.15)

$$SY = y'x\, i$$

VT∅ T = y'y - $\frac{SYxSY}{NT}$ = Y'Ay, esto es, la suma de los cuadrados de la variable dependiente medido en desviaciones con respecto a la media.

V = $\sum_{i=1}^{k}$ (x'y) $_i$ b_i siendo (x'y) el elemento i-ésimo de la matriz x'y de orden kx1,

en efecto V = $\sum_{i=1}^{k}$ $(x'y)_i$ b_i = $\sum_{i=1}^{k}$ b_i (x'y) = b'x'y = y'xb = (xb-e)'xb =b'x'xb-e'xb=

b'x'xb ya que e'x = 0 por la ortogonalidad de e a cada columna de x.

VRES = y'y-V = y'y-b'x'xb = e'e, esto es, la suma de los cuadrados de los residuos minimocuadráticos.

(2.16)

$$VEXPL = VT\emptyset\ T - VRES = y'Ay - e'e$$

Se define el coeficiente de determinación como,

(2.17)

$$R^2 = \frac{VEXPL}{VT\emptyset\ T} = \frac{y'Ay - e'e}{y'Ay} = 1 - \frac{e'e}{y'Ay}$$

Esta formulación es válida tanto si hay término constante como si no lo hay. Nótese que en el caso de que no exista término constante existe otra definición alternativa del coeficiente de determinación, consistente en:

(2.18)

$$R^2 = \frac{VEXPL}{VT\emptyset\ T} = \frac{y'y - e'e}{y'y} = 1 - \frac{e'e}{y'y'}$$

dado que la elección de una u otra definición depende del criterio del analista según quiera medir el comportamiento de la regresión en función de la varianza $|\frac{y'Ay}{n}|$ o del momento de segundo orden respecto al origen $|\frac{y'y}{n}|$ de la variable dependiente, se ha elegido el primer criterio para que el procedimiento de cálculo sirva lo mismo para cuando exista término independiente o para cuando no.

Nótese que la forma de cálculo es función sólo de e'e y de y'Ay, obteniéndose la variación explicada como diferencia. Esto es lo que permite utilizar el mismo método en ambos casos.

Obsérvese que la definición $R^2 = 1-\frac{e'e}{y'Ay}$ no es igual a $\frac{b'x'xb}{y'Ay}$ ni a $\frac{b'x'Axb}{y'Ay}$, cuando no existe término independiente. En el primer caso porque y'Ay ≠ y'y y en el segundo por que e'Ay = e'e, al no ser e'i = 0.

Como consecuencia el R^2 calculado coincidirá en presencia de término independiente con el coeficiente de correlación simple al cuadrado entre y e $\hat{Y}$. En efecto en este caso:

Ae = e premultiplicando y = xb + e por A

(2.19)

$$\hat{\rho}^2 = \frac{(y'A\hat{y})2}{(y'Ay)(\hat{y}'A\hat{y})} = \frac{(y'A\hat{y})(y'A\hat{y})}{(y'Ay)(\hat{y}'A\hat{y})}$$

(2.20)

Ay = A $\hat{y}$ + e

(2.21)

$$y'A = \hat{y}'A + e'$$

(2.22)

$$\rho^2 = \frac{(\hat{y}'A + e')A\hat{y}(\hat{y}'A + e')A\hat{y}}{(y'Ay)(\hat{y}'A\hat{y})}$$

(2.23)

$$\rho^2 = \frac{(\hat{y}'A\hat{y} + e'A\hat{y})(\hat{y}'A\hat{y} + e'A\hat{y})}{(y'Ay)(\hat{y}'A\hat{y})}$$

(2.24)

$$e'A = e'(I - \frac{1}{n} ii') = (e' - \frac{e'ii'}{n}) = e' \qquad e' xb = 0$$

(2.25)

$$\rho^2 = \frac{(\hat{y}'A\hat{y})(\hat{y}'A\hat{y})}{y'Ay\hat{y}'A\hat{y}} = \frac{\hat{y}A\hat{y}}{y'Ay} = \frac{b'x'Axb}{y'Ay} = 1 - \frac{e'e}{y'Ay} = R^2$$

Por el contrario, sí no existe término independiente, Ae = e - $\bar{e}$ i, luego Ay = Axb + Ae = A $\hat{y}$ +Ae, el coeficiente de correlación simple entre y e $\hat{y}$ es:

(2.26)

$$\rho^2 = \frac{(y'A\hat{y})2}{(y'Ay)(\hat{y}'A\hat{y})} = \frac{(y'A\hat{y})(y'A\hat{y})}{(y'Ay)(\hat{y}'A\hat{y})}$$

Ay = A $\hat{y}$ +Ae ; y'A = $\hat{y}$ ' A+e'A

$$\rho^2 = \frac{(\hat{y}'A + e'A)A\hat{y}(\hat{y}'A + e'A)A\hat{y}}{(y'Ay)(\hat{y}A\hat{y})} = \frac{(\hat{y}'A\hat{y} + e'A\hat{y})(\hat{y}'A\hat{y} + eA\hat{y})}{(y'Ay)(\hat{y}'A\hat{y})}$$

(2.27)

$$e'A = e'\bar{e}\, i'$$

$$e'Axb = (e' - \bar{e}\, i')\, xb = e'xb - \bar{e}\, i'xb = -\bar{e}\, i'xb = -\bar{e} \sum_{h=1}^{k} \sum_{t=1}^{n} x_{th}\, b_h$$

por lo que $\rho^2 \neq 1 - \frac{e'e}{y'Ay} = R^2$

Por lo tanto si en los resultados impresos del programa aparece el R^2, situado a la derecha del análisis de varianza, distinto del R^2 situado debajo de las series y e $\hat{y}$ no ha de extrañar y la razón habrá que buscarla en lo expuesto anteriormente.

Asimismo se calcula el coeficiente de determinación R^2 ajustado por los grados de libertad, los coeficientes de correlación parcial, las contribuciones incrementales, el efecto de multicolinealidad, la suma de residuos mínimos cuadráticos (que debe ser cero si existe término independiente debido a la propiedad de ortogonalidad del vector de residuos e con cada columna de la matriz, Z de observaciones), el test Durbin y Watson, el número de observaciones y el determinante de la matriz Z'Z. También imprime los valores de la variable dependiente observada, los de la calculada, los residuos minimocuadráticos, el valor relativo de estos respecto de la variable dependiente observada

y respecto de la inedia de ésta y los años a que corresponden cada una de las observaciones. Opcionalmente imprime todas las matrices que han intervenido en el cálculo y los gráficos que se deseen.

Lo enumerado en este último párrafo es como salida en todos los casos.

3.5.1.2. Mínimos cuadrados generalizados (teorema de Aitken)

El modelo a investigar es de la misma forma anterior

$$y = Z \cdot \beta + \varepsilon \tag{2.28}$$

pero las hipótesis estocásticas varían en el sentido de que la matriz de varianzas y covarianzas V (/Z) ya no es igual a $^2 \cdot$ I sino

$$V(\varepsilon / Z) = \sigma^2 V \tag{2.29}$$

siendo V una matriz definida positiva simétrica.

Si V fuera conocida, lo que nunca sucede, existiría una matriz P no singular tal que

$$P'P = V^{-1}$$

con lo que se transforma la ecuación (2.28).

en

$$Py = P \cdot Z \cdot \beta + P\varepsilon \tag{2.29}$$

en la que ya

$$V\,(P\varepsilon /Z) = \sigma^2 I \tag{2.30}$$

Si a esta ecuación transformada aplicamos el método de los mínimos cuadrados ordinarios se obtiene el estimador

$$\hat{\beta} = (Z'\,V^{-1}\,Z)^{-1}\,Z'\,V^{-1}\,y \tag{2.31}$$

al cual es aplicable el teorema de Gauss-Markoff.

Un estimador insesgado de σ^2 viene dado por

$$S^2 = \frac{\left(y - Z\hat{\beta}\right)' V^{-1} \left(y - Z\hat{\beta}\right)}{n - k} \tag{2.32}$$

Desafortunadamente la matriz V suele ser desconocida, por lo que hemos de estimarla. El programa recoge dos casos particulares de esta estimación, el caso de heterocedasticidad y el caso de autocorrelación.

2.3.1.5.1.2.1. Heterocedasticidad

Considérese el caso en que las n perturbaciones son incorreladas pero tienen diferentes varianzas σ_1^2, σ_2^2,... σ_n^2. La

matriz de varianzas y covarianzas $\sigma^2 V$ es en este caso diagonal, así como su inversa, siendo los elementos diagonales de esta última

$$\frac{1}{\sigma_1^2}, \frac{1}{\sigma_2^2}, \ldots, \frac{1}{\sigma_n^2}$$

La transformación P antes descrita se reduce a dividir la fila t de la matriz y^Z por $_t$ esto es:

(2.33)

$$\frac{y_t}{\sigma_t} = \sum_{h=1}^{k} \beta_h \frac{Z_{th}}{\sigma_t} + \frac{\varepsilon t}{\sigma_t}$$

Los mínimos cuadrados-generalizados se reducen en este caso a mínimos cuadrados ponderados. Si las $\sigma_1, \ldots, \sigma_n$ son conocidas simplemente se utiliza el programa transformando las series de las variables dependientes e independientes y aplicando los mínimos cuadrados ordinarios a las series transformadas.

Como en general $\sigma_1, \ldots, \sigma_n$ no serán conocidas habremos de estimarlas. Para esto y para poder obtener resultados consistentes, ha de disponerse de muestras grandes para las que se pueden aplicar resultados asintóticos. Obsérvese que si se ignora el problema de heterocedasticidad y se aplica el método de los mínimos cuadrados ordinarios, los estimadores obtenidos siguen siendo insesgados, pero los estimadores de las desviaciones tipo, son sesgados, por lo que los parámetros t resultantes conducirán a equívocos.

En las condiciones antes aludidas bajo las que se pueden aplicar propiedades límites el procedimiento a seguir es el siguiente:

Paso 1º. -Se ignora el problema de heterocedasticidad y se aplica el método de los mínimos cuadrados ordinarios. De acuerdo con la especificación hipótesis sobre las varianzas

$\sigma_{1,\ldots,}^2 \sigma_n^2$ (por ejemplo σ_t^2 = c (E [y_t])^2, o bien, $\sigma_t^2 = C \bullet Z_{jt}^2$ (u otra hipótesis análoga) se calcularán estas a falta de un factor multiplicativo.

Paso 2º. -Se transforman las variables dependiente e independientes dividiendo cada observación por la respectiva desviación típica, esto es

(2.34)

$$y_t^* = y_t / \sigma_t, Z_{th}^* = Z_{th} / \sigma_t$$

para t = 1, 2,... n
h = 1, 2,..., n

Paso 3º.- Se calcularán los coeficientes por el método de los mínimos cuadrados ponderados consistente en aplicar los mínimos cuadrados ordinarios a las variables dependiente e independientes transformadas.

2.3.1.5.1.2.2. Autocorrelación

En regresiones de series temporales es frecuentemente

irreal pensar que las perturbaciones de tales regresiones son incorreladas. Asimismo es claramente imposible estimar todas las correlaciones o covarianzas dado que su número $\frac{1}{2}$ n (n-1) y el número de desviaciones es solo n. Uno de estos es el proceso autorregresivo de primer orden. De acuerdo con él, las perturbaciones o errores sucesivos están relacionados por

(2.35)

$$\varepsilon_t = \rho \bullet \varepsilon_{t-1} + \xi$$

Las variables aleatorias $_t$ con t = 1, 2,..., n se suponen incorreladas con media cero y varianza ^{2}, esto es

$$E(\xi) = 0$$

$$V(\xi) = \sigma_0^2 \, I$$

Se denomina proceso autorregresivo de primer orden porque solamente la perturbación precedente a la dada influye en esta. La idea implícita en este proceso, en este contexto particular, es que las variables omitidas, que están representadas por las perturbaciones se mueven gradualmente con el tiempo.

En este caso específico la matriz V es función única de, no es singular, y la matriz P que resulta es una matriz triangular función asimismo únicamente de. La aplicación de la matriz P al modelo resulta eliminando la primera observación en la transformación de las series siguientes:

(2.36)

$$y_t^* = y_t - \rho y_{T-1}$$

(2.37)

$$\overset{*}{\varepsilon}_t = \varepsilon_t - \varepsilon_{t-1}$$

(2.38)

$$\overset{*}{Z}_{jt} = Z_{1t} - \rho Z_{jt-1}$$

con t = 2,..., n
j = 1,..., n

La aplicación del método de los mínimos cuadrados al modelo

(2.39)

$$y^* = Z^* \beta + \varepsilon^*$$

Conducirá a la obtención de los mejores estimadores lineales e insesgados, si ρ es conocido.

Pero el parámetro autorregresivo es desconocido en la mayoría de los casos. Para soslayar este problema se han propuesto diferentes sistemas. Nosotros utilizamos el sugerido Prais-Winter.

En una primera etapa se ignora el problema de la autocorrelación, calculándose estimadores insesgados de los coeficientes por el método de los mínimos cuadrados ordinarios. Obteniéndose éstos se calcula el vector de residuos minimocuadráticos. A continuación se determina un estimador consistente de mediante

(2.40)

$$\hat{\rho} = \frac{\frac{1}{n-1}\sum_{t=1}^{n-1} e_{t-1} \cdot e_t}{\frac{1}{n-k}\sum_{t=1}^{n} e_t^2}$$

En una segunda etapa se aplican mínimos cuadrados ordinarios a (2.39).

Esto es,

(2.41)

$$y_t - \hat{\rho} y_{t-1} = \sum_{j=1}^{k} (Z_{jt} - \hat{\rho} Z_{jt-1}) \beta_j + \xi_t$$

utilizando el valor de $\hat{\rho}$ calculado en el primer paso para la transformación.

Recordaremos que el método es de aplicación si los valores de Z son no estocásticos, o bien si lo son su distribución es independiente de la de ε. El procedimiento, por tanto, no es de aplicación cuando aparece en la ecuación entre las variables independientes la variable dependiente retardada, dado que en general los estimadores obtenidos para los coeficientes no serán consistentes ($\hat{\rho}$ tampoco lo es), no aún en el caso de poder encontrar un estimador consistente para ρ.

El programa tiene incorporada la opción de aplicar de forma automática el método descrito. Se imprimen los resultados de las regresiones de ambas etapas.

2.3.1.5.1.3. Método de las variables instrumentales

El método de los mínimos cuadrados ordinarios obtiene estimadores no consistentes cuando alguna de las hipótesis del modelo lineal no se cumple. Tal son los casos de la variable dependiente desfasada, de la autocorrelación, y también cuando una o varias de las variables independientes está medida con error y su correlación con las perturbaciones no está garantizado

que sea cero, o bien cuando una o varias de las variables independientes son a su vez variables dependientes de otras ecuaciones (caso de sistemas de ecuaciones simultáneas).

El problema tiene solución mediante el método de las variables instrumentales, que se muestra a continuación.

Consideremos el modelo lineal definido por la ecuación (2.28).

$$y = Z \bullet \beta + \varepsilon$$

premultiplicando ambos miembros por la matriz Z' se obtiene

$$Z' y = Z' Z\beta + Z' \mathcal{E} \tag{2.42}$$

El vector $Z' \mathcal{E}$ es desconocido pero su media es cero, con lo que se obtienen las ecuaciones normales

$$Z' y = Z'Zb \tag{2.43}$$

$$b = (Z'Z)^{-1} Z' y \tag{2.44}$$

donde b es el vector de coeficientes minimocuadrático. Ahora bien en ciertos casos como los anteriormente mencionados, puede suponerse que $Z' \mathcal{E}$ no es cero. Entonces, si existe una matriz U de orden nxk, tal que $U' \mathcal{E}$ tenga de media cero, realizando el mismo procedimiento anterior se llega a las ecuaciones normales

(2.45)

$$U'y = U'Z\ \hat{\beta}$$

siendo $\hat{\beta}$ el estimador obtenido por este procedimiento.

Las columnas de U son las observaciones de estas variables.

El método anteriormente descrito puede demostrarse que coincide con el que a continuación se expone, que es el que puede emplearse con este programa.

Paso 1º.- Se hacen las regresiones de cada una de las variables Z en función de las variables instrumentales U, mediante los mínimos cuadrados ordinarios, obteniéndose una matriz $\hat{Z}$ de variables estimadas.

Paso 2º.- Se hace la regresión de y en función de los valores estimados $\hat{Z}$, mediante los mínimos cuadrados ordinarios. Se obtienen así los estimadores consistentes $\hat{\beta}$ que resuelven el problema.

2.3.1.5.1.4. Mínimos cuadrados aplicados a ecuaciones no lineales

El problema

Tratemos de estimar los valores de los coeficientes $\beta_{1,\ldots,}\beta_p$ que intervienen en una función f no lineal mediante la cual deseamos expresar una variable y en función de las variables explicativas $x_1,\ldots, x_k$, de modo que siendo para el período t

$$y_t = f(X_{1t}, X_{2t}, \ldots, X_{kt}, \beta_1, \ldots, \beta_p) + \varepsilon_t \tag{2.47}$$

sea mínima la suma de los cuadrados de los residuos, esto es:

$$S = \sum_{t=1}^{T} (\varepsilon_t)^2 \tag{2.48}$$

su solución

Entre los diversos métodos de posible aplicación, emplearemos un método iterativo en el que se linealiza la ecuación usando los primeros términos del desarrollo en serie de Taylor.

De la ecuacií6n (2.47) desarrollando en serie se obtiene:

$$y = f(X_1, \ldots, X_k, \beta_{1\cdot 0}, \ldots, \beta_{p\cdot 0}) + \sum_{i=1}^{p} \left| \frac{\partial f}{\partial \beta_1} \right| 0 \cdot (\beta_i - \beta_{i\cdot 0}) + \ldots + \varepsilon \tag{2.49}$$

Reagrupando las variables y tomando sólo los dos primeros términos del desarrollo queda:

$$y - f(X_1, \ldots, X_{k,1\cdot 0}, \ldots, {}_{p\cdot 0}) + \sum_{i=1}^{p} \beta_{10} \left(\frac{\partial f}{\partial \beta_i} \right) = \sum_{i=1}^{p} \beta_i \left(\frac{\partial f}{\partial \beta_i} \right)_0 + \varepsilon \tag{2.50}$$

Aplicando los mínimos cuadrados ordinarios a esta ecuación se obtiene un nuevo conjunto de coeficientes $\beta_{1\cdot 1}, \ldots, \beta_{p\cdot r}$ .Se repite el proceso hasta la convergencia, esto es, cuando entre dos interacciones consecutivas j y j+l se

cumple:

(2.51)

$$\left| \frac{\beta_{i \cdot j+1} - \beta_{i \cdot j}}{\beta_{i \cdot j}} \right| \delta \text{ para i = 1, 2, ..., p}$$

donde δ es un número suficientemente pequeño que representa el grado de precisión deseado.

No se garantiza que el proceso nos lleve a un valor de la suma de los cuadrados de los residuos que sea mínimo absoluto. Puede llegarse a un mínimo relativo. El valor alcanzado depende del conjunto inicial de valores de los coeficientes. Debe por tanto repetirse la estimación con un conjunto de valores distinto. El conjunto inicial de valores debe estar de acuerdo con razonamientos teóricos.

El proceso puede ser divergente, siendo el primer miembro de la ecuación (2.51) mayor en cada nueva interacción. En este caso conviene repetir el proceso de ajuste con un nuevo conjunto de valores iniciales, y si vuelve a ser divergente utilizar un método distinto, como puede ser el de la optimización directa, el de ir descendiendo paso a paso (steepest-descent method), o el de la investigación directa.

Un sistema alternativo consiste en determinar los valores de los coeficientes usados como iniciales en cada tanteo o

partir de los obtenidos en etapas anteriores mediante:

$$\beta_{i \cdot j+1} = \beta_{i,j} + \alpha \bullet (\hat{\beta}_{i \cdot j+1} - \hat{\beta}_{i,j}) \tag{2.52}$$

donde $\hat{\beta}_{i \cdot j+1}$ el coeficiente i estimado mediante los mínimos cuadrados en la (j+1)-esima iteración, y α un factor de salto $(0 \ \alpha \ 1)$.

La evaluación de las ecuaciones de regresión no lineales

Los test estadísticos empleados para evaluar las características de las regresiones lineales no son directamente aplicables a las no lineales. El estadístico F, por ejemplo, no puede usarse como test de significación global de una regresión no lineal, y el estadístico t no puede emplearse en la manera usual. Una de las razones es que no puede obtenerse un estimador de ^{2} a partir de la varianza del término de error, mediante los residuos de la regresión. En efecto, si ε es una variable aleatoria normalmente distribuida de media 0, los residuos u_t calculados mediante

$$u_t = Y_t - f(X_{1t}, \ldots, X_{kt}, \hat{\beta}_1, \ldots, \hat{\beta}_p) \tag{2.53}$$

no siguen una distribución normal (y no tienen media 0). Por consiguiente, la suma de los cuadrados de los residuos no siguen una distribución X^2, y los estimadores de los coeficientes no siguen una distribución normal. En consecuencia, los test de la t y la F no pueden aplicarse.

Sin embargo, los test de la t y la F pueden aplicarse a la ecuación lineal obtenida al final del proceso iterativo de linealización, siempre que se haya estimado la ecuación utilizando una aproximación lineal. Estos tests pueden proporcionar información de la regresión obtenida en la última linealización de la ecuación no lineal.

Las previsiones

Las técnicas de simulación de Montecarlo no son directamente aplicables, pero se puede llegar a una solución de compromisos, empleando para los coeficientes una distribución normal de media el valor calculado, y de desviación típica la obtenida en la última linealización de la ecuación no lineal. Para el residuo se utiliza una distribución normal de media 0 y desviación igual a la obtenida también en la última linealización.

En la regresión obtenida en la última linealización de la ecuación obtenemos para cada coeficiente β_i una desviación típica $S\beta_i$, y S para el residuo. Si cada η_i es una variable aleatoria distribuida según una normal de media 0 y desviación típica S, podemos simular los valores de Y para cada período t = T + τ mediante:

(2.54)

$$Y_t = f\left(X_{1t},\ldots,X_{1t},(\hat{\beta}_1+\eta_1),\ldots(\hat{\beta}_p+\eta_p)\right)+\varepsilon$$

El procedimiento aplicado

El procedimiento paso a paso a aplicar para estimar los coeficientes de ecuaciones no lineales linealizándolos mediante los dos primeros términos del desarrollo en serie de Taylor es el siguiente:

Definición del problema: Se trata de estimar los coeficientes $\beta_1,\ldots,\beta_p$ de la ecuación

$$Y_t = f(X_{1t},\ldots,X_{kt},\beta_1,\ldots\beta_p) \tag{2.55}$$

para t = 1,..., T

Etapas de cálculo:

1) Suponer un conjunto inicial de valores

$\beta_{ij} = \beta_{io}$ para i = 1,..., p
y con j = o

2) Determinar

$$W_t = Y_t - f(X_{1t},\ldots,X_{kt},\beta_{1j},\ldots,\beta_{pj}) + \sum_{i=1}^{p} \beta_{ij} \left| \frac{\partial f}{\partial \beta_i} \right|_j \tag{2.56}$$

para t = 1,..., T

y

$$Z_{it} = \left| \frac{\partial f}{\partial \beta_i} \right|_j \quad \text{para} \begin{matrix} t = 1 \\ 1 = 1 \end{matrix} ,\ldots, \text{T} \tag{2.57}$$

3) Estimar los coeficientes $\beta_{i \cdot j+1}$ de la ecuación lineal

(2.58)

$$W_t = \sum_{i=1}^{p} \beta_{i \cdot j+1} \bullet Z_{it} + \varepsilon_t$$

Por el método de los mínimos cuadrados ordinarios. En la última iteración se calcularán también las desviaciones típicas $S_{\beta i}$ de los coeficientes y S del residuo.

Si se imponen límites máximos y mínimos a los valores de los coeficientes β_{ij+1} para evitar posibles errores de cálculo, se toman igual a estos límites cuando los sobrepasen por exceso o defecto respectivamente.

4) Comprobar si para

i = l, 2,..., P

Se cumple

(2.59)

$$\left| \frac{\beta_{ij+j} - \beta_{ij}}{\beta i_j} \right| \delta$$

donde δ es el error relativo máximo admisible en la determinación de los coeficientes β_i

Si para alguno de los coeficientes no se cumple (13) se hará

(2.60)

$$\beta_{ij} = \beta_{ij+1} \qquad \text{con i = 1, 2,..., p}$$

y se pasa a la etapa "2" para efectuar otro tanteo.

En el caso contrario se da por terminado el ajuste, tomándose como estimadores de los coeficientes los valores obtenidos con el último tanteo, esto es

(2.61)

$$\beta_i = \beta_{ij+1} \qquad \text{para i = 1, 2,...,)}$$

Simulación de resultados:

La aplicación de la ecuación (2.55) a los períodos t = T+1,..., t = T + puede llevarse a cabo de la forma siguiente:

1') Generar un conjunto de coeficientes

(2.63)

$$\beta_i = \hat{\beta}_i + \eta_i \text{ .....para 1 = 1,..., p}$$

Obteniéndose η_i mediante números aleatorios que sigan una distribución N (O, S β_i)

2') Para t = T+1, T+2,..., T + C

Obtener el correspondiente valor de

$$Y_t = f(X_{1t},\ldots,X_{kt},\beta_1,\ldots,\beta_p) + \varepsilon_t$$

obteniéndose ε_t mediante números aleatorios que sigan una distribución N (O, S).

El paso 2 se repite unas 100 veces.

3') Se nasa al punto 1' hasta repetir unas 100 veces el ciclo.

4') Se obtienen las estadísticas del conjunto de valores Y_t obtenido en las etapas anteriores. Los principales resultados son la media, la desviación típica y el intervalo de confianza para los períodos t = T+1,..., T + τ

2.3.1.5.2. Modelos multiecuacionales

En este caso el problema es la estimación simultánea de un sistema de ecuaciones. Dos procedimientos se suelen utilizar para la estimación de los coeficientes: el de las variables instrumentales y el de los mínimos cuadrados bietápicos.

BIBLIOTECA VIRTUAL

2.3.1.5.2.1. Método de las variables instrumentales

Consiste en utilizar como variables instrumentales las variables predeterminadas del problema. La estimación de los coeficientes de cada ecuación estructural se obtiene mediante la aplicación del teorema de Aitken, resultando estimadores consistentes bajo determinadas condiciones. En el caso general de que las ecuaciones estén sobreidentificadas el estimador es:

(2.64)

$$d_j = (Z'_jU(U'U)^{-1}U'Z_j)^{-1}{}_{Z'j}\ U(U'U)^{-1}U'Y_j$$

siendo U la matriz de variables instrumentales.

Este estimador se reduce a

$$d_j = (U'Z)^{-1} U'Y_j \tag{2.65}$$

en el caso de que la ecuación esté identificada exactamente.

2.3.1.5.2.2. Método de los mínimos cuadrados bietápicos

El mismo estimador se obtiene aplicando dos veces el método de los mínimos cuadrados, según se hizo en el caso de modelos uniecuacionales.

En la primera etapa se hace la regresión de cada variable dependiente en función de todas las variables predeterminadas. Esto es, se aplica el método de mínimos cuadrados a cada ecuación en forma reducida.

En la segunda etapa se sustituye en cada ecuación estructural los valores de las variables dependientes que aparecen en el segundo miembro, por sus valores ajustados obtenidos en la primera etapa. Se aplica de nuevo el método de mínimos cuadrados y los estimadores obtenidos son estimadores consistentes, bajo ciertas condiciones, y la solución del problema.

El programa para resolución de modelos multiecuacionales utiliza el método de los mínimos cuadrados bietápicos, por lo que explícitamente habrá que indicarle las regresiones a realizar en la primera y segunda etapa.

2.4. DESCRIPCIÓN DEL MODELO DE NÚCLEO SIN REACCIONAR

Para determinar posibles tipos de ecuaciones suponemos el modelo de Levenspiel (43) de NÚCLEO SIN REACCIONAR.

La reacción de tostación del cinabrio

(2.66)

$$SHg + O_2 \rightarrow SO_2 + Hg$$

Es una reacción heter-ogenea en la que un gas se pone en contacto con un sólido, reacciona, con él, y lo transforma en producto. La reacción, de forma genérica se puede escribir como se indica a continuación:

(2.67)

$$A\ (Fluido) + b\ B\ (Sólido) \rightarrow \text{ productos fluidos y sólidos}$$

Como se indica en la (figura 14) las partículas no cambian de tamaño durante la reacción,

En el MODELO DE NÚCLEO SIN REACCIONAR, la reacción tiene lugar primero en la superficie exterior de la partícula sólida, después la zona de reacción se desplaza hacia el interior del sólido, dejando atrás el material completamente convertido en sólido inerte (al que denominaremos «cenizas»). De este modo, durante la reacción existirá un núcleo de material sin reaccionar, cuyo tamaño irá disminuyendo a medida que transcurre la reacción, como se muestra en la (figura 15)

2.4.1. Modelo de Núcleo sin Reaccionar para Partículas Esféricas

Este modelo fue desarrollado primeramente por Yagi y Kunii (1955), considerando que durante la reacción se presentan sucesivamente las cinco etapas siguientes:

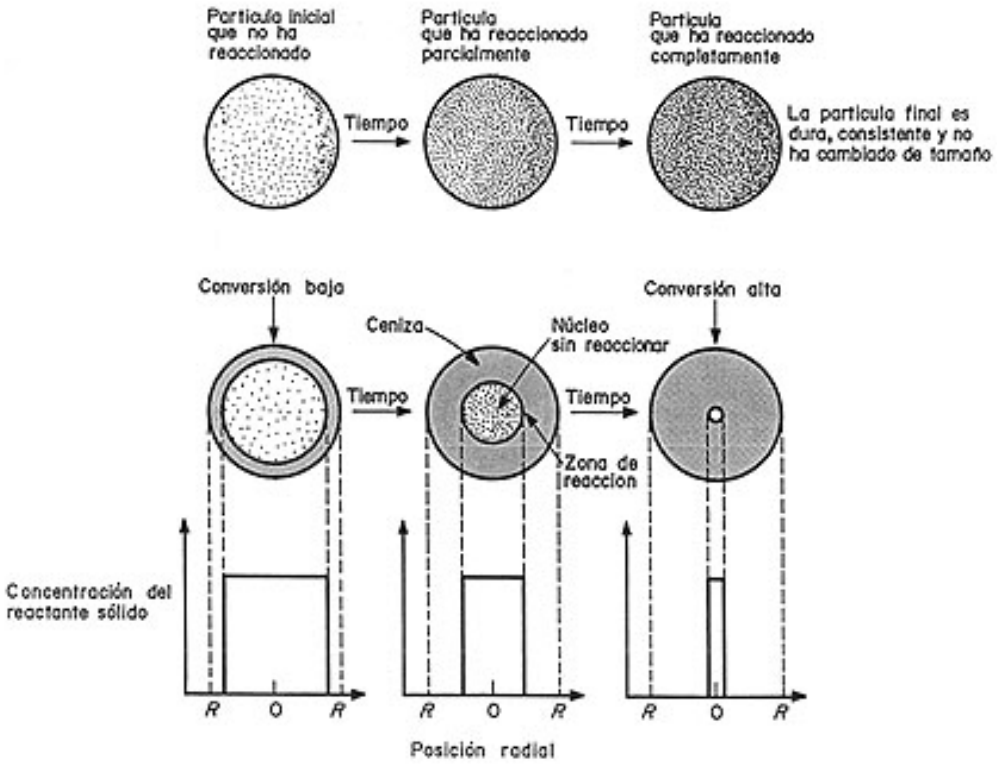


FIGURA 14. De acuerdo con el modelo de núcleo sin reaccionar la reacción se efectúa en una capa estrecha que se va desplazando hacia el interior de la partícula sólida. El reactante se convierte completamente a medida que la capa se va desplazando.

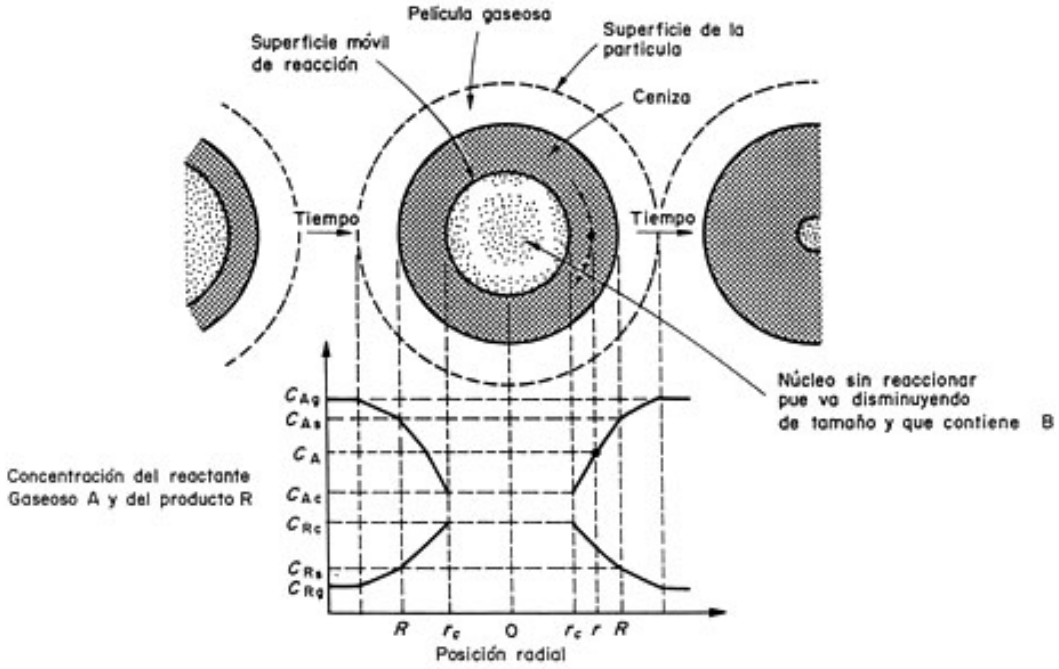


FIGURA 15. Representación de las concentraciones de los reactantes y de los productos para la reacción $A(g) + bB(s) \rightarrow rR(g) + sS(s)$

Etapa 1.- Difusión del reactante gaseoso A, hasta la superficie del sólido a través de la película gaseosa que le rodea.

Etapa 2.- Penetración y difusión de A, a través de la capa de ceniza hasta la superficie del núcleo que no ha reaccionado o superficie de reacción.

Etapa 3.- Reacción del reactante gaseoso A con el sólido en la superficie de reacción.

Etapa 4.- Difusión de los productos gaseosos formados a través de la capa de cenizas hacia la superficie exterior del sólido.

Etapa 5.- Difusión de los productos gaseosos de reacción a través de la capa gaseosa hacia el seno del fluido.

En el caso de reacciones irreversibles, como el que nos ocupa, las etapas 4 y 5 no contribuyen directamente a la reacción.

Por otra parte, las resistencias de las distintas etapas suelen ser muy diferentes; en tales casos se ha de tener en cuenta que la etapa que presenta mayor resistencia constituye la etapa controlante de la velocidad.

Se deducen las ecuaciones de conversión para reacciones elementales irreversibles. Se suponen partículas esféricas y que las etapas controlantes son sucesivamente, la 1, la 2, y la 3,extendiendo posteriormente el estudio al caso en que haya de tenerse

en cuenta conjuntamente el efecto combinado de las tres resistencias.

2.4.1.1. La difusión a través de la película gaseoso como etapa controlante

Cuando la etapa controlante es la resistencia de la película gaseosa, el perfil de concentración del reactante A en fase gaseosa será el representado en la (figura 16). En esta figura se observa que no existe reactante en la superficie; por lo tanto, el potencial de concentración C_{AG} - C_{AS} es constante durante el transcurso de la reacción. Como es conveniente deducir las ecuaciones cinéticas basándose en la superficie disponibles, se efectúan los cálculos con referencia a la superficie exterior constante de la partícula, S_{ex}. Teniendo en cuenta que, por la estequiometría de la ecuación (2.67),

$$d\,N_B = b \cdot d\,N_A$$

podemos escribir:

(2.68)

$$-\frac{1}{S_{ex}}\frac{dN_B}{dt} = -\frac{1}{4\pi R^2}\frac{dN_B}{dt} = -\frac{b}{4\pi R^2}\frac{dN_A}{dt}$$
$$= bK_g(C_{AG} - C_{AS}) = b \bullet k_g \bullet C_{Ag} = \text{Constante}$$

Si se designa ρ_B a la densidad molar de B en el sólido y por V al volumen de una partícula, la cantidad de B presente en una partícula es:

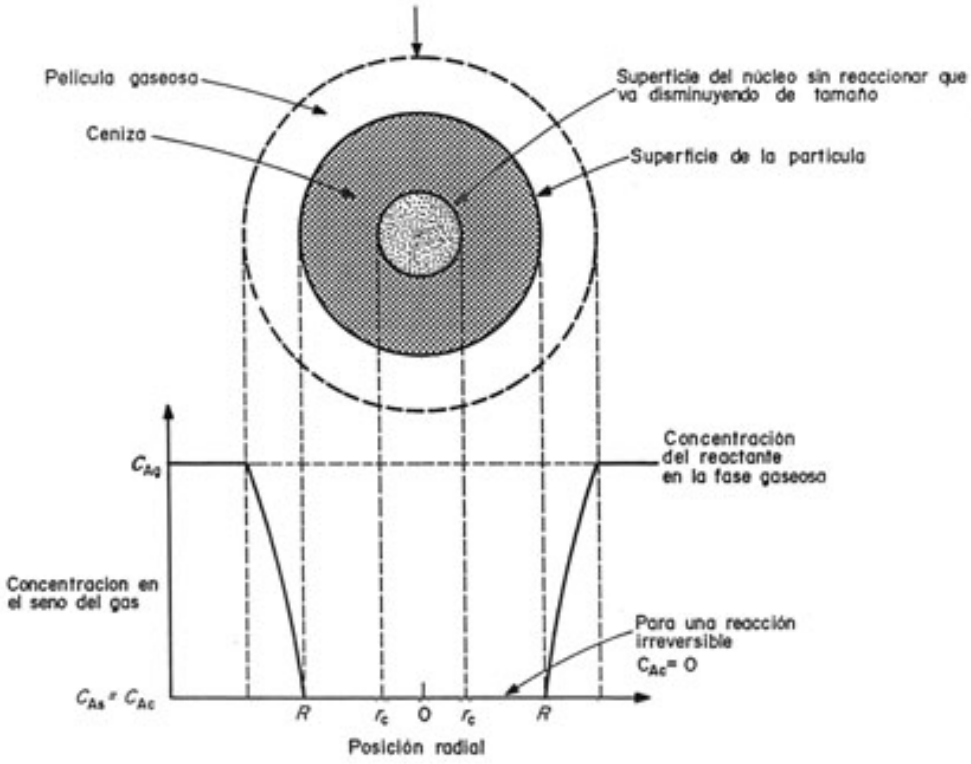


FIGURA 16. Representación de una partícula reactante cuando la difusión a través de la película gaseosa es la resistencia controlante.

(2.69)

$$N_B = \rho_B \; V = \left| \frac{molesB}{cm^3 solido} \right| (cm^3 solido)$$

La disminución del volumen o del radio del núcleo sin reaccionar que corresponde a la desaparición de dN_B moles de sólido reactante o de b dN_A moles de fluido reactante viene dada por:

(2.70)

$$-dN_B = -b \;\; dN_A = \rho_B \bullet dV = -\rho_B d\left| \frac{4}{3}\pi r_c^3 \right| = -4\rho_B \pi r_c^2 dr_c$$

sustituyendo la ecuación (2.70) en la (2.68) se obtiene la velocidad de reacción en función de la disminución del radio del núcleo sin reaccionar, o sea:

(2.71)

$$-\frac{1}{S_{ex}}\frac{dN_B}{dt} = -\frac{\rho_B r_c^{\,2}}{R^2}\frac{dr_c}{dt} = b \bullet kg \bullet C_{Ag}$$

en la que k_g es el coeficiente de transporte de materia entre el fluido y la partícula; véase la deducción de la ecuación (2.8). Efectuando operaciones e integrando se deduce una expresión entre el tiempo y el radio del núcleo sin reaccionar, es decir:

(2.72)

$$-\frac{\rho_B}{R^2} \int_R^{r_c} r_c^2 \bullet dr_c = b \bullet k_g \bullet C_{Ag} \int_o^t dt$$

o bien

(2.73)

$$t = \frac{\rho_B \bullet R}{3b \bullet K_g \bullet C_{Ag}} \left[1 - \left| \frac{r_c}{R} \right|^3 \right]$$

Designando por τ al tiempo necesario para la reacción completa de una partícula y haciendo r_c = o en la ecuación (2.73) resulta:

(2.74)

$$\tau = \frac{\rho_B \bullet R}{3b \bullet k_g \bullet C_{Ag}}$$

El radio del núcleo sin reaccionar en función del tiempo fraccional, referido a la conversión completa, se calcula combinando las ecuaciones (2.73) y (2.74), o sea:

$$\frac{t}{\tau} = 1 - \left| \frac{r_c}{R} \right|^3$$

que también puede escribirse en función de la conversión fraccional, recordando que:

(2.75)

$$1\text{-}X_B = \frac{\text{Volumen del nucleo sin reaccionar}}{\text{Volumen total de la particula}} = \frac{\frac{4}{3} r_c^3}{\frac{4}{3} R^3} = \left| \frac{r_c}{R} \right|^3$$

por lo tanto

(2.76)

$$\frac{t}{\tau} = 1 - \left| \frac{r_c}{R} \right|^3 = X_B$$

Se obtiene así la relación entre el tiempo, el radio y la conversión, que se representa en las (Figuras 21 y 22).

2.4.1.2. La difusión a través de la capa de cenizas como etapa controlante

La (figura 18) representa el caso en la que difusión a través de la ceniza controla la velocidad de reacción. Para deducir una expresión entre el tiempo y el radio, se ha de efectuar un análisis en dos etapas: primero, se considera una partícula que ha reaccionado parcialmente, escribiendo las relaciones de flujo para este caso; después se aplica este tipo de relación a todas los valores r_c, es decir, se integra r_c entre R y O.

Consideremos una partícula que ha reaccionado parcialmente, como se representa en la (figura 18). Tanto el reactante A como la superficie límite del núcleo que no ha reaccionado, se desplazarán hacia el centro de la partícula, pero la disminución del núcleo que no ha reaccionado es unas 1.000 veces menor que la velocidad de desplazamiento de A hacia la zona sin reaccionar; la relación entre estas velocidades es aproximadamente igual a la relación entre las densidades del sólido y del gas. Por consiguiente, en todo momento puede suponerse que el núcleo sin reaccionar permanece estacionario por lo que respecta al gradiente de concentración de A en la ceniza. Esta hipótesis de condiciones estacionarias para la difusión de A en cualquier instante y para cualquier radio del núcleo sin reaccionar, permite una gran simplificación en el planteamiento matemático indicado a continuación. De acuerdo con esta hipótesis, la velocidad de reacción de A, en cualquier instante, viene dada por su velocidad de difusión hacia la superficie de reacción, es decir:

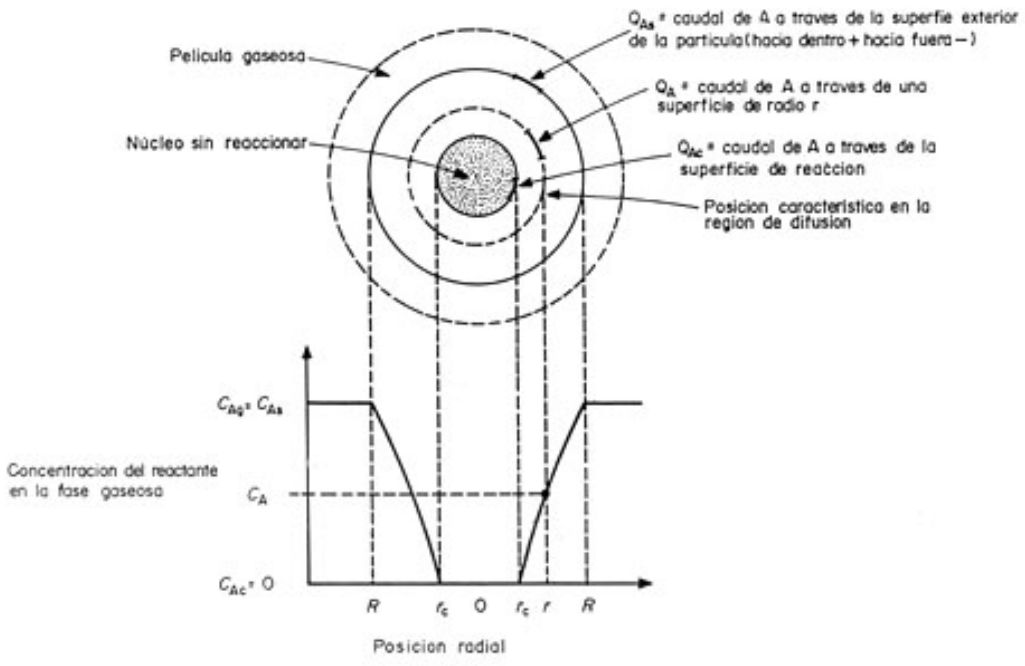


FIGURA 18. Representación de una partícula reactante cuando la difusión a través de las cenizas es la resistencia controlante.

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

(2.77)

$$-\frac{dN_A}{dt} = 4\pi r^2 Q_A = 4\pi r^2 Q_{As} = 4\pi r^2{}_c Q_{Ac} = \text{constante}$$

Por conveniencia, admitimos que el flujo de A a través de la capa de cenizas se expresa por la ley de interdifusión equimolecular de fick, aunque conducirían al mismo resultado otras expresiones del a difusión. Por consiguiente, recordando que tanto Q_A como dC_A/dr son positivos tenemos:

(2.78)

$$Q_A = D_e \frac{dC_A}{dr}$$

donde D_e es el coeficiente de difusión efectiva del reactante gaseoso en la capa de cenizas. Frecuentemente resulta difícil asignar previamente un valor a esta magnitud, debido a que las propiedades de las cenizas (por ejemplo, sus características de sinterización) pueden variar sensiblemente a causa de pequeñas cantidades de impurezas en el sólido, y debido también a las variaciones en el entorno de las partículas. Combinando las ecuaciones (2.77) y (2.78). obtenemos para cualquier radio r.

(2.79)

$$-\left| \frac{dN_A}{dt} \right| = 4\pi r^2 D_e \frac{dC_A}{dr} = \text{constante}$$

integrando a lo largo de la capa de ceniza desde R hasta r_c, resulta:

$$-\frac{dN_A}{dt} \int_R^{r_c} \frac{dr}{r^2} = 4\, D_e \int_{C_{AG}=C_{AS}}^{C_{AC}=0} dC_A$$

o

(2.80)

$$-\frac{dN_A}{dt}\left|\frac{1}{r_c}-\frac{1}{R}\right| = 4\pi D_e C_{Ag}$$

Esta expresión representa las condiciones de una partícula reactante en cualquier momento.

En la segunda parte del análisis consideraremos la variación del tamaño del núcleo sin reaccionar con el tiempo. Para un determinado tamaño del núcleo sin reaccionar, dN_A/dt, es constante; sin embargo, a medida que el núcleo disminuye la capa de ceniza será mayor originando una disminución de la velocidad de difusión de A. En consecuencia, la integración de la ecuación (2.80) con respecto al tiempo y a otras variables, conducirá a las relaciones buscadas. Como esta ecuación cinética contiene tres variables: t, N_A y r_c, ha de eliminarse una de ellas o ponerse en función de las otras dos antes de efectuar la integración. Del mismo modo que para la difusión en película, expresamos N_A en función de r_c; esta relación viene dada por la ecuación (2.71), que sustituida en la ecuación (2.80), separando variables e integrando conduce a:

(2.81)

$$-\rho_B \int_{r_c=R}^{r_c}\left|\frac{1}{r_c}-\frac{1}{R}\right| r_c^2 dr_c = bD_e\, C_{Ag} \int_o^1 dt$$

o

$$t = \frac{\rho_B R^2}{6bD_e C_{Ag}}\left[1-3\left|\frac{r_c}{R}\right|^2+2\left(\frac{r_c}{R}\right)^3\right|$$

El tiempo necesario para la conversión completa de una partícula se obtiene cuando $r_c = 0$, o sea:

(2.82)

$$\tau = \frac{\rho_B R^2}{6bD_e C_{Ag}}$$

El transcurso de la reacción, en función del tiempo necesario para la conversión completa, se calcula dividiendo la ecuación (2.81) por la (2.82) o sea:

(2.83)

$$\frac{t}{\tau} = 1 - 3\left|\frac{r_c}{R}\right|^2 + 2\left(\frac{r_c}{R}\right)^3$$

que en función de la conversión fraccional dada por la ecuación (2.75), resulta:

(2.84)

$$\frac{t}{\tau} = 1 - 3\left(1 - X_B\right)^{2/3} + 2\left(1 - X_B\right)$$

Estos resultados están representados gráficamente en las (figuras 21 y 22).

2.4.1.3. La reacción química como etapa controlante

En la (figura 19) se representan los gradiente de concentración dentro de una partícula cuando la etapa controlante es

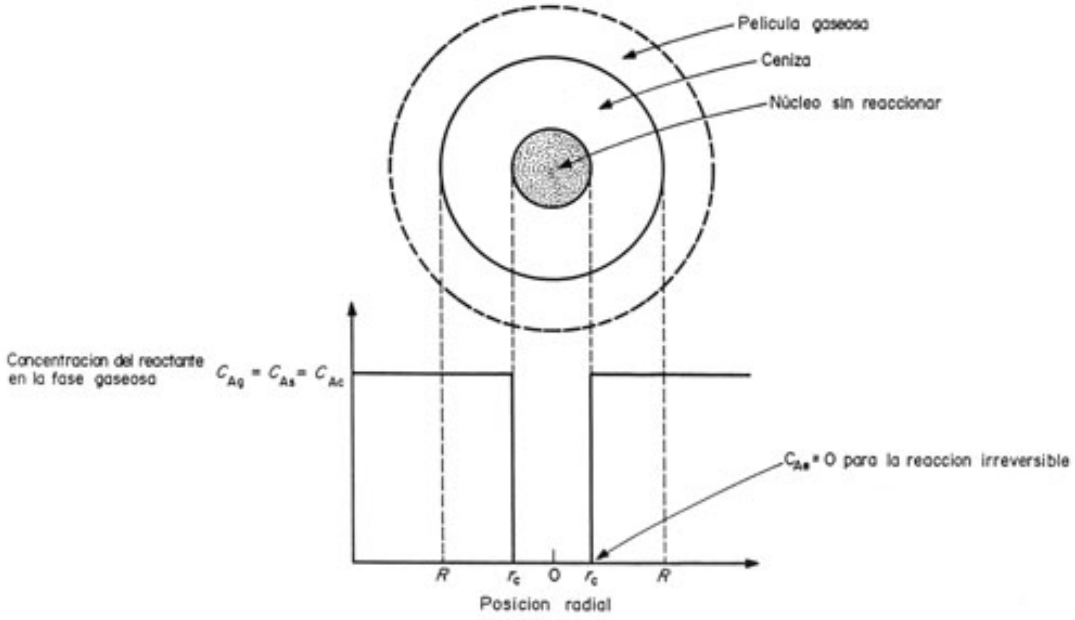


FIGURA 19. Representación de una partícula reactante cuando la reacción química es la resistencia controlante, en el caso de la reacción A(g)+bB(s) → productos.

la de reacción química. Como el transcurso de la reacción es independiente de la presencia de cualquier capa de ceniza, la cantidad de sustancia reactante es proporcional a la superficie disponible del núcleo sin reaccionar. Por consiguiente, la velocidad de reacción, basada en la unidad de superficie del núcleo sin reaccionar, para la estequiometría de la ecuación (2.67), resulta:

(2.85)

$$-\frac{1}{4\pi r_c^2}\frac{dN_B}{dt} = \frac{b}{4\pi r_c^2}\frac{dN_A}{dt} = bK_sC_{Ag}$$

donde k_s es el coeficiente cinético de primer orden para la reacción en la superficie. Escribiendo N_B en función de la disminución del radio, dada por la ecuación (2.71)

(2.86)

$$-\frac{1}{4r_c^2}\rho_B\, 4\pi r_c^2\frac{dr_c}{dt} = -_B\frac{dr_c}{dt} = bk_sC_{Ag}$$

que por integración da:

(2.87)

$$-\rho_B\int_R^{r_c} dr_c = bk_sC_{Ag}\int_o^t dt$$

o

$$t = \frac{B}{bk_sC_{Ag}}\left(R - r_c\right)$$

El tiempo necesario para la reacción completa se obtiene cuando $r_c = 0$, o sea:

(2.87)

$$\tau = \frac{\rho_B R}{b k_s C_{Ag}}$$

La disminución del radio o el aumento de la conversión fraccional de la partícula en función de se calcula por combinación de las ecuaciones (2.87) y (2.88), es decir:

(2.89)

$$\frac{t}{\tau} = 1 - \frac{r_c}{R} = 1 - \left(1 - X_B\right)^{1/8}$$

Este resultado se representa en las (figuras 21 y 22).

BIBLIOTECA VIRTUAL

2.4.1.4. Combinación de resistencias

En las expresiones anteriores conversión-tiempo se supone que solamente una resistencia controla el proceso de reacción global de la partícula. Sin embargo, la importancia relativa de la película gaseosa, de la capa de cenizas, y de la reacción, varían a medida que se efectúa la conversión. Por ejemplo para una partícula de tamaño constante la resistencia de la película gaseosa permanece constante, la resistencia a la reacción aumenta a medida que disminuye la superficie del núcleo que no ha reaccionado, mientras que la resistencia de la capa de cenizas no existe al principio (ya que no hay cenizas) y se hace cada vez más importante a medida que se va formando la capa de cenizas. En consecuencia, puede resultar improcedente suponer que durante

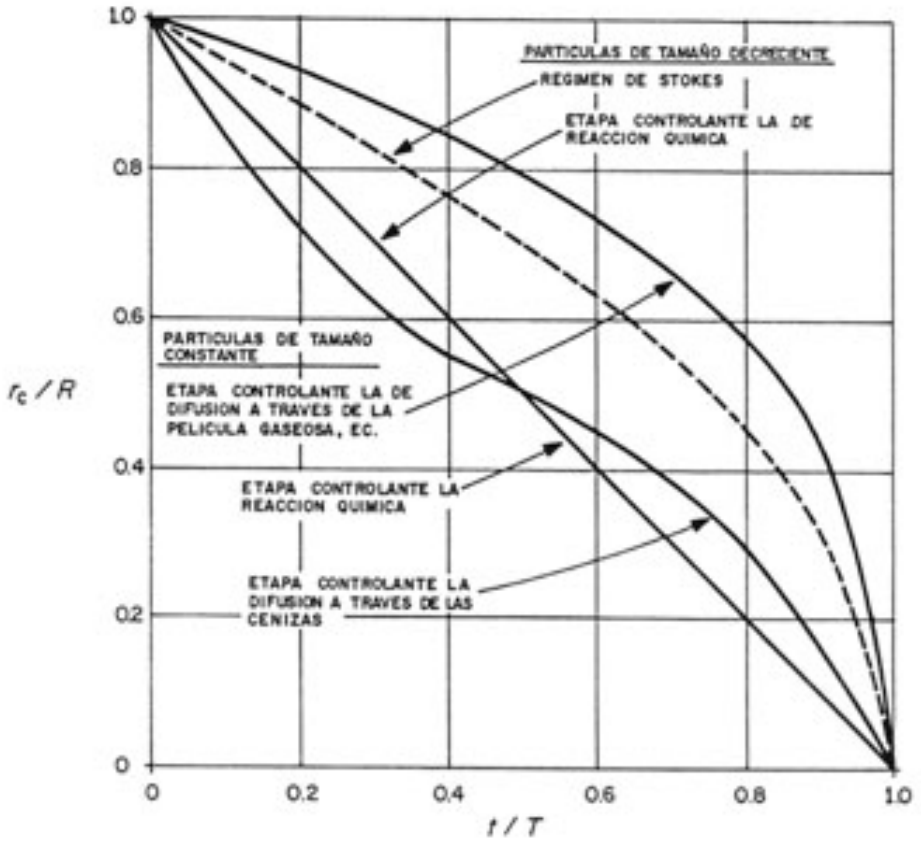


FIGURA 21. Transcurso de la reacción de una partícula esférica con el fluido de los alrededores en función del tiempo necesario para la conversión completa.

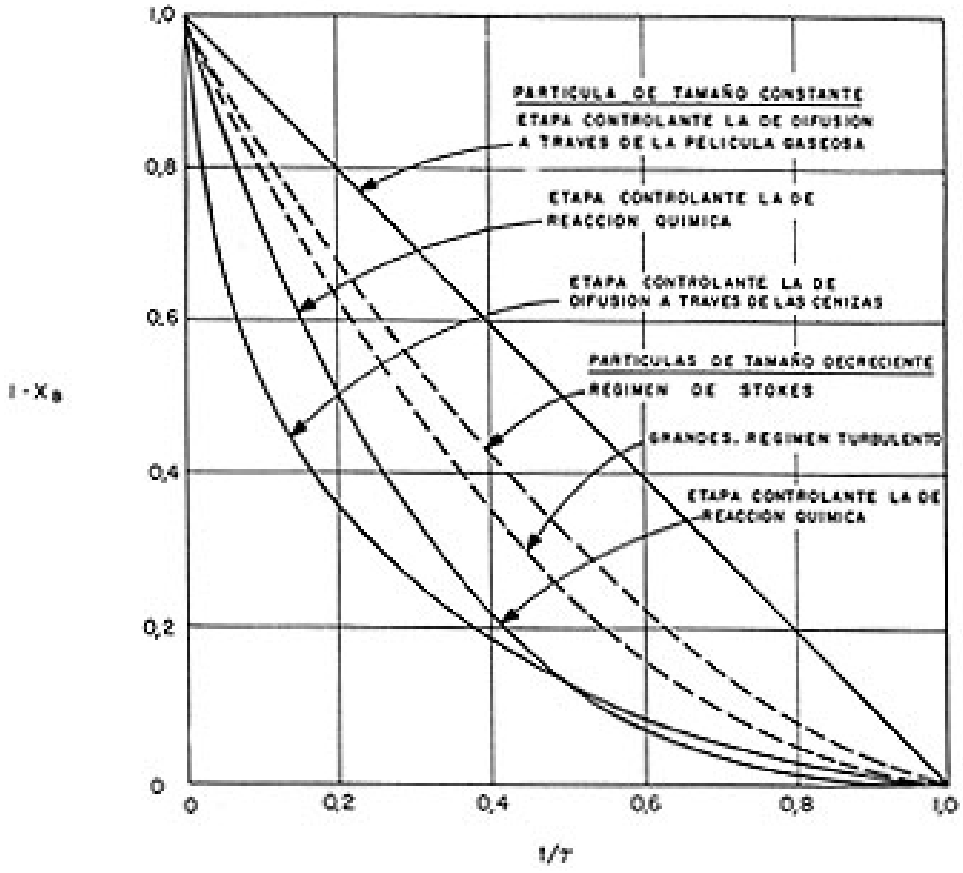


FIGURA 22. Transcurso de la reacción de una partícula esférica con el fluido de los alrededores en función del tiempo necesario para la conversión completa.

todo el proceso tan sólo una etapa es la controlante.

Puede tenerse en cuenta directamente la acción simultánea de estas resistencias debido a que actúan en serie y son todas ellas lineales con respecto a la concentración. Por consiguiente, combinando las ecuaciones (2.71), (2.80) y (2.86), con sus potenciales individuales, y eliminando las concentraciones intermedias, podemos demostrar que el tiempo necesario para alcanzar cualquier grado de conversión es igual a la suma de los tiempos necesarios, si cada resistencia actuara aislada.

(2.90)

$$t_{total} = t_{película} + t_{ceniza} + t_{reacción}$$

Análogamente para la conversión completa

(2.91)

$$_{total} = _{película} + _{ceniza} + _{reacción}$$

en otra alternativa de aproximación pueden combinarse directamente las resistencias individuales dando, para cualquier grado determinado de conversión:

(2.92)

$$-\frac{1}{S_{ex}}\frac{dN_B}{dt} = \frac{bc_A}{\frac{1}{k_g} + \frac{R(R-r_c)}{r_c D_e} + \frac{R^2}{r_c^2 k_s}}$$

(2.93)

$$-\frac{dr_c}{dt} = \frac{bc_A/\rho_B}{\underbrace{\frac{r_c^2}{R^2 k_g}}_{\text{pelicula}} + \underbrace{\frac{(R-r_c)r_c}{RD_e}}_{\text{ceniza}} + \underbrace{\frac{1}{k_s}}_{\text{reaccion}}}$$

Como puede observarse la importancia relativa de las tres resistencias individuales varía a medida que aumenta la conversión o que disminuye r_c.

Considerando la progresión global en una partícula de tamaño constante desde su estado inicial hasta que se logra la conversión completa, calculamos, para las condiciones medidas, que la importancia relativa de estas tres resistencias viene dada por:

(2.94)

$$-\frac{1}{S_{ex}}\frac{\overline{dN}_A}{dt} = \bar{k}_s C_A \frac{C_A}{\frac{1}{k_g} + \frac{R}{2D_e} + \frac{3}{k_s}}$$

Para partículas exentas de cenizas cuyo tamaño disminuye por reacción es necesario considerar solamente dos resistencias: La de la película gaseosa y la de reacción en la superficie. Como ambas están referidas a la superficie exterior de las partículas, pueden combinarse para dar, en cualquier instante:

(2.95)

$$-\frac{1}{S_{ex}}\frac{dN_A}{dt} = \frac{1}{\frac{1}{k_g} + \frac{1}{k_s}} C_A$$

Yagi y Kunii (1955), Shen y Smith (1965) y White y Carberry (1965) han deducido varias formas de estas expresiones.

2.5. CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE POSIBLES ECUACIONES

Según se desprende del modelo de Núcleo sin Reaccionar de Levenspiel (43) que se ha visto en el apartado anterior, se consideran como probables las ecuaciones anteriormente expuestas, por lo que consideramos las siguientes posibilidades:

2.5.1. La difusión a través de la película gaseosa como etapa controlante

Se consideran las ecuaciones (2.73), (2.74) y (2.75).

$$t = \frac{\rho_B R}{3b\, k_g\, C_{Ag}} \left[1 - \left| \frac{r_c}{R} \right|^3 \right] \tag{2.73}$$

$$\tau = \frac{\rho_B R}{3b\, k_g\, C_{Ag}} \tag{2.74}$$

$$\frac{t}{\tau} = 1 - \left| \frac{r_c}{R} \right|^3 = X_B \tag{2.75}$$

De la ecuación (2.75) se deduce:

$$X_B = \frac{1}{\tau} \bullet t$$

por lo que al sustituir por su valor dado de (2.73) resulta:

(2.96)

$$X_B = \frac{1}{\tau} \bullet t = \frac{3b \bullet C_{Ag}}{\rho_B R} \bullet K_g \bullet t$$

ecuación que se puede expresar de la forma:

(2.97)

$$\frac{X_B \bullet \rho_B \bullet R}{3b\ C_{Ag}\ t} = K_g$$

Como resulta que el coeficiente de transferencia de materia K_g es proporcional al número de Reynolds y al número de Smit podemos escribir:

(2.98)

$$K_g = a_o \left| \frac{\rho_g V_g D_p}{\mu_g} \right|^{a_1} \left(\frac{\mu_g}{\rho_g D_G} \right)^{a_2}$$

o lo que es lo mismo:

(2.99)

$$\frac{K_g \bullet D_p}{D_G} = a_o \left| \frac{\rho_g \bullet V_g D_p}{\mu_g} \right|^{a_1} \left(\frac{\mu_g}{\rho_g D_g} \right)^{a_2}$$

lo que implica que:

(2.100)

$$K_g = f \left\{ \left| \frac{\rho_g \bullet D_p}{\mu_g} \right|^{a'_1} \left(\frac{\mu_g}{\rho_g} \right)^{a'_2}, D_p, D_g \right|$$

es decir:

$$K_g = f\left\{ \left| \frac{\rho_g}{\mu_g} \right|^{a_1}, D_p^{a_2}, D_G^{a_3} \right|$$

ecuación esta que se puede escribir de la forma:

$$K_g = K_o \bullet D_p^{a_1} \left| \frac{\rho_g}{\mu_g} \right|^{a_2}$$

que sustituida en la ecuación (2.97) nos da:

$$\frac{\rho_B R X_B}{3bC_{Ag}t} = K_o \bullet D_p^{a_1} \bullet \left| \frac{\rho_g}{\mu_g} \right|^{a_2}$$

y como $\frac{\rho_g}{\mu_g}$ depende de T en ºK podemos escribir

$$\frac{\rho_B R X_B}{3bC_{Ag}t} = K_o \bullet D_p^{a_1} \bullet T^{a_2}$$

que al tomar logaritmos neperianos nos da:

(2.105)

$$1n\left| \frac{\rho_B R X_B}{3bC_{Ag}t} \right| = \left(1nk_o\right) + a_1\left(1nD_p\right) + a_2(1nT)$$

Ecuación denominada E G-1 y generatriz de la serie de ecuaciones denominada EG.

2.5.2. La difusión a través de la capa de cenizas como etapa controlante

En este caso consideramos las ecuaciones:

$$\tau = \frac{\rho_B R^2}{6b\, D_e\, C_{Ag}} \tag{2.82}$$

$$\frac{t}{\tau} = 1 - 3\left(1 - X_B\right)^{2/3} + 2(1 - X_B) \tag{2.84}$$

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

De esta última deducimos:

$$\frac{t}{1 - 3\left(1 - X_B\right)^{2/3} + 2\left(1 - X_B\right)} = \tau$$

sustituyendo en esta ecuación el valor de la (2.82) tenemos:

$$\frac{t}{1 - 3\left(1 - X_B\right)^{2/3} + 2\left(1 - X_B\right)} = \frac{\rho_B \bullet R^2}{6b\, D_e\, C_{Ag}} \tag{2.106}$$

de donde resulta:

(2.107)

$$\frac{t}{1-3\left(1-X_B\right)^{2/3}+2\left(1-X_B\right)}\frac{6b\,\mathrm{C_{Ag}}}{\rho_{\mathrm{B}}\,\mathrm{R}^2}=D_e$$

lo que nos permite escribir la ecuación:

(EC-1)

$$\frac{t}{1-3\left(1-X_B\right)^{2/3}+2\left(1-X_B\right)}=a_o(LEY)^{a_1}\bullet(DP)^{a_2}\bullet(1-XB)^{a_3}$$

$$D_e=a_o\bullet(ley)^{a_1}\left(D_p\right)^{a_2}\left(1-X_B\right)^{a_3}$$

La ecuación anterior la denominamos EC-1 y nos genera la serie de ecuaciones EC.

2.5.3. La reacción química como etapa controlante

Se considera ahora las ecuaciones:

(2.88)

$$\tau=\frac{\rho_B\bullet R}{b\bullet k_s\bullet C_{Ag}}$$

(2.89)

$$\frac{t}{\tau}=1-\frac{r_c}{R}=1-\left(1-X_B\right)^{1/8}$$

En estas ecuaciones se realizan las siguientes transformaciones:

$$\frac{t}{\frac{\rho_B \bullet R}{b \bullet k_s \bullet C_{Ag}}} = 1 - \frac{r_c}{R} = 1 - \left(1 - X_B\right)^{1/8}$$

de esta expresión se deduce:

(ER-1)

$$k_s = \frac{t}{1 - \left(1 - X_B\right)^{1/8}} \bullet \frac{b\, C_{Ag}}{\rho_B \bullet R}$$

La ecuación ER-1 es la ecuación generatriz de la serie de ecuaciones denominadas (ER).

Se considera que el coeficiente cinético de la ecuación k_s se expresa de la forma:

$$k_s = k_o \bullet e^{-Ea/Rt}$$

y si además se supone que $k_o = k'_o\ (ley)^{k}_{1}$

$$k_o = k'_o\ (ley)^{k}_{1}$$

al introducir estas expresiones en la ecuación ER-1, resultan nuevas ecuaciones a tener en cuenta en estas series.

2.5.4. Velocidad de reacción

Teniendo en cuenta la teoría de Arrhrenins, y suponiendo que la reacción puede ser de primero, segundo o tercer orden resultan las ecuaciones siguientes, ecuaciones que denominaremos de la serie ER - EA.

Suponemos la reacción genérica

A + B $\rightarrow$ Productos

A B Concentraciones para t = 0.

(A-X) (B-X) Concentraciones para t = t.

Si suponemos que la reacción es de primer orden resulta:

(2.108)

$$\frac{dx}{dt} = k_o \bullet e^{-\frac{Ea}{RT}} (A - X)$$

si es de segundo:

(2.109)

$$\frac{dx}{dt} = k_o \bullet e^{-\frac{Ea}{RT}} (A - X)^2$$

y por último si se supone un tercer orden

(2.110)

$$\frac{dx}{dt} = k_o \bullet e^{-\frac{Ea}{RT}} (A - X)^3$$

2.6. INTRODUCCIÓN DE LOS DATOS EN ORDENADOR

Previamente a la introducción de los datos en ordenador para proceder al ajuste econométrico, se definen las variables que se utilizan en el proceso. En los ensayos que se realizaron fueron:

Temperatura del ensayo en grados centígrados.

Tiempo de permanencia de la muestra en el horno, en minutos.

Ley del mineral, en % en Hg.

Diámetro de partícula del mineral.

Pérdida de peso, en %.

Máxima pérdida de peso, en %, y que corresponde a la experimentada por una muestra cualquiera al permanecer en el horno un tiempo de 4 horas, a la temperatura de 1.000 grados centígrados.

La denominación que se dio a las variables fue la siguiente:

T	Temperatura en ºC.
TI	Tiempo de permanencia de la muestra en el horno, expresado en minutos.
DP	Diámetro medio de partícula.
LEY	Ley del Mineral, expresada en % en Hg.
PPMAX	Máxima pérdida de peso en las condiciones anteriormente establecidas.
PP	Pérdida de peso en %.

Estas variables sufrieron varias transformaciones, hasta quedar en la forma que expresamos a continuación, forma esta que fue la utilizada en la realización del ajuste.

UNO = serie unidad

XB = PP/PPMAX

L(XB) = ln(XB)

XB/TI = XB/TI

L(XB/TI) = 1n (XB/TI)

L(DP) = 1n (DP)

TK = T+273.16

L(TK) = 1n (TK)

L(LEY) = 1n (LEY)

L(TI) = 1n (TI)

1(TK) = UNO/TK

L(1/TK) = ln (1/TK)

1-XB = UNO-XB

L(1-XB) = ln (1-XB)

P3 = $UNO-3 \cdot (1-XB)^{2/3} + 2 \cdot (1-XB)$

L(P3) = 1n (P3)

L(TI/P3) = ln (TI/P3)

P2 = $UNO-(1-XB)^{1/8}$

L(P2) = 1n (P2)

P2/DP = P2/DP

L(P2/D2) = 1n (P2/DP)

A continuación se reproducen fotocopias de los listados de ordenador con los valores de las variables utilizadas y sus correspondientes transformaciones.

BIBLIOTECA VIRTUAL
MIGUEL DE CERVANTES

ESTIMACIÓN PARCIAL MODELO DE PRUEBA VARIABLES lEÍDAS

27-7-84

	PP	T	TI	DP	PPMAX	LEY
		0				
	0		0	0	0	0
1	0.0800	300.0000	5.0000	14.1200	85.4600	52.6500
2	0.5030	300.0000	10.0000	14.1200	85.4600	52.6500
3	0.1700	300.0000	15.0000	14.1200	85.4600	52.6500
4	0.0300	300.0000	20.0000	14.1200	85.4600	52.6500
5	0.4000	300.0000	25.0000	14.1200	85.4600	52.6500
6	0.9830	300.0000	126.0000	14.1200	85.4600	52.6500
7	1.8500	300.0000	126.0000	0.0440	85.4600	52.6500
8	22.0800	500.0000	15.0000	10.8900	85.4600	52.6500
9	47.3000	500.0000	30.0000	10.8900	85.4600	52.6500
10	61.8000	500.0000	45.0000	10.8900	85.4600	52.6500
11	40.3000	500.0000	60.0000	10.8900	85.4600	52.6500
12	29.6600	500.0000	75.0000	10.8900	85.4600	52.6500
13	26.0300	500.0000	80.0000	10.8900	85.4600	52.6500
14	55.6700	500.0000	45.0000	10.8900	85.4600	52.6500
15	81.3200	600.0000	60.0000	10.8900	85.4600	52.6500
16	67.9500	600.0000	60.0000	10.8900	85.4600	52.6500
17	69.7800	600.0000	60.0000	0.1360	85.4600	52.6500
18	50.5800	600.0000	30.0000	0.1110	85.4600	52.6500
19	58.6800	500.0000	60.0000	7.6200	85.4600	52.6500
20	56.6700	500.0000	90.0000	7.6200	85.4600	52.6500
21	44.3200	500.0000	120.0000	7.6200	85.4600	52.6500
22	56.1500	500.0000	60.0000	7.6200	85.4600	52.6500
23	60.5000	700.0000	97.0000	7.6200	85.4600	52.6500
24	63.8600	700.0000	30.0000	7.6200	85.4600	52.6500
25	4.3300	800.0000	15.0000	4.9100	85.4600	52.6500
26	33.7600	500.0000	30.0000	4.9100	85.4600	52.6500
27	58.1200	500.0000	60.0000	4.9100	85.4600	52.6500
28	70.6000	500.0000	30.0000	4.9100	85.4600	52.6500
29	67.3500	700.0000	60.0000	4.9100	85.4600	52.6500
30	69.8800	700.0000	15.0000	4.9100	85.4600	52.6500
31	54.6300	800.0000	30.0000	4.9100	85.4600	52.6500
32	59.0000	800.0000	45.0000	4.9100	85.4600	52.6500
33	47.6900	800.0000	15.0000	2.6700	85.4600	52.6500
34	60.2300	500.0000	30.0000	2.6700	85.4600	52.6500
35	37.0300	500.0000	60.0000	2.6700	85.4600	52.6500
36	42.3800	500.0000	15.0000	1.3300	85.4600	52.6500
37	73.8000	500.0000	30.0000	1.3300	85.4600	52.6500
38	70.2700	500.0000	60.0000	1.3300	85.4600	52.6500
39	67.4100	500.0000	75.0000	1.3300	85.4600	52.6500
40	48.1300	1000.0000	75.0000	1.3300	85.4600	52.6500
41	70.4100	1000.0000	15.0000	1.3300	85.4600	52.6500
42	67.7100	700.0000	30.0000	1.3300	85.4600	52.6500
43	71.0300	700.0000	60.0000	2.6700	85.4600	52.6500
44	65.2700	700.0000	15.0000	1.3300	85.4600	52.6500
45	68.9500	700.0000	30.0000	1.3300	85.4600	52.6500
46	65.4900	700.0000	60.0000	1.3300	85.4600	52.6500
47	76.2400	700.0000	30.0000	0.6700	85.4600	52.6500
48	73.6000	600.0000	60.0000	0.6700	85.4600	52.6500

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

	PP	T	TI	DP	PPMAX	LEY
	0	0	0	0	0	0
50	64.3000	600.0000	30.0000	0.3300	85.4600	52.6500
51	73.2000	600.0000	60.0000	0.3300	85.4600	52.6500
52	70.2300	600.0000	90.0000	0.3300	85.4600	52.6500
53	8.5000	600.0000	15.0000	1.3300	79.6900	49.7000
54	27.4600	400.0000	30.0000	1.3300	79.6900	49.7000
55	49.3600	400.0000	45.0000	1.3300	79.6900	49.7000
56	45.5000	400.0000	60.0000	1.3300	79.6900	49.7000
57	49.8000	400.0000	75.0000	1.3300	79.6900	49.7000
58	44.4600	400.0000	90.0000	1.3300	79.6900	49.7000
59	49.1100	400.0000	120.0000	1.3300	79.6900	49.7000
60	50.3700	400.0000	180.0000	1.3300	79.6900	49.7000
61	48.6900	400.0000	420.0000	1.3300	79.6900	49.7000
62	48.7800	400.0000	60.0000	0.6700	79.6900	49.7000
63	55.3500	400.0000	90.0000	0.6700	79.6900	49.7000
64	53.4300	400.0000	210.0000	0.6700	79.6900	49.7000
65	53.3400	400.0000	60.0000	0.3300	79.6900	49.7000
66	55.8700	400.0000	90.0000	0.3300	79.6900	49.7000
67	58.4000	400.0000	120.0000	0.3300	79.6900	49.7000
68	50.0100	400.0000	30.0000	0.3300	79.6900	49.7000
69	51.5900	500.0000	60.0000	0.3300	79.6900	49.7000
70	50.7500	500.0000	90.0000	1.3300	79.6900	49.7000
71	53.7200	500.0000	30.0000	1.3300	79.6900	49.7000
72	55.9500	500.0000	60.0000	0.6700	79.6900	49.7000
73	56.3300	500.0000	90.0000	0.6700	79.6900	49.7000
74	51.5900	500.0000	240.0000	0.6700	79.6900	49.7000
75	55.5000	1000.0000	240.0000	1.3300	79.6900	49.7000
76	37.7100	1000.0000	30.0000	0.6700	79.6900	49.7000
77	54.9900	400.0000	60.0000	0.3300	79.6900	49.7000
78	54.1200	400.0000	90.0000	0.3300	79.6900	49.7000
79	40.6800	400.0000	30.0000	0.3300	79.6900	49.7000
80	49.0000	500.0000	60.0000	1.3300	79.6900	49.7000
81	48.0300	500.0000	93.0000	1.3300	79.6900	49.7000
82	55.7000	500.0000	30.0000	1.3300	79.6900	49.7000
83	53.4000	500.0000	60.0000	0.6700	79.6900	49.7000
84	53.5100	500.0000	90.0000	0.6700	79.6900	49.7000
85	54.7000	500.0000	30.0000	0.6700	79.6900	49.7000
86	53.4600	500.0000	60.0000	0.3300	79.6900	49.7000
87	49.6800	500.0000	90.0000	0.3300	79.6900	49.7000

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

ÓRDENES DE OPERACIONES

UNO	UNID			0	0.0
XB	DIVI	PP	PPMAX	0	0.0
L (XB)	LN	XB	TI	0	0.0
XB/TI	DIVI	XB	TK	0	0.0
L (XB/TI)	LN	XB/TI	P3	0	0.0
L (DP)	LN	DP	DP	0	0.0
TK	RETA	T		0	0.0
TK	SMRT	UNO		0	273.160000
L (TK)	LN	TK		0	0.0
L (LEY)	LN	LEY		0	0.0
L (TI)	LN	TI		0	0.0
1/TK	DIVI	UNO		0	0.0
L (1/TK)	LN	1/TK		0	0.0
P3	RETA	UNO		0	0.0
1-XB	RETA	UNO		0	0.0
1-XB	SMRT	XB		0	-1.000000
L (1-XB)	LN	1-XB		0	0.0
AUX1	S**A	1-XB		0	0.666667
P3	SMRT	AUX1		0	3.000000
P3	SMRT	1-XB		0	2.000000
L (P3)	LN	P3		0	0.0
TI/P3	DIVI	TI		0	0.0
L (TI/P3)	LN	TI/P3		0	0.0
P2	RETA	UNO		0	0.0
AUX1	S**A	1-XB		0	0.125000
P2	SMRT	AUX1		0	1.000000
L (P2)	LN	P2		0	0.0
P2/DP	DIVI	P2		0	0.0
L (P2/DP)	LN	P2/DP		0	0.0
FINM				0	0.0

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

ESTIMACIÓN PARCIAL MODELO DE PRUEBA VARIABLES UTILIZADAS

27-7-84

	PP	T	TI	DP	PPMAX	LEY	UNO	XB	L (XB)
	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0.0800	300.0000	5.0000	14.1200	85.4600	52.6500	1.0000	0.0009	-6.9738
2	0.5030	300.0000	10.0000	14.1200	85.4600	52.6500	1.0000	0.0059	-5.1352
3	0.1700	300.0000	15.0000	14.1200	85.4600	52.6500	1.0000	0.0020	-6.2200
4	0.0300	300.0000	20.0000	14.1200	85.4600	52.6500	1.0000	0.0004	-7.9546
5	0.4000	300.0000	25.0000	14.1200	85.4600	52.6500	1.0000	0.0047	-5.3643
6	0.9830	300.0000	126.0000	14.1200	85.4600	52.6500	1.0000	0.0115	-4.4652
7	1.8500	300.0000	126.0000	0.0440	85.4600	52.6500	1.0000	0.0216	-3.8329
8	22.0800	500.0000	15.0000	10.8900	85.4600	52.6500	1.0000	0.2584	-1.3534
9	47.3000	500.0000	30.0000	10.8900	85.4600	52.6500	1.0000	0.5535	-0.5915
10	61.8000	500.0000	45.0000	10.8900	85.4600	52.6500	1.0000	0.7231	-0.3241
11	40.3000	500.0000	60.0000	10.8900	85.4600	52.6500	1.0000	0.4716	-0.7517
12	29.6600	500.0000	75.0000	10.8900	85.4600	52.6500	1.0000	0.3471	-1.0582
13	26.0300	500.0000	80.0000	10.8900	85.4600	52.6500	1.0000	0.3046	-1.1888
14	55.6700	500.0000	45.0000	10.8900	85.4600	52.6500	1.0000	0.6514	-0.4286
15	81.3200	600.0000	60.0000	10.8900	85.4600	52.6500	1.0000	0.9516	-0.0497
16	67.9500	600.0000	60.0000	10.8900	85.4600	52.6500	1.0000	0.7951	-0.2293
17	69.7800	600.0000	60.0000	0.1360	85.4600	52.6500	1.0000	0.8165	-0.2027
18	50.5800	600.0000	30.0000	0.1110	85.4600	52.6500	1.0000	0.5919	-0.5245
19	58.6800	500.0000	60.0000	7.6200	85.4600	52.6500	1.0000	0.6866	-0.3759
20	56.6700	500.0000	90.0000	7.6200	85.4600	52.6500	1.0000	0.6631	-0.4108
21	44.3200	500.0000	120.0000	7.6200	85.4600	52.6500	1.0000	0.5186	-0.6566
22	56.1500	500.0000	60.0000	7.6200	85.4600	52.6500	1.0000	0.6570	-0.4200
23	60.5000	700.0000	97.0000	7.6200	85.4600	52.6500	1.0000	0.7079	-0.3454
24	63.8600	700.0000	30.0000	7.6200	85.4600	52.6500	1.0000	0.7473	-0.2914
25	4.3300	800.0000	15.0000	4.9100	85.4600	52.6500	1.0000	0.0507	-2.9825
26	33.7600	500.0000	30.0000	4.9100	85.4600	52.6500	1.0000	0.3950	-0.9288
27	58.1200	500.0000	60.0000	4.9100	85.4600	52.6500	1.0000	0.6801	-0.3855
28	70.6000	500.0000	30.0000	4.9100	85.4600	52.6500	1.0000	0.8261	-0.1910
29	67.3500	700.0000	60.0000	4.9100	85.4600	52.6500	1.0000	0.7881	-0.2381
30	69.8800	700.0000	15.0000	4.9100	85.4600	52.6500	1.0000	0.8177	-0.2013
31	54.6300	800.0000	30.0000	4.9100	85.4600	52.6500	1.0000	0.6392	-0.4475
32	59.0000	800.0000	45.0000	4.9100	85.4600	52.6500	1.0000	0.6904	-0.3705
33	47.6900	800.0000	15.0000	2.6700	85.4600	52.6500	1.0000	0.5580	-0.5833
34	60.2300	500.0000	30.0000	2.6700	85.4600	52.6500	1.0000	0.7048	-0.3499
35	37.0300	500.0000	60.0000	2.6700	85.4600	52.6500	1.0000	0.4333	-0.8363
36	42.3800	500.0000	15.0000	1.3300	85.4600	52.6500	1.0000	0.4959	-0.7014
37	73.8000	500.0000	30.0000	1.3300	85.4600	52.6500	1.0000	0.8636	-0.1467
38	70.2700	500.0000	60.0000	1.3300	85.4600	52.6500	1.0000	0.8223	-0.1957
39	67.4100	500.0000	75.0000	1.3300	85.4600	52.6500	1.0000	0.7888	-0.2373
40	48.1300	1000.0000	75.0000	1.3300	85.4600	52.6500	1.0000	0.5632	-0.5741
41	70.4100	1000.0000	15.0000	1.3300	85.4600	52.6500	1.0000	0.8239	-0.1937
42	67.7100	700.0000	30.0000	1.3300	85.4600	52.6500	1.0000	0.7923	-0.2328
43	71.0300	700.0000	60.0000	2.6700	85.4600	52.6500	1.0000	0.8311	-0.1849
44	65.2700	700.0000	15.0000	1.3300	85.4600	52.6500	1.0000	0.7637	-0.2695
45	68.9500	700.0000	30.0000	1.3300	85.4600	52.6500	1.0000	0.8068	-0.2147
46	65.4900	700.0000	60.0000	1.3300	85.4600	52.6500	1.0000	0.7663	-0.2662
47	76.2600	700.0000	30.0000	0.6700	85.4600	52.6500	1.0000	0.8923	-0.1139
48	73.6000	600.0000	60.0000	0.6700	85.4600	52.6500	1.0000	0.3612	-0.1494
49	71.4400	600.0000	90.0000	0.6700	85.4600	52.6500	1.0000	0.3357	-0.1792

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

	PP	T	TI	DP	PPMAX	LEY	UNO	XB	L (XB)
	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50	64.3000	600.0000	30.0000	0.3300	85.4600	52.6500	1.0000	0.7524	-0.2845
51	73.2000	600.0000	60.0000	0.3300	85.4600	52.6500	1.0000	0.8565	-01549
52	70.2300	600.0000	90.0000	0.3300	85.4600	52.6500	1.0000	0.8218	-0.1963
53	8.5000	600.0000	15.0000	1.3300	79.6900	49.7000	1.0000	0.1067	-2.2381
54	27.4600	400.0000	30.0000	1.3300	79.6900	49.7000	1.0000	0.3446	-1.0654
55	49.3600	400.0000	45.0000	1.3300	79.6900	49.7000	1.0000	0.6194	-0.4790
56	45.5000	400.0000	60.0000	1.3300	79.6900	49.7000	1.0000	0.5710	-0.5604
57	49.8000	400.0000	75.0000	1.3300	79.6900	49.7000	1.0000	0.6249	-04701
58	44.4600	400.0000	90.0000	1.3300	79.6900	49.7000	1.0000	0.5579	-0.5836
59	49.1100	400.0000	120.0000	1.3300	79.6900	49.7000	1.0000	0.6163	-0.4841
60	50.3700	400.0000	180.0000	1.3300	79.6900	49.7000	1.0000	0.6321	-0.4587
61	48.6900	400.0000	420.0000	1.3300	79.6900	49.7000	1.0000	0.6110	-0.4927
62	48.7800	400.0000	60.0000	0.6700	79.6900	49.7000	1.0000	0.6121	-0.4908
63	55.3500	400.0000	90.0000	0.6700	79.6900	49.7000	1.0000	0.6946	-0.3645
64	53.4300	400.0000	120.0000	0.6700	79.6900	49.7000	1.0000	0.6705	-0.3998
65	53.3400	400.0000	60.0000	0.3300	79.6900	49.7000	1.0000	0.6693	-0.4015
66	55.8700	400.0000	90.0000	0.3300	79.6900	49.7000	1.0000	0.7011	-0.3551
67	58.4000	400.0000	120.0000	0.3300	79.6900	49.7000	1.0000	0.7328	-0.3108
68	50.0100	400.0000	30.0000	0.3300	79.6900	49.7000	1.0000	0.6276	-0.4659
69	51.5900	500.0000	60.0000	1.3300	79.6900	49.7000	1.0000	0.6474	-0.4348
70	50.7500	500.0000	90.0000	1.3300	79.6900	49.7000	1.0000	0.6368	-0.4512
71	53.7200	500.0000	30.0000	1.3300	79.6900	49.7000	1.0000	0.6741	-0.3944
72	55.9500	500.0000	60.0000	0.6700	79.6900	49.7000	1.0000	0.7021	-0.3537
73	56.3300	500.0000	90.0000	0.6700	79.6900	49.7000	1.0000	0.7069	-0.3469
74	51.5900	500.0000	240.0000	0.6700	79.6900	49.7000	1.0000	0.6474	-0.4348
75	55.5000	1000.0000	240.0000	1.3300	79.6900	49.7000	1.0000	0.6964	-0.3618
76	37.7100	1000.0000	30.0000	0.6700	79.6900	49.7000	1.0000	0.4732	-0.7482
77	54.9900	400.0000	60.0000	0.3300	79.6900	49.7000	1.0000	0.6900	-0.3710
78	54.1200	400.0000	90.0000	0.3300	79.6900	49.7000	1.0000	0.6791	-0.3869
79	40.6800	400.0000	30.0000	0.3300	79.6900	49.7000	1.0000	0.5105	-0.6724
80	49.0000	500.0000	60.0000	1.3300	79.6900	49.7000	1.0000	0.6149	-0.4863
81	48.0300	500.0000	93.0000	1.3300	79.6900	49.7000	1.0000	0.6027	-0.5063
82	55.7000	500.0000	30.0000	1.3300	79.6900	49.7000	1.0000	0.6990	-0.3582
83	53.4000	500.0000	60.0000	0.6700	79.6900	49.7000	1.0000	0.6701	-0.4003
84	53.5100	500.0000	90.0000	0.6700	79.6900	49.7000	1.0000	0.6715	-0.3983
85	54.7000	500.0000	30.0000	0.6700	79.6900	49.7000	1.0000	0.6864	-0.3763
86	53.4600	500.0000	60.0000	0.3300	79.6900	49.7000	1.0000	0.6708	-0.3992
87	49.6800	500.0000	90.0000	0.3300	79.6900	49.7000	1.0000	0.6234	-0.4725
1	XB/TI	L (XB/TI)	L (DP)	TK	L (TK)	L (LEY)	L (TI)	1/TK	L (1/TK)
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0.0002	-8.5832	2.6476	573.1600	6.3512	3.9637	1.6094	0.0017	-6.3512
4	0.0006	-7.4378	2.6476	573.1600	6.3512	3.9637	2.3026	0.0017	-6.3512
5	0.0001	-8.9281	2.6476	573.1600	6.3512	3.9637	2.7081	0.0017	-6.3512
6	0.0000	-10.9503	2.6476	573.1600	6.3512	3.9637	2.9957	0.0017	-6.3512
7	0.0002	-8.5832	2.6476	573.1600	6.3512	3.9637	3.2189	0.0017	-6.3512
8	0.0001	-9.3015	2.6476	573.1600	6.3512	3.9637	4.8363	0.0017	-6.3512
9	0.0002	-8.6691	-3.1236	573.1600	6.3512	3.9637	4.8363	0.0017	-6.3512
10	0.0172	-4.0614	2.3878	773.1600	6.6505	3.9637	2.7081	0.0013	-6.6505
11	0.0184	-3.9927	2.3878	773.1600	6.6505	3.9637	3.4012	0.0013	-6.6505
12	0.0161	-4.1308	2.3878	773.1600	6.6505	3.9637	3.8067	0.0013	-6.6505
13	0.0079	-4.8460	2.3878	773.1600	6.6505	3.9637	4.0943	0.0013	-6.6505
	0.0046	-5.3757	2.3878	773.1600	6.6505	3.9637	4.3175	0.0013	-6.6505
	0.0038	-5.5708	2.3878	773.1600	6.6505	3.9637	4.3820	0.0013	-6.6505

BIBLIOTECA VIRTUAL
MIGUEL DE CERVANTES

	XB/TI	L (XB/TI)	L (DP)	TK	L (TK)	L (LGY)	L (TI)	1/TK	L (1/TK)
	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0.0145	-4.2353	2.3878	773.1600	6.6505	3.9637	3.8067	0.0013	-6.6505
15	0.0159	-4.1440	2.3878	873.1600	6.7721	3.9637	4.0943	0.0011	-6.7721
16	0.0133	-4.3236	2.3878	873.1600	6.7721	3.9637	4.0943	0.0011	-6.7721
17	0.0136	-4.2970	-1.9951	873.1600	6.7721	3.9637	4.0943	0.0011	-6.7721
18	0.0197	-3.9257	-2.1982	873.1600	6.7721	3.9637	3.4012	0.0011	-6.7721
19	0.0114	-4.4703	2.0308	773.1600	6.6505	3.9637	4.0943	0.0013	-6.6505
20	0.0074	-4.9106	2.0308	773.1600	6.6505	3.9637	4.4993	0.0013	-6.6505
21	0.0043	-5.4441	2.0308	773.1600	6.6505	3.9637	4.7875	0.0013	-6.6505
22	0.0110	–4.5144	2.0308	773.1600	6.6505	3.9637	4.0943	0.0013	-6.6505
23	0.0073	-4.9201	2.0308	973.1600	6.8805	3.9637	4.5747	0.0010	-6.8805
24	0.0249	-3.6926	2.0308	973.1600	6.8805	3.9637	3.4012	0.0010	-6.8805
25	0.0034	-5.6905	1.5913	1073.1600	6.9784	3.9637	2.7081	0.0009	-6.9784
26	0.0132	-4.3300	1.5913	773.1600	6.6505	3.9637	3.4012	0.0013	-6.6505
27	0.0113	-4.4799	1.5913	773.1600	6.6505	3.9637	4.0943	0.0013	-6.6505
28	0.0275	-3.5922	1.5913	773.1600	6.6505	3.9637	3.4012	0.0013	-6.6505
29	0.0131	-4.3325	1.5913	973.1600	6.8805	3.9637	4.0943	0.0010	-6.8805
30	0.0545	-2.9093	1.5913	973.1600	6.8805	3.9637	2.7081	0.0010	-6.8805
31	0.0213	-3.8487	1.5913	1073.1600	6.9784	3.9637	3.4012	0.0009	-6.9784
32	0.0153	-4.1772	1.5913	1073.1600	6.9784	3.9637	3.8067	0.0009	-6.9784
33	0.0372	-3.2914	0.9821	1073.1600	6.9784	3.9637	2.7081	0.0009	-6.9784
34	0.0235	-3.7511	0.9821	773.1600	6.6505	3.9637	3.4012	0.0013	-6.6505
35	0.0072	-4.9307	0.9821	773.1600	6.6505	3.9637	4.0943	0.0013	-6.6505
36	0.0331	-3.4094	0.2852	773.1600	6.6505	3.9637	2.7031	0.0013	-6.6505
37	0.0288	-3.5479	0.2852	773.1600	6.6505	3.9637	3.4012	0.0013	-6.6505
38	0.0137	-4.2900	0.2852	773.1600	6.6505	3.9637	4.0943	0.0013	-6.6505
39	0.0105	-4.5547	0.2852	773.1600	6.6505	3.9637	4.3175	0.0013	-6.6505
40	0.0075	-4.8916	0.2852	1273.1600	7.1493	3.9637	4.3175	0.0008	7.1493
41	0.0549	-2.9018	0.2852	1273.1600	7.1493	3.9637	2.7081	0.0008	7.1493
42	0.0264	-3.6340	0.2852	973.1600	6.8805	3.9637	3.4012	0.0010	-6.3805
43	0.0139	-4.2793	0.9821	973.1600	6.8805	3.9637	4.0943	0.0010	-6.8805
44	0.0509	-2.9776	0.2852	973.1600	6.8805	3.9637	2.7081	0.0010	-6.8805
45	0.0269	-3.6159	0.2852	973.1600	6.8805	3.9637	3.4012	0.0010	-6.8805
46	0.0128	-4.3605	0.2852	973.1600	6.8805	3.9637	4.0943	0.0010	-6.8805
47	0.0297	-3.5151	-0.4005	973.1600	6.8805	3.9637	3.4012	0.0010	6.8805
48	0.0144	-4.2437	-0.4005	873.1600	6.7721	3.9637	4.0943	0.0011	-6.7721
49	0.0093	-4.6790	-0.4005	873.1600	6.7721	3.9637	4.4998	0.0011	-6.7721
50	0.0251	-3.6857	-1.1087	873.1600	6.7721	3.9637	3.4012	0.0011	-6.7721
51	0.0143	-4.2492	-1.1087	873.1600	6.7721	3.9637	4.0943	0.0011	-6.7721
52	0.0091	-4.6961	-1.1087	873.1600	6.7721	3.9637	4.4998	0.0011	-6.7721
53	0.0071	-4.9461	0.2852	873.1600	6.7721	3.9060	2.7081	0.0011	-6.7721
54	0.0115	-4.4666	0.2852	673.1600	6.5120	3.9060	3.4012	0.0015	-6.5120
55	0.0138	-4.2857	0.2852	673.1600	6.5120	3.9060	3.8067	0.0015	-6.5120
56	0.0095	-4.6548	0.2852	673.1600	6.5120	3.9060	4.0943	0.0015	-6.5120
57	0.0083	-4.7876	0.2852	673.1600	6.5120	3.9060	4.3175	0.0015	-6.5120
58	0.0062	-5.0834	0.2852	673.1600	6.5120	3.9060	4.4998	0.0015	-6.5120
59	0.0051	-5.2716	0.2852	673.1600	6.5120	3.9060	4.7875	0.0015	-6.5120
60	0.0035	-5.6517	0.2852	673.1600	6.5120	3.9060	5.1930	0.0015	-6.5120
61	0.0015	-6.5329	0.2852	673.1600	6.5120	3.9060	6.0403	0.0015	-6.5120
62	0.0102	-4.5852	-0.4005	673.1600	6.5120	3.9060	4.0943	0.0015	-6.5120
63	0.0077	-4.8643	-0.4005	673.1600	6.5120	3.9060	4.4998	0.0015	-6.5120
64	0.0056	-5.1873	-0.4005	673.1600	6.5120	3.9060	4.7875	0.0015	-6.5120
65	0.0112	-4.4958	-1.1087	673.1600	6.5120	3.9060	4.0943	0.0015	-6.5120
66	0.0078	-4.8549	-1.1087	673.1600	6.5120	3.9060	4.4998	0.0015	-6.5120
67	0.0061	-5.0983	-1.1087	673.1600	6.5120	3.9060	4.7875	0.0015	-6.5120
68	0.0209	-3.8671	-1.1087	673.1600	6.5120	3.9060	3.4012	0.0015	-6.5120

BIBLIOTECA VIRTUAL
MIGUEL DE CERVANTES

	0	0	0	0	0	0	0	0	0
70	0.0071	-4.9510	0.2852	773.1600	6.6505	3.9060	4.4998	0.0013	-6.6505
71	0.0225	-3.7956	0.2852	773.1600	6.6505	3.9060	3.4012	0.0013	-6.6505
72	0.0117	-4.4480	-0.4005	773.1600	6.6505	3.9060	4.0943	0.0013	-6.6505
73	0.0079	-4.8467	-0.4005	773.1600	6.6505	3.9060	4.4998	0.0013	-6.6505
74	0.0027	-5.9155	-0.4005	773.1600	6.6505	3.9060	5.4806	0.0013	-6.6505
75	0.0029	-5.8424	0.2852	1273.1600	7.1493	3.9060	5.4806	0.0008	-7.1493
76	0.0158	-4.1494	-0.4005	1273.1600	7.1493	3.9060	3.4012	0.0008	-7.1493
77	0.0115	-4.4653	-1.1087	673.1600	6.5120	3.9060	4.0943	0.0015	-6.5120
78	0.0075	-4.8867	-1.1087	673.1600	6.5120	3.9060	4.4998	0.0015	-6.5120
79	0.0170	-4.0736	-1.1087	673.1600	6.5120	3.9060	3.4012	0.0015	-6.5120
80	0.0102	-4.5807	0.2852	773.1600	6.6505	3.9060	4.0943	0.0013	-6.6505
81	0.0065	-5.0389	0.2852	773.1600	6.6505	3.9060	4.5326	0.0013	-6.6505
82	0.0233	-3.7594	0.2852	773.1600	6.6505	3.9060	3.4012	0.0013	-6.6505
83	0.0112	-4.4947	-0.4005	773.1600	6.6505	3.9060	4.0943	0.0013	-6.6505
84	0.0075	-4.8981	-0.4005	773.1600	6.6505	3.9060	4.4998	0.0013	-6.6505
85	0.0229	-3.7775	-0.4005	773.1600	6.6505	3.9060	3.4012	0.0013	-6.6505
86	0.0112	-4.4936	-1.1087	773.1600	6.6505	3.9060	4.0943	0.0013	-6.6505
87	0.0069	-4.9724	-1.1087	773.1600	6.6505	3.9060	4.4998	0.0013	-6.6505
1	P3	1-XB	L (1-XB)	AUX1	L(P3)	TI/P3	L (TI/P3)	P2	L (P2)
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	5.9963	0.9991	-0.0009	0.9999	1.7911	0.8339	-0.1817	0.0001	-9.0528
4	5.9764	0.9941	-0.0059	0.9993	1.7878	1.6732	0.5148	0.0007	-7.2121
5	5.9920	0.9980	-0.0020	0.9998	1.7904	2.5033	0.9176	0.0002	-8.2986
6	5.9986	0.9996	-0.0004	1.0000	1.7915	3.3341	1.2042	0.0000	10.0339
7	5.9813	0.9953	-0.0047	0.9994	1.7886	4.1797	1.4302	0.0006	-7.4417
8	5.9539	0.9885	-0.0116	0.9986	1.7841	21.1624	3.0522	0.0014	-6.5396
9	5.9133	0.9784	-0.0219	0.9973	1.7772	21.3081	3.0591	0.0027	-5.9027
10	4.9413	0.7416	-0.2989	0.9633	1.5976	3.0357	1.1104	0.0367	-3.3057
11	3.6457	0.4465	-0.8063	0.9041	1.2935	8.2290	2.1077	0.0959	-2.3448
12	2.8281	0.2769	-1.2843	0.8517	1.0396	15.9120	2.7671	0.1483	-1.9084
13	4.0177	0.5284	-0.6378	0.9234	1.3907	14.9338	2.7036	0.0766	-2.5687
14	4.5638	0.6529	-0.4263	0.9481	1.5181	16.4338	2.7993	0.0519	-2.9586
15	4.7456	0.6954	-0.3642	0.9556	1.5572	16.8577	2.8248	0.0444	-3.1147
16	3.1831	0.3486	-1.0539	0.8766	1.1578	14.1373	2.6488	0.1234	-2.0921
17	1.4956	0.0484	-3.0274	0.6849	0.4025	40.1188	3.6918	0.3151	-1.1550
18	2.4524	0.2049	-1.5853	0.8202	0.8971	24.4655	3.1973	0.1798	-1.7161
19	2.3356	0.1835	-1.6957	0.8090	0.8483	25.6890	3.2461	0.1910	-1.6555
20	3.4670	0.4081	-0.8961	0.8940	1.2433	8.6531	2.1579	0.1060	-2.2446
21	3.0108	0.3134	-1.1604	0.8650	1.1022	19.9284	2.9921	0.1350	-2.0023
22	3.1262	0.3369	-1.0880	0.8728	1.1398	28.7886	3.3600	0.1272	-2.0623
23	3.8055	0.4814	-0.7311	0.9127	1.3364	31.5334	3.4510	0.0873	-2.4380
24	3.1558	0.3430	-1.0701	0.8748	1.1493	19.0124	2.9451	0.1252	-2.0778
25	2.9047	0.2921	-1.2308	0.8574	1.0663	33.3936	3.5084	0.1426	-1.9477
26	2.7048	0.2527	-1.3754	0.8420	0.9950	11.0915	2.4062	0.1580	-1.8455
27	5.7965	0.9493	-0.0520	0.9935	1.7572	2.5878	0.9508	0.0065	-5.0393
28	4.3558	0.6050	-0.5026	0.9391	1.4715	6.8874	1.9297	0.0609	-2.7987
29	3.0431	0.3199	-1.1397	0.8672	1.1129	19.7166	2.9815	0.1328	-2.0191
30	2.2824	0.1739	-1.7494	0.8036	0.8252	13.1443	2.5760	0.1964	-1.6275
31	2.4902	0.2119	-1.5516	0.8237	0.9123	24.0949	3.1820	0.1763	-1.7356
32	2.3292	0.1823	-1.7021	0.8084	0.8455	6.4401	1.8625	0.1916	-1.6521
33	3.2418	0.3608	-1.0196	0.8803	1.1761	9.2541	2.2251	0.1197	-2.1231
	2.9922	0.3096	-1.1724	0.8637	1.0960	15.0389	2.7106	0.1363	-1.9928
	3.6246	0.4420	-0.8165	0.9030	1.2877	4.1384	1.4203	0.0970	-2.3327

BIBLIOTECA VIRTUAL
MIGUEL DE CERVANTES

	P3	1-XB	L (1-XB)	AUX1	L (P3)	TI/P3	L (TI/P3)	P2	L (P2)
	0	0	0	0	0	0	0	0	0
34	2.9206	0.2952	-1.2200	0.8586	1.0718	10.2720	2.3294	0.1414	-1.9559
35	4.1878	0.5667	-0.5679	0.9315	1.4322	14.3273	2.6622	0.0685	-2.6805
36	3.9084	0.5041	-0.6850	0.9179	1.3631	3.8379	1.3449	0.0821	-2.5003
37	2.0680	0.1364	-1.9919	0.7796	0.7266	14.5071	2.6746	0.2204	-1.5123
38	2.3039	0.1777	-1.7274	0.8058	0.8346	26.0431	3.2598	0.1942	-1.6388
39	2.4864	0.2112	-1.5549	0.8234	0.9108	30.1642	3.4067	0.1766	-1.7336
40	3.6007	0.4368	-0.8283	0.9016	1.2811	20.8291	3.0364	0.0984	-2.3192
41	2.2948	0.1761	-1.7367	0.8049	0.8306	6.5366	1.8774	0.1951	-1.6341
42	2.4676	0.2077	-1.5717	0.8216	0.9032	12.1578	2.4980	0.1784	-1.7239
43	2.2542	0.1689	-1.7787	0.8006	0.8128	26.6172	3.2816	0.1994	-1.6126
44	2.6190	0.2363	-1.4429	0.8350	0.9628	5.7274	1.7453	0.1650	-1.8016
45	2.3889	0.1932	-1.6441	0.8142	0.8708	12.5579	2.5303	0.1858	-1.6833
46	2.6055	0.2337	-1.4538	0.8338	0.9576	23.0282	3.1367	0.1662	-1.7947
47	1.8942	0.1077	-2.2288	0.7568	0.6388	15.8378	2.7624	0.2432	-1.4140
48	2.0817	0.1388	-1.9749	0.7813	0.7332	28.8225	3.3612	0.2187	-1.5198
49	2.2271	0.1641	-1.8076	0.7978	0.8007	40.4105	3.6991	0.2022	-1.5983
50	2.6781	0.2476	-1.3959	0.8399	0.9851	11.2019	2.4161	0.1601	-1.8319
51	2.1090	0.1435	-1.9417	0.7845	0.7462	28.4489	3.3481	0.2155	-1.5348
52	2.3065	0.1782	-1.7248	0.8061	0.8357	39.0206	3.6641	0.1939	-1.6402
53	5.5694	0.8933	-0.1128	0.9860	1.7173	2.6933	0.9908	0.0140	-4.2687
54	4.5744	0.6554	-0.4225	0.9486	1.5205	6.5582	1.8807	0.0514	-2.9673
55	3.3368	0.3806	-0.9660	0.8863	1.2050	13.4862	2.6017	0.1137	-2.1738
56	3.5646	0.4290	-0.8462	0.8996	1.2711	16.8321	2.8233	0.1004	-2.2989
57	3.3104	0.3751	-0.9806	0.8846	1.1971	22.6556	3.1204	0.1154	-2.1597
58	3.6252	0.4421	-0.8162	0.9030	1.2879	24.8265	3.2119	0.0970	-2.3331
59	3.3517	0.3837	-0.9578	0.8872	1.2095	35.8030	3.5780	0.1128	-2.1818
60	3.2762	0.3679	-0.9999	0.8825	1.1867	54.9412	4.0063	0.1175	-2.1414
61	3.3767	0.3890	-0.9442	0.8887	1.2169	124.3822	4.8234	0.1113	-2.1953
62	3.3713	0.3879	-0.9471	0.8884	1.2153	17.7971	2.8790	0.1116	-2.1924
63	2.9715	0.3054	-1.1860	0.8622	1.0891	30.2880	3.4108	0.1378	-1.9820
64	3.0903	0.3295	-1.1101	0.8704	1.1283	38.8311	3.6592	0.1296	-2.0436
65	3.0958	0.3307	-1.1067	0.8708	1.1301	19.3809	2.9643	0.1292	-2.0465
66	2.9390	0.2989	-1.2076	0.8599	1.10781	30.6229	3.4217	0.1401	-1.9653
67	2.7787	0.2672	-1.3199	0.8479	1.0220	43.1849	3.7655	0.1521	-1.8832
68	3.2979	0.3724	-0.9877	0.8839	1.1933	9.0968	2.2079	0.1161	-2.1529
69	3.2026	0.3526	-1.0424	0.8778	1.1640	18.7349	2.9304	0.1222	-2.1024
70	3.2534	0.3632	-1.0129	0.8811	1.1797	27.6637	3.3201	0.1189	-2.1292
71	3.0725	0.3259	-1.1212	0.8692	1.1225	9.7641	2.2787	0.1308	-2.0343
72	2.9340	0.2979	-1.2110	0.8595	1.0764	20.4502	3.0180	0.1405	-1.9627
73	2.9101	0.2931	-1.2271	0.8578	1.0682	30.9267	3.4316	0.1422	-1.9505
74	3.2026	0.3526	-1.0424	0.8778	1.1640	74.9395	4.3167	0.1222	-2.1024
75	2.9621	0.3036	-1.1922	0.8615	1.0859	81.0232	4.3947	0.1385	-1.9772
76	4.0104	0.5268	-0.6410	0.9230	1.3889	7.4806	2.0123	0.0770	-2.5640
77	2.9939	0.3100	-1.1713	0.8638	1.0966	20.0408	2.9978	0.1362	-1.9936
78	3.0478	0.3209	-1.1367	0.8675	1.1144	29.5295	3.3854	0.1325	-2.0215
79	3.8424	0.4895	-0.7143	0.9146	1.3461	7.8076	2.0551	0.0854	-2.4602
80	3.3582	0.3851	-0.9542	0.8876	1.2114	17.8665	2.8829	0.1124	-2.1854
81	3.4159	0.3973	-0.9231	0.8910	1.2284	27.2259	3.3042	0.1090	-2.2166
82	2.9496	0.3010	-1.2005	0.8607	1.0817	10.1708	2.3195	0.1393	-1.9708
83	3.0921	0.3299	-1.1090	0.8706	1.2189	19.4040	2.9655	0.1294	-2.0445
84	3.0854	0.3285	-1.1131	0.8701	1.1267	29.1698	3.3731	0.1299	-2.0410
85	3.0119	0.3136	-1.1597	0.8651	1.1026	9.9605	2.2986	0.1349	-2.0029
86	3.0885	0.3292	-1.1112	0.8703	1.1277	19.4272	2.9667	0.1297	-2.0426
87	3.3176	0.3766	-0.9766	0.8851	1.1992	27.1279	3.3006	0.1149	-2.1635

BIBLIOTECA VIRTUAL
MIGUEL DE CERVANTES

	P2/DP	L (P2/DP)
	0	0
1	0.0000	-11.7004
2	0.0001	-9.8597
3	0.0000	-10.9462
4	0.0000	-12.6815
5	0.0000	-10.0893
6	0.0001	-9.1872
7	0.0621	-2.7792
8	0.0034	-5.6936
9	0.0088	-4.7326
10	0.0136	-4.2963
11	0.0070	-4.9566
12	0.0048	-5.3465
13	0.0041	-5.5026
14	0.0113	-4.4800
15	0.0289	-3.5428
16	0.0165	-4.1040
17	1.4044	0.3396
18	0.9547	-0.0464
19	0.0177	-4.0331
20	0.0167	-4.0931
21	0.0115	-4.4688
22	0.0164	-4.1086
23	0.0187	-3.9785
24	0.0207	-3.8762
25	0.0013	-6.6306
26	0.0124	-4.3899
27	0.0270	-3.6103
28	0.0400	-3.2188
29	0.0359	-3.3268
30	0.0390	-3.2434
31	0.0244	-3.7144
32	0.0278	-3.5840
33	0.0363	-3.3148
34	0.0530	-2.9379
35	0.0257	-3.6626
36	0.0617	-2.7855
37	0.1657	-1.7975
38	0.1460	-1.9240
39	0.1328	-2.0188
40	0.0739	-2.6044
41	0.1467	-1.9192
42	0.1341	-2.0091
43	0.0747	-2.5947
44	0.1241	-2.0868
45	0.1397	-1.9684
46	0.1249	-2.0799
47	0.3629	-1.0136
48	0.3265	-1.1193
49	0.3018	-1.1978
50	0.4852	-0.7232
51	0.6530	-0.4261
52	0.5877	-0.5315
53	0.0105	-4.5539
54	0.0387	-3.2525
55	0.0855	-2.4590
56	0.0755	-2.5840

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

	P2/DP	L (P2/DP)
	0	0
57	0.0867	-2.4449
58	0.0729	-2.6182
59	0.0848	-2.4670
60	0.0883	-2.4266
61	0.0837	-2.4805
62	0.1666	-1.7920
63	0.2057	-1.5816
64	0.1934	-1.6431
65	0.3915	-0.9378
66	0.4246	-0.8567
67	0.4609	-0.7746
68	0.3519	-1.0443
69	0.0919	-2.3876
70	0.0894	-2.4144
71	0.0983	-2.3195
72	0.2097	-1.5623
73	0.2122	-1.5500
74	0.1823	-1.7019
75	0.1041	-2.2624
76	0.1149	-2.1636
77	0.4127	-0.8849
78	0.4014	-0.9128
79	0.2588	-1.3515
80	0.0845	-2.4705
81	0.0819	-2.5018
82	0.1048	-2.2560
83	0.1939	-1.6441
84	0.1932	-1.6405
85	0.2014	-1.6024
86	0.3930	-0.9340
87	0.3482	-1.0549

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

2.7 Ecuaciones obtenidas en el ajuste

Se reproducen, a continuación, cuadros con las ecuaciones obtenidas y la estimación parcial del modelo de prueba que las definen para, posteriormente, pasar al análisis de los resultados y en base a unas normas de selección, que se comentarán en el apartado siguiente, seleccionar una ecuación de cada uno de los grupos de ecuaciones ya mencionados.

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

ECUACIÓN EC-1

$$L\left(\frac{TI}{P3}\right)_T = \underset{3'3}{42} - \underset{0'5}{0''35}\, L(DP) - \underset{0'99}{0'46}\, L(TK) - \underset{2'8}{9'4}\, L(LEY) - \underset{5'6}{0'88}\, L(1 - XB)$$

$S = 0'70$

$R^2 = 0'39$

$F(4,82) = 13$

$Dw(87,5) = 1'4$

$\rho = 0'22$

$$\frac{TI}{P3} = e^{42} \cdot (DP)^{-0'035} \cdot (TK)^{0'46} \cdot (LEY)^{-9'4} \cdot (1-XB)^{-0'88}$$

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

ECUACIÓN EC-2

$$L\,(TI/P3) = \underset{T}{42} - \underset{3'4}{0'032}\,L\,(DP) - \underset{0'45}{10}\,L\,(LEY) - \underset{3'2}{0.82}\,L\,(1-XB) \qquad \underset{5'7}{}$$

$S = 0'70$

$R^2 = 0'38$

$F\,(4,83) = 17$

$Dw\,(87,4) = 1'5$

$\rho = 0'23$

$$\frac{TI}{P3} = e^{42} \cdot (DP)^{-0'032} \cdot (LEY)^{-10} \cdot (1-XB)^{-0'82}$$

ECUACIÓN EC-3

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

$$L\,(TI/P3) = 2'1 - 0'15\,L\,(DP) - 0'69\,(1-XB)$$
$$T \qquad 11 \quad 2'5 \qquad\qquad 4'7$$

$S = 0'74$

$R^2 = 0'31$

$F\,(2,84) = 19$

$Dw\,(87,3) = 1'3$

$\rho = 0'31$

$$\frac{TI}{P3} = e^{2'1} \bullet (DP)^{-0'15} \bullet (1-XB)^{-0'69}$$

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

ECUACIÓN EC-4

$$L\,(TI / P3) = 1'1 - 0'23\,L\,(DP) + 0'27\,L\,(TK)$$
$$T \quad 0'33 \quad 3'4 \quad 0'57$$

$S = 0'83$

$R^2 = 0'13$

$F\,(2,84) = 6'1$

$Dw\,(87,3) = 1'3$

$\rho = 0'29$

$$\frac{TI}{P3} = e^{1'1} \bullet (DP)^{-0'23} \bullet (TK)^{-0'27}$$

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

ECUACIÓN EC-5

$$L(TI) = 37 - 0'013\ L(DP) + 640\ \frac{1}{TK} - 6'8\ L(ELY) + 1'8\ L(1-XB) - 4'2\ L(P3)$$

T		2'9		0'19		1'6		2'0		1'6		1'9

$S = 0'68$

$R^2 = 0'24$

$F(5,81) = 5'1$

$DW(87,6) = 1'5$

$\rho = 0'21$

$$TI = e^{37} \cdot (DP)^{-0'013}\ e^{\frac{640}{TK}}\ (LEY)^{-6'8}\ (1-XB)^{1'8}\ (P3)^{-4'2}$$

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

ECUACIÓN EC-6

$$L(TI) = \underset{T}{12} - \underset{3'5}{0'078}\, L(DP) + \underset{1'3}{900}\,\frac{1}{TK} + \underset{2'3}{2'5}\, L(1 - XB) - \underset{2'4}{5'7}\, L(P3) - \underset{2'7}{}$$

$S = 0'69$

$R^2 = 0'20$

$F(4'82) = 5'2$

$DW(87,5) = 1'4$

$\rho = 0'24$

$$TI = e^{12} \cdot (DP)^{-0'078}\, e^{\frac{900}{TK}}\, (1-XB)^{2'5}\, (P3)^{-5'7}$$

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

ECUACIÓN EC-7

$$L(TI) = \underset{T}{12} - \underset{3'2}{0'10}\, L(DP) + \underset{1'7}{2'2}\,(1-XB) - \underset{2'0}{4'6}\, L(P3) \qquad \underset{2'2}{}$$

$S = 0'71$

$R^2 = 0'15$

$F(3,83) = 4'9$

$DW(87,4) = 1'4$

$\rho = 0'28$

$TI = e^{12} \cdot (DP)^{-0'10} \cdot (1-XB)^{2'2}\,(P3)^{4'6}$

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

ECUACIÓN EC-8

$$L(TI) = 3'9 - 0'12\, L(DP) + 760\,\frac{1}{TK} - 0'75\, L(P3)$$

T 8'7 2'0 1'9 2'3

$S = 0'71$

$R^2 = 0'15$

$F(3,83) = 4'8$

$DW(87,4) = 1'3$

$\rho = 0'28$

$$TI = e^{3'9} \cdot (DP)^{0'12}\, e^{\frac{760}{TK}} \cdot (P3)^{-0'75}$$

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

ECUACIÓN EC-9

$$L(TI) = 38 + 640\,\frac{1}{TK} - 7'1\,(LEY) + 1'8\,L(1-XB) - 4'3\,L(P3)$$

	T	3'5	1'6	2'4	1'6	2

$S = 0'68$

$R^2 = 0'24$

$F(4,82) = 6'5$

$DW(87,5) = 1'5$

$\rho = 0'21$

$$TI = e^{38}\, e^{\frac{640}{TK}}\, (LEY)^{-7'1}\, (1-XB)^{1'8}\, (P3)^{-4'3}$$

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

ECUACIÓN EC-10

$$L\left(\frac{TI}{P3}\right) = \underset{T}{45} - \underset{4'3}{0'45}\, L(TK) - \underset{0'98}{10}\, L(LEY) - \underset{3'7}{0'9}\, L(1-XB) - \underset{6'1}{}$$

$S = 0'70$

$R^2 = 0'39$

$F(3,83) = 18$

$DW(87,4) = 1'5$

$\rho = 0'22$

$$\frac{TI}{P3} = e^{45} \cdot (TK)^{-0'45} \cdot (LEY)^{-10} \cdot (1-XB)^{-0'91}$$

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

ECUACIÓN EG-1

$$L(XB) = \underset{T}{-2} - \underset{0'1}{0'22}\, L(DP) + \underset{2'1}{4'5}\, L(TK) - \underset{6'6}{8}\, L(LEY) + \underset{1'5}{6'8}\, L(TI) \quad \underset{3'9}{}$$

$S = 1'1$

$R^2 = 0'50$

$F(4'82) = 20$

$DW(87,5) = 0'96$

$\rho = 0'47$

$XB = e^{-2} \cdot (DP)^{-0'22} \cdot (TK)^{4'5} \cdot (LEY)^{-8} \cdot (TI)^{0'68}$

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

ECUACIÓN EG-2

$$L(XB) = \underset{T}{-31} \underset{7'1}{-0'30}\, L(DP) + \underset{3'2}{4'2}\, L(TK) + \underset{6'4}{0'74}\, L(TI) \qquad \underset{4'4}{}$$

$S = 1'1$

$R^2 = 0'48$

$F(3,83) = 26$

$DW(87,4) = 0'97$

$\rho = 0'47$

$XB = e^{-31} \cdot (DP)^{-0'31} \cdot (TK)^{4'2} \cdot (TI)^{0'74}$

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

ECUACIÓN EG-3

$$L\left(\frac{XB}{TI}\right)_T = -13 - 0'20\, L(DP) + 4'5\, L(TK) - 5'5\, L(LEY)$$
$$\qquad\qquad\quad 0'68 \qquad 1'8 \qquad\qquad 6'5 \qquad\qquad 1'0$$

$S = 1'1$

$R^2 = 0'39$

$F(3,83) = 18$

$DW(87,4) = 1'1$

$\rho = 0'41$

$$\frac{XB}{TI} = e^{-13} \cdot (DP)^{-0'20} \cdot (TK)^{4'5} \cdot (LEY)^{-5'5}$$

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

ECUACIÓN EG–4

$$L\,(XB/TI) = \underset{T}{-33} - \underset{7'7}{0'25}\,L\,(DP) + \underset{2'8}{4'3}\,L\,(TK) \qquad \underset{6'6}{}$$

$S = 1'0$

$R^2 = 0'38$

$F\,(2,84) = 26$

$DW\,(87,3) = 1'1$

$\rho = 0'42$

$$\frac{XB}{TI} = e^{-33} \bullet (DP)^{-0'25} \bullet (TK)^{4'3}$$

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

ECUACIÓN EG-5

$$L(XB) = 40 - 0'20\,L(DP) - 4200\,\frac{1}{TK} - 9'6\,L(LEY) + 0'65\,L(TI)$$

	T	2'0	2'0		8'1		1'9		4'1

$S = 1'0$

$R^2 = 0'57$

$F(4,82) = 28$

$DW(87,5) = 1'1$

$\rho = 0'42$

$$XB = e^{40} \cdot (DP)^{-0'20}\, e^{-\frac{4200}{TK}} \cdot (LEY)^{-9'6} \cdot (TI)^{0'65}$$

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

ECUACIÓN EG-7

$$L\left(\frac{XB}{TI}\right) = 28'0 - 0'17\, L(DP) - 4'100\,\frac{1}{TK} - 6'8\, L(LEY)$$

T	1'4	1'7	7'9	1'4

$S = 1'0$

$R^2 = 0'47$

$F(3,83) = 25$

$DW(87,4) = 1'33$

$\rho = 0'35$

$$\frac{XB}{TI} = e^{28} \cdot (DP)^{-0'17}\; e^{-\frac{4100}{TK}} \cdot (LEY)^{-6'8}$$

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

ECUACIÓN EG-8

$$L\,(XB/TI) = 0'32 - 0'24\,(DP) - 3900\,\frac{1}{TK}$$

$$T \qquad 0'5 \qquad 2'9 \qquad 7'9$$

$S = 1'1$

$R^2 = 0'46$

$F\,(2,84) = 36$

$DW\,(87,3) = 1'2$

$\rho = 0'37$

$$\frac{XB}{TI} = e^{0'32} \bullet (DP)^{-0'24}\; e^{-\frac{3900}{TK}}$$

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

ECUACIÓN ER-1 EA

$$L\,(P2/DP) = 2'4 - 4300\,\frac{1}{TK} + L(KO)$$
$$T \qquad\qquad 1'7 \quad 4'0$$

$S = 2'3$

$R^2 = 0'16$

$F\,(2,85) = 16'0$

$DW\,(87,2) = 0'49$

$\rho = 0'70$

$$\frac{P2}{DP} = e^{24}\, e^{-\frac{4300}{TK}}\, e^{residuo}$$

Residuo = serie L (KO)

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

ECUACIÓN ER-1K

$$L(KO) = 91 - 1'2\,L(DP) - 14000\,\frac{1}{TK} - 14\,L(LEY) - 0'021\,(TK)$$

T 5'4 15 8'7 3'4 8'9

$S = 0'88$

$R^2 = 0'86$

$F(4,82) = 130$

$DW(87,5) = 1'2$

$\rho = 0'34$

$$KO = e^{91} \cdot (DP)^{-1'2} \cdot (LEY)^{-14}\, e^{-\frac{14000}{TK}}\, e^{-0'021(TK)}$$

$$\frac{P2}{DE} = e^{91}\, e^{24} \cdot (DP)^{-1'2} \cdot (LEY)^{-1'4}\, e^{-0'021TK}\, e^{-\frac{14000-4300}{TK}}$$

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

ECUACIÓN ER-2K

$$L(KO) = 57 - 1'3\,L(DP) - 250\,\frac{1}{TK} - 14\,L(LEY)$$

T 2'5 11 0'42 2'5

$S = 1'2$

$R^2 = 0'73$

$F(I,J) = 73$

$DW(87,4) = 0'94$

$\rho = 0'47$

$$KO = e^{57} \cdot (DP)^{-1'3} \cdot (LEY)^{-14}\, e^{-\frac{250}{TK}}$$

$$\frac{P2}{DP} = e^{57}\, e_{24} \cdot (DP)^{-1'3} \cdot (LEY)^{-14}\, e^{-\frac{250-4300}{TK}}$$

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

ECUACIÓN ER-3K

$$L\,(KO) = 45 - 1'3\,L\,(DP) - 0'0012\,\frac{1}{TK} - 11\,L\,(LEY)$$

T 2 12 1'3 1'9

$S = 1'2$

$R^2 = 0'73$

$F\,(3,83) = 75$

$DW\,(87,4) = 0'8$

$\rho = 0'52$

$$KO = e^{45} \bullet (DP)^{-1'3} \bullet (LEY)^{-11}\, e^{-\frac{0'0012}{TK}}$$

$$\frac{P2}{DP} = e^{24}\, e^{45} \bullet (DP)^{-1'3} \bullet (LEY)^{-11}\, e^{-\frac{0'0012 - 4300}{TK}}$$

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

ECUACIÓN ER-4K

$$L(KO) = \underset{T}{52} - \underset{1'4}{1'3}\, L(DP) - \underset{11}{0'37}\, L(TK) - \underset{0'49}{12}\, L(LEY) - \underset{2'2}{}$$

$S = 1'2$

$R^2 = 0'73$

$F(3,83) = 73$

$DW(87,4) = 0'86$

$\rho = 0'5$

$$KO = e^{52} \cdot (DP)^{-1'3} \cdot (TK)^{-0'37} \cdot (LEY)^{-12}$$

$$\frac{P2}{DP} = e^{24}\, e^{52} \cdot (DP)^{-1'3} \cdot (TK)^{-0'37} \cdot (LEY)^{-12}\, e^{-\frac{4300}{T}}$$

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

ECUACIÓN ER-5K

$$L\,(KO) = 54 - 1'3\,L\,(DP) - 13\,L\,(LEY)$$

T 2'5 11 2'5

$S = 1'2$

$R^2 = 0'72$

$F\,(2,84) = 110$

$DW\,(87,3) = 0'9$

$\rho = 49$

$$KO = e^{54} \bullet (DP)^{-13} \bullet (LEY)^{13}$$

$$\frac{P2}{DP} = e^{24}\, e^{54} \bullet (DP)^{-1'3} \bullet (LEY)^{13}\, e - \frac{4300}{TK}$$

ECUACIÓN ER-6K

$$L(KO) = 7'0 - 1'5\,(DP) - 0'92\,L(TK)$$

T	1'4	14	1'3

$S = 1'3$

$R^2 = 0'71$

$F\,(2,84) = 100$

$DW\,(87,3) = 0'82$

$\rho = 0'52$

$KO = e^{7'0} \bullet (DP)^{-1'5} \bullet (TK)^{-0'92}$

$$\frac{P2}{DP} = e^{7'0}\, e^{24} \bullet (DP)^{-1'5} \bullet (DK)^{-0'92}\; e - \frac{4300}{TK}$$

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

ECUACIÓN ER-7K

$$L(KO) = 0'80 - 1'4\, L(DP)$$
$$T \qquad 5'4 \qquad 14$$

$S = 1'3$

$R^2 = 0'70$

$F(1,85) = 200$

$DW(87,2) = 0'89$

$\rho = 0'50$

$KO = e^{0'8} \cdot (DP)^{-1'4}$

$$\frac{P2}{DP} = e^{24}\, e^{0'8} \cdot (DP)^{-1'4}\, e^{-\frac{4300}{T}}$$

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

ECUACIÓN ER-8K

$$L\,(KO) = 170 - 44\,L\,(LEY)$$
$$T \qquad 6'0 \qquad 6'0$$

$S = 1'9$

$R^2 = 0'30$

$F\,(1,85) = 36$

$DW\,(87,2) = 0'78$

$\rho = 0'56$

$KO = e^{170} \bullet (LEY)^{-44}$

$$\frac{P2}{DP} = e^{24}\, e^{170} \bullet (LEY)^{-44}\, e^{-\frac{4300}{T}}$$

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

ECUACIÓN ER-9K

$$L(KO) = \underset{T}{5'1} - \underset{0'57}{0'76}\, L(TK)$$

$$S = 2'3$$

$$R^2 = 0.0038$$

$$F(1,85) = 0'32$$

$$DW(87,2) = 0'45$$

$$\rho = 0'71$$

$$KO = e^{5'1} \cdot (TK)^{-0'76}$$

$$\frac{P2}{DP} = e^{24}\, e^{5'1} \cdot (TK)^{-0'76}\, e^{-\frac{4300}{TK}}$$

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

ECUACIÓN ER-10K

$$L(KO) = 25 - 3'2\, L(DP) + 5300\,\frac{1}{TK} - 5'6\, L(LEY) - 0'0051\,(TK)$$

$$T \qquad 0'34 \qquad 8'7 \qquad\qquad 0'74 \qquad\qquad 0'31 \qquad\qquad 0'50$$

$S = 3'9$

$R^2 = 0'62$

$F(4,82) = 34$

$DW(87,5) = 0'71$

$\rho = 0'61$

$$KO = e^{25} \cdot (DP)^{-3'2} \cdot (LEY)^{-5'6}\, e^{-0'0051\,(TK)}$$

$$\frac{P2}{DP} = e^{25}\, e^{2'4} \cdot (DP)^{-3'2} \cdot (LEY)^{-5'6}\, e^{-0'0051(TK)}\, e^{\frac{5300-4300}{TK}}$$

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

ECUACIÓN ER-11K

$$L\,(KO) = 17 - 3'3\,L\,(DP) + 8700\,\frac{1}{TK} - 5'6\,(LEY)$$

T 0'24 8'8 4'5 0'31

$S = 3'9$

$R^2 = 0'62$

$F\,(3,83) = 45$

$DW\,(84,4) = 0'72$

$\rho = 0'62$

$$KO = e^{17} \cdot (DP)^{-3'3} \cdot (LEY)^{-5'6}\, e^{\frac{8700 - 4'300}{TK}}$$

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

ECUACIÓN ER-12K

$$L(KO) = \underset{T}{43} - \underset{0'61}{3'2}\, L(DP) - \underset{8'7}{0'012}\,(TK) - \underset{4'5}{6'8}\, L(LEY) - \underset{0'38}{}$$

$S = 3'9$

$R^2 = 0'062$

$F(3'83) = 45$

$DW(87,4) = 0'70$

$\rho = 0'63$

$$KO = e^{43} \cdot (DP)^{-3'2}\, e^{-0'012(TK)} \cdot (LEY)^{-6'8}$$

$$\frac{P2}{DP} = e^{43}\, e^{24} \cdot (DP)^{-3'2}\, e^{-0'012(TK)} \cdot (LEY)^{-6'8}\, e^{-\frac{4300}{TK}}$$

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

ECUACIÓN ER-13K

$$\underset{T}{L(KO)} = \underset{1'5}{99} - \underset{8'8}{3'2\,L(DP)} - \underset{4'6}{11\,L(TK)} - \underset{0'29}{5'2\,L(LEY)}$$

$S = 3'8$

$R^2 = 0'62$

$F(3,83) = 45$

$DW(87,4) = 0'71$

$\rho = 0'062$

$$KO = e^{99} \cdot (DP)^{-3'2} \cdot (TK)^{-11} \cdot (LEY)^{-5'2}$$

$$\frac{P2}{DP} = e^{2'4}\, e^{99} \cdot (DP)^{-3'2} \cdot (TK)^{-11} \cdot (LEY)^{-5'2}\, e^{-\frac{4300}{TK}}$$

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

ECUACIÓN ER-14K

$$L(KO) = \underset{T}{140} - \underset{1'9}{2'9}\, L(DP) - \underset{7'3}{33}\, L(LEY)$$

$$S = 4'3$$

$$R^2 = 0'52$$

$$F(2,84) = 46$$

$$DW(87,3) = 0'70$$

$$\rho = 0'63$$

$$KO = e^{140}\,(DP)^{-2'9} \bullet (LEY)^{-33}$$

$$\frac{P2}{DP} = e^{2'4}\, e^{140} \bullet (DP)^{-2'9} \bullet (LEY)^{-33}\, e^{-\frac{4300}{TK}}$$

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

ECUACIÓN ER-15K

$$L(KO) = \underset{T}{80} - \underset{5'4}{3'3}\, L(DP) - \underset{11}{11}\, L(TK)$$

$$S = 3'8$$

$$R^2 = 0'062$$

$$F(2,84) = 69$$

$$DW(87,3 = 0'71$$

$$\rho = 0'63$$

$$KO = e^{80} \cdot (DP)^{-3'3} \cdot (TK)^{-11}$$

$$\frac{P2}{DP} = e^{2'4}\, e^{80} \cdot (DP)^{-3'3} \cdot (TK)^{-11}\, e^{-\frac{4300}{TK}}$$

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

ECUACIÓN ER-16K

$$L\,(KO) = 6'1 - 3'3\,L\,(DP)$$
$$T \qquad 12 \qquad 9'3$$

$S = 4'3$

$R^2 = 0'51$

$F\,(1,85) = 87$

$DW\,(87,2) = 0'67$

$\rho = 0'66$

$$KO = e^{6'1} \bullet (DP)^{-3'3}$$

$$\frac{P2}{DP} = e^{2'4}\, e^{6'1} \bullet (DP)^{-3'3}\, e^{-\frac{4300}{TK}}$$

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

ECUACIÓN ER-17K

$$L\,(KO) = 410 - 100\,L\,(LEY)$$
$$T \qquad 5'0 \qquad 5'0$$

$S = 5'4$

$R^2 = 0'023$

$F\,(1,85) = 25$

$DW\,(87,2) = 0'86$

$\rho = 0'56$

$$KO = e^{140} \cdot (LEY)^{-100}$$

$$\frac{P2}{DP} = e^{2'4}\, e^{410} \cdot (LEY)^{-100}\, e^{-\frac{4300}{TK}}$$

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

ECUACIÓN ER-18K

$$L\,(KO) = 76 - 11\,L\,(TK)$$
$$T \qquad 3'4 \quad 3'2$$

$S = 5'8$

$R^2 = 0'11$

$F\,(1,85) = 10$

$DW\,(87,2) = 0'58$

$\rho = 0'69$

$KO = e^{76} \bullet (TK)^{-11}$

$$\frac{P2}{DP} = e^{2'4}\, e^{76} \bullet (TK)^{-11}\, e^{-\frac{4300}{TK}}$$

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

ECUACIÓN ER-19K

$$L\,(KO) = -9'4 - 0'85\,(DP) + 14000\,\frac{1}{TK} - 0'07\,(LEY) - 0'0026\,(TK)$$

T 0'27 5'3 1'6 0'15 0'20

$S = 4'6$

$R^2 = 0'45$

$F\,(3,83) = 23$

$DW\,(87,4) = 0'59$

$\rho = 0'68$

$$KO = e^{-98}\, e^{-0'85\,(DP)}\, e^{\frac{14000}{TK}}\, e^{-0'07\,(LEY)}\, e^{-0'0026TK}\, e^{\frac{14000-4300}{TK}}$$

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

ECUACIÓN ER-20K

$$L\,(KO) = 4'5 - 0'85\,(DP) + 13000\,\frac{1}{TK} - 0'08\,(LEY)$$

T 0'17 5'4 4'8 0'17

$S = 4'3$

$R^2 = 0'45$

$F\,(3,83) = 23$

$DW\,(87,4) = 0'59$

$\rho = 0'68$

$$KO = e^{-45}\, e^{-0'085\,(DP)}\, e^{\frac{1300}{TK}}\, e^{-0'08\,(LEY)}$$

$$\frac{P2}{DP} = e^{-45}\, e^{2'4}\, e^{-0'85\,(DP)}\, e^{-0'08\,(LEY)}\, e^{\frac{13000-4300}{TK}}$$

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

ECUACIÓN ER-21K

$$L(KO) = \underset{T}{34} - \underset{1'5}{0'76}\,(DP) - \underset{5'0}{0'016}\,(TK) - \underset{4'5}{0'26}\,(LEY)$$

$$\underset{0'55}{}$$

$S = 4'7$

$R^2 = 0'44$

$F(3,83) = 22$

$DW(87,4) = 0'61$

$\rho = 0'67$

$$KO = e^{34}\, e^{-0'76\,(DP)}\, e^{-0'016\,(TK)}\, e^{-0'26\,(LEY)}$$

$$\frac{P2}{DP} = e^{24}\, e^{34}\, e^{-0'76\,(DP)}\, e^{-0'016\,(TK)}\, e^{-0'26\,(LEY)}\, e^{-\frac{4300}{TK}}$$

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

ECUACIÓN ER-22K

L (KO) = 71 - 0'46 (DP) - 1'3 (LEY)
T 3'0 3'1 2'8

S = 5'2

R^2 = 0'30

F (2,84) = 0'73

DW (87,3) = 0'73

ρ = 0'62

$$KO = e^{71}\, e^{-0'46\,(DP)}\, e^{-1'3\,(LEY)}\, e^{-\frac{4300}{TK}}$$

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

ECUACIÓN ER-23K

$$L\,(KO) = \underset{T}{21} - \underset{7'7}{0'82\,(DP)} - \underset{7'0}{0'017\,(TK)} \qquad 5'4$$

$S = 4'7$

$R^2 = 0'44$

$F\,(2,84) = 32$

$DW\,(87,3) = 0'60$

$\rho = 0'68$

$$KO = e^{21}\, e^{-0'81\,(DP)}\, e^{-0'017\,(TK)}$$

$$\frac{P2}{DP} = e^{2'4}\, e^{21}\, e^{-0'82\,(DP)}\, e^{-0'017\,(TK)}\, e^{-\frac{4300}{TK}}$$

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

ECUACIÓN ER-24K

$$L\,(KO) = \underset{T}{6'8} - \underset{9'0}{0'68}\,(DP) \qquad \underset{5'2}{}$$

$S = 5'4$

$R^2 = 0'24$

$F\,(1,85) = 27$

$DW\,(87,2) = 0'59$

$\rho = 0'69$

$KO = e^{6'8}\, e^{-0'68\,(DP)}$

$$\frac{P2}{DP} = e^{2'4}\, e^{\,6'8}\, e^{-0'68\,(DP)}\, e^{-\frac{4300}{TK}}$$

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

ECUACIÓN ER-25K

$$L\,(KO) = \underset{T}{110} - \underset{5'2}{2'0\,(LEY)} \qquad 5'0$$

$S = 5'4$

$R^2 = 0'23$

$F\,(1,85) = 25$

$DW\,(87,2) = 0'86$

$\rho = 0'56$

$$KO = e^{110}\, e^{-2'0\,(LEY)}$$

$$\frac{P2}{DP} = e^{2'4}\, e^{110}\, e^{-20\,(LEY)}\, e^{-\frac{4300}{TK}}$$

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

ECUACIÓN ER-26K

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

ECUACIÓN ER-27K

$$L\,(KO) = 3'2 - 3'3\,L\,8DP) + 5500\,\frac{1}{TK} - 0'0051\,(TK)$$

T 0'19 11 0'77 0'51

$S = 3'9$

$R^2 = 0'62$

$F\,(3,83) = 45$

$DW\,(87,4) = 0'71$

$\rho = 0'62$

$$KO = e^{3'2} \bullet (DP)^{-3'3}\, e^{\frac{5500}{TK}}\, e^{-0'0051\,(TK)}$$

$$\frac{P2}{DP} = e^{2'4}\, e^{3'2} \bullet (DP)^{-3'3}\, e^{-0'0051\,(TK)}\, e^{\frac{5500-4300}{TK}}$$

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

ECUACIÓN ER-28K

$$L(KO) = 5'3 - 3'3\ L(DP) + 8900\ \frac{1}{TK}$$
$$T \qquad 2'3 \qquad 11 \qquad 5$$

$S = 3'8$

$R^2 = 0'62$

$F(2,84) = 68$

$DW(87,3) = 0'72$

$\rho = 0'62$

$$KO = e^{-5'3} \bullet (DP)^{-3'3}\ e^{\frac{8900}{TK}}$$

$$\frac{P2}{DP} = e^{2'4}\ e^{-5'3} \bullet (DP)^{-3'3}\ e^{\frac{8900-4300}{TK}}$$

ECUACIÓN ER-29K

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

$$
\begin{array}{lcccccc}
L\,(KO) & = & 16 & - & 3'3\,L\,(DP) & - & 0'013\,(TK) \\
\quad T & & 7'7 & & 11 & & 4'9
\end{array}
$$

$S = 3'8$

$R^2 = 0'62$

$F\,(2{,}84) = 68$

$DW\,(87{,}3) = 0'70$

$\rho = 0'63$

$$KO = e^{16} \bullet (DP)^{-3'3}\, e^{-0'013\,(TK)}$$

$$\frac{P2}{DP} = e^{2'4}\, e^{16} \bullet (DP)^{-3'3}\, e^{-0'013\,(TK)}\, e^{-\frac{4300}{TK}}$$

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

ECUACIÓN ER-30K

$$L(KO) = 73 - 3'3\,L(DP) - 10\,L(TK) + 730\,\frac{1}{TK}$$

T 0'55 11 0'59 0'052

$S = 3'8$

R^2 0'62

$F(3,83) = 45$

$DW(87,4) = 0'71$

$\rho = 0'62$

$$KO = e^{73} \cdot (DP)^{-3'3} \cdot (TK)^{-10}\, e^{\frac{730}{TK}}$$

$$\frac{P2}{DP} = e^{2'4}\, e^{73} \cdot (DP)^{-3'3} \cdot (TK)^{-10}\, e^{\frac{730-4300}{TK}}$$

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

ECUACIÓN ER-31K

$$L(KO) = -5'3 - 3'3\, L(DP) + 890\,\frac{1}{TK}$$

T 2'3 11 5

$S = 3'8$

$R^2 = 0'62$

$F(2,84) = 68$

$DW(87,3) = 0'72$

$\rho = 0'62$

$$KO = e^{-5'3} \bullet (DP)^{-3'3}\, e^{\frac{890}{TK}}$$

$$\frac{P2}{DP} = e^{2'4}\, e^{-5'3} \bullet (DP)^{-3'3}\, e^{\frac{890-4300}{TK}}$$

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

ECUACIÓN ER-32K

L (KO) =	16 -	3'3 L (DP) -	0'013 (TK)
T	7'7	11	4'9

S = 3'8

R^2 = 0'62

F (2,84) = 68

DW (87,3) = 0'70

ρ = 0'63

$$KO = e^{16} \bullet (DP)^{-3'3}\ e^{-0'013}$$

$$\frac{P2}{DP} = e^{2'4}\ e^{16} \bullet (DP)^{-3'3}\ e^{-0'013\ (TK)}\ e^{-\frac{4300}{TK}}$$

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

ECUACIÓN ER-33K

$$L\,(KO) = -13 - 0'87\,(DP) + 15000\,\frac{1}{TK} + 0'0027\,(TK)$$

T 0'65 7'3 1'7 0'22

$S = 4'6$

$R^2 = 0'45$

$F\,(3,83) = 23$

$DW\,(87,4) = 0'59$

$\rho = 0'68$

$$KO = e^{-13}\, e^{-0'87\,(DP)}\, e^{0'0027\,(TK)}\, e^{\frac{15000}{TK}}$$

$$\frac{P2}{DP} = e^{-13}\, e^{2'4}\, e^{-0'87\,(DP)}\, e^{0'0027\,(TK)}\, e^{\frac{15000-4300}{TK}}$$

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

ECUACIÓN ER-34K

$$L(KO) = \underset{T}{-8'9} - \underset{3'1}{0'86}\,(DP) + \underset{7'4}{13000}\,\frac{1}{TK}$$

$$\underset{5'7}{}$$

$S = 4'6$

$R^2 = 0'45$

$F(2,84) = 35$

$DW(87,3) = 0'59$

$\rho = 0'69$

$$KO = e^{-8'9}\, e^{-0'86\,(DP)}\, e^{\frac{13000}{TK}}$$

$$\frac{P2}{DP} = e^{-8'9}\, e^{2'4}\, e^{-0'86\,(DP)}\, e^{\frac{13000-4300}{TK}}$$

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

ECUACIÓN ER-35K

$$L\,(KO) = 21 - 0'82\,(DP) - 0'017\,(TK)$$

T 7'7 7'0 5'4

$S = 4'7$

$R^2 = 0'44$

$F\,(2,84) = 32$

$DW\,(87,3) = 0'60$

$\rho = 0'68$

$$KO = e^{21}\, e^{-0'82\,(DP)}\, e^{-0'017\,(TK)}$$

$$\frac{P2}{DP} = e^{2'4}\, e^{21}\, e^{-0'82\,(DP)}\, e^{-0'017\,(TK)}\, e^{-\frac{4300}{TK}}$$

ECUACIÓN ER-36K

$$L\,(KO) = -13 - 0'87\,(DP) + 15000\,\frac{1}{TK} + 0'0027\,(TK)$$

T 0'65 7'3 1'7 0'22

$S = 4'6$

$R^2 = 0'45$

$F\,(3,83) = 23$

$DW\,(87,4) = 0'59$

$\rho = 0'68$

$$KO = e^{-13}\, e^{-0'87\,(DP)}\, e^{0'0027\,(TK)}\, e^{\frac{1500}{TK}}$$

$$\frac{P2}{DP}\, e^{2'4}\, e^{-13}\, e^{-0'87\,(DP)}\, e^{0'0027\,(TK)}\, e^{\frac{15000-4300}{TK}}$$

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

ECUACIÓN ER-37K

$$L\,(KO) = 3'2 - 3'3\,L\,(DP) + 5'500\,\frac{1}{TK} + 0'0051\,(TK)$$

T 0'19 11 0'77 0'51

$S = 3'9$

$R^2 = 0'62$

$F\,(3,83) = 45$

$DW\,(87,4) = 0'71$

$\rho = 0'62$

$$KO = e^{3'2} \cdot (DP)^{-3'3}\ e^{0'0051\,(TK)}\ e^{\frac{5500}{TK}}$$

$$\frac{P2}{DP} = e^{2'4}\ e^{3'2} \cdot (DP)^{-3'3}\ e^{0'0051\,(TK)}\ e^{\frac{5500-4300}{TK}}$$

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

ECUACIÓN ER-2.A

$$L\left(\frac{P2}{DP}\right) = \underset{T}{330} - \underset{10}{36}\,L(TK) - \underset{9'5}{12}\,L(LEY) - \underset{3'1}{3400}\,\frac{1}{TK} - \underset{11}{1'2}\,L(DP)$$

$$S = 0'86$$

$$R^2 = 0'89$$

$$F(4,82) = 160$$

$$DW(87,5) = 1'2$$

$$\rho = 0'33$$

$$\frac{P2}{DP} = e^{330} \cdot (TK)^{-36} \cdot (LEY)^{-12}\, e^{-3400\,\frac{1}{TK}} \cdot (DP)^{-1'2}$$

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

ECUACIÓN ER-3.A

$$L\left(\frac{P2}{DP}\right) = 270 - 27\,L(TK) - 16\,L(LEY) - 2500\,\frac{1}{TK} - 1'1\,L(DP) - 1'2\,L(1-XB)$$

T 9'3 7'6 4'8 8'5 1'6 6'4

$S = 0'70$

$R^2 = 0'93$

$F(5,81) = 200$

$DW(87,6) = 1'0$

$\rho = 0'41$

$$\frac{P2}{DP} = e^{270} \cdot (TK)^{-27} \cdot (LEY)^{-16}\, e^{-2500\,\frac{1}{TK}} \cdot (DP)^{-1'1} \cdot (1-XB)^{-1'2}$$

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

ECUACIÓN ER-4.A

$$L\,(P2/DP) = 73 - 19\,L\,(LEY) - 2640\,\frac{1}{TK} - 1'1\,L\,(DP) - 1'8\,L\,(1-XB)$$

T 4'3 4'4 5'2 12 8'2

$S = 0'91$

$R^2 = 0'87$

$F\,(5,81) = 140$

$DW\,(87,5) = 0'80$

$\rho = 0'52$

$$\frac{P2}{DP} = e^{73} \cdot (LEY)^{-19}\, e^{-2640\,\frac{1}{TK}} \cdot (DP)^{-1'1} \cdot (1-XB)^{-1'8}$$

A la vista de los cuadros expuestos anteriormente, que se han sacado de los resúmenes que aparecen en los listados al final de cada serie de ecuaciones, y siguiendo las normas que se exponen en el apartado siguiente, se procederá a la selección de las ecuaciones que mejor definan el comportamiento del mineral en la tostación estática.

2.8. Normas para la selección de ecuaciones

2.8.1. Nomenclatura

n = número de elementos o períodos de tiempo utilizados.
k = número de coeficientes.
I = k-l.
J = n-k.

2.8.2. Nivel de significación de la ecuación

Sea F_T el valor de la función de la distribución F con I (numerador) y J (denominador) grados de libertad, F (I/J), para el nivel de significación deseado. Puede hallarse mediante las tablas "4a" (nivel de significaci6n del 5%) y "4b" (nivel de significación del 1%).

Sea F_e el valor F evaluado para la ecuación y que aparece en los listados.

Si se cumple

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

$F_T < F_e$

la ecuación es significativa.

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

2.8.3. Nivel de significación de los coeficientes

Sea t_T el valor de la función de distribución t con J = n-k grados de libertad para el nivel de significación deseado. Puede hallarse mediante la tabla 3.

Sea t_e el valor de la t evaluado para uno de los coeficientes de la ecuación y que aparece en los listados.

Si se cumple que:

$$|t_T| \quad |t_e|$$

se rechaza la hipótesis de que el coeficiente sea nulo, es decir, el coeficiente es significativo.

2.8.4. Autocorrelación de los residuos

Aplicaremos el test de Durbin y Watson. Dicho test no es aplicable cuando existan entre las variables explicativas -la explicada retardada. Contrasta la autocorrelación de primer orden.

En las tablas (tabla 5) se encuentran, para n y k los valores de los límites d_L y d_u, para el nivel de significación deseado.

Sea D el valor que para dicho test se obtiene con los residuos. Este valor aparece en los listados.

Si $D<d_L$ Los residuos están autocorrelacionados positivamente.

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

Si $d_L<D<d_u$	El test es indeciso.
Si $D>d_u$	El test no indica que exista autocorrelación positiva.
Si $D>2$ y $(4-D)<d_L$	Los residuos están autocorrelacionados negativamente.
Si $D>2$ y $d_L<(4-D)<d_u$	El test es indeciso.
Si $D>2$ y $(4-D)>d_u$	El test no indica que exista autocorrelación negativa.

2. 8. 5. Otros estadísticos

$\hat{\rho}$ = Estimación del coeficiente de autorregresión. Debe ser lo menor posible en valor absoluto para que no exista autocorrelación. Obsérvese que $\rho = 0$ indica que no existe autocorrelación, $\rho > 0$ que existe y es positiva, y $\rho < 0$ que existe y es negativa.

S = Desviación típica muestral. Debe ser lo menor posible para que el ajuste sea bueno.

R2 = Coeficiente de determinación. Debe ser lo más próximo a la unidad.

Los coeficientes de correlación parcial y contribución incremental son nulos para el término independiente o el coeficiente de una variable cuyos valores sean todos iguales, aún cuando en los listados aparezcan en estos casos con valores dis tintos de cero.

El efecto de multicolinealidad es igual a R2 menos la suma de las contribuciones incrementales. Por ello, para obtener el valor verdadero, cuando exista término constante o variables

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

con todos los elementos iguales, debe sumarse, al valor que proporcionan los listados, el de la contribución incremental correspondiente a dicha variable.

2.8.6 Otras consideraciones

En ocasiones es útil comprobar que los resultados obtenidos con las ecuaciones seleccionadas, y las variaciones originadas por incrementos (positivos o negativos) en los valores de las variables explicativas, están de acuerdo con las directrices señaladas por la teoría económica o ciencia con la que el fenómeno esté relacionado. Este criterio nos debe ayudar a seleccionar la ecuación más adecuada y a veces nos aconsejará la conservación de algunas variables poco significativas.

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

Tabla 1

DISTRIBUCIÓN NORMAL TIPIFICADA

z	.00	.01	.02	.03	.04	.05	.06	.07	.08	.09

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

0.0	.5000	.4960	.4920	.4480	.4840	.4801	.4761	.4721	.4681	.4641
0.1	.4602	.4562	.4522	.4522	.4443	.4404	.4364	.4325	.4626	.4247
0.2	.4207	.4163	.4129	.4129	.4052	.4013	.3974	.3936	.3897	.3259
0.3	.3828	.3878	.3745	.3745	.3669	.3632	.3592	.3557	.3528	.3483
0.4	.3446	.3409	.3372	.3372	.3366	.3264	.3223	.3192	.3156	.3121
		.3050								
0.5	.3085	.2709	.3015	.2981	.2946	.2912	.2877	.2843	.2810	.2776
0-6	.2743	.2389	.2676	.2643	.2611	.2578	.2546	.2514	.2483	.2451
0.7	.2420	.2090	.2358	.2327	.2296	.2266	.2236	.2206	.2217	.2148
0.8	.2119	.1814	.2061	.2033	.2005	.1977	.1949	.1922	.1894	.1867
0.9	.1841	.1562	.1788	.1762	.1736	.1711	.1685	.1660	.1635	.1611
		.1335								
1.0	.1587	.1131	.1539	.1515	.1492	.1469	.1446	.1423	.1401	.1379
1.1	.1357	.0951	.1314	.1292	.1271	.1251	.1230	.1210	.1190	.1170
1.2	.1151	.0793	.1112	.1093	.1075	.1056	.1038	.1020	.1003	.0985
1.3	.0968	.0655	.0934	.0918	.0901	.0885	.0869	.0853	.0838	.0823
1.4	.0808	.0537	.0778	.0764	.0749	.0735	.0721	.0708	.0694	.0681
		.0436								
1.5	.0668	.0351	.0643	.0630	.0618	.0606	.0594	.0582	.0571	.0559
1.6	.0548	.0281	.0526	.0516	.0505	.0495	.0485	.0475	.0465	.0455
1.7	.0446	.0222	.0427	.0418	.0409	.0401	.0392	.0384	.0375	.0367
1.8	.0359	.0174	.0344	.0366	.0329	.0322	.0314	.0307	.0301	.0294
1.9	.0287	.0136	.0274	.0268	.0262	.0256	.0250	.0244	.0239	.0233
		.0104								
2.0	.0228	.0080	.0217	.0212	.0207	.0202	.0197	.0192	.0188	.0183
2.1	.0179	.0060	.0170	.0166	.0162	.0158	.0154	.0150	.0146	.0143
2.2	.0139	.0045	.0132	.0129	.0125	.0122	.0119	.0116	.0113	.0110
2.3	.0107	.0034	.0102	.0099	.0096	.0094	.0091	.0089	.0087	.0084
2.4	.0082	.0025	.0078	.0075	.0073	.0071	.0069	.0068	.0066	.0064
		.0018								
2.5	.0062	.0013	.0059	.0057	.0055	.0054	.0052	.0051	.0049	.0048
2.6	.0047		.0044	.0043	.0041	.0040	.0039	.0038	.0037	.0036
2.7	.0035		.0034	.0032	.0031	.0030	.0029	.0028	.0027	.0026
2.8	.0026		.0025	.0023	.0023	.0022	.0021	.0020	.0020	.0019
2.9	.0019		.0018	.0017	.0016	.0016	.0015	.0015	.0014	.0014
3.0	.0013		.0013	.0012	.0012	.0011	.0011	.0010	.0011	.0010

La tabla proporciona la probabilidad acumulada de que $Z \geq z$.

Fuente: Copiado de Edward J. Kane, "Economic Statistics and Econometrics: An Introduction to Quantitative Economics", New York; harper & Row, Publishers, 1968.

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

Tabla 2

PERCENTILES DE LA DISTRIBUCIÓN X^2

Por ciento df	0.5	1	2.5	5	10	90	95	97.5	99	99.5
1	0.000019	0.00016	0.00098	0.0039	0.0158	2.71	3.84	5.02	6.63	7.88
2	0.0100	0.0201	0.0506	0.1026	0.2107	4.61	5.99	7.38	9.21	10.60
3	0.0717	0.115	0.216	0.352	0.584	6.25	7.81	9.35	11.34	12.84
4	0.207	0.297	0.484	0.711	1.064	7.78	9.49	11.14	13.28	14.86
5	0.412	0.554	0.831	1.15	1.61	9.24	11.07	12.83	15.09	16.75
6	0.676	0.872	1.24	1.64	2.20	10.64	12.59	14.45	16.81	18.55
7	0.989	1.24	1.69	2.17	2.83	12.02	14.07	16.01	18.48	20.28
8	1.04	1.65	2.18	2.73	3.49	13.36	15.51	17.53	20.09	21.96
9	1.73	2.09	2.70	3.33	4.17	14.68	16.92	19.02	21.67	23.59
10	2.16	2.56	3.25	3.94	4.87	15.99	18.31	20.48	23.21	25.19
11	2.60	3.05	3.82	4.57	5.58	17.28	19.68	21.92	24.73	26.76
12	3.07	3.57	4.40	5.23	6.30	18.55	21.03	23.34	26.22	28.30
13	3.57	4.11	5.01	5.89	7.04	19.81	22.36	24.74	27.69	29.82
14	4.07	4.66	5.63	6.57	7.79	21.06	23.68	26.12	29.14	31.32
15	4.60	5.23	6.26	7.26	8.55	22.31	25.00	27.49	30.58	32.80
16	5.14	5.81	6.91	7.96	9.31	23.54	26.30	28.85	32.00	34.27
18	6.26	7.01	8.23	9.39	10.86	25.99	28.87	31.53	34.81	37.16
20	7.43	8.26	9.59	10.85	12.44	28.41	31.41	34.17	37.57	40.00
24	9.59	10.86	12.40	13.85	15.66	33.20	36.42	39.36	42.98	45.56
30	13.79	14.95	16.79	18.49	20.60	40.26	43.77	47.98	50.89	53.67
40	20.71	22.16	24.43	26.51	29.05	51.81	55.76	59.34	63.69	66.77
60	35.53	37.48	40.48	43.19	46.46	74.40	79.08	83.30	88.38	91.95
120	83.85	86.92	91.58	95.70	100.62	140.23	146.57	152.21	158.95	163.64

df = Grados de libertad.

Fuente: Copiado de W. J. Dixon & F. J. Masseiy, Jr., "Introduction to Statistical Analysis", Third edition, Mc. Graw-Hill, 1969.

BIBLIOTECA VIRTUAL

Tabla 3

PERCENTILES DE LA DISTRIBUCIÓN t

df	10.60	10.70	10.80	10.90	10.95	10.975	10.99	10.995
1	0.325	0.727	1.376	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657
2	0.289	0.617	1.061	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925
3	0.277	0.584	0.987	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841
4	0.271	0.569	0.941	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604
5	0.267	0.559	0.920	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032
6	0.265	0.553	0.906	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707
7	0.263	0.549	0.896	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499
8	0.262	0.546	0.889	1.397	1.860	2.506	2.896	3.355
9	0.261	0.543	0.883	1.383	1.833	2.262	2,821	3.250
10	0.260	0.542	0.879	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169
11	0.260	0.540	0.876	1.363	1.796	2.207	2.718	3.106
12	0.259	0.539	0.873	1.356	1.732	2.179	2.681	3.055
13	0.259	0.538	0.870	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012
14	0.258	0.537	0.868	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977
15	0.258	0.536	0.866	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947
16	0.258	0.535	0.865	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921
17	0.257	0.534	0.863	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898
18	0.257	0.534	0.862	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878
19	0.257	0.533	0.861	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861
20	0.257	0.533	0.860	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845
21	0.257	0.532	0.859	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831
22	0.256	0.532	0.858	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819
23	0.256	0.532	0.858	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807
24	0.256	0.531	0.857	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797
25	0.256	0.531	0.856	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787
26	0.256	0.531	0.856	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779
27	0.256	0.531	0.855	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771
28	0.256	0.530	0.855	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763
29	0.256	0.530	0.854	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756
30	0.256	0.530	0.854	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750
40	0.255	0.529	0.851	1.303	1.684	2.201	2.423	2.704
60	0.254	0.527	0.848	1.296	1.671	2.000	2.390	2.660
100	0.254	0.526	0.845	1.289	1.658	1.980	2.358	2.617
∞	0.253	0.524	0.842	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576

df = Grados de libertad.

Fuente: Copiado de la Tabla III de Fisher & Yates, "Statistical Tables for Biological, Agricultural and Medical Research", Oliver & Boyd, Ltd., Edinburgh.

Tabla 4.a

DISTRIBUCIÓN F
NIVEL DE SIGNIFICACIÓN 5%

Grados de libertad del numerador

Grados de libertad del denominador	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	∞
1	161	200	216	225	230	234	237	239	241	242	244	246	248	249	250	251	252	253	254
2	18.5	19.0	19.2	19.2	19.3	19.3	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5
3	10.1	9.55	9.28	9.12	9.01	9.01	8.89	8.85	8.81	8.79	8.74	8.70	8.66	8.64	8.62	8.59	8.57	8.55	8.53
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.26	6.09	6.04	6.00	5.96	5.91	5.86	5.80	5.77	5.75	5.72	5.69	5.66	5.63
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	5.05	4.88	4.82	4.77	4.74	4.68	4.62	4.56	4.53	4.50	4.46	4.43	4.40	4.37
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	5.15	4.10	4.06	4.00	3.94	3.87	3.84	3.81	3.77	3.74	3.70	3.67
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.57	3.51	3.44	3.41	3.38	3.34	3.30	3.27	3.23
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.28	3.22	3.15	3.12	3.08	3.04	3.01	2.97	2.93
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.07	3.01	2.94	2.90	2.86	2.83	2.79	2.75	2.71
10	4,96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.91	2.85	2.77	2.74	2.70	2.66	2.62	2.58	2.54
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.79	2.72	2.65	2.61	2.57	2.53	2.49	2.45	2.40
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.69	2.62	2.54	2.51	2.47	2.43	2.38	2.34	2.30
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.60	2.53	2.46	2.42	2.38	2.34	2.30	2.25	2.21
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.53	2.46	2.39	2.35	2.31	2.27	2.22	2.18	2.13
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.48	2.40	2.33	2.29	2.25	2.20	2.16	2.11	2.07
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.42	2.35	2.28	2.24	2.19	2.15	2.11	2.06	2.01
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.48	2.45	2.38	2.31	2.23	2.19	2.15	2.10	2.06	2.01	1.96
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.34	2.27	2.19	2.15	2.11	2.06	2.02	1.97	1.92
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.39	2.31	2.23	2.16	2.11	2.07	2.03	1.98	1.93	1.88
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.0	2.51	2.45	2.39	2.35	2.28	2.20	2.12	2.08	2.04	1.99	1.95	1.90	1.84
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	2.25	2.18	2.10	2.05	2.01	1.96	1.92	1.87	1.81
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30	2.28	2.15	2.07	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.78
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27	2.20	2.13	2.05	2.01	1.96	1.91	1.86	1.81	1.76
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25	2.18	2.11	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.79	1.73
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24	2.16	2.09	2.01	1.96	1.92	1.87	1.82	1.77	1.71
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.09	2.01	1.93	1.89	1.84	1.79	1.74	1.68	1.62
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	2.00	1.92	1.84	1.79	1.74	1.69	1.64	1.58	1.51
60	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04	1.99	1.92	1.84	1.75	1.70	1.65	1.59	1.53	1.47	1.39
12	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.18	2.09	2.02	1.96	1.91	1.83	1.75	1.66	1.61	1.55	1.50	1.43	1.35	1.25
0	3.84	3.00	2.60	2.37	2.21	2.10	2.01	1.94	1.88	1.83	1.75	1.67	1.57	1.52	1.46	1.39	1.32	1.22	1.00
∞																			

Fuente: Copiado de M. Merrington, C. M. Thompson, "Tables of percentage points of the inverted beta (F) distribution", Biometrika, vol. 33, p. 73, 1943.

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

Tabla 4.b

DISTRIBUCIÓN F
NIVEL DE SIGNIFICACIÓN 1%

Grados de libertad del denominador	Grados de libertad del numerador																		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	∞
1	4.052	5.000	5.403	5.625	5.746	5.859	5.928	5.982	6.023	6.056	6.106	6.157	6.209	6.235	6.216	6.287	6.313	6.339	6.366
2	98.5	99.0	99.2	99.2	99.3	99.3	99.4	99.4	99.4	99.4	99.4	99.4	99.4	99.5	99.5	99.5	99.5	99.5	99.5
3	34.1	30.8	29.5	28.7	28.2	27.9	27.7	27.5	27.3	27.2	27.1	26.9	27.7	26.6	26.5	26.4	26.3	26.2	26.1
4	21.2	18.0	16.7	16.0	15.5	15.2	15.0	14.8	14.7	14.5	14.4	14.2	14.0	13.9	13.8	13.7	13.7	13.6	13.5
5	16.3	13.3	12.1	11.4	11.0	10.7	10.5	10.3	10.2	10.1	9.89	9.72	9.55	9.47	9.38	9.29	9.20	9.11	9.02
6	13.7	10.9	9.78	9.15	8.75	8.47	8.26	8.10	7.98	7.87	7.72	7.56	7.40	7.31	7.23	7.14	7.06	6.97	6.88
7	12.2	9.55	8.45	7.85	7.46	7.19	6.99	6.84	6.72	6.62	6.47	6.31	6.16	6.07	5.99	5.91	5.82	5.74	5.65
8	11.3	8.65	7.59	7.01	6.63	6.37	6.18	6.03	5.91	5.81	5.67	5.52	5.36	5.28	5.29	5.12	5.03	4.95	4.86
9	10.6	8.02	6.99	6.42	6.06	5.80	5.61	5.47	5.35	5.26	5.11	4.96	4.81	4.73	4.65	4.57	4.48	4.40	4.31
10	10.0	7.56	6.55	5.99	5.64	5.39	5.20	5.06	4.94	4.85	4.71	4.56	4.41	4.33	4.25	4.17	4.08	4.00	3.91
11	9.65	7.21	6.22	5.67	5.32	5.07	4.89	4.74	4.63	4.54	4.40	4.25	4.10	4.02	3.94	3.86	3.78	3.69	3.60
12	9.33	6.93	5.95	5.41	5.06	4.82	4.64	4.50	4.39	4.30	4.16	4.01	3.86	3.78	3.70	3.62	3.54	3.45	3.36
13	9.07	6.70	5.74	5.21	4.97	4.62	4.44	4.30	4.19	4.10	3.96	3.82	3.66	3.59	3.51	3.43	3.34	3.25	3.17
14	8.86	6.51	5.56	5.04	4.70	4.46	4.28	4.14	4.03	3.94	3.80	3.66	3.51	4.43	3.35	3.27	3.18	3.09	3.00
15	8.68	6.36	5.42	4.89	4.56	4.32	4.14	4.00	3.89	3.80	3.67	3.52	3.37	3.29	3.21	3.13	3.05	2.96	2.87
16	8.53	6.32	5.29	4.77	4.44	4.20	4.03	3.89	3.78	3.69	3.55	3.41	3.26	3.18	3.10	3.02	2.93	2.84	2.75
17	8.40	6.11	5.19	4.67	4.34	4.10	3.93	3.79	3.68	3.59	3.46	3.31	3.16	3.08	3.00	2.92	2.83	2.75	2.65
18	8.29	6.01	5.09	4.58	4.25	4.01	3.84	3.71	3.60	3.51	3.37	3.23	3.08	3.00	2.92	2.84	2.75	2.66	2.57
19	8.19	5.93	5.01	4.50	4.17	3.94	3.77	3.63	3.52	3.43	3.30	3.15	3.00	2.92	2.84	2.76	2.67	2.58	2.49
20	8.10	5.85	4.94	4.43	4.10	3.87	3.70	3.56	3.46	3.37	3.23	3.09	2.94	2.86	2.78	2.68	2.61	2.52	2.42
21	8.02	5.78	4.87	4.37	4.04	3.81	3.64	3.51	3.40	3.31	3.17	3.03	2.88	2.80	2.72	2.64	2.55	2.46	2.36
22	7.95	5.72	4.82	4.31	3.99	3.76	3.59	3.45	3.35	3.26	3.12	2.98	2.83	2.75	2.67	2.58	2.50	2.40	2.31
23	7.88	5.66	4.76	4.26	3.94	3.71	3.54	3.41	3.30	3.21	3.07	2.93	2.78	2.70	2.62	2.54	2.45	2.35	2.26
24	7.82	5.61	4.72	4.22	3.90	3.67	3.50	3.36	3.26	3.17	3.03	2.89	2.74	2.66	2.58	2.49	2.40	2.31	2.21
25	7.77	5.57	4.68	4.18	3.86	3.63	3.46	3.32	3.22	3.13	2.99	2.85	2.70	2.62	2.53	2.45	2.36	2.27	2.17
30	7.56	5.39	4.51	4.02	3.70	3.47	3.30	3.17	3.07	2.98	2.84	2.70	2.55	2.47	2.30	2.39	2.21	2.11	2.01
40	7.31	5.18	4.31	3.83	3.51	3.29	3.12	2.99	2.89	2.80	2.66	2.52	2.37	2.29	2.20	2.11	2.02	1.92	1.80
60	7.08	4.98	4.13	3.65	3.34	3.12	2.95	2.82	2.72	2.63	2.50	2.35	2.20	2.12	2.03	1.94	1.84	1.73	1.60
12	6.85	4.79	3.95	3.48	3.17	2.96	2.79	2.66	2.56	2.47	2.34	2.19	2.03	1.94	1.86	1.76	1.66	1.53	1.38
0	6.63	4.61	3.78	3.32	3.02	2.80	2.64	2.51	2.41	2.32	2.18	2.04	1.88	1.79	1.70	1.59	1.47	1.32	1.00
∞																			

Fuente: Copiado de M. Merrington, C. M. Thompson, "Tables of percentage points of the inverted beta (F) distribution", Biometrika, vol. 33, p. 73, 1943.

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

Tabla 5.a

ESTADÍSTICO DE DURBIN Y WATSON

VALORES DE d_L Y d_u PARA UN NIVEL DE SIGNIFICACIÓN DEL 5%

n	*k* = 1		*k* = 2		*k* = 3		*k* = 4		*k* = 5	
	d_L	d_U	d_L	d_U	d_L	d_U	d_L	d_U	d_L	d_U
15	1.08	1.36	0.95	1.54	0.82	1.75	0.69	1.97	0.56	2.21
16	1.10	1.37	0.98	1.54	0.86	1.73	0.74	1.93	0.62	2.15
17	1.13	1.38	1.02	1.54	0.90	1.71	0.78	1.90	0.67	2.10
18	1.16	1.39	1.05	1.53	0.93	1.69	0.82	1.87	0.71	2.06
19	1.18	1.40	1.08	1.53	0.97	1.68	0.86	1.85	0.75	2.02
20	1.20	1.41	1.10	1.54	1.00	1.68	0.90	1.83	0.79	1.99
21	1.22	1.42	1.13	1.54	1.03	1.67	0.93	1.81	0.83	1.96
22	1.24	1.43	1.15	1.54	1.05	1.66	0.96	1.80	0.86	1.94
23	1.26	1.44	1.17	1.54	1.08	1.66	0.99	1.79	0.90	1.92
24	1.27	1.45	1.19	1.55	1.10	1.66	1.01	1.78	0.93	1.90
25	1.29	1.45	1.21	1.55	1.12	1.66	1.04	1.77	0.95	1.89
26	1.30	1.46	1.22	1.55	1.14	1.65	1.06	1.76	0.98	1.88
27	1.32	1.47	1.24	1.56	1.16	1.65	1.08	1.76	1.01	1.86
28	1.33	1.48	1.26	1.56	1.18	1.65	1.10	1.75	1.03	1.85
29	1.34	1.48	1.27	1.56	1.20	1.65	1.12	1.74	1.05	1.84
30	1.35	1.49	1.28	1.57	1.21	1.65	1.14	1.74	1.07	1.83
31	1.36	1.50	1.30	1.57	1.23	1.65	1.16	1.74	1.09	1.83
32	1.37	1.50	1.31	1.57	1.24	1.65	1.18	1.73	1.11	1.82
33	1.38	1.51	1.32	1.58	1.26	1.65	1.19	1.73	1.13	1.81
34	1.39	1.51	1.33	1.58	1.27	1.65	1.21	1.73	1.15	1.81
35	1.40	1.52	1.34	1.58	1.28	1.65	1.22	1.73	1.16	1.80
36	1.41	1.52	1.35	1.59	1.29	1.65	1.24	1.73	1.18	1.80
37	1.42	1.53	1.36	1.59	1.31	1.66	1.25	1.72	1.19	1.80
38	1.43	1.54	1.37	1.59	1.32	1.66	1.26	1.72	1.21	1.79
39	1.43	1.54	1.38	1.60	1.33	1.66	1.27	1.72	1.22	1.79
40	1.44	1.54	1.39	1.60	1.34	1.66	1.29	1.72	1.23	1.79
45	1.48	1.57	1.43	1.62	1.38	1.67	1.34	1.72	1.29	1.78
50	1.50	1.59	1.46	1.63	1.42	1.67	1.38	1.72	1.34	1.77
55	1.53	1.60	1.49	1.64	1.45	1.68	1.41	1.72	1.38	1.77
60	1.55	1.62	1.51	1.65	1.48	1.69	1.44	1.73	1.41	1.77
65	1.57	1.63	1.54	1.66	1.50	1.70	1.47	1.73	1.44	1.77
70	1.58	1.64	1.55	1.67	1.52	1.70	1.49	1.74	1.46	1.77
75	1.60	1.65	1.57	1.68	1.54	1.71	1.51	1.74	1.49	1.77
80	1.61	1.66	1.59	1.69	1.56	1.72	1.53	1.74	1.51	1.77
85	1.62	1.67	1.60	1.70	1.57	1.72	1.55	1.75	1.52	1.77
90	1.63	1.68	1.61	1.70	1.59	1.73	1.57	1.75	1.54	1.78
95	1.64	1.69	1.62	1.71	1.60	1.73	1.58	1.75	1.56	1.78
100	1.65	1.69	1.63	1.72	1.61	1.74	1.59	1.76	1.57	1.78

n = Número de observaciones.

k = Número de variables explicativas, incluido el término constante.

Fuente = J. Durbin & G. S. Watson, "Testing for Serial Correlation in Least Squares Regression", Biometrika, vol. 38 (1951), pp. 159-177.

Tabla 5.b

ESTADÍSTICO DE DURBIN Y WATSON

VALORES DE d_L Y d_U PARA UN NIVEL DE SIGNIFICACIÓN DEL 1%

n	$k = 1$		$k = 2$		$k = 3$		$k = 4$		$k = 5$	
	d_L	d_U	d_L	d_U	d_L	d_U	d_L	d_U	d_L	d_U
15	0.81	1.07	0.70	1.25	0.59	1.46	0.49	1.70	0.39	1.95
16	0.84	1.09	0.74	1.25	0.63	1.44	0.53	1.66	0.44	1.90
17	0.87	1.10	0.77	1.25	0.67	1.43	0.57	1.63	0.48	1.85
18	0.90	1.12	0.80	1.26	0.71	1.42	0.61	1.60	0.52	1.80
19	0.93	1.13	0.83	1.26	0.74	1.41	0.65	1.58	0.56	1.77
20	0.95	1.15	0.86	1.27	0.77	1.41	0.68	1.57	0.60	1.74
21	0.97	1.16	0.89	1.27	0.80	1.41	0.72	1.55	0.63	1.73
22	1.00	1.17	0.91	1.28	0.83	1.40	0.75	1.54	0.66	1.69
23	1.02	1.19	0.94	1.29	0.86	1.40	0.77	1.53	0.70	1.67
24	1.04	1.20	0.96	1.30	0.88	1.41	0.80	1.53	0.72	1.66
25	1.05	1.21	0.98	1.30	0.90	1.41	0.83	1.52	0.75	1.65
26	1.07	1.22	1.00	1.31	0.93	1.41	0.85	1.52	0.78	1.64
27	1.09	1.23	1.02	1.32	0.95	1.41	0.88	1.51	0.81	1.63
28	1.10	1.24	1.04	1.32	0.97	1.41	0.90	1.51	0.83	1.62
29	1.12	1.25	1.05	1.33	0.99	1.42	0.92	1.51	0.85	1.61
30	1.13	1.26	1.07	1.34	1.01	1.41	0.94	1.51	0.88	1.61
31	1.15	1.27	1.08	1.34	1.02	1.42	0.96	1.51	0.90	1.60
32	1.16	1.28	1.10	1.35	1.04	1.43	0.98	1.51	0.92	1.60
33	1.17	1.29	1.11	1.36	1.05	1.43	1.00	1.51	0.94	1.59
34	1.18	1.30	1.13	1.36	1.07	1.43	1.01	1.51	0.95	1.59
35	1.19	1.31	1.14	1.37	1.08	1.44	1.03	1.51	0.97	1.59
36	1.21	1.32	1.15	1.38	1.10	1.44	1.04	1.51	0.99	1.59
37	1.22	1.32	1.16	1.38	1.11	1.45	1.06	1.51	1.00	1.59
38	1.23	1.33	1.18	1.39	1.12	1.45	1.07	1.52	1.02	1.58
39	1.24	1.34	1.19	1.39	1.14	1.45	1.09	1.52	1.03	1.58
40	1.25	1.34	1.20	1.40	1.15	1.46	1.10	1.52	1.05	1.58
45	1.29	1.38	1.24	1.42	1.20	1.48	1.16	1.53	1.11	1.58
50	1.32	1.40	1.28	1.45	1.24	1.49	1.20	1.54	1.16	1.59
55	1.36	1.43	1.32	1.47	1.28	1.51	1.25	1.55	1.21	1.59
60	1.38	1.45	1.35	1.48	1.32	1.52	1.28	1.56	1.25	1.60
65	1.41	1.47	1.38	1.50	1.35	1.53	1.31	1.57	1.28	1.61
70	1.43	1.49	1.40	1.52	1.37	1.55	1.34	1.58	1.31	1.61
75	1.45	1.50	1.42	1.53	1.39	1.56	1.37	1.59	1.34	1.62
80	1.47	1.52	1.44	1.54	1.42	1.57	1.39	1.60	1.36	1.62
85	1.48	1.53	1.46	1.55	1.43	1.58	1.41	1.60	1.39	1.63
90	1.50	1.54	1.47	1.56	1.45	1.59	1.43	1.61	1.41	1.64
95	1.51	1.55	1.49	1.57	1.47	1.60	1.45	1.62	1.42	1.64
100	1.52	1.56	1.50	1.58	1.48	1.60	1.46	1.63	1.44	1.65

n = Número de observaciones.

k = Número de variables explicativas, incluido el término constante.

Fuente = J. Durbin &G. S. Watson, "Testing for Serial Correlation in Least Squares Regression", Biometrika, vol. 38 (1951), pp. 159-177.

2.9 Selección de ecuaciones

Con los criterios establecidos anteriormente, y a la vista de los gráficos de evolución de residuos, gráficos de dispersión y gráficos media-rango, se considera que las ecuaciones que mejor definen el comportamiento de las muestras ensayadas, son las denominadas EC-9 y ER-3. A.

La ecuaci6n EC-9 es la siguiente:

$$TI = e^{37'973}\, e^{642'04\frac{1}{TK}}\, (LEY)^{-709}\, (1-XB)^{1'7921}\, (P3)^{-4'2956}$$

teniendo en cuenta que

$$P3 = 1 - 3\,(1-XB)^{2/3} + 2\,(1-XB)$$

resulta que:

$$TI = e^{37'973}\, e^{642'04\frac{1}{TK}}\, (LEY)^{-709}(1-XB)^{1'7921}\left[1-3(1-XB)^{2/3}+2(1-XB)\right]^{-4'2956}$$

$$TI = 3.1x10^{16}\, e^{\frac{642'04}{TK}}\, (LEY)^{-709}(1-XB)^{1'7921}\left[1-3(1-XB)^{2/3}+2(1-XB)\right]^{-4'2956}$$

(2.111)

$$TI = 3.1 \times 10^{16}\, \frac{e^{\frac{642'04}{TK}}}{(LEY)^{7'09}} \bullet \frac{(1-XB)^{1'7921}}{\left[1-3(1-XB)^{2/3}+2(XB)\right]^{4'2956}}$$

En el gráfico de evolución de los residuos se observa, que los siete primeros ensayos tienen un residuo elevado, siendo en algunos casos superior al 100%. Si se tiene en cuenta que estos ensayos se han realizado a 300 ºC, cabe pensar que a esta temperatura no ha comenzado la reacción, y por tanto que la ecuación no sirve para temperaturas inferiores a los 300 ºC.

Son también ensayos con residuos elevados el 61, 74, y 75. El ensayo número 61 se realizó permaneciendo la muestra 240 minutos, quizá un tiempo de permanencia elevado, y los ensayos 74 y 75 se realizaron, el 74 a 500 ºC y permaneciendo la muestra en el horno 240 minutos, mientras que el ensayo número 75 se realiza a 1000 ºC. Se observa por tanto que la ecuación tampoco explica el comportamiento de las muestras cuando el tiempo de permanencia es de 240 minutos (4 horas), no afectando la temperatura al resultar que el ensayo 76 se realiza a 1000 ºC, resultando para este ensayo un residuo igual a -0'2671 que representa un 7'85% considerándose aceptable el ensayo y representado por la ecuación.

Como quiera que con tiempos de permanencia iguales a 3 horas el ajuste es medianamente correcto (veanse residuos del ensayo 60), se establecen las condiciones límites de la ecuación, en temperaturas iguales o inferiores a 300 ºC y tiempos de permanencia superiores a 3 horas.

En el apartado posterior se verá que las limitaciones impuestas a la ecuación EC-9, son limitaciones válidas y por tanto se puede considerar válida la citada ecuación con las restricciones impuestas.

Como conclusiones importantes podemos deducir que en la tostación estática, la etapa controlante de la reacción es

la difusión a través de la capa de cenizas y que el tiempo de permanencia, para llegar a determinado grado de reacción es independiente del diámetro de partícula; pero entendiéndose que esta afirmación se puede hacer para los tamaños de partícula utilizados. Se sospecha que la tostación de partículas de decenas de milímetros de diámetro, este factor tendrá cierta influencia.

Se han hecho estas consideraciones porque la ecuación ER-3A se opta por desestimarla, ya que a pesar de tener estadísticas que funcionan mejor que en la EC-9, como por ejemplo R^2 y S son aproximadamente iguales, al observar el gráfico de evolución de los residuos se quedan agrupados constituyendo conjunto a un lado y otro.

Escribiendo la ecuación se ve la causa de que los estadísticos induzcan a pensar que se trata de una ecuación bastante ajustada. La ecuación es:

$$\frac{1-(1-XB)^{1/8}}{D_p} = e^{270}\,(TK)^{-27}\,(LEY)^{-16}\,e^{-\frac{2500}{TK}}\,D_p^{-1'1}\,(1-XB)^{-1'2}$$

Observándose que existen términos en el primer miembro similares a los del segundo, y que el término independiente e^{270} es muy grande.

3.TERMOANÁLISIS DE UNA MUESTRA DE CINABRIO

Los métodos termoanalíticos involucran técnicas tales como el análisis térmico diferencial (DTA) y el análisis termogravimétrico (TAG). Los datos se obtienen como curvas continuamente

registradas, que pueden considerarse como espectros térmicos. Estos termogramas caracterizan un sistema simple o multicomponente, en términos de las dependencias de la temperatura de sus propiedades termodinámicas y reacciones fisicoquímicas cinéticas.

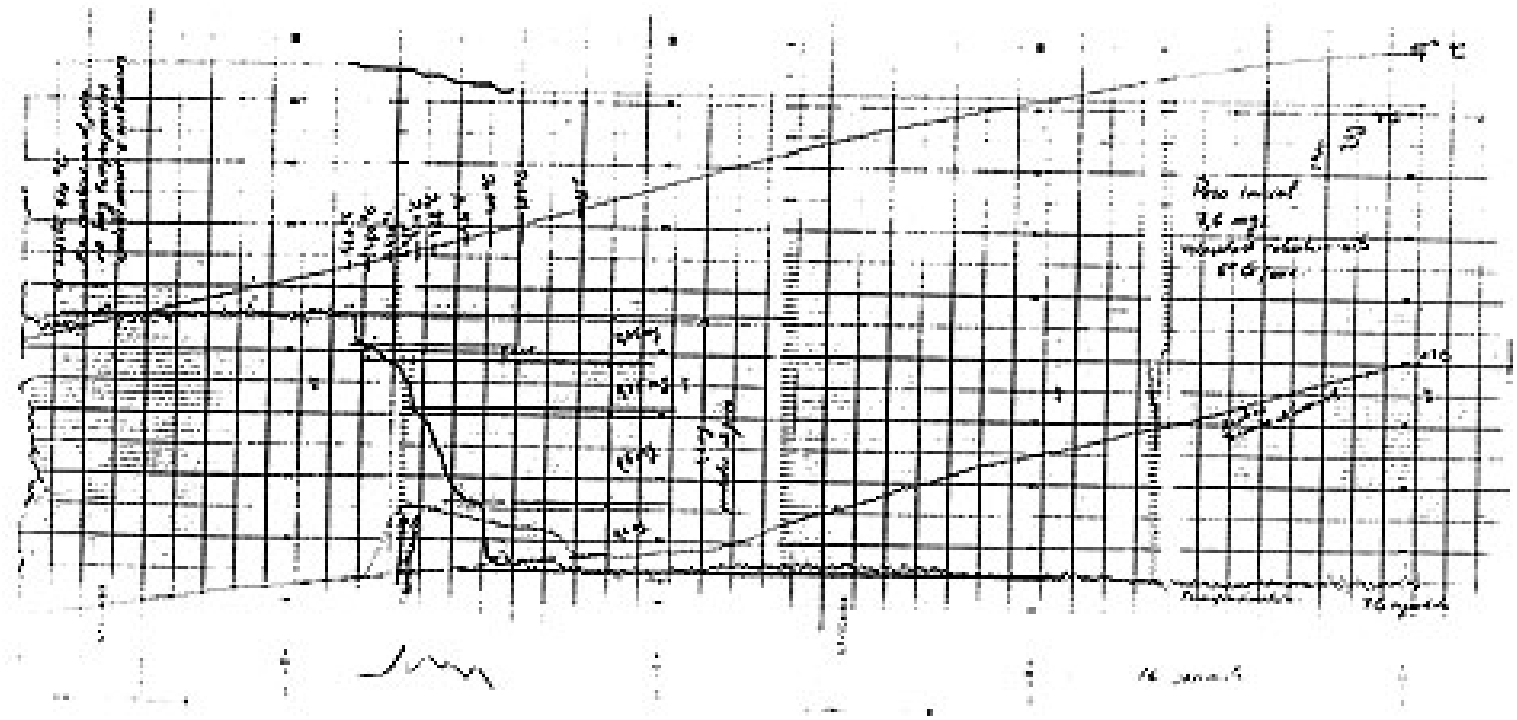
Los análisis termogravimétricos comprenden cambios en peso de un sistema bajo investigación, conforme la temperatura se incrementa a una velocidad predeterminada.

El análisis térmico diferencial consiste en la medición de los cambios en el contenido de calor, como una función de la diferencia en la temperatura entre la muestra bajo investigación y un compuesto de referencia térmicamente inerte, a medida que los dos materiales se calientan a elevadas temperaturas a velocidades predeterminadas. De esta manera, los cambios entálpicos, o cambios químicos, se detectan a partir de las bandas y picos endo y exotérmicos que aparecen en los termogramas.

Para aprovechar la información proporcionada por estas técnicas se recurrió a realizar un termoanálisis utilizando la termobalanza de la Cátedra de Química Analítica de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Madrid.

El análisis se realiza empleando una muestra de cinabrio de 0'05 mm. de diámetro y una ley del 43'475% en Hg. determinada por el método de Eska (56).

La velocidad de calentamiento fue de 5 ºC/min. y el peso inicial de la muestra fue de 7'6 mg.



Fotocopia del Registro Gráfico de los Análisis Térmico Diferencial y Termogravimétrico de una Muestra de Cinabrio.

BIBLIOTECA VIRTUAL
MIGUEL DE CERVANTES

Los resultados se recogen en la fotocopia adjunta del gráfico obtenido en el análisis.

De la observación del resultado del análisis térmicodiferencial se deduce que la reacción de tostación del cinabrio en corriente de oxígeno puro es una reacción que presenta un pico ENDOTÉRMICO, que comienza a 355 ºC y termina a una temperatura de 460 ºC.

Queda demostrado, pues, que a los 300 ºC no ha comenzado la reacción de tostación, como preveíamos en el capítulo anterior.

El análisis termogravimétrico nos indica que la pérdida de peso total es de 4'1 mg., es decir el 53'94%.

BIBLIOTECA VIRTUAL

Durante el análisis se llegó hasta 900 ºC sin que apareciese ningún otro proceso endotérmico o exotérmico.

En la curva termogravimétrica se observa que en el momento en que comienza la reacción, y hasta que termina en vez de resultar una recta, resulta una línea quebrada. Entendemos que esto se debe a que la etapa controlante del proceso de tostación es la difusión de los productos hacia el exterior, por lo que hasta que estos no abandonen la partícula que está reaccionando dificultan que progrese continuamente la reacción.

De las curvas que dá el análisis se pueden deducir los siguientes resultados:

TEMPERATURA	PÉRDIDA DE PESO (en mg.)
400	1'1
435	2'6
440	3'35
450	3'6
460	4'1

Estos datos se pueden transformar de la siguiente manera:

TEMPERATURA	PÉRDIDA DE PESO (en %)
673	14'47
708	34'21
713	44'08
723	47'37
733	53'95

Se supone que la relación entre la temperatura en ºK y la pérdida de peso (expresada en %), y a la que representamos por PP, es una ecuación del tipo

(3.1)

$$PP = A \bullet e^{-\frac{B}{T}}$$

Tomando logaritmos neperianos resulta:

(3.2)

$$\text{Ln PP} = \text{Ln A} - \text{B}\,\frac{1}{T}$$

Realizando las siguientes identificaciones:

Ln PP	y
$\frac{1}{T}$	x
Ln A	b

la ecuación de la recta queda de la forma:

(3.3)

$$y = b - B \bullet x$$

Utilizando el programa de regresión lineal de una calculadora TEXAS INSTRUMENTS SR-51A, en la que introducimos los datos del último cuadro, tenemos:

Pendiente de la recta = -11201

Ordenada en el origen = 19136

Varianza de x ^{2}x = 1'7x10^{-9}

Varianza de y ^{2}y = 0'22

Coeficiente de correlación = 0'987

La ecuación resultante por tanto es:

$$PP = e^{19'36} \bullet e^{-\frac{11201}{T}}$$

o lo que es lo mismo:

(3.4)

$$PP = 2'6 \times 10^{8} \bullet e^{-\frac{11201}{T}}$$

Teniendo en cuenta que la velocidad de calentamiento ha sido de 5 ºC/min. se pueden deducir los datos que se reproducen en la tabla que figura a continuación:

TIEMPO (en min.)	PÉRDIDA DE PESO (en %)	TEMPERATURA (en ºk)
80	14'47	673
87	34'21	708
88	44'08	713
90	47'37	723
92	53'95	733

Denominando TI a la variable tiempo y dividiendo la pérdida de peso (en %) por el tiempo de calentamiento (en minutos), resulta el siguiente cuadro:

$\frac{PP}{TI}$	T (ºK)
0'181	673
0'393	708
0'509	713
0'526	723
0'586	733

Suponiendo que la relación entre la variable PP/TI y T es del tipo:

(3.5)

$$\frac{PP}{TI} = A \bullet e^{-\frac{B}{T}}$$

tomando logaritmos neperianos

(3.6)

$$Ln \frac{PP}{TI} = Ln\, A - B \frac{1}{T}$$

y denominando

$$\text{Ln}\ \frac{PP}{TI} = y$$

$$\frac{1}{T} = x$$

$$\text{Ln}\ A = b$$

la ecuación de la recta (3.6) queda de la forma:

$$y = b - B \bullet x \qquad (3.7)$$

Utilizando la misma calculadora que citábamos anteriormente, llegamos a los siguientes resultados:

Pendiente de la recta	= -10055
Ordenada en el origen	= 13'27
Varianza de x^2_x	= $1'7x10^{-9}$
Varianza de y^2_y	= 0'18
Coeficiente de correlación	= 0'9813

Se puede escribir la siguiente ecuación:

(3.8)

$$\text{Ln}\ \frac{PP}{TI} = 13'27 - 10055\ \frac{1}{T}$$

$$\frac{PP}{TI} = e^{13'27}\ e^{-\frac{10055}{T}}$$

Las ecuaciones (3.4) y (3.8) son válidas en las condiciones de calentamiento que se citaban al principio del capítulo, 5 ºC/min.

ESTUDIO FLUIDODINÁMICO DEL CINABRIO

Los minerales de mercurio de baja ley exigen, para poder lograr una explotación económica de los mismos, ser sometidos a un proceso adecuado de concentración, lo que implica una molienda previa de la mena extraída de mina hasta tamaños en los cuales el mineral se libere de la ganga que lo acompaña.

Este es el caso más general de la mayoría de los minerales extraídos en la actualidad y más concretamente en Almadén, donde existen además, escombreras procedentes de las tostaciones realizadas con procedimientos arcaicos que llegan a tener un 3% de Hg.

La tostación de minerales pulverulentos puede hacerse con ventajas usando reactores de lecho fluidizado, en los que el mineral a tostar se fluidiza por medio de una corriente de gases oxidantes, que en las experiencias que se desarrollan será aire caliente. Por este motivo y teniendo en cuenta

que se ha demostrado que en el horno de soleras múltiples la mayor parte de la tostación se efectúa durante la caída de la carga de un hogar al inmediato inferior, se decidió estudiar el comportamiento del cinabrio en un lecho fluidizado operando con aire a temperatura ambiente, a fin de determinar las propiedades principales de estos lechos. Posteriormente, se estudiaron los lechos en cuestión calentados por medio de aire, ya que el conocimiento de tales coeficientes es necesario para el diseño de los reactores de reducción. Por otra parte, usando las clásicas analogías, la información sobre transferencia de calor permite predecir el comportamiento del fenómeno de transferencia de materia.

4.1 Descripción del Equipo

El equipo utilizado fue construido por nosotros en acero. El lecho propiamente dicho consiste en un cilindro de acero de una pulgada de diámetro interior y un metro de altura, provisto de un distribuidor de gases sobre el que se coloca el mineral a fluidizar sobre la columna de fluidización, hay una cámara de decantación de finos, formada por un cuerpo cilíndrico de mayor diámetro que aquella. Como distribuidor de gases se utilizan las mallas metálicas entre las que se coloca viruta de acero constituyendo un pequeño lecho de partículas relativamente gruesas y forma irregular. El aire necesario para lograr la fluidización del lecho es impulsado por un compresor y su caudal medido con una placa orificio. El equipo consta, además, de manómetros para medir diferencias de presión en diversos puntos. En la figura 23 se representa un esquema del reactor utilizado.

Para la realización de los ensayos en caliente se disponía de un calentador eléctrico y termopares y milivoltímetros

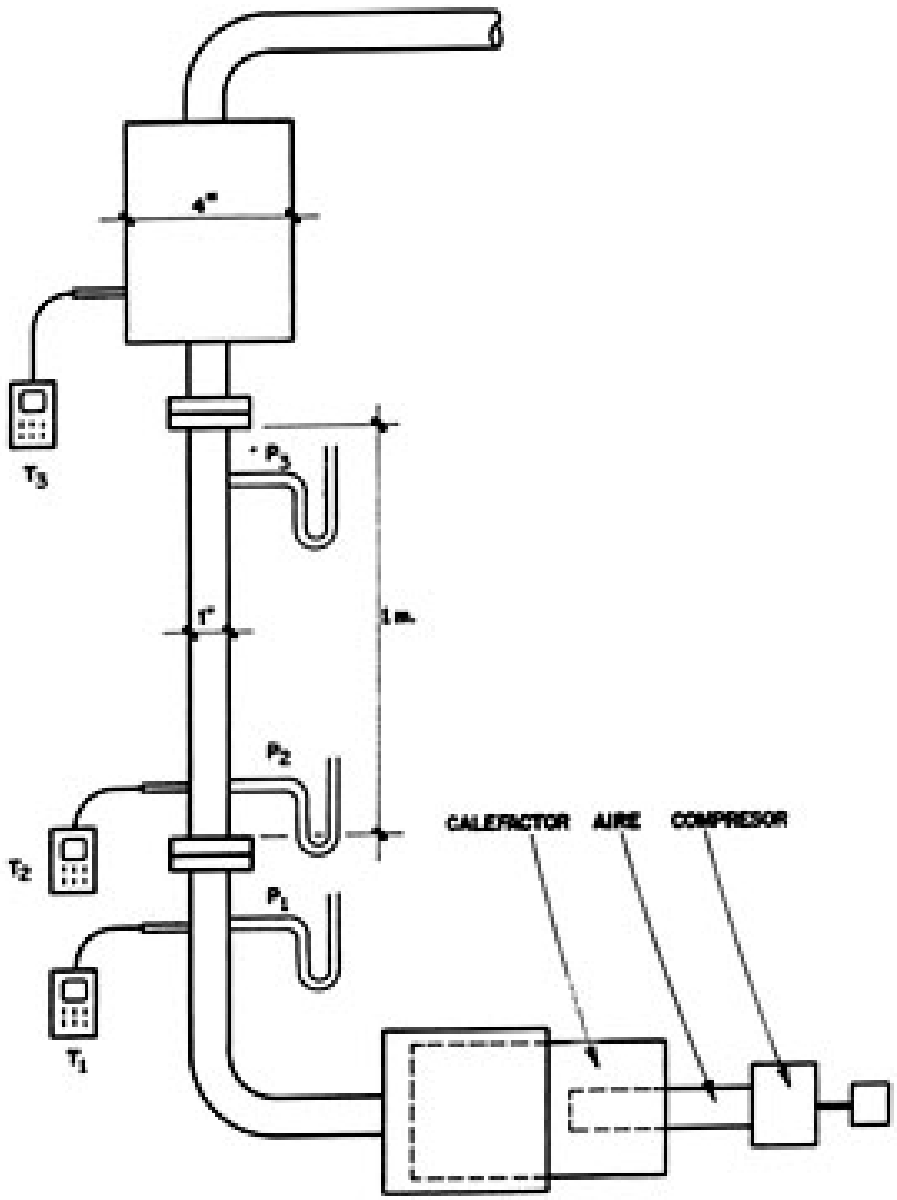


FIGURA 23. ESQUEMA DEL REACTOR DE LECHO FLUIDIZADO

para la medida de temperaturas.

El calentador es de la marca LEISTER, tipo 10000. Se conecta a 380 V y está dotado de resistencias de 10.000 w, con posibilidades de regulación de temperaturas de 300 a 600 ºC por medio de la selección de resistencias.

Los termopares que se conectaban a unos milivoltímetros para medir la temperatura, eran de Cromel-Alumel tipo K En el apéndice se reproducen las tablas de equivalencias milivoltios-ºC utilizadas para la medida de temperaturas.

El equipo descrito ha sido montado en la Escuela Universitaria Politécnica de Almadén, donde desarrollamos nuestra actividad docente.

Se han realizado, también, ensayos en el equipo del Departamento de Tecnología Química General de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Madrid.

Este equipo consta de un lecho cilíndrico de 100 mm. de diámetro construido en vidrio a fin de permitir la observación del lecho. El distribuidor es de malla metálica y el aire necesario es suministrado por el compresor del Laboratorio de Tecnología Química.

4.2. Procedimiento experimental

4.2.1. Preparación del Sólido

Se comienzan las experiencias con un trozo de mineral de peso 1'695 kg. y densidad 4'52 gr/cm^3. El mineral es triturado

y molido y posteriormente clasificado. El resultado de la clasificación se indica en la tabla 7.

4.2.2. Medida de Caudales y de Pérdidas de Carga

El caudal se mide mediante una placa orificio con las tomas de presión en la tubería (tipo pipe taps). Las tomas anterior y posterior situadas a 2½ y 8 Ø, respectivamente. Las presiones se miden mediante dos manómetros de reloj.

El resto de los manómetros empleados son manómetros diferenciales del tipo de tubo U, dos de ellos con agua como líquido manométrico y uno con mercurio.

Previamente a las experiencias de fluidización se miden las pérdidas de carga para distintos caudales, obteniendose la curva de perdida de carga (AP) para el distribuidor frente al caudal, (figura 24).

En los ensayos de fluidización de cada fracción de mineral se mide la pérdida de carga total (lecho+distribuidor) para distintos caudales, obteniéndose, finalmente, la pérdida de carga del lecho por diferencia:

$$\Delta P \text{ (Lecho)} = \Delta P \text{ (Lecho + Distribuidor)} - \Delta P \text{ (Distribuidor)}$$

Para la determinación del caudal se aplica la fórmula dada por Creus (13) para fluidos compresibles:

$$Q_v = 12524 \times 10^{-6}\ C\ J\ m\ ED^2\ \varepsilon \sqrt{\frac{P_a - P_c}{W_o}}\ m^3/h.$$

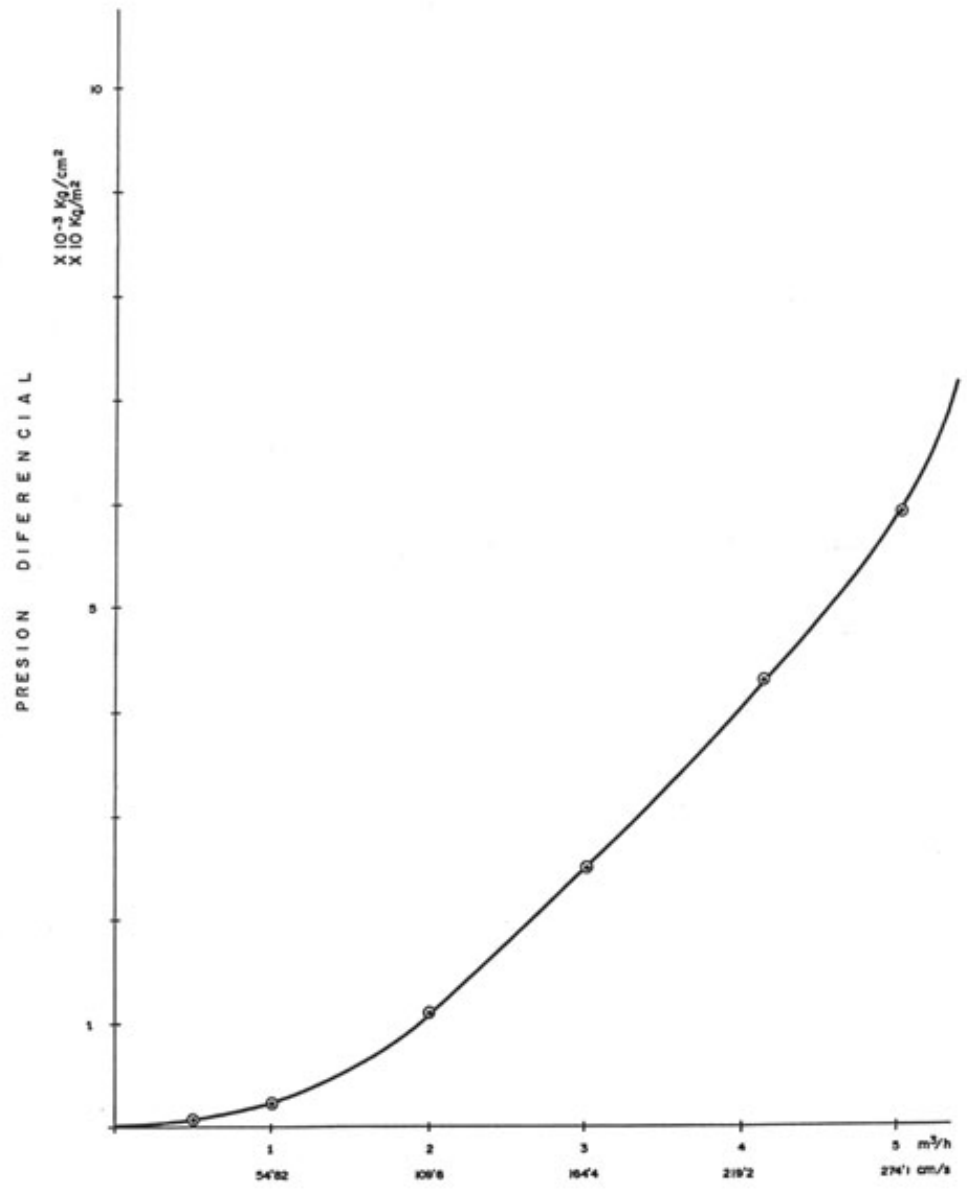


FIGURA 24. CURVA DE CAUDAL DE LA PLACA ORIFICIO

TABLA 7
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LA MUESTRA MOLIDA

LUZ DE MALLA (en mm.)	DIÁMETRO DE PARTÍCULA (en mm.)	% PARCIAL RETENIDO	% ACUMULATIVO RETENIDO
12'7	14'12	9'79	9'79
9'52	10'89	14'16	23'95
6'35	7'62	23	46'96
4	4'91	18'70	65'66
2	2'67	12'62	78'29
1	1'33	6'31	84'60
0'5	0'67	3'81	88'41
0'25	0'33	2'36	90'77
0'150	0'1875	2'01	92'78
0'125	0'136	0'56	93'34
0'100	0'111	0'27	93'61
0'088	0'094	0'27	93'88
0'05	0'064	1'06	94'94
0'05	0'064	2	96'94

donde:

Q_v	Caudal en m^3/h
m	Relación de secciones $\frac{S_c}{S_a}$
$E = \frac{1}{\sqrt{1 - m^2}}$	Coeficiente de velocidad de acercamiento.
C J	Coeficiente de descarga.
C	Coeficiente de caudal.
J	Factor global de corrección (viscosidad, rugosidad,.... etc.)
D	Diámetro de la tubería expresado en mm.
P_a y P_c	Presiones en los puntos a y c en $kg./m^2$.
ε	Coeficiente experimental de expansión
w_o	Peso específico del aire en kg/m^3 y en las condiciones T_o y P_o.

En la (figura 25) se representa un esquema de la placa orificio utilizado, y la (figura 24) se representa el gráfico caudal, frente a la pérdida de carga de la placa utilizada en las experiencias.

Para el cálculo de C J m E se utiliza la fórmula:

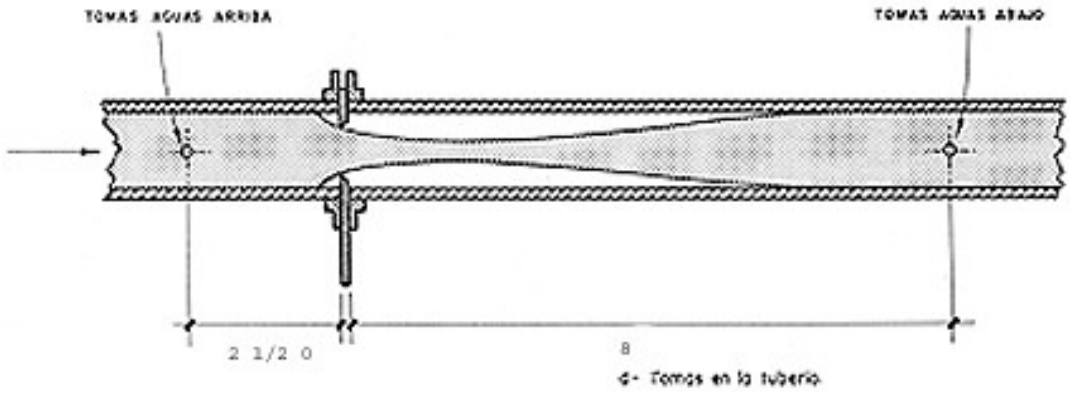


FIGURA 25. ESQUEMA DE LA PLACA ORIFICIO

MIGUEL DE CERVANTES

$$C\ J\ m\ E\ =\ \frac{q_v}{100\ \frac{\pi o^2}{4}\sqrt{2g\ \frac{P_1 - P_2}{w_o}}}$$

de Creus, (13)

4.2.3. Medida de Temperaturas

El calentamiento del aire se realiza mediante el elemento calefactor que ya hemos descrito.

La temperatura del aire se mide mediante termopares en los siguientes puntos:

a) antes de entrar al lecho con el termopar situado bajo el distribuidor.

b) dentro del lecho.

c) en la cámara de expansión.

4.3. Resultados

4.3.1. Porosidad y velocidad de mínima fluidización

Dos ensayos de fluidización se realizan con cargas de diferentes fracciones en el reactor y en cantidad tal como para obtener una altura de unos 3 cm. de lecho, aproximadamente de 100 a 110 gramos de mineral, de densidad 4'52 gr/cm^3. Los resultados se expresan en la tabla 8 que se inserta a continuación.

A continuación reproducimos la tabla 9 en la que figuran

TABLA 8 POROSIDAD Y VELOCIDAD DE MÍNIMA FLUIDIZACIÓN

NÚMERO DE EXPERIENCIA	GRANULOMETRÍA		LECHO ESTÁTICO POROSIDAD	LECHO FLUIDIZADO	
	LUZ DE MALLA (en mm.)	DIÁMETRO MEDIO DE PARTÍCULA (en mm.)		PÉRDIDA DE CARGA Pmf $\frac{g}{cm^2}$	VELOCIDAD DEL AIRE (cm/s)
1	1	1'33	0'570	21'34	192'2
2	0'5	0'67	0'592	20'24	98'08
3	0'25	0'33	0'557	21'78	29'84
4	0'125	0'166	0'58	22'77	9'4
5	0'08	0'098	0'44	26'84	4
6	0'05	0'062	0'48	25'85	1'8

TABLA 9

MUESTRA Nº	LUZ DE MALLA (en mm.)	PESO DE LA FRACCIÓN (en gr.)	VOLUMEN MEDIO DE LA FRACCIÓN (en cm^3)
1	12'7	166	100
2	9'52	240	135
3	6'35	390	215
4	4	317	155
5	2	214	105
6	1	107	55
7	0'5	64'5	35
8	0'25	40	20
9	0'150	34	17
10	0'125	9'5	5
11	0'100	4'5	2
12	0'088	4'5	18
13	0'05	18	7'5
14	0'05	34	14'3

los resultados del análisis granulométrico, con la indicación del volumen medido para cada fracción, que servirá para determinar las porosidades que se han utilizado anteriormente.

Para la determinación de la porosidad de las muestras se tiene en cuenta, por una parte los resultados recogidos en la tabla 9, y por otra la definición de porosidad.

$$\text{POROSIDAD, } X = 1 - \frac{\text{DENSIDAD DEL LECHO}}{\text{DENSIDAD DEL SOLIDO}}$$

$$\text{POROSIDAD, } X = \frac{\text{VOLUMEN DE HUECOS}}{\text{VOLUMEN TOTAL DEL LECHO}}$$

BIBLIOTECA VIRTUAL

El volumen de huecos se calcula mediante la fórmula:

$$V_H = V_{SH} - V_S$$

siendo:

VH Volumen de huecos.
V_{SH} Volumen del sólido con huecos.
V_S Volumen del sólido sin huecos.

Aplicamos la expresión a la muestra 1,

$$100\ cm^3 - \frac{166\ gr}{4'52\ g/cm^3} = 63'27\ cm^3.$$

Se calcula la porosidad mediante la fórmula:

$$X = \frac{V_H}{V_{SH}}$$

que en el ejemplo resulta:

$$X = \frac{63'27\ cm^3}{100\ cm^3} = 0'63$$

Los resultados se recogen en la tabla número 10. El número de la muestra se corresponde con el número de la misma en el cuadro anterior.

Los valores de la velocidad mínima de fluidización fueron correlacionados con los tamaños medios mediante una regresión lineal entre sus logaritmos, obteniéndose las siguientes correlaciones empíricas:

$$Vmf = 151'71 \times D_p^{1'56}$$

en la que V_{mf} viene dado en cm/seg. y D_p en mm.; y:

$$V_{mf} = 5516 \times D_p^{1'56}$$

TABLA 10

MUESTRA Nº	VOLUMEN DE HUECOS (en cm^3)	POROSIDAD
1	63'27	0'63
2	81'90	0'607
3	128'72	0'599
4	84'86	0'547
5	57'55	0'548
6	31'33	0'57
7	20'73	0'592
8	11'15	0'557
9	9'48	0'557
10	2'9	0'58
11	1	0'5
12	0'8	0'44
13	4'01	0'5
14	6'67	0'474

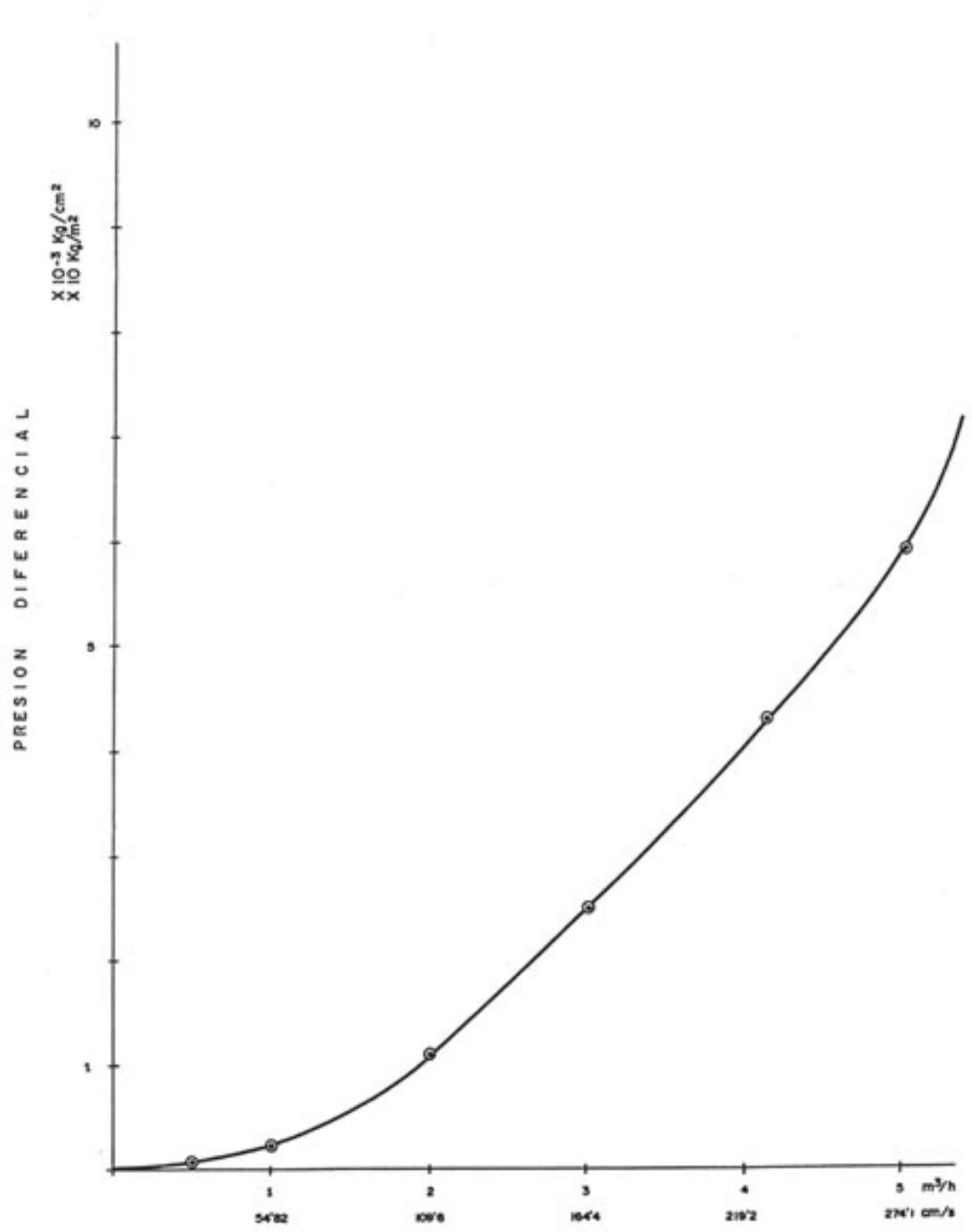


FIGURA 26. VELOCIDAD DE FLUIDIZACIÓN FRENTE AL DIÁMETRO DE PARTÍCULA

cuando V_{mf} se expresa en cm/seg. y D_p en cm.

En la (figura 26) se representan la velocidad de mínima fluidización frente al diámetro medio de las partículas en el lecho, y en la (figura 27) la curva de pérdida de carga frente a la velocidad del aire para las partículas de 0'166 mm. de diámetro medio.

Los valores de D_p utilizados corresponden a valores medios superficiales, definidos de la siguiente forma:

$$D_p = \left| \frac{\frac{1}{D_1} + \frac{1}{D_2}}{2} \right|^{-1}$$

donde D_1 y D_2 son las aberturas de mallas de los tamices que definen la fracción de diámetro medio D_p.

Realizados los cálculos teóricos de velocidad de mínima fluidización se observa que no existe diferencia apreciable con los resultados prácticos.

4.3.2. Comentarios sobre la fluidización

En los ensayos realizados en el fluidizador de vidrio se pone de manifiesto que no se presenta ninguna de las irregularidades típicas de los lechos fluidizados no apareciendo chimeneas, burbujas de gas, ni estados de aglomeración. La fluidización es perfecta, pues las partículas aparecen como flotando en la corriente de fluido, experimentando un movimiento

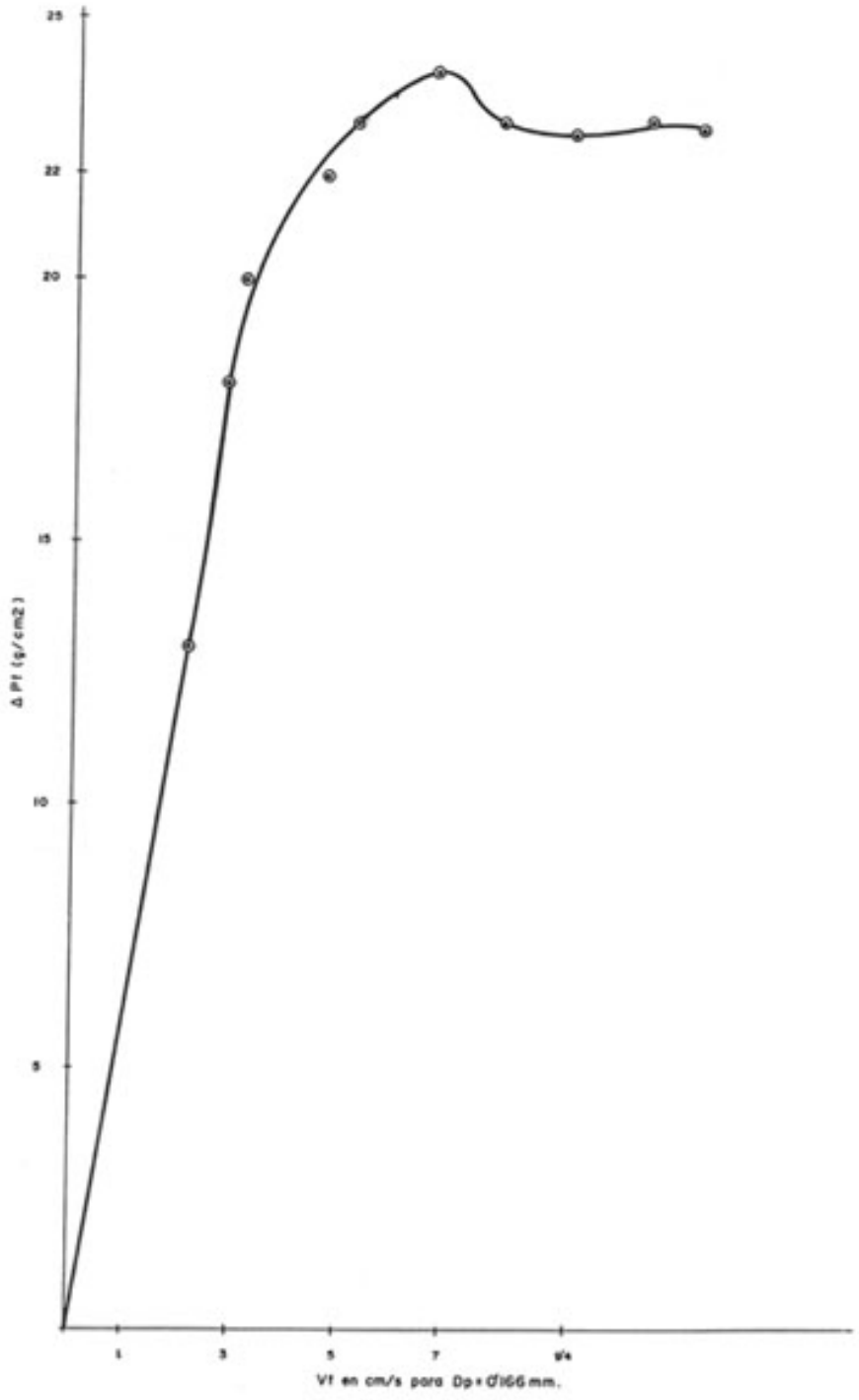


FIGURA 27. VELOCIDAD DE FLUIDIZACIÓN EN FUNCIÓN DE LA PÉRDIDA DE CARGA PARA MINERAL DE DIÁMETRO D_P = 0'166 m.m.

desordenado y fluctuante que da a la capa el aspecto de un líquido en ebullición. Las partículas se mueven en el lecho tumultuosamente, observándose perfectamente las trayectorias descritas por las mismas.

En los ensayos en caliente no se presenta problema de sinterización de las partículas, cosa que era de esperar, pues dicha irregularidad no se presenta ni en la tostación estática, al menos hasta temperaturas de 1000 ºC.

5. TOSTACIÓN DEL CINABRIO EN LECHO FLUIDIZADO

5.1. Introducción

En estos ensayos se pretende estudiar la cinética de la tostación del cinabrio en un reactor de lecho fluidizado. La reacción de tostación es la misma que en régimen estacionario.

$$SHg + O_2 \rightarrow SO_2 + Hg$$

5.2. Técnica Experimental

El equipo utilizado para la realización de esta parte de la Tesis ha sido el descrito en el apartado 4.1 y la técnica seguida en la realización de los ensayos, la misma que la descrita en 2.2.

Las temperaturas medidas en T_2 (figura 24) fueron de 425 ºC y 613 ºC, con cargas de unos 100 a 110 gramos de mineral.

Pasada una muestra de mineral se introducía en el reactor, y a la velocidad de mínima fluidización, se mantenía un tiempo determinado. Terminada la operación se procedía a pesar la muestra, una vez fría, y determinar el tanto por ciento de pérdida de peso experimentado. La muestra sometida a tostación tenía una ley determinada, analizada por el método de Eska (56), y una granulometría también determinada. Posteriormente se tostaba otra muestra de mineral variando únicamente el tiempo de permanencia.

Se repitieron los ensayos variando, temperatura, diámetro medio de partícula y ley del mineral. Los resultados se recogen en las tablas que se insertan a continuación.

Se intentó ver la influencia de la velocidad de fluidización en el grado de tostación, sin que, con el equipo utilizado, se llegase a encontrar ningún efecto apreciable sobre la pérdida de peso, o el tiempo de residencia de la partícula en el reactor.

MIGUEL DE CERVANTES

5.3. Análisis de Regresión

Igual que se hacía en el apartado 2.3., con los resultados de la tostación en reactor de lecho fluidizado se pretende, mediante el análisis de regresión, encontrar una ecuación que defina la cinética de la tostación del cinabrio en un reactor de lecho fluidizado de las características del descrito anteriormente.

Para la realización por medio de ordenador de este análisis se ha utilizado el ordenador de la Cátedra de Tecnología

TOSTACIÓN EN LECHO FLUIDIZADO

LUZ DE MALLA (en mm.)	DIÁMETRO MEDIO DE PARTÍCULA (en mm.)	TEMPERATURA (en ºC)	TIEMPO (en min.)	PÉRDIDA DE PESO (en %)	LEY DEL MINERAL (en % de Hg)	MÁXIMA PÉRDIDA DE PESO (en %)
6'35	7'62	425	30	56'73	52'65	85'46
"	"	"	60	63'21	"	"
"	"	"	90	67'37	"	"
1	1'33	"	30	60'52	"	"
"	"	"	60	73'8	"	"
"	"	"	90	78'6	"	"
0'5	0'67	"	30	68'26	"	"
"	"	"	60	70'41	"	"
"	"	"	90	79'07	"	"
0'25	0'33	"	30	61'16	"	"
"	"	"	60	71'97	"	"
"	"	"	90	76'49	"	

LUZ DE MALLA (en mm.)	DIÁMETRO MEDIO DE PARTÍCULA (en mm.)	TEMPERATURA (en ºC)	TIEMPO (en min)	PÉRDIDA DE PESO (en %.)	LEY DEL MINERAL (en % de Hg)	MÁXIMA PERDIDA DE PESO (en %)
6'35	7'62	6'13	3,1e+23	57'62	52'55	85'46
”	”	”		56'22	”	”
”	”	”		68'97	”	”
1	1'33	”		62'55	”	”
”	”	”		70'67	”	”
”	”	”		77'08	”	”
0'5	0'67	”		65'37	”	”
”	”	”		69'13	”	”
”	”	”		76'39	”	”
0'25	0'33	”		74'32	”	”
”	”	”		76'37	”	”
”	”			82'43	”	”

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

LUZ DE MALLA	DIÁMETRO MEDIO DE PARTÍCULA	TEMPERATURA	TEMPO	PÉRDIDA DE PESO	LEY DEL MINERAL	MÁXIMA PÉRDIDA
(en mm.)	(en mm.)	(en ºC)	(en min.)	(en %)	(en % de Hg.)	(en %)
1	1'33	615	30	53'62	49'07	79'69
”	”	”	60	57'14	”	”
”	”	”	90	64'3	”	”
0'5	0'67	”	30	61'39	”	”
”	”	”	60	67'21	”	”
”	”	”	90	59'33	”	”
0'25	”	”	30	60'7	”	”
”	”	”	60	64'4	”	”
”	”	”	90	69'81	”	”

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

Química General, con el programa que tiene el Profesor Quintana Martín para este fin.

Las características del programa son las descritas en el apartado 2.3.1.

5.4. Criterios para la Selección de Posibles Ecuaciones

5.4.1. Difusión a través de la Película Gaseosa como Etapa Controlante

Se supone, que en lecho fluidizado, y debido a la turbulencia reinante en el reactor, la difusión a través de la película gaseosa no interviene en el proceso.

5.4.2. La Difusión a través de la Capa de Cenizas como Etapa Controlante

En este apartado partimos de las ecuaciones (2.82) y (2.83).

$$Z = \frac{P_B \bullet R^2}{6bD_e C_{Ag}} \tag{2.82}$$

$$\frac{t}{z} = \left[1 - 3\left| \frac{r_c}{R} \right|^2 + 2\left(\frac{r_c}{R} \right)^3 \right| \tag{2.83}$$

de donde se deduce:

(5.1)

$$t = \frac{P_B \bullet R^2}{6bD_e c_{Ag}} \left[1 - 3 \left| \frac{r_c}{R} \right|^2 + 2 \left(\frac{r_c}{R} \right)^3 \right|$$

Ecuación ésta que puesta en la forma:

(5.2)

$Ln\ (t) = a + b\ Ln\ (Ley) + c\ Ln\ (D_p) + d\ Ln\ (1\text{-}XB) + e\ Ln\ (T)$

nos sirve como ecuación generatriz de la serie de ecuaciones -LFDC.

5.4.3. La Reacción Química como Etapa Controlante

En este caso se parte de la ecuación:

(5.3)

$$t = \frac{P_B}{bk_S C_{Ag}} \left(R - r_c \right)$$

que proviene de transformaciones efectuadas con las ecuaciones (2.88) y (2.89).

Denominando RQEC al término:

(5.4)

$$RQEC = \left[1 - (1 - XB)^{1/3} \right] \bullet \frac{D_p}{2}$$

la ecuación generatriz de la serie LFRQ es:

(5.5)

$Ln\ (t) = a + b\ (RQEC)$

5.4.4. Reacción más Difusión como etapa Controlante

Se piensa en la posibilidad de que se presente el fenómeno de suma de resistencias, y no sea ni la reacción química ni la difusión, quienes por separado controlen el mecanismo de la reacción, sino que lo ejerzan las dos acciones simultaneamente, es decir reacción más difusión.

En este supuesto tomamos la ecuación denominada FLDR como ecuación generatriz de la serie. La citada ecuación es:

(5.6)

$$Ln\ (t) = a + b\ Ln\ (D_p) + c\ Ln\ (F(XB) + d\ RQEC$$

donde F(XB) es:

(5.7)

$$F\ (XB) = [1 - 3\ (1 - XB)^{2/3} + 2\ (1 - XB)]$$

5.4.5. Otras Consideraciones

Supongamos un cierto número de partículas de SHg, todas de la misma composición y tamaño, expuestas a la misma temperatura y dispuestas del mismo modo y en las mismas condiciones en el seno de un lecho fluidizado. Es lógico pensar que todas ellas reaccionan con el oxígeno con idéntica velocidad. Expresando matemáticamente tal circunstancia, la velocidad de oxidación del SHg, -dM/dt, habría de ser directamente proporcional al número de total de partículas, o lo que es lo mismo, a M, que representa los moles de SHg presentes en el lecho en cualquier momento, es decir:

(5.8)

$$-\frac{dM}{dt} = Q.M$$

donde Q es la constante de proporcionalidad, o sea:

(5.9)

$$-\frac{dM}{Mdt} = Q = \text{Constante}$$

Expresando la ecuación (5.9) en función de la pérdida de peso, tenemos:

(5.10)

$$\frac{PP}{PPMAX} = Q \bullet t$$

por lo que tomamos la ecuación

(5.11)

$$Ln\left|\frac{PP}{PPMAX}\right| = a + b\,Ln(t)$$

como ecuación generatriz de la serie LFAR.

5.4.6. Denominación de las variables

Las variables son las mismas que las definidas en el apartado 2.6. aún cuando a las transformaciones no se les dio la misma nomenclatura:

Denominación de las variables:

T	Temperatura ºK.
TI	Tiempo de permanencia de la muestra en el horno,expresado en minutos.

DP Diámetro medio de partícula.

LEY Ley del mineral en % de Hg.,

PP Pérdida de peso en %.

PPMAX Máxima pérdida de peso, en las condiciones establecidas en el punto 2.6.

Las transformaciones y sus denominaciones son:

UNO	=	Serie unidad.
XB	=	PP/PPMAX.
L (XB)	=	Ln. (XB).
L (DP)	=	Ln (DP).
L (TI)	=	Ln (TI).
L (PP)	=	Ln. (PP).
L (LEY)	=	Ln. (LEY).
L (PPMAX)	=	Ln (PPMAX).
L (T)	=	Ln (T)
PP/TI	=	PP/TI.
L (PP/TI)	=	Ln. (PP/TI).
1-P/X	=	1-PP/PPMAX=1-XB.
1 (l-P/X)	=	Ln (1-PP/PPMAX)= Ln. (1-XB).
P/X	=	PP/PPMAX = XB.
L(P/X)	=	Ln (PP/PPMAX) Ln XB.
T (P/X)	=	T (PP/PPMAX).
T L (P/X)	=	T L (PP/PPMAX).
1 - XB	=	UNO - XB.
1n (1-XB)	=	Ln (1 - XB).
RQEC	=	$[1 - (1\text{-}XB)^{1/3}] \bullet \frac{DP}{2}$

BIBLIOTECA VIRTUAL
MIGUEL DE CERVANTES

	TC	DP	TI	PP	LEY	PPMAX	T	L(DP)	L(TI)
1	425.00022	7.62000	30.00000	56.73000	5,264999527e+195	8,54600285460e+195	698.16022	2.03078	3,40120409434e+167
2	425.00019	7.62000	60.00000	63.21001			698.16019	2.03078	
3	425.00021	7.62000	90 00000	67.37000			698.16021	2.03078	
4	425.00018	1.33000	30.00000	60.52001			698.16018	0.28518	
5	425.00022	1.33000	60.00000	73. 80001			698.16022	0.28518	
6	425.00022	1.33000	90.00001	78.60001			698.16022	0.28518	
7	425.00022	0.67000	30.00001	68.26000			698.16022	-0.40048	
8	425.00022	0.67000	60.00001	70.41001			698.16022	-0.40048	
9	425.00022	0.67000	90.00000	79.07001			698.16022	-0.40048	
10	425.00022	0.33000	30.00000	61.16001			698.16022	-1.10866	
11	425.00020	0.33000	60.00001	71.97001			698.16020	-1.10866	
12	425.00020	0.33000	90.00000	76.49001			698.16020	-1.10866	
13	613.00020	7.62000	30.00001	57.62000			886.16020	2.03078	
14	613.00020	7.62000	60.00000	56.22001			886.16020	2.03078	
15	613.00020	7.62000	90.00001	68.97001			886.16020	2.03078	
16	613.00020	1.33000	30.00000	62.55001			886.16020	0.28518	
17	613.00020	1.33000	60.00001	70.67000			886.16020	0.28518	
18	613.00020	1.33000	90.00000	77.08001			886.16020	0.28518	
19	613.00020	0.67000	30.00001	65.37000			886.16020	-0.40048	
20	613.00007	0.67000	60.00000	69.13001			886.16007	-0.40048	
21	613.00007	0.67000	90.00001	76.39001			886.16007	-0.40048	
22	613.00007	0.33000	30.00000	74.32001			886.16007	-1.10886	
23	613.00019	0.33000	60.00000	76.37000			886.16019	-1.10886	
24	613-00019	0.33000	90.00001	82.43000			886.16019	-1.10866	
25	615.00019	1.33000	30.00001	53.62000			888.16019	0.28518	
26	615.00000	l.33000	60.00001	57.14001			888.16000	0.28518	
27	615.00022	1.33000	90.00000	64.03000			888.16022	0.28518	
28	615.00019	0.67000	30.00001	61.39000			888. 16019	-0.40048	
293	6,15000006150e+39	6,70000670e+28	6,00000e+34	6,721002593e+34	4,9070014907e+34	7,96900179690e+34	8,88160009e+39	-0.40048	4,09434449981e+29
031								-0.40048	
323								-1.10866	
3								-1.10866	
								-1.10866	

MIGUEL DE CERVANTES

	L (PP)	L(LEY)	L (PPMAX)	L(T)	PP/TI	L(PP/TI)	1-P/X	L(l-P/X)	P/X
1234	4,038304146e+167	3,963674e+167	4.44805	6,548457e+168	1.89100	0.63711	3,361803e+166	-1.09011	0.66382
5678			4.44805		1.05350	0.05212		-1.34571	0.73964
9101			4.44805		0.74856	-0.280961		-1.55269	0.78832
1123			4.44805		2.01733	0.70178		-1.23158	0.70817
2000			4.44805		1.23000	0.20701		-1.99188	0.86356
0000			4.44805		0.87333	-0.13544		-2.52234	0.91973
0000			4.44805		2.27533	0.82213		-1.60314	0.79874
0000			4.44805		1.l73500	0.15999		-1.73667	0.82389
0000			4.44805		0.87856	-0.12948		-2.59331	0.92523
0000			4.44805		2.03867	0.71230		-1.25757	0.71566
0000			4.44805		1.19950	0.18190		-1.84610	0.84215
000			4. 44805		0.84989	-0.16265		-2.25416	0.89504
			4.44805		1.92067	0.65267		-1.12157	0.67423
			4.44805		0.93700	-0.06507		-1.07251	0.65785
			4.44805		0.76633	-0.26614		-1.64529	0,80704
			4. 44805		2.08500	0.73477		-l.31647	0.73192
			4.44805		1.17783	0.16368		-1.75410	0.82694
			4.44805		0.85644	-0.15497		-2.32220	0.90194
			4.44805		2.17900	0.77887		-1.44783	0.76492
			4.44805		1.15217	0.14164		-1.65504	0.80892
			4.44805		0.84878	-0.16396		-2.24308	0.89387
			4.44805		2.47733	0.90718		-2.03751	0.86965
			4.44805		1.27283	0.24125		-2.24087	0.89363
			4.44805		0.91589	-0.08786		-3.33948	0.96454
			4.39814		1.78733	0.58072		-1.11736	0.67286
			4.37814		0.95233	-0.04884		-1.26241	0.71703
			4.37814		0.71144	-0.34046		-1.62703	0.80349
			4.37814		2.04633	0.71605		-1.47124	0.77036
2930	4,2078240831e+29	3,8932539e+29	4,378e+29	6,7891568e+29	1,12017066e+29	0.11348	1,5661026e+28	-1.85402	8,4339e+28
3132						-0.41669		-1.36457	
33						0.70475		-1.43423	
						0.07170		-1.65488	
						-0.25403		-2.08763	

BIBLIOTECA VIRTUAL
MIGUEL DE CERVANTES

	L(P/X)	T*L(P/X)	T*P/X	1-XB	L(1-XB)	RQEC	UNO	F(XB)	L(F(XB))
1,2e+46	-0.40975	-286.06798	4,63452165164e+223	3,36180260360e+166	-1.09011	1,16079137716e+167	1,00000100000e+167	0.22191	-1.50548
	-0.30159	-210. 55525			-1.34571			0.29751	-1.21232
	-0.23785	-166.05657			-1.55269			0.35781	-1.02775
	-0.34507	-240. 91730			-1.23158			0.26376	-1.33273
	-0.14669	-102.41292			-1.99188			0.47779	-0.73857
	-0.08368	-58.41976			-2. 52234			0. 60229	-0.50701
	-0.22472	-156.89376			-1.60314			0.37222	-0.98826
	-0.19371	-135.24280			-1.73667			0.40966	-0.89242
	-0.07771	-54.25745			-2.59331			0.61709	-0.48274
	-0.33456	-233.57307			-1.25757			0.27146	-1.30395
	-0.17180	-119.94328			-1.84610			0.43947	-0.82219
	-0.11089	-77.41792			-2.25416			0.54239	-0.61178
	-0.39418	-349.30569			-1.12157			0.23119	-1.46450
	-0.41078	-371.10254			-1.07251			0.21673	-1.52910
	-0.21438	-189.97223			-1.64529			0.38416	-0.95669
	-0.31208	-276.55484			-1.31647			0.28888	-1.24174
	-0.19003	-168.39473			-1.75410			0.41447	-0.88077
	-0.10320	-91.45586			-2.32220			0.55818	-0.58307
	-0.26799	-237.47772			-1.44783			0.32746	-1.11639
	-0.21206	-187.91876			-1.65504			0.38691	-0.94957
	-0.11220	-99.42422			-2.24308			0.53978	-0.61660
	-0.13967	-123.76850			-2.03751			0.48944	-0.71449
	-0.11246	-99.65637			-2.24087			0.53926	-0.61757
	-0.3610	-31.98958			-3.33948			0.74714	-0.29151
	-0.39622	-351.90866			-1.11736			0.22995	-1.46990
	-0.33264	-295.43733			-1.26241			0.27289	-1.29869
	-0.21879	-194.32278			-1.62703			0.37900	-0.97021
	-0.26090	-231.71855			-1.47124			0.33428	-1.09578
2,9e+09	-0.17032	-151.27311	749.06817	1,56610255490e+28	-1.85402	1544301224300628000000000000	1,00000100000e+29	441590303060323850000000000	-0.81737
	-0.29503	-262.03297	661.24405		-1.36457				-1.19382
	-0.27220	-241.75762	676.5I287		-1.43423				-1.12858
	-0.21210	-188.37794	718.41888		-1.65488				-0.94969
	-0.13237	-117.56299	-778.04556		-2.08763				-0.68907

ECUACIÓN LFDC-6

VARIABLE DEPENDIENTE L(TI)

VALORES AJUSTADOS Y.AJ

RESIDUOS

NÚMERO DE PUNTOS

VARIABLES INDEPENDIENTES

UNO L(DF) L(F(XB))

TOSTACIÓN DE CINABRIO EN LECHO FLUIDIZADO. DIFUSIÓN CAPA CENIZAS.

	Y.AJ		L(TI)	UNO	L(DP)	L(F(XB))
1,2e+10	0	0	3,40124094345e+49	1,00001000010e+49	2.0308	-1.5055
					2.0308	-1.2123
					2.0308	-1.0278
					0.2852	-1.3327
					0.2852	-0.7386
					0.2852	-0.5070
					-0.4005	-0.9883
					-0.4005	-0.8925
					-0.4005	-0.4827
					-1.1087	-1.3039

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

L(RQEC) = Ln (RQEC).
l/T = UNO/T.
$F(XB) = [1 - 3(1-XB)^{2/3} + 2(1-XB)]$
L(F(XB)) = Ln (F(XB)).

En las fotocopias adjuntas se recogen los valores de las variables transformadas que se utilizan para la realización del ajuste.

5.5. Ecuaciones que han resultado en el Ajuste

En las páginas que vienen a continuación se insertan cuadros con las ecuaciones obtenidas, y la estimación parcial del modelo de prueba que las definen, para posteriormente seleccionar la ecuación o ecuaciones más representativas.

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

ECUACIÓN LFDC-2

L (TI) = 11'68 + 2'79 L (PP) - 4'38 L (PPMAX)

T 1'25 4'4 1'9

S = 0'37

R^2 = 0'39

F (2,30) = 9'72

DW (33,3) = 2'29

$\mathcal{L}$ = -0'14

$TI = e^{11'68} \bullet (PP)^{2'79} \bullet (PPMAX)^{-4'38}$

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

ECUACIÓN LFDC-3

$$L(PP) = 0'098 - 0'19\, L(1 - XB) + 0'85\, L(PPMAX)$$

T 0'10 14'9 4'04

$S = 0'0367$

$R^2 = 0'9042$

$F(2,30) = 141'56$

$DW(33,3) = 1'5069$

$\ell = 0'19$

$PP = e^{0'098} \bullet (1 - XB)^{-0'19} \bullet (PPMAX)^{0'85}$

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

ECUACIÓN LFDC-4

L (TI) = 29'35 + 0'22 L (DP) - 0'82 L (1 - XB) - 0'34 L (T) - 5'53 L (PPMAX)

T 2'34 3'25 5'85 0'59 2'36

S = 0'33

R^2= 0'55

F (4,28) = 8'57

DW (33,5) = 2'30

$\mathcal{L}$ = -0'16

$TI = e^{29'35} \bullet (DP)^{0'22} \bullet (1 - XB)^{-0'82} \bullet (T)^{-0'34} \bullet (PPMAX)^{-5'53}$

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

ECUACIÓN LFDC-5

L (TI) = 12'3 - 0'56 L (1 - XB) - 2'1 L (PPMAX)

T 1'29 4'26 0'97

S = 0'37

R^2= 0'37

F (2,30) = 9'09

DW (33,3) = 2'34

$\mathcal{L}$ = -0'17

$TI = e^{12'3} \bullet (1 - XB)^{-0'56} \bullet (PPMAX)^{-2'1}$

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

ECUACIÓN LFDC-6

L (TI) = 5'15 + 0'18 L (DP) + 1'2 L (F(XB))

T 24'76 3'01 5'79

S = 0'32

R^2 = 0'53

F (2,30) = 16'77

DW (33,3) = 2,09

$\mathcal{L}$ = -0'083

$TI = e^{5'15} \bullet (DP)^{0'18} \bullet (F(XB))^{1'2}$

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

ECUACIÓN LFDC-7

L (TI) = 27'42 + 0'25 L (DP) + 1'41 L (F(XB)) - 4'98 L (PPMAX)

T 3'28 4'11 6'89 2'66

S = 0'29

R^2 = 0'62

F (3,29) = 15'83

DW (33,4)= 2'38

$\mathcal{L}$ = -0'18

$TI = e^{27'42} \bullet (DP)^{0'25} \bullet (F(XB))^{1'41} \bullet (PPMAX)^{-4'98}$

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

ECUACIÓN LFDC-8

L (TI) = 30'8 + 0'25 L (DP) + 1'42 L (F(XB)) - 0'23 L (T) - 5'4 L (PPMAX)

T 2'69 4'07 6'8 0'44 2'55

S = 0'30

R^2 = 0'62

F (4,28) = 11'59

DW (33,5) = 2'36

$\mathcal{L}$ = -0'17

$TI = e^{30'8} \bullet (DP)^{0'25} \bullet (F(XB))^{1'42} \bullet (T)^{-0'23} \bullet (PPMAX)^{-5'4}$

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

ECUACIÓN LFDC-9

L (TI) = 30'74 + 0'26 L (DP) + 0'049 L (1 - XB) + 1'49 L (F(XB)) - 5'35 L (PPMAX) - 0'22 L (T)

T 2'63 3'99 0'12 2'29

2'45 0'41

S = 0'30

R^2 = 0'62

F (5,27) = 8'95

DW (33,6) = 2'37

$\mathcal{L}$ = -0'17

$TI = e^{30'74} \bullet (DP)^{0'26} \bullet (1-XB)^{0'049} \bullet (F(XB))^{1'49} \bullet (PPMAX)^{-5'35} \bullet (T)^{-0'22}$

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

ECUACIÓN LFDC-10

L (PP/TI) = -27'15 - 0'25 L (DP) - 1'09 L (F (XB)) + 5'94 L (PPMAX)

T 3'25 6'23 0'2 1'18

S = 0'29

R^2 = 0'51

F (3,29) = 10'29

DW (33,4) = 2'38

ℓ = -0'18

$$\frac{PP}{TI} = e^{-27'15} \bullet (DP)^{-0'25} \bullet (F(XB))^{-1'09} \bullet (PPMAX)^{5'94}$$

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

ECUACIÓN LFDC-11

$L\,(PP/TI) = 29'19 - 0'25\,L\,(DP) - 1'1\,L\,(F(XB)) + 0'28.10^{-3}\,(T) + 6'34\,L\,(PPMAX)$

T 3 4 5'2 0'42 2'99

S = 0'30

$R^2 = 0'51$

F (4,28) = 7'51

DW (33,5) = 2'37

$\mathfrak{L} = -0'17$

$$\frac{PP}{TI} = e^{29'19} \bullet (DP)^{-0'25} \bullet (F(XB))^{-1'1}\, e\, 0'28.10^{-3}\, ????????? \,(T) \bullet (PPMAX)^{6'34}$$

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

ECUACIÓN LFDC-12

$$L \frac{PP}{TI} = 30'45 - 0'25\ L\ (DP) - 1'1\ L\ (F(XB)) + 0'22\ L\ (T) + 6'3\ L\ (PPMAX)$$

T	2'6	4'09	5'27	0'42	2'99

S = 0'30

R^2 = 0'51

F (4,28) = 0'51

DW (33,5) = 2'37

$\mathcal{L}$ = -0'17

$$\frac{PP}{TI} = e^{-30'45} \bullet (DP)^{-0'25}\ (F(XB))^{-1'1} \bullet (T)^{0'22} \bullet (PPMAX)6'31$$

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

ECUACIóN LFDC-13

L (PP/TI) = 27'15 - 0'25 L (DP) - 1'09 L (F(XB)) + 5'9 L (PPMAX)

T 3'25 4'13 5'33 3'18

S = 0'29

R^2= 0$_{51}$

F (3,29) = 10'24

DW (33,4) = 2'38

$\mathcal{L}$ = -0'18

$$\frac{PP}{TI} = e^{-27'15} \bullet (DP)^{-0'25} \bullet (F(XB))^{-1'09} (PPMAX)^{5'9}$$

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

ECUACIÓN LFDC-14

$$L(TI) = 29'53 + 0'25\ L(DP) + 1'42\ L(F(XB)) - 0'29.10^{-3}\ (T) - 5'4\ L(PPMAX)$$
$$T \qquad 3 \qquad 4 \qquad 6 \qquad 0'44 \qquad 2'5$$

$S = 0'30$

$R^2 = 0'62$

$F(4,28) = 11'59$

$DW(33,5) = 2'36$

$\mathfrak{L} = -0'17$

$$TI = e^{29'53} \bullet (DP)^{0'25} \bullet (F(XB))^{1'42}\, e^{-0'29.10^{-3}\ (T)} \bullet (PPMAX)^{-5'4}$$

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

ECUACIÓN LFDC-15

L (TI) = 30'8 + 0'25 L (DP) + 1'42 L (F(XB)) - 0'23 L (T) - 5'4 L (PPMAX)
T 2'69 4'07 6'8 0'44 2'5

S = 0'3
R^2 = 0'62
F (4,28) = 11'59
DW (33,5) = 2'36
$\mathcal{L}$ = -0'17
$TI = e^{30'8} \bullet (DP)^{0'25} \bullet (F(XB))^{1'42} \bullet (T)^{-0'23} \bullet (PPMAX)^{-5'4}$ECUACIÓN LFDC-16

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

ECUACIÓN LFDC-16

L (TI) = 27'42 + 0'25 L (DP) + 1'41 L (F(XB)) - 4'98 L (PPMAX)

T 3'2 4'11 6'89 2'66

S = 0'29

R^2 = 0'62

F(3,29) = 15'83

DW(33,4) = 2'38

$\mathcal{L}$ = -0'18

$TI = e^{27'42} \bullet (DP)^{0'25} (F(XB))^{1'41} \bullet (PPMAX)^{-4'98}$

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

ECUACIÓN LFDC-17

L (TI) = 27'42 + 0'25 L (DP) + 1'41 L (F(XB)) -4'98 L (PPMAX)
T 3'28 4'11 6'89 2'66

S = 0'29
R^2 = 0'62
F(3,29) = 15'83
DW(33,4) = 2'38
$\mathcal{L}$ = -0'17

$TI = e^{27'42} \bullet (DP)^{0'25} \bullet (F(XB))^{1'41} \bullet (PPMAX)^{-4'98}$

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

ECUACIÓN LFDC-18

$$L(TI) = 29'53 + 0'25\ L(DP) + 1'42\ L(F(XB)) - 0'29.10^{-3}(T) - 0'54\ (PPMAX)$$

T 3 4 6'8 0'44 2'54

S = 0'30
R2 = 0'62
F(4,28) = 11'59
DW(33,5) = 2'36
$\mathcal{L}$ = -0'17

$$TI = e^{29'53} \bullet (DP)^{0'25}\ (F(XB))^{1'42}\ e^{-0'29.10^{-3}(T)} \bullet (PPMAX)\ -0'54$$

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

ECUACIÓN LFDC-19

$$L(TI) = 29'06 + 0'25\ L(DP) + 1'42\ L(F(XB)) + 180\ \frac{1}{T}1 - 5'4\ L(PPMAX)$$

T	3'1	4	6'8	0'44	2'5

$S = 0'3$
$R^2 = 0'62$
$F(4,28) = 11'59$
$DW(33,5) = 2'36$
$\mathcal{L} = -0'17$

$$TI = e^{29'06} \bullet (DP)^{0'25} \bullet (F(XB))^{1'42}\ e^{\frac{180}{T}} \bullet (PPMAX)^{-5'4}$$

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

ECUACIÓN LFRQ-1

L (TI) = 3'96 + 0'098 (RQEC)
T 37'7 0'56

S = 0'46
R^2 = 0'013
F(1,31) = 0'32
DW(33,2) = 2'76
$\mathcal{L}$ = -0'42

$TI = e^{3'96} \; e^{0'098\ (RQEC)}$

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

ECUACIÓN LFRQ-2

$$L(TI) = 3'53 + 0'063\ L\ (T) + 0'1(RQEC)$$
$$\quad T \qquad 0'72 \qquad 0'087 \qquad\quad 0'56$$

$S = 0'47$

$R^2 = 0'0105$

$F(2,30) = 0'15$

$DW(33,3) = 2'76$

$\mathfrak{L} = -0'40$

$$TI = e^{3'53} \bullet (T)^{0'063}\ e^{0'1\ (RQEC)}$$

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

ECUACIÓN LFRQ-4

L (TI) = 6'09 + 0'0055 L (T) - 0'49 L (PPMAX) + 0'1(RQEC)
T 0'35 0'0067 0'15 0'57

S = 0'48
R^2 = 0'0113
F(3,29) = 0'1108
DW(33,4) = 2'76
$\mathcal{L}$ = -0'39

$TI = e^{6'09} \bullet (T)^{0'0055} \bullet (PPMAX)^{-0'49}\ e^{0'10\ (RQEC)}$

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

ECUACIÓN LFRQ-5

L (TI) = 6'95 - 0'28 L (DP) + 0'037 L (T) - 0'78 L (PPMAX) + 0'73 (RQEC)
T 0'41 1'4 0'045 0'25 1'5

S = 0'47
R^2 = 0'076
F(4,28) = 0'57
DW(33,5) = 2'74
$\mathcal{L}$ = 0'35

$TI = e^{6'95} \bullet (DP)^{-0'28} \bullet (T)^{0'037} \bullet (PPMAX)^{0'78}\ e^{0'73\ (RQEC)}$

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

ECUACIÓN LFRQ-6

L (TI) = 29'66 + 0'094 L (DP) - 0'75 L (1-XB) - 0'3l L (T) - 5'6 L (PPMAX) + 0'29 (RQEC)
T 2'35 0'59 5'47 0'54 2'39 0'84

S = 0'33
R^2 = 0'56
F(5,27) = 6'93
DW(33,6) = 2'36
ℒ = -0'18

$TI = e^{29'66} \bullet (DP)^{0'094} \bullet (1-XB)^{-0'75} \bullet (T)^{-0'31} \bullet (PPMAX)^{-5'6}\ e^{0'29(RQEC)}$

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

ECUACIÓN LFDR-1

$$L(TI) = 5'09 + 0'13\ L(DP) + 1'18\ L(F(XB)) + 0'11\ (RQEC)$$
$$\quad T \quad 17'6 \quad 0'84 \qquad\qquad 5'3 \qquad\qquad 0'32$$

$S = 0'3319$

$R^2 = 0'52$

$F(3,29) = 10'88$

$DW(33,4) = 2'13$

$\mathcal{L} = -0'09$

$$TI = e^{5'09} \bullet (DP)^{0'13} \bullet (F(XB))^{1'18}\ e^{0'11\ (RQEC)}$$

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

ECUACIÓN LFDR-2

$$L(TI) = 5'7 + 0'14\ L(DP) + 0'18\ L(1-XB) + 1'47\ L(F(XB)) + 0'10\ (RQEC)$$
$$T \quad 3'9 \quad 0'87 \quad 0'43 \quad 2'04 \quad 0'29$$

$S = 0'33$

$R^2 = 0'53$

$F(4,28) = 7'98$

$DW(33,5) = 2'13$

$\mathcal{L} = -0'089$

$$TI = e^{5'7} \bullet (DP)^{0'14} \bullet (1-XB)^{0'18} \bullet (F(XB))^{1'47}\ e^{0'1(RQEC)}$$

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

ECUACIÓN LFDR-3

L (TI) = 30'9 + 0'17 L (DP) + 1'38 L (F(XB)) - 0'21 L (T) - 5'4 L (PPMAX) + 0'18 (RQEC)
T 2'67 1'18 6'32 0'41 2'54 0'56

S = 0'30
R^2 = 0'62
F(5,27) = 9'11
DW(33,6) = 2'45
$\mathcal{L}$ = -0'20

$TI = e^{30'9} \bullet (DP)^{0'17} \bullet (F(XB))^{1'38} \bullet (T)^{-0'21} \bullet (PPMAX)^{-5'4}\ e^{0'18(RQEC)}$

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

ECUACIÓN LFDR-4

$$L(TI) = \underset{T}{30'88} + \underset{2'61}{0'8}\,L(DP) + \underset{1'16}{0'033}\,L(1-XB) + \underset{0'082}{1'44}\,L(F(XB)) - \underset{2'14}{0'21}\,L(T) - \underset{0'38}{5'4}\,L(PPMAX) + \underset{2'45}{0'18}\,(RQEC)$$

$S = 0'31$

$R^2 = 0'62$

$F(6,26) = 7'31$

$DW(33,7) = 2'45$

$\mathcal{L} = -0'19$

$$TI = e^{30'88} \bullet (DP)^{0'8} \bullet (1-XB)^{0'033} \bullet (F(XB))^{1'44} \bullet (T)^{0'21} \bullet (PPMAX)^{-5'4}\, e^{0'18\,(RQEC)}$$

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

ECUACIÓN LFDR-5

L (TI) = 2'36 + 3'15 L (DP) + 3'08 L (F(XB)) - 2'96 L (RQEC)
T 0'39 4'95 0'76 0'46

S = 0'33
R^2 = 0'53
F(3,29) = 10'96
DW(33,4) = 2'1
$\mathcal{L}$ = -0'079

$TI = e^{2'36} \bullet (DP)^{3'15} \bullet (F(XB))^{3'08} \bullet (RQEC)^{-2'96}$

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

ECUACIÓN LFDR-6

L (TI) = 28'69 + 0'94 L(DP) + 1'85 L(F(XB)) - 0'00028 (T) - 5'36 L(PPMAX) - 0'68 L(RQEC)
T 2'32 0'15 0'48 0'41 2'44 0'11

S = 0'30
R^2 = 0'62
F(5,27) = 8'95
DW(33,6) = 2'37
$\mathcal{L}$ = -0'17

$TI = e^{28'69} \bullet (DP)^{0'94} \bullet (F(XB))^{1'85}\ e^{-0'00028(T)} \bullet (PPMAX)^{-5'36} \bullet (RQEC)^{-0'68}$

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

ECUACIÓN LFDR-7

$$L(TI) = 28'23 + 0'94\ L(DP) + 1'85\ L(F(XB)) + 175\frac{1}{T} - 5'35\ L(PPMAX) - 0'68\ L(RQEC)$$

T	2'37	0'15	0'48	0'41	2'44	0'11

$S = 0'3$

$R^2 = 0'62$

$F(5,27) = 8'95$

$DW(33,6) = 2'37.$

$\mathfrak{L} = -0'17$

$$TI = e^{28'23} \bullet (DP)^{0'94} \bullet (F(XB))^{1'85}\ e^{\frac{175}{T}} \bullet (PPMAX)^{-5'35} \bullet (RQEC)^{-0'68}$$

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

ECUACIÓN LFAR-1

$$L\,(P/X) = -\,0'78 + 0'18\,L\,(TI)$$

$S = 0'08$

$R^2 = 0'38$

$F(1,31) = 19'12$

$DW(33,2) = 1'12$

$\mathfrak{L} = 0'40$

$$\frac{PP}{PPMAX} = e^{-0'78} \bullet (TI)^{0'18}$$

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

ECUACIÓN LFAR-2

L (PP/TI) = - 6'75 + l'57 L (PPMAX)
T 0'66 0'68

S = 0'40
R^2 = 0'0149
F(1,31) = 0'46
DW(33,2) = 2'81
$\mathcal{L}$ = -0'42

$$\frac{PP}{TI} = e^{-6'75} \bullet (PPMAX)^{1'57}$$

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

ECUACIÓN LFAR-3

$$L\,(PP/TI) = 4'41 + 0'012\,T \bullet L\,\frac{PP}{PPMAX} - 0'99\,L\,(TI)$$

T 64 16 67

S = 0'0315

$R^2 = 0'99$

F(2,30) = 2648'42

DW(33,3) = 0'31

$\mathcal{L} = 0'74$

$$\frac{PP}{TI} = e^{4'41}\, e^{0'12\,T \bullet L}\, \frac{PP}{PPMAX} \bullet (TI)^{-0'99}$$

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

ECUACIÓN LFAR-4

$$L\,(PP/TI) = 1'76 + 0'00011\,T \bullet L\,\frac{PP}{PPMAX} - 0'99\,L\,(TI) + 0'65\,L\,(LEY)$$

	T	2'98	l7'69	83'17	4'49

S = 0'0246

R^2 = 0'9967

F(3,29) = 2900'58

DW(33,4) = 0'44

ℒ = 0'62

$$\frac{PP}{TI} = e^{1'76}\; e^{0'0011\,T} \bullet L\frac{PP}{PPMAX} \bullet (TI)^{-0,99} \bullet (LEY)^{0'65}$$

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

ECUACIÓN LFAR-5

$$L(PP/TI) = - 0'74 + 0'0012\ T \bullet L\ \frac{PP}{PPMAX} - 0'99\ L\ (TI) + 0'95\ L\ (LEY) + 0'20\ L\ (T)$$

T	1'91	37'49	170	12'31	9'69

S = 0'012
R^2 = 0'9992
F(4,28) = 9171'53
DW(33,5) = 1'45
$\mathcal{L}$ = 0'13

$$\frac{PP}{TI} = e^{-0'74}\ e^{0'0012\,T \bullet L\frac{PP}{PPMAX}} \bullet (TI)^{-0'99} \bullet (LEY)^{0'95} \bullet (T)^{0'20}$$

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

ECUACIÓN LFAR-6

$$L\,(PP/TI) = -9'76 - 0'0021\,T \bullet L\,\frac{PP}{PPMAX} + 2'83\,L\,(LEY) - 0'24\,L\,(T)$$

T	0'8	2'65		1'16	0'36

S =0'38

R^2 =0'20

F(3,29) = 2'53

DW(33,4) = 2'31

$\mathcal{L}$ = -0'14

$$\frac{PP}{TI} = e^{-9'76}\; e^{-0'0021T \bullet L\frac{PP}{PPMAX}} \bullet (LEY)^{2'83} \bullet (T)^{-0'24}$$

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

ECUACIÓN LFAR-7

$$L\,(PP/TI) = 3'6 + 0'0012\,T \bullet L\,\frac{PP}{PPMAX} - 0'018\,(TI) + 0'95\,L\,(LEY) + 0'20\,L\,(T)$$

T	1'53	6'06		27'3	2	1'57

S = 0'0737
R^2 = 0'9713
F(4,28) = 237'23
DW(33,5) = 2'96
$\mathcal{L}$ = -0'42

$$\frac{PP}{TI} = e^{3'6}\, e^{0'0012\,T \bullet L\frac{PP}{PPMAX}}\; e^{-0'018(TI)} \bullet (LEY)^{0'95} \bullet (T)^{0'20}$$

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

ECUACIÓN LFAR-8

$$L\,(PP/TI) = -2'48 + 0'0012\,T \bullet L\,\frac{PP}{PPMAX} - 1'81\,(TI) + 0'95\,L\,(LEY) + 0'00025\,(T)$$

T	1'27	6'06		27'3	2'01	1'57

S = 0'0737

R^2 = 0'97

F(4,28) = 273'23

DW(33,5) = 2'95

$\mathfrak{L}$ = -0'42

$$\frac{PP}{TI} = e^{-2'48}\; e^{0'0012\,T \bullet L\frac{PP}{PPMAX}} \bullet (TI)^{-1'81} \bullet (LEY)^{0'95}\; e^{0'00025(T)}$$

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

5.6. Selección de Ecuaciones

Siguiendo los criterios establecidos en el apartado 2.5 se procede a analizar los cuadros reproducidos anteriormente ya la selección de las siguientes ecuaciones, ecuaciones que son las más significativas de cada grupo.

Del grupo de ecuación LFDC se selecciona, por más significativa, la ecuación LFDC-8, que se reproduce a continuación:

$$TI = e^{30'8} \bullet (DP)^{0'25} \bullet [F(XB)]^{1'42} \bullet (T)^{-0'23} \bullet (PPMAX)^{-5'4}$$

En la serie de ecuaciones LFRQ no se encuentra ninguna ecuación medianamente significativa, lo que induce a pensar que la reacción química no es etapa controlante en el proceso de tostación en lecho fluidizado. Tampoco lo es en el proceso de tostación estática.

De la serie de ecuaciones LFDR, se considera ecuación significativa, en principio, la denominada LFDR-3, que es:

$$TI = e^{30'8} \bullet (DP)^{0'17} \bullet [F(XB)]^{1'38} \bullet (T)^{-0'21} \bullet (PPMAX)^{-5'4}\ e^{0'18\ (RQEC)}$$

Comparando esta ecuación con la LFDC-8 se observa que son la misma ecuación, diferenciándose únicamente en el término $e^{0'18(RQEC)}$, que además es un término con un nivel de significación muy baja, 0'56, y se observa que perturba algunos de los otros términos, haciéndolos descender el valor del exponente

que les afecta y su nivel de significación. Como quiera que además el término RQEC es de estructura similar al F(XB)

$$RQEC = \left[1-(1-XB)^{1/3}\right] \bullet \frac{DP}{2}$$

$$F(XB) = \left[1-3(1-XB)2/3+2(1-XB)\right]$$

se opta por prescindir de esta ecuación, y considerar por tanto que no existe suma de resistencias, siendo la etapa controlante del proceso la DIFUSIÓN A TRAVÉS DE LA CAPA DE CENIZAS.

Por último, de la serie LFAR, la ecuación más significativa es la LFAR-5.

$$\frac{PP}{TI} = e^{-0'74}\, e^{0,0012\,T \bullet L\frac{PP}{PPMAX}} \bullet (TI)^{-0'99} \bullet (LEY)^{0'95} \bullet (T)^{0'20}$$

Esta ecuación es la que de todas presenta un mejor ajuste, no obstante al ordenarla nos queda de la forma:

$$pp^{(1-0'0012T)} = e^{-0'74} \bullet (PPMAX)^{-0'0012T} \bullet (LEY)^{0'95} \bullet (T)^{0'20}$$

no encontrando ninguna explicación a que desaparezca de la ecuación el TI y resultando que este no afecta al grado de tostación de la partícula. Como esto no nos parece lógico, se acepta la

ecuación LAFAR-5 pero considerándola más como una relación entre una serie de variables que como una ecuación que nos defina el comportamiento del cinabrio en un reactor de lecho fluidizado.

Las ecuaciones LFDC-8 y LFAR-5 quedan expresadas de la forma siguiente:

(5.12)

$$TI = \frac{2'38 \bullet 10^{13} \bullet (DP)^{0'25} \left[1 - 3(1 - XB)^{2/3} + 2(1 - XB)\right]^{1'42}}{T^{0'23} \bullet (PPMAX)^{5/4}}$$

(5.13)

$$PP^{(1-0'0012T)} \bullet (PPMAX)^{0'0012T} = \frac{(LEY)^{0'95} \bullet (T)^{0'20}}{2'1}$$

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

6 CONCLUSIONES

En estas últimas páginas se recogen las conclusiones, a que hemos llegado en la realización de esta Tesis.

6.1.Tostación en régimen estacionario

Los ensayos estacionarios merecen especial mención, las siguientes consideraciones, que se han observado en la realización de la Tesis.

lº.-El cinabrio a temperaturas de 700 ºC se pone al rojo, y a 900 ºC se encuentra al rojo blanco.

2º.-Terminada la tostación de una partícula queda una ceniza color gris, y más porosa que la piedra original.

3º.-Con calentamientos de hasta 1000 ºC no se presenta ningún tipo de sinterización de partículas, pudiéndose afirmar que a estas temperaturas no existe si quiera una fusión incipiente.

4º.-Del Análisis de Regresión se puede deducir, que la etapa controlante, en el proceso de tostación es la difusión a través de la capa de cenizas y que la ecuación que nos define el comportamiento en este proceso es:

$$TI = 3'1 \bullet 10^{16} \frac{e^{\frac{642'04}{TK}}}{(LEY)^{7'09}} \frac{(1 - XB)^{1'8}}{\left[1 - 3(1 - XB)^{2/3} + 2(1 - XB)\right]^{4'3}}$$

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

6.2. Termoanálisis de una muestra de cinabrio

En los análisis térmico diferencial y termogravimétrico de una muestra de cinabrio se llega a las siguientes conclusiones:

lº.- La reacción comienza a una temperatura de 355 ºC, y termina a los 460 ºC.

2º.- La reacción es Endotérmica.

3º.- Que en las condiciones en las que se verifica el ensayo (descritas en 3) se verifican las siguientes ecuaciones:

$$PP = 2'6 \bullet 10^{18}\, e^{-\frac{11201}{T}}$$

$$\frac{PP}{TI} = 5'79 \bullet 10^{5}\, e^{-\frac{10055}{T}}$$

6.3. Estudio fluidodinámico del cinabrio

En primer lugar se ha de hacer constar que determinada experimentalmente la velocidad de mínima fluidización se comprueba posteriormente que los valores obtenidos coinciden con los valores calculados teóricamente.

Es el momento de resaltar que se ha observado que la fluidización del cinabrio no presenta ninguna de las irregularidades típicas de los lechos fluidificados que utilizan gases

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

como agente fluidificador, tales como chimeneas, burbujas de gas y estados de aglomeración (agregados), sino que fluidifican con extraordinaria precisión.

La relación entre la velocidad de mínima fluídización y el diámetro medio de partícula es:

$$Vmf = 151'71 \bullet (DP)^{1'56}$$

en la que Vmf viene dado en cm/seg., y DP en mm.

6.4 Tostación de cinabrio en lecho fluidizado

Por limitaciones impuestas por el equipo experimental, solo se han podido utilizar dos temperaturas 425 ºC y 613 ºC. Creemos sería muy conveniente realizar, en un equipo mejor dotado técnicamente, ensayos en una más amplia variedad de temperaturas. También se considera importante ver la influencia de la velocidad de fluidización en el grado de tostación, ya que nosotros no hemos podido encontrar ninguna influencia, pero no teniendo datos para poder afirmar que no existe tal relación ni lo contrario. Particularmente opinamos que cierta influencia debe tener.

El análisis de regresión nos indica:

1º.- Que la etapa controlante en el proceso es la difusión a través de la capa de cenizas.

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

2º.- Las ecuaciones que nos definen el proceso son:

$$TI = \frac{2'38 \bullet 10^{13} \bullet (DP)^{0'25}\left[1 - 3(1 - XB)\right]^{1'42}}{T^{0'23} \bullet (PPMAX)^{5'4}}$$

$$PP^{(1-0'0012T)} \bullet (PPMAX)^{0'0012T} = \frac{(LEY)^{0'95} \bullet (T)^{0'20}}{2'1}$$

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

7. APLICACIÓN AL DISEÑO

Para terminar, se procede a calcular un reactor de lecho fluidizado, utilizando las expresiones obtenidas en capítulos anteriores.

Se va a utilizar como combustible un fuel de las características del que se emplea actualmente en el horno de soleras múltiples, para poder así, comparar resultados.

La composición del fuel es la siguiente:
85'5% de C
11'2% de H_2
2'7% de O_2
0'2% de N_2
0'4% de S_2
Este combustible tiene un poder calorífico superior de 10.000 kcal/kg. de F.O.

El mineral que se va a tratar tiene una ley del 49% en Hg. y una densidad de 4'52 gr/cm^3, es decir, se supone un mineral de características idénticas al empleado en los ensayos de fluidización. Se toma una granulometría de 1'33 mm., cuya velocidad de fluidización, es según hemos obtenido en los ensayos realizados de 192'2 cm/seg.

Vamos a suponer una capacidad de tratamiento de 100T/día de mineral, temperatura de 700 ºC y exceso de aire 50% sobre el estequiométrico, condiciones estas iguales a las del horno de soleras múltiples utilizado actualmente.

7.1. Volumen y Composición de los Humos de Combustión

Partiendo de las características del combustible citado anteriormente se efectúan los cálculos de la combustión utilizando las fórmulas de Generación de Calor, de Juan A. Andrés y Rodríguez Pomatta, de la sección de Publicaciones de la E.T.S.I. Industriales de Madrid.

Oxígeno mínimo para la combustión:

Om = 2'67 P_C + 8 H_2 + P_S - P_{o2} ; kg de O_2/kg de F.O.

Om = 2'67•0'855+8•0'112+0'004 -0'027 = 3'1559 kg0_2/kg F.O.

Aire mínimo para la combustión:

$$Am = \frac{Om}{0'23} = \frac{3'1559\ Kg\,O_2 / Kg.F.O.}{0'23} = 13'72\ Kg\,aire / Kg.F.O.$$

$$Am = 13'72\ Kg.aire / Kg.F.O. \frac{1}{1'293} \frac{1}{Kg.aire / m^3 N\ aire}$$

$Am = 10'6\, m^3\ N\ aire / Kg.F.O.$

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

Suponiendo, como se ha dicho, un exceso de aire del 50%, el aire mínimo para la combustión es:

Am = 10'6 • 1'5 m^3 N aire/kg F.O.

Am = 15'9 m^3 N aire/kg F.O.

Para calcular el volumen total de humos utilizamos las fórmulas que aparece en la obra citada anteriormente:

$$V_T = 22'4\left[\left| \frac{P_C}{12} + \frac{P_{H2}}{4} + \frac{P_S}{32} - \frac{P_{O2}}{32} \right| \frac{n}{0'21} + \frac{P_{H2}}{4} + \frac{P_{O2}}{32} \right| m^3 N humos / Kg\, F.O.$$

como n es el coeficiente de exceso de aire, tomamos n = 1'5.

$$V_T = 22'4\left[\left| \frac{0'885}{12} + \frac{0'115}{4} + \frac{0'004}{32} + \frac{0'027}{32} \right| \frac{1'5}{0'2} + \frac{0'115}{4} + \frac{0'027}{32} \right| = 16'6\, m^3 N\, humos / Kg.F.O.$$

El volumen de humos en las condiciones de operación es:

$$V = \frac{P_N \bullet V_N}{T_n} \frac{T}{P} = \frac{1.16'6}{273} \frac{973}{1} = 59'16\, m^3\, humos / Kg.F.O.a\, 700^{\circ} C$$

y 1 atm de presión.

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

7.2 Tiempo de Calentamiento del Mineral.

Considerando que el calor específico del mineral es de 0'213 kcal/ºC kg, se calcula el tiempo necesario para calentar a 700 ºC una partícula esférica de mineral de 1'33 mm., suponiendo que la temperatura media de los gases es de 900 ºC y que el mineral entra en el horno a 25 ºC.

Para ello, se utilizan los números adimensionales que aparecen en el gráfico que Braun (5) da en la pag. 453, fig 416.

$$\frac{T_S - T}{T_S - T_O}\frac{900 - 700}{900 - 25} = \frac{200}{875} = 0'23$$

Como en el lecho fluidizado la transmisión de calor es muy elevada, tomamos $\frac{K}{h.r} = O$

Con estos datos en el citado gráfico se lee:

$$\frac{k.t}{P \bullet c_p \bullet r^2} = 0'4$$

de donde:

$$t = 0'4\frac{\rho \bullet c_p \bullet r^2}{k}$$

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

$\rho = 4520$ kcal/m^3

$$r = \frac{1'33 m.m}{2} = \left(0'66 \bullet 10^{-3}\right) m$$

$$c_p = 0'213\, kcal/^{o} C.Kg$$

$$K = 1'5\, kcal / h \bullet {}^{o} C \bullet m$$

$$t = 0'4 \frac{4520\, Kg / m^3 \bullet 0'213\, kcal/^{o} C \bullet Kg \left(0'66 \bullet 10^{-3}\right)^2 m^2}{1'5\, kcal / h^{o} C m}$$

$$t = 1'1 \bullet 10^{-4}\ horas = 0'4\ segundos.$$

7.3 Tiempo Necesario para que se Verifique la Tostación

Para calcular el tiempo de residencia necesario para que se verifique la reacción se utiliza la fórmula 5-12, que hemos obtenido.

$$TI = \frac{2'38 \bullet 10^{13} (DP)^{0'25} \left[1 - 3(1 - XB)^{2/3} + 2(1 - XB)\right]^{1'42}}{T^{0'23} (PPMAX)^{5'4}}$$

$PPMAX = 79'7\%$

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

$$XB = \frac{PP}{PPMAX} = 0'9 \text{ Rendimiento del } 90\%$$

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

$$TI = \frac{2'38 \bullet 10^{13}(1'33)^{0'25}\,1 - 3(1 - 0'900)^{2/3} + 2(1 - 0'900)^{1'42}}{973^{0'23} \bullet (79'7)^{5'4}} = 105\,\text{min}$$

Se observa que con este tiempo de residencia se puede calentar hasta el núcleo de la partícula que se trata.

7.4 Tostación del Mineral

Se estudia la reacción de tostación del sulfuro de mercurio con objeto de determinar, por una parte el volumen de aire necesario para que se verifique la reacción, y de otro el volumen de gases que se desprenden.

$$SHg + O_2 \downarrow \rightarrow SO_2 + Hg$$

Se tratan 100T/día de mineral con un 49% en Hg, que equivale a un 56'84% en SHg.

Se tuestan pues 56'84 T/día de SHg resultando 49T/día de mercurio, suponiendo un 100% de rendimiento para la reacción.

56'84 T/día de Shg necesitan 5488 m^3 N/día de O_2

56'84 T/día de SHg desprenden 5488 m^3 N/día de SO_2

56'84 T/día de Shg originan 3'6 m^3/día de Hg

7.5 Balance Térmico

Se realiza el balance térmico en el reactor suponiendo que el aire secundario se calienta a 650º con el calor de las cenizas que abandonan el horno.

Hemos visto que el volumen de aire mínimo necesario para la combustión es de 15'9 m^3 N/kg.F. O. De estos 2 m^3 N/kg. F.O. serán de aire primario, y el resto 13'9 m^3 N/kg. de F.O. de aire secundario.

Se denomina:

$$m = \frac{Kg.de\,F.O.}{T\,de\,\text{mineral}}$$

y se realiza el balance térmico en base a 1 tonelada de mineral.

AIRE NECESARIO PARA LA COMBUSTIÓN:

15'9•m m^3 N/F de mineral

VOLUMEN DE HUMOS DESPRENDIDOS

16'6•m + 54'88 m^3 N/T mineral

A continuación se determina el CALOR NECESARIO PARA CALENTAR EL MINERAL DE 0 a 700 ºC.

q_1 = 1.000 kg/t • 0'213 kcal/kg.ºC.700 ºC = 149.100 kcal/t

Calor aportado por el aire secundario

q_2 = 13'9.m (m^3N/T). 0'323 (kcal/m^3 NºC). 650 ºC=2.918'3.m(kcal/T)

Calor con que abandonan los humos el reactor

q_3 = 16'6.m(m^3 N/T).0'323 (kcal/m^3 N ºC).900ºC= 4826'62.m(kcal/T)

Calor aportado por el combustible

q_4 = 10.000 . m (kcal/T)

Para realizar el BALANCE DE CALOR nos fijamos en el siguiente esquema:

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

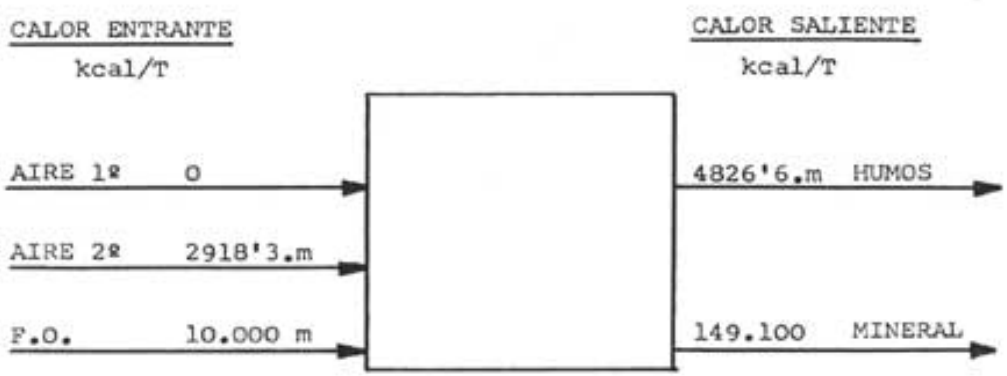
por tanto el balance es el siguiente:

10.000.m + 2918'3.m = 4826'6 + 149100

8092'7 m = 149100

$$m = \frac{149100}{9165} = 163\,Kg\,de\,F.O\,/\,T\,de\,\text{mineral}$$

Si se considera que en el horno de soleras múltiples el consumo de combustible es de 35Kg/t de mineral, la diferencia en el consumo entre un tipo de reactor y otro es de 18'7 kg de F.O./T de mineral.



Con estos datos se establece el volumen de humos que se desprenden:

$V_T = 16'6 \bullet 16'3 + 54'88 = 325'46\ m^3\ N/T$

y que en las condiciones de operación representa un volumen de:

$$V_T = \frac{T}{P}\frac{P_n \bullet V_n}{Tn} = \frac{1173}{1}\frac{1 \bullet 325'46}{273} = 1398'4\, m^3 / T$$

Suponiendo un tratamiento de 100 T/día resulta un volumen total de humos de

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

139.840 m^3/dia

7.6 Diseño del Reactor

La superficie transversal del reactor de lecho fluidizado se determina a partir del caudal de los gases de tostación, que son los que realmente fluidizan, y de la velocidad de paso que han de tener estos gases para que las partículas estén fluidizadas.

$$A = \frac{Q_v}{Vmf}$$

El caudal de humos es

Q_v = 139.840 m^3/día = 1'62 m^3/seg

Vmf = 192'2 cm/seg = 1'922 m/seg

La sección del reactor es, por tanto:

$$A = \frac{1'62\, m^3 / seg}{1'922\, m / seg} = 0'84\, m^2$$

El diámetro del reactor es:

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

$$D = \sqrt{\frac{4 \bullet 0'84 m^2}{\pi}} = 1'77\, m$$

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

Para calcular la altura se tiene en cuenta la capacidad de tratamiento que se quiere que tenga el reactor, y que hemos supuesto de 100 T/día.

100 T/día = 22'13 m^3/día = 0'0154 m^3/min.

Como el tiempo de residencia es de 105 minutos, el reactor ha de tener una capacidad de:

0'0154 m^3/min • 105 min = 1'62 m^3

Teniendo en cuenta que la sección es de 0'84 m^2, la altura es:

0'84 • m^2 • h = 1'62 m^3

$$h = \frac{1'62 m^3}{0'84 m^2} = 1'925 m$$

Resulta por tanto un reactor de 1'77 m de diámetro y 1'925 m de altura de lecho, que suponen un volumen de 1'62 m^3. Como se ha indicado 1'925 m. representa la altura del lecho expandido, la altura del reactor habrá de ser la suficiente para que se impida el arrastre de las partículas sólidas.

Si lo comparamos con el horno de soleras múltiples, este además de ser mecánicamente más complejo, tiene un volumen

de 118 m^3 (5 m de diámetro y 6 m. de altura) para tratar la misma

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

cantidad de mineral, 100T/día.

7.7 Resumen

Se adjunta un cuadro resumen en el que se comparan los reactores de soleras múltiples y de lecho fluidizado.

	H.SOLERAS MULTIPLES	H. DE LECHO FLUIDIZADO
Capacidad de tratmiento	100T/día	100 T/día
Consumo de combustible	35 Kg de F.O/T de mineral	18'7Kg F.O/T de Mineral
Coeficiente de Exceso de aire	1'5	1'5
Volumen de gases producidos	139.840m^3/día	139.840 m^3/día
Volumen del Humo	118 m^3	1'62 m^3
Dimensiones	D = 5m. H = 6m.	D = 1'77 m. h = 1'925 m.
Rendimiento de la Reacción de tostación.	No se tienen datos	90%

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

BIBLIOGRAFÍA

1. Alle, Crenshaw y Merwin. Am. J. Sci. (4), 34-351. 1.922

2. Álvaro Alonso Barba. "Arte de los Metales". Edición Unión Explosivos Río Tinto. 1.977. Edición original. Madrid 1.640.

3. Anónimo. "Pressions de Vapeur Du Mercure Et De Ses Chlorures". Information Chimi, nº 182. Octubre 1.978.

4. Bray, John L. "Metalurgia Extractiva de los Metales no Férreos". 2ª Edicios. Ediciones Interciencia. Madrid 1.963.

5. Brown, G. "Operaciones Básicas de la Ingeniería Química". Editorial Marín. Barcelona 1.965.

6. Calvo Calvo, F.A. y Guilemany, J.Mª. "Estructura del Mineral de Mercurio de Almadén". I Congreso Internacional de Mercurio. Barcelona 1.974.

7. Calvo Calvo, F.A. y Guilemany, J.Mª "Mineralogénesis del Mineral de Mercurio de Almadén". I Congreso Internacional del Mercurio. Barcelona 1.974.

8. Casal J. y Valentín G. "Utilización de un Lecho Fluidizado para la Recuperación Electroquímica de Cobre a partir de Disoluciones Diluidas". Ingeniería Química. Mayo 1.980,

9. Coeuret F. y Storck A. "Transferencia de Materia entre Líquidos y Pared en Lechos Fluidizados". Ingeniería Química. Mayo 1.980.

10. Corella J, y otros. "Procesos FCC de Craqueo Catalítico -de Gasoil a Gasolinas. Diseño y Descripción de una Planta Piloto de Lecho Fluidizado Continuo". Ingeniería Química. Mayo 1.983.

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

11. Corrales Zarauza J.A. "Curso de Química Física". Ediciones Aguilar. Madrid 1.970.

12. Costa E. y Paya C. "Estudio Cinético de la Reacción de Tostación". Anales de Físico-Química. 54-B, 775-796. 1.958.

13. Creus Sole, Antonio. "Instrumentación Industrial". 2ª Edición. Publicaciones Marcombo, S,A. Barcelona 1.981,

14. Chacon E. y Mínguez P. "Estadística Aplicada". 1ª Edición. Fundación Gómez Pardo. Madrid 1.980.

15. Chapman Alan J. "Transmisión del Calor". 4ª Edición. Ediciones Interciencia. Madrid 1.977.

16. Cherepanov Genady P. "On The Theory Of Fluidization I General Mopel". Ind. Eng. Chem. Fundam, vol. 11, Nº 1 1.972.

17. Cherepanov Genady P. "On The Theory Of Fluidization II Some One-Dimensional Problems". Ind. Eng. Chem. Fundam. vol 11, nº 1 1.972.

18. Davson J.F. y Harrisson D. "Fluidization". 1ª Edición Academic Press. New York 1.971.

19. Davidson J.F. y Keairns D.L. "Fluidization". 2ª Edición. Cambridge University Press. New York 1.978.

20. De la Cuadra A., Fernández Tallante y Rodríguez A. "Estudio de una Planta para el Beneficio de Cinabrio". Revista de Metalurgia. Noviembre-Diciembre 1.973.

21. De la Cuadra A, Fernández Tallante y Rodríguez Sánchez. "Study On the Roasting Of Mercury Ores", I Congreso Internacional del

Mercurio. Barcelona 1.974.

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

22. De la Cruz Gómez C. "Planta para Beneficio de 100T/día de Cinabrio en Horno de Lecho Fluidizado". Proyecto Fin de Carrera. E.T.S.I.I. de Madrid. Marzo 1.981.

23. Escosura Luis de la. "Historia del Tratamiento Metalúrgico del Azogue en España". Madrid 1.878.

24. Fai L.T., Tho-Ching Ho, S. Miraoka and Walavender. "Presure Fluctuations In a Fluidized Bed". Aiche Journal. May 1.981.

25. Fernández González y Díaz Rodríguez, "Grado de Mezcla en un Reactor de Lecho Fluidizado". Ingeniería Química. Septiembre 1.930.

26. Fernández Tallante y otros. "Tratamiento de Hollines Mercuríferos. Procedimiento Almadén-CENIM". 2ª Asamblea General del CENIM. Junio 1.969. Madrid.

27. Flores H. y otros. "Fluización de Minerales de Hierro". Revista de Metalurgia. Noviembre-Diciembre 1.976.

28. Formoso A., de la Cuadra A., y Limpo J.L. "Tostación en Horno de Turbulencia de Concentrados de Cine". Revista de Metalurgia. 19 Julio 1.968.

29. Fuch S. "La Química Física como Introducción a la Tecnología Química". Editorial Urmo. Bilbao 1.976.

30. Geankoplis. "Mass Transport Phenomena Holt, Rinehart And Winston Inc". 1.972.

31. Grande Gil J. "La Explotaci6n del Yacimiento de Mercurio de Almadén". I Congreso Internacional del Mercurio. Barcelona 1.974.

32. Gunn D.J. y Bodalo A. "Propiedades de Burbujas en Lechos Fluidizados Gas-Sólido". Ingeniería Química. Mayo 1.980.

33. Gutiérrez Jodra y Aragón Romero. "Diseño de Pantallas para Lechos Fluidizados". Ingeniería Química. Mayo 1.981.

34. Gutiérrez L. y Aragón J.M. "Modelos de Lechos Fluidizados con Pantallas Internas". Ingeniería Química. Mayo1.980.

35. Harris G.M. "Cinética Química". Editorial Reverté. Barcelona.

36. Herranz J. y Blasco J.M. "Combustión de Carbón en Lecho Fluidizado". Ingeniería Química. Junio 1.980.

37. Herrero Blanco. "El Cracking Catalítico en Lecho Fluidizado". Ingeniería Química. Mayo 1.981.

38. Johnston J. "Métodos de Econometría". 4ª Edición. Editorial Vicens Universal. Barcelona 1.983.

39. Kelley K.K., U.S. Bur. Mines. Bull. 371 "National Bureau Of Standards Selected Valnes Of Termodynamic Properties". 1.152.

40. Kunii y Levenspiel. "Fluidization Engineering". 2ª Edición. Krieger Publishing Company. New York 1.977.

41. Lee D.C. y Georgaki C. "A Single Particle-Size Moder For Sulfur Retention In Fluidized Bed Coal Combustor". Aiche Journal. May 1.981.

42. Leva M. "Fluidization". 1ª Edición. Editorial Mc. Graw Hill. New York 1.959.

43. Levenspiel O. "Ingeniería de las Reacciones Químicas". 2ª Edición. 1ª en Castellano. Editorial Reverté. Barcelona 1.978.

44. Mackowiak J. "Físico-Química para metalúrgicos". 1ª Edición. Editorial Tecnos. Madrid 1.972.

45. Mauras H. "Tables Pour Le Calcul Direct Des Constantes D'Equilibre Des Systemes Chimiques Aux Hantes Temperatures". Editorial Mason. Paris 1.959.

46. Meyer, Ber. 12, 1.262. (1.879).

47. Melnikov S.M. y Mikhailov V.K. The Use Of "Fluidized Bed Funaces Of Roadsting Mercury Ores". I Samblea Inter nacional del Mercurio. Barcelona 1.974.

48. Morral E., Jimeno E, y Molera P. "Metalúrgia General". -2ª Edición, Editorial Aguilar. Madrid 1.982.

49. Nadal P., Morales G. y Gasos P. "Beneficio de Lignitos Uraníferos Españoles. Combustión en Lecho Fluidizado". Ingeniería Química. Mayo 1.980

50. Nieuwenhuis J.A.M. "Recovery Of Tin By Chlorination In a Fluidized Bed". The Institution Of Minig And Metallur gy. London 1.968.

51. Othmer y Donald F. "Fluidization". Reinhold Publishing Corpation. New York 1.972.

52. Pascal P. "Nouveau Traité De Quimie Minerale". Tomo V. Mason. París 1.962.

53. Perrys Chemical Engineering Handbook. Editorial McGraw Hill. New York 1.963.

BIBLIOTECA VIRTUAL
MIGUEL DE CERVANTES

54. Peto A. y Noble R.D. "Residence Time Distribution Theory In Chemical Engineering". Verlang Chemie. 1.982.

55. Prost E. "Metallurgie Des Metaux Autres Que Le Fer". Editorial Mason. París 1.924.

56. Proske O. "Análisis de Metales. Métodos de Control Industrial". Editorial Aguilar. Madrid 1.960.

57. Puigjaner L. "Perspectivas de la Tecnología de Fluidización en los Procesos de Producción de Energía". Ingeniería Química. Mayo 1.980.

58. Reinhardt Schuhmann, J.R. "Ingeniería Metalúrgica". 1ª Edición en Castellano. Editorial CECSA. Méjico 1.968.

59. Rinse. Rec. Trav. Chim. 47, 134. 1.928.

60. Ríos S. "Métodos Estadísticos" 6ª Edición. Ediciones del Castillo. Madrid 1.975.

61. Roggero C.E. "Tostación de Concentrados de Cine a Altas Temperaturas en Lecho Fluidizado". Trans. AIME, 227. 1.963.

62. Rovira Pereira A. "Metalurgia General". 1ª Edición. Editorial Dossat. Madrid 1.970.

63. Rubio de la Torre J. "Metalurgia General y de los Metales no Férricos". Cartagena 1.942.

64. San Segundo T. "Fluidización en reactor Tipo Cónico. Estudio Comparativo con un Reactor Cilíndrico", Revista de Metalurgia. Enero-Febrero 1.975.

65. San Segundo T. y Argandoña J. "Estudio Fluiddinámico del Dioxido de Uranio" Revista de Metalurgia. Marzo-Abril 1.975.

66. Shen J. y Smith J.M. Ind. Eng. Chem. Fundamentals. 4, 293. 1.965.

67. Sidwick N.V. "Los Elementos Químicos y sus Compuestos". Tomo I. Editorial Aguilar 1.954.

68. Smith J.M. "Chemical Engineering Kinetics" Editorial McGraw-Hill. New York 1.978.

69. Spalding y Afgan. "Heat An Mass Transfer In Metallurgical Systems". Editorial McGraw-Hill. New York 1.981.

70. Vartanyan A.M. "Aplicaciones Industriales del Aire Enriquecido con Oxígeno para la Tostación de Concentrados de Cinc en Lecho Fluidizado". Tsvetn, Metal, 8, 1.962.

71. Vartanyan A.M. "Tostación de Concentrados de Sulfuro de Cinc con una Mezcla Aire-Oxígeno, en Horno de Lecho Fluidizado". Tsvetn, Metal, 35. 1.982.

72. Vian A. Ocón J. "Elementos de Ingeniería Química". 1ª Edición, 1ª Reimpresión. Editorial Aguilar. Madrid 1.969.

73. Ullman "Enciclopedia de la Química Industrial". Tomo VII. Editorial Gustavo Gili. Barcelona 1.950.

74. Wen C.Y. Ind. Eng. Chem., 60, 34. 1.968.

75. Zarraluqui Martinez J. "Los Almadenes del Azogue". Editado en 1.924.

76. Zenz F.A, y Othemer D.F. "Fluidization And Fluid-Particle Systems". Reinolds Publishing Corporation. New York 1.960.

BIBLIOTECA VIRTUAL
MIGUEL DE CERVANTES

APENDICE I

FOTOCOPIA DEL ABSTRACT OBTENIDO EN LA BÚSQUEDA RETROSPECTIVA REALIZADA EN EL INSTITUTO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA REALIZADA EL DIA 22 DE JULIO DE 1.983.

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

94050853 Chemabs No. 08 report

Study of sublimation of mercury and the carrying away of dust from a vibrating layer of concentrate.

Abramov, A. S.; Chelokhsaev, L. S.; Isakov, R. A.; Kudinov, B. V.; Esenbaev, M. T.; Khrapunov, V. E.

Inst. Metall. Obogashchen. Alma-Ata USSR

Document type: TECHNICAL REPORT; Deposited Doc.; (79) P 15 pp.; No.VINITI 3844.; In Russ; Avail.: VINITI; Coden: D8DEP;

Sections: 054002

Registry No.: 7439-97-6 properties <sublimation of, in roasting of antimony mercury ores on vibrating fluidized bed>

Mol. Formula: Hg

Terms: antimony mercury ore roasting fluidized

CT: ANTIMONY ORES, mercury-,<roasting of, on vibrating fluidized bed, mercury sublimation and dust carry out in>/DUST,<in roasting of antimony mercury ores in vibrating fluidized bed, carry out of>/MERCURY ORES, antimony-,<roasting of, on vibrating fluidized bed, mercury sublimation and dust carry out in>

83196607 Chemabs No. 24 journal

Mercury leaching in roasting of polydispersed ores in a fluidized bed

Konstantinovskii, V. K.; Mikhailov, V. K.

USSR

From: Ref. Zh., Metall. 1975, Abstr. No. 3G368.

Nauch. tr. NII tsvet. met.; (74) P 152-9; No 37; In Russ; Coden: D3JOU;

Sections: 054002

Registry No.: 7439-97-6 preparation <by leaching, of polydispersed ores after roasting in fluidized bed>

Mol. Formula: Hg

Terms: mercury leaching roasted ore / fluidized roasting mercury ore

77023279 Chemabs No. 04 journal

Mineralogical-technological features of mercury-antimony concentrates and their reprocessing products

Bogdasarov, A. A.; Remiz, V. A.

USSR

Tsvet. Metal.; (72) P 21-3; Vol 45; No 4; In Russ; Coden: TVMTA;

Sections: 054002

Terms: antimony mercury concentrate roasting

CT: ANTIMONY ORES, <roasting of mercury, in fluidized beds>/MERCURY ORES,<roasting of antimony, in fluidized beds>

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

76027296 Chemabs No. 06 conference

Theory on distillation-oxidation roasting of sulfide minerals (during roasting of mercury-antimony concentrates)

Til'ga, V. A.

USSR

From: Ref. Zh., Met. 1971, Abstr. No. 7G382.

Document type: CONFERENCE; Sb. Tr. Vses. Mezhvuz. Nauch. Konf. Teor. Protsessov Tsvet. Met.; (71) P 145-56; In Russ; Coden: D8MMY; Sections: 054

Registry No.: 7439-97-6 preparation <from antimony mercury concentrates, by distillation roasting in fluidized beds> 7440-36-0 preparation< from antimony mercury concentrates by roasting in fluidized beds>

Mol. Formula: Hg; Sb

Terms: antimony mercury sulfide distillation roasting

76006231 Chemabs No. 02 journal

Mineral formation during the service of a silicon carbide refractory in a fluidized bed furnace at the Nikitovka mercury combine

Prokudin, V. Yu.; Gaodu, A. N.; Shapiro, Ya. Z.; Dergaputskaya, L. A.; Mikhailov, V. K.; Konstantinovskii, V. K.; Nagnii, V. A.; Lysenko, V. Z.; Chepizhenko, V. P.

Ukr. Nauchno-Issled. Inst. Ogneuporov Kharkov

Ogneupory; (71) P 23-7; Vol 36; No 10; In Russ; Coden: OGNPA;

Sections: 057

Registry No.: 409-21-2 uses and miscellaneous <linings, refractory, for mercury furnaces>; 7439-97-6 preparation <furnaces for, fluidized bed, silicon carbide linings for>

Mol. Formula: CSi; Hg

Terms: mercury ore roasting furnace / silicon carbide furnace lining / fluidized bed ore roasting

CT: LININGS, <silicon carbide, refractory, for mercury furnaces>

73006325 Chemabs No. 02 journal

Experimental-industrial testing of the fluidized-bed roasting of mercury ores

Mikhailov, V. K.; Yushchenko, A. I.; Konstantinovskii, V. K.; Lysenko, V. Z.; Chepizhenko, V. P.

USSR

Sb. Nauch. Tr., Gos. Nauch.-Issled. Inst. Tsvet. Metal.; (69) P 69-79; Vol No. 30,;In Russ; Coden: SGTMA;

Sections: 054

Registry No.: 7439-97-6 preparation <from sulfide ores, by roasting influidized beds>

Mol. Formula: Hg

Terms: roasting Hg ores / fluidized bed roasting Hg ores / mercury ores roasting

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

72124141 Chemabs No. 24 journal

Combustion of gas in burners with premixing for fluidized-bed furnaces of the mercury industry

Kravchenkov, V. A.; Mikhailov, V. K.; Ionin, A. A.

USSR

Sb. Nauch. Tr., Gos. Nauch.-Issled. Inst. Tsvet. Metal.; (69) P 94-100; Vol No. 30,;In Russ; Coden: SGTMA;

Sections: 054

Registry No.: 7439-97-6 preparation <from ores, by roasting in fluidized beds with lateral gas infets>

Mol. Formula: Hg

Terms: mercury ores treatment / gas combustion Hg furnaces / fluidized bed reduction Hg

CT: FLUIDIZED BEDS, <for mercury ore roasting, with lateral gas inlets>

72114082 Chemabs No. 22 journal

Heating of a polydisperse material in a fluidized-bed turnace with lateral blast and bottom discharge

Konstantinovskii, V. K.; Mikhailov, V. K.

USSR

Sb. Nauch. Tr. Gos. Nauch.-Issled. Inst. Tsvet. Metal.; (69) p 79-94; Vol No. 30,; In Russ; Coden: SGTMA;

Sections: 054

Terms: mercury ore roasting / roasting Hg ores / fluidized bed furnaces / shaft fluidized bed furnaces

CT: FLUIDIZED BEDS, <for ore roasting, with lateral blast and bottom discharge>/ MERCURY ORES,<roasting of, in fluidized beds with lateral blast and bottom discharge>

70089871 Chemabs No. 20 journal

Combustion apparatus for roasting mercury ores in a fluidized bed furnace

Kravchenko, V. A.; Ornatskii, E. A.; Mamistov, V. V.

USSR

Gazov. Prom.; (69) P 26-8; Vol 14; No 2; In Russ; Coden: GZVPA;

Sections: 054

Terms: mercury ores roasting / roasting Hg ores / fluidized bed roasting Hg

CT: FURNACES,<fluidized bed, for mercury ores>/MERCURY ORES, <roasting of, fluidized bed furnace with combustion apparatus for>

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

42-1425 METADEX 81033028 Issue 8110

Mercury Ores Roasting in a Fluidized Bed.

Kapitonovo, R. V.; Kravchenko, V. A.; Nechitailo, I. A.; Rozhnov, N. I.

Tsvetn. Metall. Nauchno-Tekh. Sb. 1-15 June 1980; (11); 18-19; in Russian

Modifications to a fluidized bed furnace for roasting Hg ores leading to an increase in the bed height, and decreased Hg losses and hydraulic resistance are described.--M.T.

Category: 42

Controlled Terms: Extraction / Fluidized bed roasting / Mercury (metal) / Ores

42-0868 METADEX 81021362 Issue 8107

Behavior of Minor Elements in the Roasting of Zinc Concentrate.

Yazawa, A.

Australia/Japan Extractive Metallurgy Symposium; Sydney, Australia; 16-18 July 1980; Australasian Institute of Mining and Metallurgy; Clunies Ross Houser 191 Royal Parade, Parkville, Victoria, Australia 3052; 1980; 8107-72 0275; 199-210; in English

Behavior of minor elements in the dust collecting system connected with fluidized bed roaster for Zn concentrate was investigated. Some volatile elements such as Pb, Cd and arsenic tend to concentrate in the fine calcine obtained in hot electrostatic precipitator, especially when roasting with insufficient air supply. Interest was focused on the behavior of Hg in the dust collecting--gas cleaning system. In the gas stream considerable part of Hg exists in the elemental state which is rather difficult to precipitate in the dust collecting system. Under suitable conditions, however formation of compounds from Hg vapor is possible, and it was confirmed that Se serves as a good compound former. 8 refs.--AA

Category: 42

Controlled Terms:, Dust control / Extraction / Fluidized bed reduction / Impurities / Mercury (metal) / Reactions (chemical) / Selenium / Zinc

APENDICE II

FOTOCOPIA DEL ARTÍCULO "THE USE OF FLUIDIZED BED FURNACES OF ROADSTING MERCURY ORES" DE S.M. MELNIKOV AND V.K. MIKHAILOV Del Central Board Of Rare Earth Metals. Moscow, URSS.

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

The use of «fluidized bed» furnaces of roadsting mercury ores

S. M. MELNIKOV and V. K. MIKHAILOV
Central Board of Rare Earth Metals. Moscow, URSS.

The increase of the output of the industrial equipment is a constant preocupation for the operators and designers. A successful solution of this problem is directly related to the economic efficiency of the operation.

As regards the mercury-producing industry, as well as, perhaps, many other industries as sociated with the treatment of raw materials, the output of the machinery acquires nowadays an extreme importance due to an obvious trend toward the depletion of rich mineral raw materials and a systematic decrease of metals contents in ores.

Research and development work carried out in the USRR over the recent years resulted in very positive results in developing a highproductivity process for roasting mercury ores in «fluidized bed» furnaces.

The furnaces of this type, widely used in roasting sulphide concentrates, found no application in the mercury-making industry till recently. This may be accounted for by the fact that in roasting sulphide concentrates the process is autogenous, i. e. on account of the released by the exothermic reactions of oxydizing sulpher. Since the mercury ores were not normally preconcentrated, the question was never raised to use «fluidized bed» furnaces for their roasting.

While developing a commercial process, it was necessary to take into account the fact that a fine crushing of ore could have a negative effect on the economic efficiency because of a high energy consumption. Therefore, the designers had to develop a process intended for roasting ore in lumps of a big size.

This work resulted in finding out optimum conditions for a roasting process, at which the most economic lump size was found to be equal up to 30-40 mm. Such a lump sizo made it possible to limit the ore preparation stage of the roasting operation by crushing ore in big -and medium- size crushers, after which the crushed ore is directed to the furnace without classifying it by lump sizes.

A relatively big size of ore lumps made it necessary to stop our choice at a bottomless furnace.

Long and strenuous efforts of our designers, operators and researchers culminated in developing several types of the «fluidized bed» furnaces, in which we treat mercury ores on a commercial scale.

Schematically one of the modifications of such a furnace is shown in fig. 1, wherein the furnace is represented together with the dust-cleaning system for the exhaust gases.

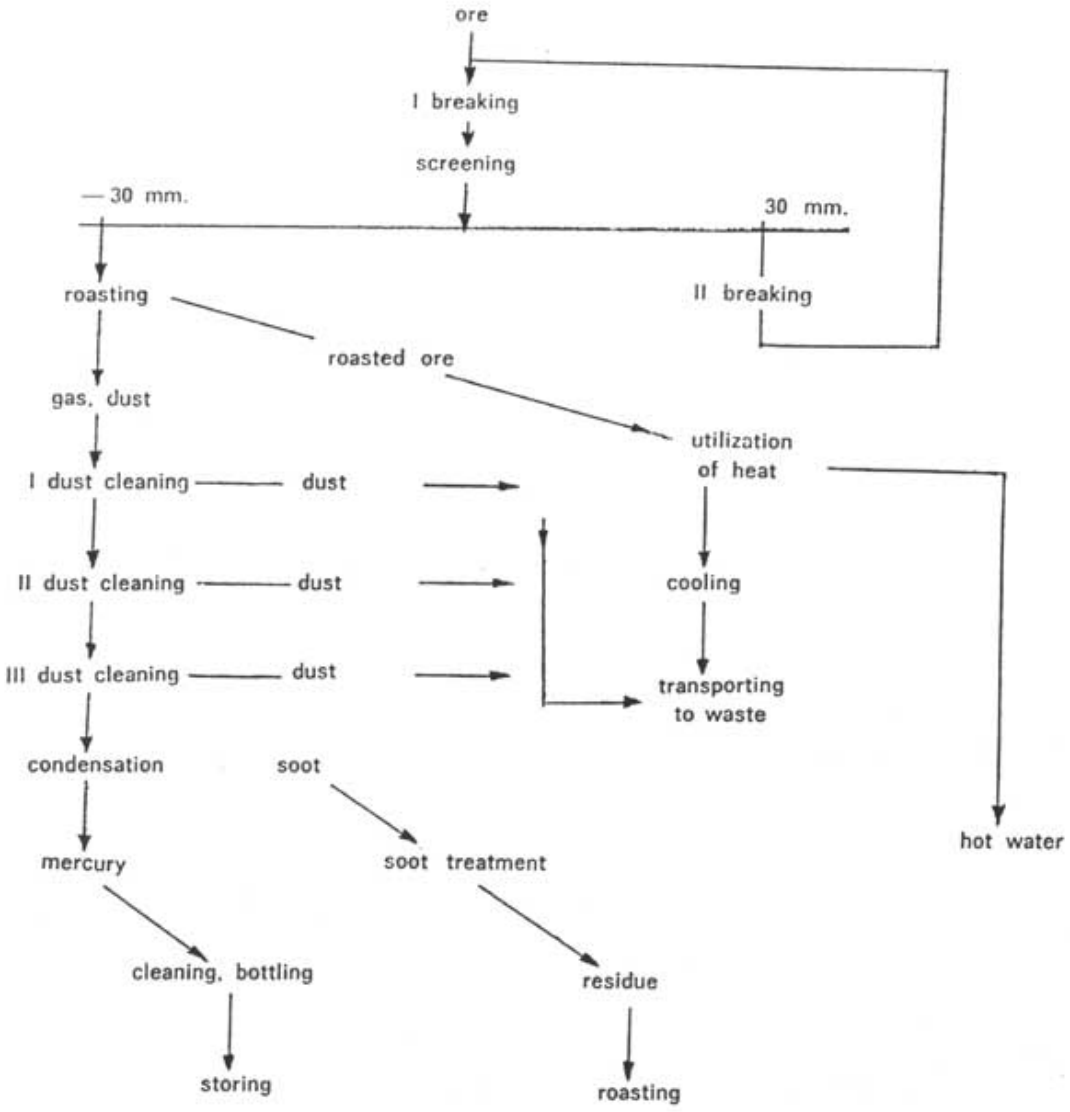
Due to an increased dust content in the exhaust gases (depending on the physical properties of ore the dust content may account for 15-20% of the weight of the material treated) we adopted a more flexible gas cleaning system than the conventional one; in our three-stage process we used single cyclones, groupes of cyclones and an electrical precipitator of a more complicated design.

The furnace comprises the following main elements (from the bottom to the top):

A hopper for the discharge of roasted ore; the lower shaft with tuyero holes, in which burners are installed. The shaft expands to the top and the upper orifice passes into the upper dust chamber.

The furnace is lined with refractories, thermally isolated and enclosed in a shell manufactured of steel sheets. The shell is carefully welded to

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES



assure a complete sealing and reinforced from outside by steel structurals.

In order to feed ore into the furnace, a vertical metallic pipe is provided, passing through the roof of the upper chamber. The pipe is provided with a special sand lock to tighten the fastenings at the roof.

The chamber has openings which are connected with a system of dust catching devices; the exhaust gases entraining suspended ore particles pass through this system.

The big fraction of the roasted ore is delivered from the furnace via the lower hopper, from it moves under gravity to a device provided below for the heat recovery of roasted ore.

The furnace is provided with safety valves to prevent any possible damage as a resuft of eventual break-downs in the functionning of the gas-fired devices.

The furnace is heated by firing natural gas in specially designed burners. Practice showed that their design is reliable, simple in servicing and

BIBLIOTECA VIRTUAL
MIGUEL DE CERVANTES

assures a stable operation at a complete fuel combustion. Prior to igniting gas is mixed with air. The combustion products go out in the shaft of the furnace and form a fluidized bed of ore coming from above. At the interface of the fluidized bed the on-coming flow of ore comes into a contact with the combustion gases, whose temperature declines quickly from 1500-1600 ºC down to 550 ºC in the fluidized bed due to an intensive heat exchange.

As compared to other types of furnaces used in mercury ore roasting, duration of roasting in a «fluidized bed» furnace is very short, which fact testifies to an intensivo heat exchange of the process. It is possible to reach an output of more than 500 tonnes of ore per day por sq.m of the cross-section of the shaft in the tuyeres region. Practice showed a possibility for a stable production of roasted ore with a mercury content ranging from 0.001 to 0.0005%. In this case with a source ore assaying 0.25% mercury the losses due to the roasting do not exceed 0.2-0.4% of the weight of the metal charged into the furnace, i.e. a recovery of mercury into gases is above 99%.

Heat consumption for conducting an active roasting process is up to 250 thou. kcal por tonne of ore, i.e. less as compared to this parameter in the furnaces of other types used in the mercury-making industry.

To the same extent it concerns the specific labour consumption for treating 1 tonne of ore; as compared to the same parameter for the tube furnaces the output is 2.5 times higher. The process and the furnace design are readily adaptable for an automatic control.

The «fluidized bed» furnaces have an undoubted advantage over the mechanical ones in the fact that they have no articulations of moving and stationary components in their design. This factor makes it possible to seal the process equipment better and to prevent accidental escapes of gases into the environment, which fact, of course, contributes to improve sanitary conditions.

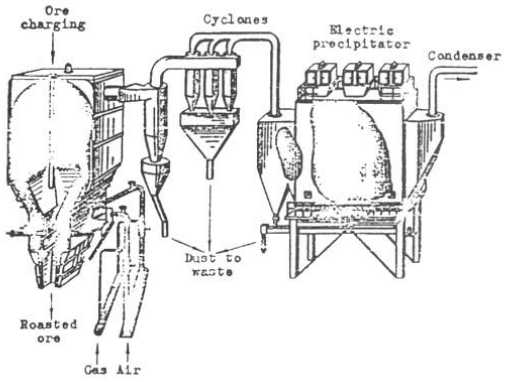
As it might be expected, the «fluidized bed» furnaces have an obvious disadvantage, and namely, the off-gases entrain too much dust. It made necessary to use more sophisticated methods of gas cleaning and to instal an additional cyclone and en electric precipitator, in addition to the conventional dust catching equipment, which resulted in an increased resistance in the gas ducts and, accordingly, in an increased energy consumption for gas transport as compared to the conventional techniques. It is quite natural that en additional energy consumption is due to the use of an electric precipitator. On the whole, taking into account all the factors, energy consumption at the units using «fluidized bed» furnaces is about three times higher than that at the units equiped with tube furnaces operating without electric precipitator. However, the presence of the latter in the series of apparatuses inproves considerably the parameters of mercury recovery from gases and increases a direct output of mercury by condensation.

Practice showed a high profitability of using «fluidized bed» furnaces of the aforesaid design for roasting mercury ores. These furnaces are technically and economically viable and their use is particularly justified when the ore treatment operation is conducted on a sufficiently large scale and, of course, with large mineral reserves available to enable operation during a sufficiently long term. In this case, it may become profitable to treat poor off-grade ores assaying below 0.1% mercury.

Practical work and calculations point out to the fact that roasting mercury ores in a fluidized bed is incomparably more profitable than treating poor ores with a pre-concentration and a roasting of the concentrates.

In this case the main prereqnisite, apart from the sufficient reserves of raw materials, is availability of a cheap fuel.

It is difficult to overestimate the socio-economic importance of the work intended to develop profitable methods for treating poor



mercury ores, since this fact means that mercury industry has good prospects for a considerable expansion of its source of supply with mineral materials, with a provision for a economic use and a retreatment of many millions of tonnes of ores, which were considered until now unprofitable on account of a poor mercury content in them.

You will find in fig. 2 the general technological flow sheet of operation of a unit using a «fluidized bed» furnace for roasting mercury ores.

APENDICE III

TABLAS DE EQUIVALENCIAS MILIVOLTIOS-GRADOS CENTIGRADOS, UTILIZADAS PARA CAMBIAR TEMPERATURAS DE CREUS (13).

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

TABLA 6.5 F.e.m. de los termopares en función de la temperatura en ºC con la unión de referencia a 0ºC

(IPTS 1968)

ºC	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	ºC
						Tipo T						
						Milivoltios						
-270	-6,258											-270
-260	-6,232	-6,236	-6,239	-6,242	-6,245	-6,248	-6,251	-6,253	-6,255	-6,256	-6,258	-260
-250	-6,181	-6,187	-6,193	-6,198	-6,204	-6,209	-6,214	-6,219	-6,224	-6,228	-6.232	-250
-240	-6,105	-6,114	-6,122	-6,130	-6,138	-6,146	-6,153	-6,160	-6,167	-6,174	-6,181	-240
-230	-6,007	-6,018	-6,028	-6,039	-6,049	-6,059	-6,068	-6,078	-6,087	-6,096	-6,105	-230
-220	-5,889	-5,901	-5,914	-5,926	-5,938	-5,950	-5,962	-5,973	-5,985	-5,996	-6,001	-220
-210	-5,753	-5,767	-5,782	-5,795	-5,809	-5,823	-5,836	-5,850	-5,863	-5,876	-5,889	-210
-200	-5,603	-5,619	-5,634	-5,650	-5,665	-5,680	-5,695	-5,710	-5,724	-5,739	-5,753	-200
-190	-5,439	-5,456	-5,473	-5,489	-5,506	-5,522	-5,539	-5,555	-5,571	-5,587	-5,603	-190
-180	-5,261	-5,279	-5,297	-5,315	-5,333	-5,351	-5,369	-5,387	-5,404	-5,421	-5,439	-180
-170	-5,069	-5,089	-5,109	-5,128	-5,147	-5,167	-5,186	-5,205	-5,223	-5,242	-5,261	-170
-160	-4,865	-4,886	-4,907	-4,928	-4,948	-4,969	-4,989	-5,010	-5,030	-5,050	-5,069	-160
-150	-4,648	-4,670	-4,693	-4,715	-4,737	-4,758	-4,780	-4,801	-4,823	-4,844	--4,865	-150
-140	-4,419	-4,442	-4,466	-4,489	-4,512	-4,535	-4,558	-4,581	-4,603	-4,626	-4,648	-140
-130	-4,177	-4,202	-4,226	-4,251	-4,275	-4,299	-4,323	-4,347	-4,371	-4,395	-4,419	-130
-120	-3,923	-3,949	-3,974	-4,000	-4,026	-4,051	-4,077	-4,102	-4,127	-4,152	-4,177	-120
-110	-3,656	-3,684	-3,711	-3,737	-3,764	-3,791	-3,818	-3,844	-3,870	-3,897	-3,923	-110
-100	-3,378	-3,407	-3,435	-3,463	-3,491	-3,519	-3,547	-3,574	-3,602	-3,629	-3,656	-100
-90	-3,089	-3,118	-3,147	-3,177	-3,206	-3,235	-3,264	-3,293	-3,321	-3,350	-3,378	-90
-80	-2,788	-2,818	-2,849	-2,879	-2,909	-2,939	-2,970	-2,999	-3,029	-3,059	-3,089	-80
-70	-2,475	-2,507	-2,539	-2,570	-2,602	-2,633	-2,664	-2,695	-2,726	-2,757	-2,788	-70
-60	-2,152	-2,185	-2,218	-2,250	-2,283	-2,315	-2,348	-2,380	-2,412	-2,444	-2,475	-60
-50	-1,819	-1,853	-1,886	-1,920	-1,953	-1,987	-2,020	-2,053	-2,087	-2,120	-2,152	-50
-40	-1,475	-1,510	-1,544	-1,579	-1,614	-1,648	-1,682	-1,717	-1,751	-1,785	-1,819	-40
-30	-1,121	-1,157	-1,192	-1,228	-1,263	-1,299	-1,334	-1,370	-1,405	-1,440	-1,475	-30
-20	-0,757	-0,794	-0,830	-0,867	-0,903	-0,940	-0,976	-1,013	-1,049	-1,085	-1,121	-20
-10	-0,383	-0,421	-0,458	-0,496	-0,534	-0,571	-0,608	-0,646	-0,683	-0,720	-0,757	-10
0	0,000	-0,039	-0,077	-0,116	-0,154	-0,193	-0,231	-0,269	-0,307	-0,345	-0,383	0
0	0,000	0,039	0,078	0,117	0,156	0,195	0,234	0,273	0,312	0,351	0,391	0
10	0,391	0,430	0,470	0,510	0,549	0,589	0,629	0,669	0,709	0,749	0,789	10
20	0,789	0,830	0,870	0,911	0,951	0,992	1,032	1,073	1,114	1,155	1,196	20
30	1,196	1,237	1,279	1,320	1,361	1,403	1,444	1,486	1,528	1,569	1,611	30
40	1,611	1,653	1,695	1,738	1,780	1,822	1,865	1,907	1,950	1,992	2,035	40
50	2,035	2,078	2,121	2,164	2,207	2,250	2,294	2,337	2,380	2,424	2,467	50
60	2,467	2,511	2,555	2,599	2,643	2,687	2,731	2,775	2,819	2,864	2,908	60
70	2,908	2,953	2,997	3,042	3,087	3,131	3,176	3,221	3,266	3,312	3,357	70
80	3,357	3,402	3,447	3,493	3,538	3,584	3,630	3,676	3,721	3,767	3,813	80
90	3,813	3,859	3,906	3,952	3,998	4,044	4,091	4,137	4,184	4,231	4,277	90
100	4,277	4,324	4,371	4,418	4,465	4,512	4,559	4,607	4,654	4,701	4,749	100
110	4,749	4,796	4,844	4,891	4,939	4,987	5,035	5,083	5,131	5,179	5,227	110
120	5,227	5,275	5,324	5,372	5,420	5,469	5,517	5,566	5,615	5,663	5,712	120
130	5,712	5,761	5,810	5,859	5,908	5,957	6,007	6,056	6,105	6,155	6,204	130
140	6,204	6,254	6,303	6,353	6,403	6,452	6,502	6,552	6,602	6,652	6,702	140
150	6,702	6,753	6,803	6,853	6,903	6,954	7,004	7,055	7,106	7,156	7,207	150
160	7,207	7,258	7,309	7,360	7,411	7,462	7,513	7,564	7,615	7,666	7,718	160
170	7,718	7,769	7,821	7,872	7,924	7,975	8,027	8,079	8,131	8,183	8,235	170
180	8,235	8,287	8,339	2,391	8,443	8,495	8,548	8,600	8,652	8,705	8,757	180
190	8,757	8,810	8,863	8,915	8,965	9,021	9,074	9,127	9,180	9,233	9,286	190
200	9,286	9,339	9,392	9,446	9,499	9,553	9,606	9,659	9,713	9,767	9,820	200
210	9,820	9,874	9,928	9,982	10,036	10,090	10,144	10,198	10,252	10,306	10,360	210
220	10,360	10,414	10,469	10,523	10,578	10,632	10,687	10,741	10,796	10,851	10,905	220
230	10,905	10,960	11,015	11,070	11,125	11,180	11,235	11,290	11,345	11,401	11,456	230
240	11,456	11,511	11,566	11,622	11,677	11,733	11,788	11,844	11,900	11,956	12,011	240
250	12,011	12,067	12,123	12,179	12,235	12,291	12,347	12,403	12,459	12,515	12,572	250
260	12,572	126828	12,684	12,741	12,797	12,854	12,910	12,967	13,024	13,080	13,137	260
270	13,137	13,194	13,251	13,307	13,364	13,421	13,478	13,535	23,592	13,650	13,707	270
280	13,707	13,764	13,821	13,879	13,936	13,993	14,051	14,108	14,166	14,223	14,281	280
290	14,281	14,339	14,396	14,454	14,512	14,570	14,628	14,686	14,744	14,802	14,860	290
300	14,860	14,918	14,976	15,034	15,092	15,151	15,209	15,267	15,326	15,384	15,443	300
310	15,443	15,501	15,560	15,619	15,677	15,736	15,795	15,853	15,912	15,971	16,030	310
320	16,030	16,089	16,148	16,207	16,266	16,325	16,384	16,444	16,503	16,562	16,621	320
330	16,621	16,681	16,740	16,800	16,859	16,919	16,978	17,038	17,097	17,157	17,217	330
340	17,217	17,277	17,336	17,396	17,456	17,516	17,576	17,636	17,696	17,756	17,816	340

BIBLIOTECA VIRTUAL
MIGUEL DE CERVANTES

TABLA 6.5 (Continuación)

(IPTS 1968)

ºC	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	ºC
						Milivoltios						
3,504e +17	17,816 18,420 19,027 19,636 20,252 20,869	17,877 18,480 19,088 19,699 20,314	17,937 18,541 19,149 19,761 20,376	17,997 18,602 19,210 19,822 20,437	18,057 18,662 19,271 19,883 20,499	18,118 18,723 10,332 19,945 20,560	18,178 18,784 19,393 20,006 20,622	18,236 18,845 19,455 20,068 20,684	18,299 18,906 19,516 20,129 20,746	18,359 18,966 19,577 20,191 20,807	18,420 19,027 19,638 20,252 20,869	3,50360e +17
						TIPO J						
-210	-8,096											-210
-200	-7,890	-7,912	-7,934	-7,955	-7,976	-7,996	-8,017	-8,037	-8,067	-8,076	-8,096	-200
-190	-7,659	-7,683	-7,707	-7,731	-7,756	-7.778	-7,801	-7,824	-7,846	-7,868	-7,890	-190
-180	-7,402	-7,429	-7,455	-7,482	-7,506	-7,533	-7,559	-7,584	-7,609	-7,634	-7,659	-180
-170	-7,122	-7,151	-7,180	-7,209	-7,237	-7,265	-7,293	-7,321	-7,348	-7,375	-7,402	-170
-160	-6,821	-6,852	-6,883	-6,914	-6,944	-6,974	-7,004	-7,034	-7,064	-7,093	-7,122	-160
-150	-6,499	-6,532	-6,565	-6,598	-6,630	-6,663	-6,695	-6,727	-6,758	-6,790	-6,821	-150
-140	-6,159	-6,194	-6,228	-6,263	-6,297	-6,331	-6,365	-6,399	-6,433	-6,466	-6,499	-140
-130	-5,801	-5,837	-5,874	-5,910	-5,946	-5,982	-6,018	-6,053	-6,089	-6,124	-6,159	-130
-120	-5,426	-5,464	-5,502	-5,540	-5,578	-5,615	-5,653	-5,690	-5,727	-5,764	-5,801	-120
-110	-5,036	-5,076	-5,115	-5,155	-5,194	-5,233	-5,272	-5,311	-5,349	-5,388	-5,426	-110
-100	-4,632	-4,673	-4,714	-4,755	-4,795	-4,836	-4,876	-4,916	-4,966	-4,996	-5,036	-100
-90	-4,215	-4,257	-4,299	-4,341	-4,383	-4,425	-4,467	-4,506	-4,550	-4,591	-4,633	-90
-80	-3,785	-3,829	-3,872	-3,915	-3,958	-4,001	-4,044	-4,067	-4,130	-4,172	-4,215	-80
-70	-3,344	-3,389	-3,433	-3,478	-3,522	-3,566	-3,610	-3,654	-3,698	-3,742	-3,785	-70
-60	-2,892	-2,938	-2,984	-3,029	-3,074	-3,120	-3,165	-3,210	-3,255	-3,299	-3,344	-60
-50	-2,431	-2,478	-2,524	-2,570	-2,617	-2,663	-2,709	-2,755	-2,801	-2,847	-2,892	-50
-40	-1,960	-2,008	-2,055	-2,102	-2,150	-2,197	-2,244	-2,291	-2,338	-2,384	-2,431	-40
-30	-1,481	-1,530	-1,578	-1,626	-1,674	-1,722	-1,770	-1,818	-1,865	-1,913	-1,960	-30
-20	-0,995	-1,044	-1,093	-1,141	-1,190	-1,239	-1,288	-1,336	-1,385	-1,433	-1,481	-20
-10	-0,501	-0,550	-0,600	-0,650	-0,699	-0,748	-0,798	-0,847	-0,896	-0,845	-0,995	-10
0	-0,000	-0,050	-0,101	-0,151	-0,201	-0,251	-0,301	-0,351	-0,401	-0,451	-0,501	0
0	0,000	0,050	0,101	0,151	0,202	0,253	0,303	0,354	0,405	0,456	0,507	0
10	0,507	0,558	0,609	0,660	0,711	0,762	0,813	0,865	0,916	0,967	1,019	10
20	1,019	1,070	1,122	1,174	1,225	1,277	1,329	1,381	1,432	1,484	1,536	20
30	1,536	1,588	1,640	1,693	1,745	1,797	1,849	1,901	1,954	2,006	2,058	30
40	2,058	2,111	2,163	2,216	2,268	2,321	2,374	2,426	2,479	2,532	2,585	40
50	2,585	2,638	2,691	2,743	2,796	2,849	2,902	2,956	3,009	3,062	3,115	50
60	3,115	3,168	3,221	3,275	3,328	3,381	3,435	3,488	3,542	3,595	3,649	60
70	3,649	3,702	3,756	3,809	3,863	3,917	3,971	4,024	4,078	4,132	4,186	70
80	4,186	4,239	4,293	4,347	4,401	4,455	4,509	4,563	4,617	4,671	4,725	80
90	4,725	4,780	4,834	4,888	4,942	4,996	5,050	5,105	5,159	5,213	5,268	90
100	5,268	5,322	5,376	5,431	5,485	5,540	5,594	5,649	5,703	5,758	5,812	100
110	5,812	5,867	5,921	5,976	6,031	6,085	6,140	6,195	6,249	6,304	6,359	110
120	6,359	6,414	6,468	6,523	6,578	6,633	6,688	6,742	6,797	6,852	6,907	120
130	6,907	6,962	7,017	7,072	7,127	7,182	7,237	7,292	7,347	7,402	7,457	130
140	7,457	7,512	7,567	7,622	7,677	7,732	7,787	7,843	7,898	7,953	8,008	140
150	8,008	8,063	8,118	8,174	8,229	8,284	9,339	8,394	8,450	8,505	8,560	150
160	8,560	8,616	8,671	8,726	8,781	8,837	8,892	8,947	9,003	9,058	9,113	160
170	9,113	9,169	9,224	9,279	9,335	9,390	9,446	9,501	9,556	9,612	9,667	170
180	9,667	9,723	9,778	9,834	9,889	9,944	10,000	10,005	10,111	15,166	10,222	180
190	10,222	10,277	10,333	10,388	10,444	10,499	10,555	10,610	10,666	10,721	10,777	190
200	10,777	10,832	10,888	10,943	10,999	11,054	11,110	11,165	11,221	11,276	11,332	200
210	11,332	11,387	11,443	11,498	11,554	11,609	11,665	11,720	11,776	11,831	11,887	210
220	11,887	11,943	11,998	12,054	12,109	12,165	12,220	12,276	12,331	12,387	12,442	220
230	12,442	12,498	12,553	12,609	12,664	12,720	12,776	12,831	12,887	12,942	12,998	230
240	12,998	13,053	13,109	13,164	13,220	13,275	13,331	13,386	13,442	13,497	13,553	240
250	13,553	13,608	13,664	13,719	13,775	13,830	13,886	13,941	13,997	14,052	14,108	250
260	14,108	14,163	14,219	14,274	14,330	14,385	14,441	14,496	14,552	14,607	14,663	260
270	14,663	14,718	14,774	14,829	14,885	14,940	14,995	15,051	15,106	15,162	15,217	270
280	15,217	15,273	15,328	15,383	15,439	15,494	15,550	15,605	15,661	15,716	15,771	280
290	15,771	15,827	15,882	15,938	15,993	16,048	16,104	16,159	16,214	16,270	16,325	290
300	16,325	16,380	16,436	16,491	16,547	16,602	16,657	16,713	16,768	16,823	16,879	300
310	16,879	16,934	16,989	17,944	17,100	17,155	17,210	17,266	17,321	17,376	17,432	310
320	17,432	17,487	17,542	17,597	17,653	17,708	17,763	17,818	17,874	17,929	17,984	320
330	17,984	18,039	18,095	18,150	18,205	18,260	18,316	18,371	18,426	18,481	18,537	330
340	18,537	18,592	16,647	18,702	18,757	18,813	18,868	18,923	18,978	19,033	19,089	340

TABLA 6,5 (Continuación)

(IPTS 1968)

ºC	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	ºC
						Milivoltios						
4e+17	19,089	19,144	19,199	19,254	19,309	19,364	19,420	19,475	19,530	19,585	19,640	3,5e+
9[1]	19,640	19,095	19,751	19,806	19,861	19,916	19,971	20,026	20,081	20,137	20,192	179
	20,192	20,247	20,302	20,357	20,412	20,467	20,523	20,578	20,633	20,688	20,743	
	20,743	20,798	20,853	20,909	20,964	21,019	21,074	21,129	21,184	21,239	21,295	
	21,295	21,350	21,405	21,460	21,515	21,570	21,625	21,680	21,736	21,791	21,846	
	21,846	21,901	21,956	22,011	22,066	22,122	22,177	22,232	22,287	22,342	22,397	
	22,397	22,453	22,508	22,563	22,618	22,673	22,728	22,784	22,839	22,894	22,949	
	22,949	23,004	23,060	23,115	23,170	23,225	23,280	23,336	23,391	23,446	23,501	
	23,501	23,556	23,612	23,667	23,722	23,777	23,833	23,888	23,943	23,999	24,054	
	24,054	24,109	24,164	24,220	24,275	24,330	24,386	24,441	24,496	24,552	24,607	
	34,607	24,662	24,718	24,773	24,829	24,844	24,939	24,995	25,050	25,106	15,161	
	25,161	25,217	23,272	25,327	25,383	25,438	25,494	25,549	25,605	25,661	25,716	
	25,716	25,772	25,827	25,883	25,938	25,994	26,050	26,105	26,161	26,216	26,272	
	26,272	26,328	26,383	26,439	26,495	26,551	26,606	26,662	26,718	26,774	26,829	
	26,829	26,885	26,941	26,997	27,053	27,109	27,165	27,220	27,276	27,332	27,388	
	27,388	27,444	27,500	27,556	27,612	27,668	27,724	27,780	27,836	27,893	27,949	
	27,949	28,005	28,061	28,117	28,173	28,230	28,286	28,342	28,398	28,455	28,611	
	28,511	28,567	28,624	28,680	28,736	28,793	28,849	28,906	28,962	29,019	29,075	
	29,075	29,132	29,188	29,245	29,301	29,358	29,415	29,471	29,528	29,585	29,642	
	29,642	29,698	29,755	29,812	29,869	29,926	29,983	30,039	30,096	30,153	30,210	
	30,210	30,267	30,324	30,381	30,439	30,496	30,553	30,610	30,667	30,724	30,782	
	30,782	30,839	30,896	30,954	31,011	31,068	31,126	31,183	31,241	31,298	31,356	
	31,356	31,413	31,471	31,528	31,586	31,644	31,702	31,759	31,817	31,875	31,933	
	31,933	31,991	32,048	32,106	32,164	32,222	32,280	32,338	32,396	32,455	32,513	
	32,513	32,571	32,629	32,687	32,746	32,804	32,862	32,921	32,979	33,038	33,096	
	33,096	33,155	33,213	33,272	33,330	33,389	33,448	33,506	33,565	33,624	33,683	
	33,683	33,742	33,800	33,859	33,918	33,977	34,036	34,095	34,155	34,214	34,273	
	34,273	34,332	34,391	34,451	34,510	34,569	34,629	34,688	34,748	34,807	34,867	
	34,867	34,926	34,986	35,046	35,105	35,165	35,225	35,285	35,344	35,404	35,464	
	35,464	35,524	35,584	35,644	35,704	35,764	35,825	35,885	35,945	36,005	35,066	
	36,066	36,126	36,186	36,247	36,307	36,368	36,428	36,489	36,549	36,610	36,671	
	36,671	36,732	36,792	36,853	36,914	36,975	37,036	37,097	37,158	37,219	37,280	
	37,280	37,341	37,402	37,463	37,525	37,586	37,647	37,709	37,770	37,831	31,893	
	37,893	37,954	38,016	38,076	38,139	38,201	38,262	33,324	38,386	38,448	38,510	
	38,510	38,572	38,633	38,695	38,757	38,819	38,882	38,944	39,006	39,068	39,130	
	39,130	39,192	39,255	39,317	39,379	39,442	39,504	39,567	39,629	39,692	39,754	
	39,754	39,817	39,880	39,942	40,005	40,068	40,131	40,193	40,256	40,319	40,382	
	40,382	40,445	40,506	40,571	40,634	40,697	40,760	40,823	40,886	40,950	41,013	
	41,013	41,076	41,139	41,203	41,266	41,329	41,393	41,456	41,520	41,583	41,647	
	41,647	41,710	41,774	41,837	41,901	41,965	42,028	42,092	42,156	42,219	42,283	
	42,283	42,347	42,411	42,475	42,538	42,602	42,666	42,730	42,794	42,858	42,922	
	42,922	42,986	43,050	43,114	43,178	43,242	43,306	43,370	43,436	43,499	43,563	
	43,563	43,627	43,692	43,756	43,820	43,885	43,949	44,014	44,078	44,142	44,207	
	44,207	44,271	44,336	44,400	44,465	44,529	44,594	44,658	44,723	44,788	44,852	
	44,852	44,917	44,981	45,046	45,111	45,175	45,240	45,304	45,369	46,434	45,498	
	45,498	45,563	45,627	45,692	45,757	45,821	45,886	45,950	46,015	46,080	46,144	
	46,144	46,209	46,273	46,338	46,403	46,467	46,532	46,596	46,661	46,725	46,790	
	46,790	46,854	46,919	46,983	47,047	47,112	47,176	47,241	41,305	47,369	47,434	
	47,434	47,498	47,562	47,627	47,691	47,755	47,819	47,884	47,948	48,012	48,016	
	48,076	48,140	48,204	48,269	48,333	48,397	48,461	48,525	48,589	48,653	48,716	
	48,716	48,780	48,844	48,908	48,972	49,036	49,099	49,163	49,227	49,291	49,354	
	49,354	49,418	49,481	49,545	49,608	49,672	49,735	49,799	49,862	49,926	49,989	
	49,989	50,052	50,116	50,179	50,242	50,305	50,369	50,432	50,495	50,558	50,621	
	50,621	50,684	50,747	50,810	50,873	50,936	50,998	51,061	51,124	51,187	51,249	
	51,249	51,312	51,375	31,437	51,500	51,562	51,625	51,687	51,750	51,812	51,875	
	51,875	51,937	51,999	52,061	52,124	52,186	52,248	52,310	52,372	52,434	52,496	
	52,496	52,558	52,620	52,682	52,744	52,806	52,868	52,929	52,991	53,053	53,115	
	53,115	53,176	53,238	53,299	53,361	53,422	53,484	53,545	53,607	53,668	53,729	
	53,729	53,791	53,852	53,913	53,974	54,035	54,096	54,157	54,219	54,280	54,341	
	54,341	54,401	54,462	54,523	54,584	54,645	54,706	54,766	54,827	54,888	54,948	

[1] La temperatura de trabajo máxima recomendada para el termopar tipo J es de 760 ºC (1.400 ºF). La f..e.m. indicada a temperaturas superiores es una extrapolación matemática.

TABLA 6,5 (Continuación)

(IPTS 1968)

ºC	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	ºC
						Milivoltios						
9,510	54,948	55,009	55,070	55,130	55,191	55,251	55,312	55,372	55,432	55,493	55,553	9,509610
e+98	55,553	55,613	55,674	55,734	55,794	55,854	55,914	55,974	56,035	56,095	56,156	e+98
	56,165	56,215	56,275	56,334	56,394	56,454	56,514	56,574	56,634	56,693	56,753	
	56,753	56,813	56,873	56,932	57,051	57,111	57,170	57,230	57,289	57,289	57,349	
	57,349	57,408	57,468	57,527	57,586	57,646	57,706	57,764	57,824	57,883	57,942	
	57,942	58,001	58,060	58,120	58,179	58,238	58,297	58,356	58,415	58,474	58,533	
	58,533	58,592	58,651	58,710	58,769	58,827	58,886	58,945	59,004	59,063	59,121	
	59,121	59,180	59,239	59,298	59,356	59,415	59,474	59,532	59,591	59,650	59,706	
	59,708	59,767	59,825	59,884	59,942	60,001	60,050	60,116	60,176	60,235	60,293	
	60,293	60,351	60,410	60,468	60,527	60,585	60,643	60,702	60,760	60,818	60,876	
	60,876	60,935	60,993	61,051	61,109	61,168	61,266	61,284	61,342	61,400	61,459	
	61,459	61,517	61,575	61,633	61,691	61,749	61,807	61,865	61,923	61,961	62,039	
	62,039	62,097	62,156	62,214	62,272	62,330	62,388	62,446	62,504	65,562	62,519	
	62,619	62,677	62,735	62,793	62,851	62,909	62,967	63,025	63,083	63,141	63,199	
	63,199	63,257	63,314	63,372	63,430	63,488	63,546	63,604	63,662	63,719	63,777	
	63,777	63,835	63,893	63,951	64,009	64,066	64,124	64,182	64,240	64,298	64,356	
	64,355	64,413	64,471	64,529	64,586	64,644	64,702	64,760	64,817	64,875	64,933	
	64,933	64,991	65,048	65,106	65,164	65,222	65,279	65,337	65,395	65,453	65,510	
	65,510	65,568	65,626	65,683	65,741	65,799	65,856	65,914	65,972	66,029	66,087	
	66,087	66,145	66,202	66,260	66,318	66,375	66,433	66,491	66,548	66,606	66,664	
	66,664	66,721	66,779	66,836	66,894	66,952	67,009	67,067	67,124	67,182	67,240	
	67,240	67,297	67,355	67,412	67,470	67,527	67,585	67,643	67,700	67,758	67,815	
	67,815	67,873	67,930	67,988	68,045	68,103	68,160	68,217	68,275	68,332	68,390	
	68,390	68,447	68,505	68,562	68,619	68,677	68,734	68,792	68,849	68,906	68,964	
	68,964	69,021	69,078	69,135	69,103	69,250	69,307	69,364	60,422	69,479	69,536	
	69,536											

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

TIPO K

-270	-6,458											-270
-260	-6,441	-6,444	-6,446	-4,448	-6,450	-6,452	-6,453	-6,455	-6,456	-6,457	-6,458	-260
-250	-6,404	-6,408	-6,413	-6,417	-6,421	-6,425	-6,429	-6,432	-6,435	-6,438	-6,441	-250
-240	-6,344	-6,351	-6,358	-6,364	-6,371	-6,377	-6,382	-6,388	-6,394	-6,399	-6,404	-240
-230	-6,262	-6,271	-6,280	-6,289	-6,297	-6,306	-6,314	-6,322	-6,329	-6,337	-6,344	-230
-220	-6,158	-6,170	-6,181	-6,192	-6,202	-6,213	-6,223	-6,233	-6,243	-6,253	-6,262	-220
-210	-6,035	-6,048	-6,061	-6,074	-6,087	-6,099	-6,111	-6,123	-6,135	-6,147	-6,158	-210
-200	-5,891	-5,907	-5,922	-5,936	-5,951	-5,965	-5,980	-5,994	-6,007	-6,021	-6,035	-200
-190	-5,730	-5,747	-5,763	-5,780	-5,796	-5,813	-5,829	-5,845	-5,860	-5,876	-5,891	-190
-180	-5,550	-5,569	-5,587	-5,606	-5,624	-5,642	-5,660	-5,678	-5,695	-5,712	-5,730	-180
-170	-5,354	-5,374	-5,394	-5,414	-5,434	-5,454	-5,474	-5,493	-5,512	-5,531	-5,550	-170
-160	-5,141	-5,163	-5,185	-5,207	-5,228	-5,249	-5,271	-5,292	-5,313	-5,333	-5,354	-160
-150	-4,912	-4,936	-4,959	-4,983	-5,006	-5,029	-5,051	-5,074	-5,097	-5,119	-5,141	-150
-140	- 4,669	-4,694	-4,719	-4,743	-4,768	-4,792	-4,817	-4,841	-4,865	-4,889	-4,912	-140
-130	-4,410	-4,437	-4,463	-4,489	-4,515	-4,541	-4,567	-4,593	-4,618	-4,644	-4,669	-130
-120	-4,138	-4,166	-4,193	-4,221	-4,248	-4,276	-4,303	-4,330	-4,357	-4384	-4,410	-120
-110	-3,852	-3,881	-3,910	-3,939	-3,968	-3,997	-4,025	-4,053	-4,082	-4,110	-4,138	-110
-100	-3,553	-3,584	-3,614	-3,664	-3,674	-3,704	-3,734	-3,764	-3,793	-3,823	-3,852	-100
-90	-3,242	-3,274	-3,305	-3,337	-3,368	-3,399	-3,430	-3,461	-3,492	-3,523	-3,553	-90
-80	-2,920	-2,953	-2,985	-3,018	-3,050	-3,082	-3,115	-3,147	-3,179	-3,211	-3,242	-80
-70	-2,586	-2,620	-2,654	-2,687	-2,721	-2,754	-2,788	-2,821	-2,854	-2,887	-2,920	-70
-60	-2,243	-2,277	-2,312	-2,347	-2,381	-2,416	-2,450	-2,484	-2,518	-2,552	-2,586	-60
-50	-1,889	-1,925	-1,961	-1,996	-2,032	-2,067	-2,102	-2,137	-2,173	-2,208	-2,243	-50
-40	-1,527	-1,563	-1,600	-1,636	-1,673	-1,709	-1,745	-1,781	-1,817	-1,853	-1,889	-40
-30	-1,156	-1,193	-1,231	-1,268	-1,305	-1,342	-1,379	-1,416	-1,453	-1,490	-1,527	-30
-20	-0,777	-0,816	-0,854	-0,892	-0,930	-0,948	-1,005	-1,043	-1,081	-1,118	-1,156	-20
-10	-0,392	-0,431	-0,469	-0,508	-0,547	-0,585	-0,624	-0,662	-0,701	-0,739	-0,777	-10
0	0,000	-0,039	-0,079	-0,118	-0,157	-0,197	-0,236	-0,275	-0,314	-0,353	-0,392	0
0	0,000	0,039	0,079	0,119	0,158	0,198	0,238	0,277	0,317	0,357	0,397	0
10	0,397	0,437	0,477	0,517	0,567	0,597	0,637	0,677	0,718	0,758	0,798	10
20	0,798	0,838	0,879	0,919	0,960	1,000	1,041	1,081	1,122	1,162	1,203	20
30	1,203	1,244	1,285	1,325	1,366	1,407	1,448	1,489	1,529	1,570	1,611	30
40	1,611	1,652	1,693	1,734	1,776	1,817	1,858	1,899	1,940	1,981	2,022	40

BIBLIOTECA VIRTUAL
MIGUEL DE CERVANTES

TABLA 6,5 (Continuación)

(IPTS 1968)

ºC	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	ºC
						Milivoltios						
5e+19	2,022	2,064	2,105	2,146	2,188	2,229	2,270	2,312	2,353	2,394	2,434	5,061e+
8	2,436	2,477	2,519	2,560	2,601	2,643	2,684	2,726	2,767	2,809	2,850	198
	2,850	2,892	2,933	2,975	3,016	3,058	3,100	3,141	3,183	3,224	3,266	
	3,266	3,307	3,349	3,390	3,432	3,473	3,515	3,556	3,598	3,639	3,681	
	3,681	3,722	3,764	3,805	3,847	3,888	3,930	3,971	4,012	4,054	4,095	
	4,095	4,137	4,178	4,219	4,261	4,302	4,332	4,384	4,426	4,467	4,508	
	4,508	4,549	4,590	4,632	4,673	4,714	4,755	4,796	4,837	4,878	4,919	
	4,919	4,960	5,001	5,042	5,083	5,124	5,164	5,205	5,246	5,287	5,327	
	5,327	5,368	5,409	5,450	5,490	5,531	5,571	5,612	5,652	5,693	5,733	
	5,733	5,774	5,814	5,855	5,895	5,936	5,976	6,016	6,057	6,097	6,137	
	6,137	6,177	6,218	6,258	6,298	6,338	6,378	6,419	6,459	6,499	6,539	
	6,539	6,579	6,619	6,659	6,699	6,739	6,779	6,819	6,859	6,899	6,939	
	6,939	6,979	7,019	7,059	7,099	7,139	7,179	7,219	7,259	7,299	7,338	
	7,338	7,378	7,418	7,458	7,498	7,538	7,578	7,618	7,658	7,697	7,737	
	7,737	7,777	7,817	7,857	7,897	7,937	7,977	8,017	8,057	8,097	8,137	
	8,137	8,177	8,216	8,256	8,296	8,336	8,376	8,416	8,456	8,497	8,537	
	8,537	8,577	8,617	8,657	8,697	8,737	8,777	8,817	8,857	8,898	8,938	
	8,938	8,978	9,018	9,058	9,099	9,139	9,179	9,220	9,260	9,300	9,341	
	9,341	9,381	9,421	9,462	9,502	9,543	9,583	9,624	9,664	9,705	9,745	
	9,745	9,786	9,826	9,867	9,907	9,948	9,989	10,029	10,070	10,111	10,151	
	10,151	10,192	10,233	10,274	10,315	10,355	10,396	10,437	10,478	10,519	10,560	
	10,560	10,600	10,641	10,682	10,723	10,764	10,805	10,846	10,887	10,928	10,969	
	10,969	11,010	11,051	11,093	11,134	11,175	11,216	11,257	11,298	11,339	11,381	
	11,381	11,422	11,463	11,504	11,546	11,587	11,628	11,669	11,711	11,752	11,793	
	11,793	11,835	11,876	11,918	11,959	12,000	12,042	12,083	12,125	12,166	12,207	
	12,207	12,249	12,290	12,332	12,373	12,415	12,456	12,498	12,539	12,581	12,623	
	12,623	12,664	12,706	12,747	12,789	12,831	12,872	12,914	12,955	12,997	13,039	
	13,039	13,080	13,122	13,164	13,205	13,247	13,289	13,331	13,372	13,414	13,456	
	13,456	13,497	13,539	13,581	13,623	13,665	13,706	13,748	13,790	13,832	13,874	
	13,874	13,915	13,957	13,999	14,041	14,083	14,125	14,167	14,208	14,250	14,292	
	14,292	14,334	14,376	14,418	14,460	14,502	14,544	14,586	14,628	14,670	14,712	
	14,712	14,754	14,796	14,838	14,880	14,922	14,964	15,006	15,048	15,090	15,132	
	15,132	15,174	15,216	15,258	15,300	15,342	15,384	15,426	15,468	15,510	15,552	
	15,552	15,594	15,636	15,679	15,721	15,763	15,805	15,847	15,889	15,931	15,974	
	15,974	16,016	16,058	16,100	16,142	16,184	16,227	16,269	16,311	16,353	16,395	
	16,395	16,438	16,480	14,522	16,564	16,607	16,649	16,691	16,733	16,776	16,818	
	16,818	16,860	16,902	16,945	16,987	17,029	17,072	17,114	17,156	17,199	17,241	
	17,241	17,283	17,326	17,368	17,410	17,453	17,495	17,537	17,580	17,622	17,644	
	17,664	17,707	17,749	17,792	17,834	17,876	17,919	17,961	18,004	18,046	18,088	
	18,088	18,131	18,173	18,216	18,258	18,301	18,343	18,385	18,428	18,470	18,513	
	10,513	18,555	18,598	18,640	18,683	18,725	18,768	18,810	18,853	18,895	18,938	
	18,938	18,980	19,023	19,065	19,108	19,150	19,193	19,235	19,278	19,320	19,363	
	19,363	19,405	19,448	19,490	19,533	29,576	19,618	19,641	19,703	19,746	19,788	
	19,788	19,831	19,873	19,916	19,959	20,001	20,044	20,086	20,129	20,172	20,214	
	20,214	20,257	20,299	20,342	20,385	20,427	20,470	20,512	20,555	20,598	20,440	
	20,640	20,683	20,725	20,768	20,811	20,853	20,896	20,938	20,981	21,024	21,066	
	21,066	21,109	21,152	21,194	21,237	21,280	21,322	21,365	21,407	21,450	21,493	
	21,493	21,535	21,578	21,621	21,663	21,706	21,749	21,791	21,834	21,876	21,919	
	21,919	21,962	22,004	22,047	22,090	22,132	22,175	22,218	22,260	22,303	22,346	
	22,346	22,388	22,431	22,473	22,516	22,559	22,601	22,644	22,687	22,729	22,772	
	22,772	22,815	22,857	22,900	22,942	22,985	23,028	23,070	23,113	23,156	23,198	
	23,198	23,241	23,284	23,326	23,369	23,411	23,454	23,497	23,539	23,582	23,624	
	23,624	23,667	23,710	23,752	23,795	23,837	23,880	23,923	23,965	24,008	24,050	
	24,050	24,093	24,136	24,178	24,221	24,263	24,306	24,348	24,391	24,434	24,476	
	24,476	24,519	24,561	24,604	24,646	24,689	24,731	24,774	24,817	24,859	24,902	
	24,902	24,944	24,987	25,029	25,072	25,114	26,157	25,199	25,242	25,284	25,327	
	25,327	25,369	25,412	25,454	25,497	25,539	25,582	25,624	25,666	25,709	25,751	
	25,751	25,794	25,836	25,879	25,921	26,964	26,006	26,048	26,091	26,133	26,176	
	26,176	26,218	26,260	26,303	26,345	26,387	26,430	26,472	26,515	26,557	26,599	
	28,599	26,642	26,684	26,726	26,769	20,811	26,853	26,896	26,938	26,980	27,022	
	27,022	27,065	21,107	27,149	27,192	27,234	27,276	27,318	27,361	27,403	27,445	
	27,445	27,487	27,529	27,572	27,614	27,656	27,698	27,740	27,783	27,825	27,867	
	27,867	27,909	27,951	27,993	28,035	28,078	28,120	22,162	28,204	28,246	28,288	
	28,288	28,330	28,372	28,414	28,456	28,498	28,540	28,583	28,625	28,667	28,709	
	28,709	28,751	28,793	28,835	28,877	28,919	28,961	29,002	29,044	29,086	29,128	
	29,128	29,170	29,212	29,254	29,296	29,338	29,380	29,422	29,464	29,505	29,547	
	29,547	29,589	29,631	29,673	29,715	29,756	29,798	29,840	29,882	29,924	29,965	
	29,965	30,007	30,049	30,091	30,132	30,174	30,216	30,257	30,299	30,341	30,383	

TABLA 6,5 (Continuación)

(IPTS)

ºC	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	ºC
						Milivoltios						

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

7,307e	30,383	30,424	30,466	30,508	30,549	30,591	30,632	30,674	30,716	30,757	30,799	7,3074
+216	30,799	30,840	30,882	30,924	30,965	31,007	31,048	31,090	31,3131	31,173	31,214	e+88
	31,214	31,256	31,297	31,339	31,360	31,422	31,463	31,504	31,546	31,587	31,629	
	31,629	31,670	31,712	31,753	31,794	31,836	31,877	31,918	31,960	32,001	32,042	
	32,042	32084	32,125	32,166	32,207	32,249	32,290	32,331	32,372	32,414	32,454	
	32,455	32,496	32,537	32,578	32,619	32,661	32,702	32,743	32,784	32,825	32,866	
	32,886	32,907	32,948	32,990	33,031	33,072	33,113	33,164	33,195	33,236	33,277	
	33,277	33,318	33,359	33,400	33,441	33,482	33,523	33,564	33,604	33,645	33,686	
	33,686	33,727	33,768	33,809	33,850	33,891	33,931	33,972	34,013	34,054	34,095	
	34,095	.34,136	34,176	34,217	34,258	34,299	34,339	34,380	34,421	34,461	34,502	
	34,502	34,543	34,583	34,624	34,665	34,705	34,746	34,787	34,827	34,868	34,909	
	34,909	34,949	34,990	35,030	35,071	35,111	35,152	35,192	35,233	35,273	35,314	
	35,314	35,354	35,395	35,435	35,476	35,516	35,557	35,597	35,637	35,678	35,718	
	35,718	35,758	35,799	35,830	35,880	35,920	35,960	36,000	36,041	36,081	36,121	
	36,121	36,162	36,202	36,242	36,282	36,323	36,363	36,403	34,443	36,483	36,524	
	36,524	36,564	36,604	34,644	36,684	36,724	36,764	36,804	36,844	36,885	36,925	
	36,925	36,965	37,005	37,045	37,085	37,125	37,165	37,205	37,245	37,285	37,325	
	37,325	37,365	37,405	37,445	37,484	31,524	37,564	37,604	37,644	37,684	37,724	
	37,724	37,764	37,803	37,843	37,883	37,923	37,963	38,002	38,042	38,082	38,122	
	38,122	38,162	38,201	38,241	38,281	38,320	38,360	38,400	38,439	38,479	38,519	
	38,519	38,558	38,598	34,638	38,677	38,717	38,756	38,796	38,836	38,875	38,915	
	38,915	38,954	38,994	39,033	39,073	39,112	39,152	39,191	39,231	39,270	39,310	
	39,310	39,349	39,388	39,428	39,467	39,507	39,546	39,585	39,625	39,664	39,703	
	39,703	39,743	39,782	39,821	39,861	39,900	39,939	39,979	40,018	40,057	40,096	
	40,096	40,136	40,175	40,214	40,253	40,292	40,332	40,371	40,410	40,449	40,488	
	40,488	40,527	40,566	40,605	40,645	40,684	40,723	40,762	40,801	40,840	40,879	
	40,879	40,918	40,957	40,996	41,035	41,074	41,113	41,152	41,191	41,230	41,269	
	41,269	41,306	41,347	41,385	41,424	41,463	41,502	41,541	41,580	41,619	41,657	
	41,657	41,696	41,735	41,774	41,813	41,851	41,890	41,929	41,968	42,006	42,045	
	42,045	42,084	42,123	42,161	42,200	42,239	42,277	42,316	42,355	42,393	42,432	
	42,432	42,470	42,509	42,548	42,586	42,625	42,663	42,702	42,740	42,779	42,817	
	42,817	42,856	42,894	42,933	42,971	43,010	43,048	43,087	43,125	43,164	43,202	
	43,202	43,240	43,279	43,317	43,356	43,394	43,432	43,471	43,509	43,547	43,585	
	43,585	43,624	43,662	43,700	43,739	43,777	43,815	43,853	43,891	43,930	43,968	
	43,968	44,006	44,044	44,082	44,121	44,159	44,197	44,235	44,273	44,311	44,349	
	44,349	44,387	44,425	44,463	44,501	44,539	44,577	44,615	44,653	44,691	44,729	
	44,729	44,767	44,805	44,843	44,881	44,919	44,957	44,995	45,033	45,070	45,108	
	45,108	45,146	45,184	45,222	45,260	45,297	45,335	45,373	45,411	45,448	45,486	
	45,486	45,524	45,561	45,599	45,637	45,675	45,712	45,750	45,787	45,825	45,463	
	45,863	45,900	45,938	45,975	46,013	46,051	46,081	46,126	46,163	46,201	46,238	
	46,236	46,275	46,313	46,350	46,388	46,425	46,463	46,500	46,537	46,575	46,612	
	46,612	46,649	46,687	46,724	46,761	46,799	46,836	46,873	46,910	46,948	46,985	
	46,985	47,022	47,059	47,096	47,134	47,171	47,208	47,245	47,282	47,319	47,356	
	47,356	47,393	47,430	47,468	47,505	47,542	47,579	47,616	47,653	47,689	47,726	
	47,726	47,763	47,800	47,837	47,874	47,911	47,948	47,985	48,021	48,058	48,095	
	48,095	48,132	44,169	48,205	48,242	48,279	48,316	48,352	48,389	48,426	44,462	
	48,462	48,499	48536	48,572	48,609	48,645	48,682	48,718	48,755	48,792	48,828	
	48,828	48,865	48,901	48,937	48,974	49,010	49,047	49,083	49,120	49,156	49,192	
	49,192	49,229	49,265	49,301	49,338	49,374	49,410	49,446	49,483	49,519	49,555	
	49,555	49,591	49,627	49,663	49,700	49,736	49,772	49,808	49,844	49,880	49,916	
	49,916	49,952	49,988	50,024	50,060	50,096	50,132	50,168	50,204	50,240	50,276	
	50,276	50,311	50,347	50,383	50,419	50,455	50,491	50,526	50,562	50,598	50,633	
	50,633	50,669	50,705	50,741	50,776	50,812	50,847	50,883	50,919	50,954	50,990	
	50,990	51,025	51,061	51,096	51,132	51,167	51,203	51,238	51,274	51,309	51,344	
	51,344	51,380	51,415	51,450	51,486	51,521	51,556	51,592	51,627	51,662	51,697	
	51,697	51,733	51,768	51,803	51,838	51,873	51,908	51,943	51,979	52,014	52,049	
	52,049	52,084	52,119	52,154	52,189	52,224	52,259	62,294	52,329	52,364	52,398	
	52,398	52,433	52,468	52,503	52,538	52,573	52,608	52,642	52,677	52,712	52,747	
	52,747	52,781	52,816	52,851	52.886	52,920	52,955	52,989	53,024	53,059	53,093	
	53,093	53,128	53,162	53,197	53,232	53,266	53,301	53,335	53,370	53,404	53,439	
	53,439	53,473	53,507	53,542	53,576	53,611	53,645	53,679	53,714	53,748	53,782	
	53,782	63,817	53,851	53,885	53,920	53,954	53,988	54,022	54,057	54,091	54,125	
	54,125	54,159	54,193	54,228	54,262	54,296	54,330	54,364	54,398	54,432	54,466	
	54.466	54,501	54,535	54,569	54,603	54,637	54,671	54,705	54,739	54,773	54,807	
	54,807	54,841	54,875									

TABLA 6.5 (Continuación)

(IPTS 1968)

ºC	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	ºC

TIPO K

Milivoltios

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

-50	-0,226											-50
-40	-0,188	-0,192	-0,196	-0,200	-0,204	-0,207	-0,211	-0,215	-0,219	-0,223	-0,226	-40
-30	-0,145	-0,150	-0,154	-0,158	-0,163	-0,167	-0,171	-0,175	-0,180	-0,184	-0,188	-30
-20	-0,100	-0,105	-0,109	-0,114	-0,119	-0,123	-0,128	-0,132	-0,137	-0,141	-0,145	-20
-10	-0,051	-0,056	-0,061	-0,066	-0,071	-0,076	-0,081	–0,086	-0,091	-0,095	-0,100	-10
0	0,000	-0,005	-0,011	-0,016	-0,021	-0,026	-0,031	-0,036	-0,041	-0,046	-0,051	0
0	0,000	0,005	0,011	0,016	0,021	0,027	0,032	0,038	0,043	0,049	0,054	0
10	0,054	0,060	0,065	0,071	0'077	0,082	0,088	0,094	0,100	0,105	0,111	10
20	0,111	0,117	0,123	0,129	0,135	0,141	0,147	0,152	0,158	0,165	0,171	20
30	0,171	0,177	0,183	0,189	0,195	0,201	0,207	0,214	0,220	0,226	0,232	30
40	0,232	0,239	0,245	0,251	0,258	0,264	0,271	0,277	0,283	0,290	0,296	40
50	0,296	0,303	0,310	0,316	0,323	0,329	0,336	0,343	0,349	0,356	0,363	50
60	0,363	0,369	0,376	0,383	0,390	0,397	0,403	0,410	0,417	0,424	0,431	60
70	0,431	0,438	0,445	0,452	0,459	0,466	0,473	0,480	0,487	0,494	0,501	70
80	0,501	0,508	0,515	0,523	0,530	0,537	0,544	0,552	0,559	0,566	0,573	80
90	0,573	0,581	0,588	0,595	0,603	0,610	0,617	0,625	0,632	0,640	0,647	90
100	0,647	0,655	0,662	0,670	0,677	0,685	0,692	0,700	0,708	0,715	0,723	100
110	0,723	0,730	0,738	0,746	0,754	0,761	0,769	0,777	0,784	0,792	0,800	110
120	0,800	0,808	0,816	0,824	0,831	0,839	0,847	0,855	0,863	0,871	0,879	120
130	0,879	0,887	0,895	0,903	0,911	0,919	0,927	0,935	0,943	0,951	0,959	130
140	0,959	0,967	0,975	0,983	0,992	1,000	1,008	1,016	1,024	1,032	1,041	140
150	1,041	1,049	1,057	1,065	1,074	1,082	1,090	1,099	1,107	1,115	1,124	150
160	1,124	1,132	1,140	1,149	1,157	1,166	1,174	1,183	1,191	1,200	1,208	160
170	1,208	1,217	1,225	1,234	1,242	1,251	1,259	1,268	1,276	1,285	1,294	170
180	1,294	1,302	1,311	1,319	1,328	1,337	1,345	1,354	1,363	1,372	1,380	180
190	1,380	1,389	1,398	1,407	1,415	1,424	1,433	1,442	1,450	1,459	1,468	190
200	1,468	1,477	1,486	1,495	1,504	1,512	1,521	1,530	1,539	1,548	1,557	200
210	1,557	1,566	1,575	1,584	1,593	1,602	1,611	1,620	1,629	1,638	1,647	210
220	1,647	1,656	1,665	1,674	1,683	1,692	1,702	1,711	1,720	1,729	1,738	220
230	1,738	1,747	1,756	1,766	1,775	1,784	1,793	1,802	1,812	1,821	1,830	230
240	1,830	1,839	1,849	1,858	1,867	1,876	1,886	1,895	1,904	1,914	1,923	240
250	1,923	1,932	1,942	1,951	1,960	1,970	1,979	1,988	1,998	2,007	2,017	250
260	2,017	2,026	2,036	2,045	2,054	2,064	2,073	2,083	2,092	2,102	2,111	260
270	2,111	2,121	2,130	2,140	2,149	2,159	2,169	2,178	2,188	2,197	2,207	270
280	2,207	2,216	2,226	2,236	2,245	2,255	2,264	2,274	2,284	2,293	2,303	280
290	2,303	2,313	2,322	2,332	2,342	2,351	2,361	2,371	2,381	2,390	2,400	390
300	2,400	2,410	2,420	2,429	2,439	2,449	2,459	2,468	2,478	2,488	2,498	300
310	2,498	2,508	2,517	2,527	2,537	2,547	2,557	2,567	2,577	2,586	2,596	310
320	2,596	2,606	2,616	2,626	2,636	2,646	2,656	2,666	2,676	2,685	2,695	320
330	2,695	2,705	2,715	2,725	3,735	2,745	2,755	2,765	2,775	2,785	2,795	330
340	2,795	2,805	2,815	2,825	2,835	2,845	2,855	2,866	2,876	2,886	2,896	340
350	2,896	2,906	2,916	2,926	2,936	2,946	2,956	2,966	2,977	2,987	2,997	350
360	2,997	3,007	3,017	3,027	3,037	3,048	3,058	3,068	3,078	3,088	3,099	360
370	3,099	3,109	3,119	3,129	3,139	3,159	3,169	3,170	3,180	3,191	3,201	370
380	3,201	3,211	3,221	3,232	3,242	3,252	3,263	3,273	3,283	3,293	3,304	380
390	3,304	3,314	3,324	3,335	3,345	3,355	3,366	3,376	3,386	3,397	3,407	390
400	3,407	3,418	3,428	3,438	3,449	3,459	3,470	3,480	3,490	3,501	3,511	400
410	3,511	3,522	3,532	3,543	3,553	3,563	3,574	3,584	3,595	3,605	3,616	410
420	3,616	3,626	3,637	3,647	3,658	3,668	3,679	3,689	3,700	3,710	3,721	420
430	3,721	3,731	3,742	3,752	3,763	3,774	3,784	3,795	3,805	3,816	3,826	430
440	3,826	3,837	3,848	3,858	3,869	3,879	3,890	3,901	3,911	3,922	3,933	440
450	3,933	3,943	3,954	3,964	3,975	3,986	3,996	4,007	4,018	4,028	4,039	450
460	4,039	4,050	4,061	4,071	4,082	4,093	4,103	4,114	4,125	4,136	4,146	460
470	4,146	4,157	4,168	4,178	4,189	4,200	4,211	4,222	4,232	4,243	4,254	470
480	4,254	4,265	4,275	4,286	4,297	4,308	4,319	4,329	4,340	4,351	4,362	480
490	4,362	4,373	4,384	4,394	4,405	4,416	4,427	4,438	4,449	4,460	4,471	490
500	4,471	4,481	4,492	4,503	4,514	4,525	4,536	4,547	4,558	4,569	4,580	500
510	4,580	4,591	4,601	4,612	4,623	4,634	4,645	4,656	4,667	4,678	4,689	510
520	4,689	4,700	4,711	4,722	4,733	4,744	4,755	4,766	4,777	4,788	4,799	520
530	4,799	4,810	4,821	4,832	4,843	4,854	4,865	4,876	4,888	4,899	4,910	530
540	4,910	4,921	4,932	4,943	4,954	4,965	4,976	4,987	4,998	5,009	5,021	540
550	5,021	5,032	5,043	5,054	5,065	5,076	5,087	5,099	5,110	5,121	5,132	550
560	5,132	5,143	5,154	5,166	5,177	5,188	5,199	5,210	5,221	5,233	5,244	560
570	5,244	5,255	5,266	5,278	5,289	5,300	5,311	5,322	5,334	5,345	5,356	570
580	5,356	5,368	5,379	5,390	5,401	5,413	5,424	5,435	5,446	5,458	3,469	580
590	5,469	5,480	5,492	5,503	5,514	5,526	5,537	5,548	5,560	5,571	5,582	590

TABLA 6.5 (Continuación)

(IPTS)

ºC	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	ºC
						Milivoltios						

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

6,01e	5,582	5,594	5,606	5,616	5,628	5,639	5,659	5,662	5,673	5,665	5,696	6,00611
+203	5,696	5,707	5,719	5,730	5,742	5,753	5,764	6,776	6,787	5,799	5,810	e+89
	5,810	5,821	5,833	5,844	5,856	5,867	5,879	5,890	5,902	5,913	5,925	
	5,925	5,936	5,948	5,959	5,971	5,982	5,944	6,005	6,017	6,028	6,040	
	6,040	6,051	6,063	6,074	6,086	6,098	6,109	6,121	6,132	6,144	6,155	
	6,155	6,167	6,179	6,190	6,202	6,213	6,225	6,237	6,248	6,260	6,272	
	6,272	6,283	6,295	6,307	6,318	6,330	6,342	6,353	6,365	6,377	6,388	
	6,388	6,400	6,412	6,423	6,435	6,447	6.458	6,470	6,482	6,494	6,505	
	6,505	6,517	6,529	6,541	6,552	6,564	6,576	6,588	6,599	6,611	6,623	
	6,623	6,635	6,647	6,658	6,670	6,682	6,694	6,706	6,718	6,729	6,741	
	6,741	6,753	6,765	6,777	6,789	6,800	6,812	6,824	6,836	6,848	6,860	
	6,860	6,872	6,884	6,895	6,907	6,919	6,931	9,943	6,955	6,967	6,979	
	6,979	6,991	7,003	7,015	7,027	7,039	7,051	7,063	7,074	7,086	7,098	
	7,098	7,110	7,122	7,134	7,146	7,158	7,170	7,182	7,194	7,206	7,218	
	7,218	7,231	7,243	7,255	7,267	7,279	7,291	7,303	7,315	7,327	7,339	
	7,330	7,351	7,363	7,375	7,387	7,399	7,412	7,424	7,436	7,448	7,460	
	7,460	7,472	7,484	7,496	7,509	7,521	7,533	7,545	7,557	7,569	7,582	
	7,582	7,594	7,606	7,618	7,630	7,642	7,655	7,667	7,679	7,691	7,703	
	7,703	7,716	7,728	7,740	7,752	7,765	7,777	7,789	7,801	7,814	7,826	
	7,826	7,838	7,850	7,863	7,875	7,887	7,900	7,912	7,924	7,937	7,949	
	7,949	7,961	7,973	7,986	7,998	8,010	8,023	8,035	8,047	8,060	8,072	
	8,072	8,085	8,097	8,109	8,122	8,134	8,146	8,159	8,171	8,184	8,196	
	8,196	8,208	8,221	8,233	8,246	8,258	8,271	8,283	8,295	8,308	8,320	
	8,320	8,333	8,345	8,358	8,370	8,383	8,395	8,408	8,420	8,433	8,445	
	8,445	8,458	8,470	8,483	8,495	8,508	8,520	8,533	8,545	8,558	8,570	
	8,570	8,583	8,595	8,608	8,621	8,633	8,646	8,658	8,671	8,683	8,696	
	8,696	8,709	8,721	8,734	8,746	8,759	8,772	8,784	8,797	8,810	8,822	
	8,822	8,835	8,847	8,860	8,873	8,885	8,898	8,911	8,923	8,936	8,949	
	8,949	8,961	8,974	8,987	9,000	9,012	9,025	9,038	9,050	9,063	9,076	
	9,076	9,089	9,101	9,114	9,127	9,140	9,152	9,165	9,178	9,191	9,203	
	9,203	9,216	9,229	9,242	9,254	9,267	9,280	9,293	9,306	9,319	9,331	
	9,331	9,344	9,357	9,370	9,383	9,395	9,408	9,421	9,434	9,447	9,460	
	9,460	9,473	9,485	9,498	9,511	9,524	9,537	9,550	9,563	9,576	9,589	
	9,589	9,602	9,614	9,627	9,640	9,653	9,666	9,679	9,692	9,705	9,718	
	9,718	9,731	9,744	9,757	9,770	9,783	9,796	9,809	9,822	9,835	9,848	
	9,848	9,861	9,874	9,887	9,900	9,913	9,926	9,939	9,952	9,965	9,978	
	9,978	9,991	10,004	10,017	10,030	10,043	10,056	10,069	10,082	10,095	10,109	
	10,109	10,122	10,135	10,148	10,161	10,174	10,187	10,200	10,213	10,227	10,240	
	10,240	10,253	10,266	10,279	10,292	10,305	10,310	10,332	10,345	10,358	10,371	
	10,371	10,384	10,398	10,411	10,424	10,437	10,450	10,464	10,477	10,490	10,503	
	10,503	10,516	10,530	10,543	10,556	10,569	10,583	10,596	10,609	10,622	10,636	
	10,636	10,649	10,662	10,675	10,689	10,702	10,715	10,729	10,742	10,755	10,768	
	10,768	10,782	10,795	10,808	10,822	10,835	10,848	10,862	10,875	10,888	10,902	
	10,902	10,915	10,928	10,942	10,955	10,968	10,982	10,995	11,009	11,022	11,035	
	11,035	11,049	11,062	11,076	11,089	11,102	11,116	11,129	11,143	11,156	11,170	
	11,170	11,183	11,196	11,210	11,223	11,237	11,250	11,264	11,277	11,291	11,304	
	11,304	11,318	11,331	11,345	11,358	11,372	11,385	11,399	11,412	11,426	11,439	
	11,439	11,453	11,466	11,480	11,493	11,507	11,520	11,534	11,547	11,561	11,574	
	11,574	11,588	11,602	11,615	11,629	11,642	11,656	11,669	11,683	11,697	11,710	
	11,710	11,724	11,737	11,751	11,765	11,778	11,792	11,805	11,819	11,833	11,846	
	11,846	11,860	11,874	11,887	11,901	11,914	11,928	11,942	11,955	11,969	11,983	
	11,983	11,996	12,010	12,024	12,037	12,051	12,065	12,078	12,092	12,106	12,119	
	12,119	12,133	12,147	12,161	12,174	12,188	12,202	12,215	12,229	12,243	12,257	
	12,257	12,270	12,284	12,298	12,311	12,325	12,339	12,353	12,366	12,380	12,394	
	12,394	12,408	12,421	12,435	12,449	12,463	12,476	12,490	12,504	12,518	12,532	
	12,532	12,545	12,559	12,573	12,587	12,600	12,614	12,628	12,642	12,656	12,669	
	12,669	12,683	12,697	12,711	12,725	12,739	12,752	12,766	12,780	12,794	12,808	
	12,808	12,822	12,835	12,849	12,863	12,877	12,891	12,905	12,918	12,932	12,946	
	12,946	12,960	12,974	12,988	13,002	13,016	13,029	13,043	13,057	13,071	13,085	
	13,085	13,099	13,113	13,127	13,140	13,154	13,168	13,182	13,196	13,210	13,224	
	13,224	13,238	13,252	13,266	13,280	13,293	13,307	13,321	13,335	13,349	13,363	
	13,363	13,377	13,391	13,405	13,419	13,433	13,447	13,461	13,475	13,489	13,502	
	13,502	13,516	13,530	13,544	13,558	13,572	13,586	13,600	31,614	13,628	13,642	
	13,642	13,656	13,670	13,684	13,698	13,712	13,726	13,740	13,754	13,768	13,782	
	13,782	13,796	13,810	13,824	13,838	13,852	13,866	13,880	13,894	13,908	13,922	
	13,922	13,936	13,950	13,964	13,978	13,992	14,006	14,020	14,034	14,048	14,062	
	14,062	14,076	14,090	14,104	14,118	14,132	14,146	14,160	14,174	14,188	14,202	
	14,202	14,216	14,230	14,244	14,258	14,272	14,286	14,301	14,315	14,329	14,343	

TABLA 6,5 (Continuación)

(IPTS 1968)

ºC	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	ºC
						Milivoltios						
1,28e	14,343	14,357	14,371	14,385	14,399	14,413	14,427	14,441	14,455	14,469	1,483	1,2801
+195	14,483	14,497	14,511	14,525	14,539	14,554	14,568	14,582	14,596	14,610	14,624	e+79
	14,624	14,638	14,652	14,666	14,680	14,694	14,708	14,722	14,737	14,751	4,765	
	14,765	14,779	14,793	14,807	14,821	14,835	14,849	14,863	14,877	1	14,906	
	14,906	14,920	14,934	14,948	14,962	14,976	14,990	15,004	15,018	14,891	15,047	
	15,047	15,061	15,075	15,089	15,103	15,117	15,131	15,145	15,159	15,032	15,188	
	15,188	15,202	15,216	15,230	15,244	15,258	15,272	15,286	15,300	15,173	15,329	
	15,329	15,343	15,357	15,371	15,385	15,399	15,413	15,427	15,442	15´315	15,470	
	15,470	15,484	15,498	15,512	15,526	51,540	15,555	15,569	15,583	15,456	15,611	
	15,611	15,625	15,639	15,653	15,667	15,682	15,696	15,710	15,724	15,597	15,752	
	15,752	15,766	15,780	15,795	15,809	15,823	15,837	15,851	15,865	15,738	15,893	
	15,893	15,908	15,922	15,936	15,950	15,964	15,978	15,992	16,006	15,879	16,035	
	16,035	16,049	16,063	16,077	16,091	16,105	16,119	16,134	16,148	16,021	16,176	
	16,176	16,190	16,204	16,218	16,232	16,247	16,261	16,275	16,289	16,162	16,317	
	16,317	16,331	16,345	16,360	16,374	16,388	16,402	16,416	16,430	16,303	16,458	
	16,458	16,472	16,487	16,501	16,515	16,529	16,543	16,557	16,571	16,444	16,599	
	16,599	16,614	16,628	16,642	16,656	16,670	16,684	16,698	16,712	16,585	16,741	
	16,741	16,755	16,769	16,783	16,797	16,811	16,825	16,839	16,853	16,726	16,882	
	16,882	16,896	16,910	16,924	16,938	16,952	16,966	16,980	16,994	16,867	17,022	
	17,022	17,037	17,051	17,065	17,079	17,093	17,107	17,121	17,135	17,008	17,163	
	17,163	17,177	17,192	17,206	17,220	17,234	17,248	17,262	17,276	17,149	17,304	
	17,304	17,318	17,332	17,346	17,360	17,374	17,388	17,403	17,417	17,290	17,445	
	17,445	17,459	17,473	17,487	17,501	17,515	17,529	17,543	17,557	17,437	17,585	
	17,585	17,599	17,613	17,627	17,641	17,655	17,669	17,684	17,698	17,571	17,726	
	17,726	17,.740	17,754	17,768	17,782	17,796	17,810	17,824	17,838	17,712	17,866	
	17,866	17,880	17,894	17,908	17,922	17,936	17,950	17,964	17,978	17,852	18,006	
	18,006	18,020	18,034	18,048	18,062	18,076	18,090	18,104	18,118	17,992	18,146	
	18,146	18,160	18,174	18,188	18,202	18,216	18,230	18,244	18,258	18,132	18,286	
	18,286	18,299	18,313	18,327	18,341	18,355	18,369	18,383	18,397	18,272	18,425	
	18,425	18,439	18,453	18,467	18,481	18,495	18,509	18,523	18,537	18,411	18,564	
	18,564	18,578	18,592	18,606	18,620	18,634	18,648	18,662	18,676	18,550	18,703	
	18,703	18,717	18,731	18,745	18,759	18,773	18,787	18,801	18,815	18,690	18,842	
	18,842	48,856	18,870	18,884	18,898	18,912	18,926	18,939	18,953	18,828	18,981	
	18,981	18,995	19,009	19,023	19,036	19,050	19,064	19,078	19,092	18,967	19,119	
	19,119	19,133	19,147	19,161	19,175	19,188	19,202	19,216	19,230	19,106	19,257	
	19,257	19,271	19,285	19,299	19,313	19,326	19,340	19,354	19,368	19,244	19,395	
	19,395	19,409	19,423	19,437	19,450	19,464	19,478	19,492	19,505	19,382	19,533	
	19,533	19,547	19,560	19,574	19,588	19,602	19,615	19,629	19,643	19,519	19,670	
	19,670	19,684	19,698	19,711	19,725	19,739	19,752	19,766	19,780	19,656	19,807	
	19,807	19,821	19,834	19,848	19,862	19,875	19,889	19,903	19,916	19,793	19,944	
	19,944	19,957	19,971	19,985	19,998	20,012	20,025	20,039	20,053	19,930	20,080	
	20,080	20,093	20,107	20,120	20,134	20,148	20,161	20,175	20,188	20,066	20,215	
	20,215	20,229	20,242	20,256	20,269	20,283	20,296	20,309	20,323	20,202	20,350	
	20,350	20,363	20,377	20,390	20,403	20,417	20,430	20,443	20,457	20,336	20,483	
	20,483	20,497	20,510	20,523	20,537	20,550	20,563	20,576	20,590	20,470	20,616	
	20,616	20,629	20,642	20,656	20,669	20,682	20,695	20,708	20,721	20,603	20,748	
	20,748	20,761	20,774	20,787	20,800	20,813	20,826	20,839	20,852	20,734	20,878	
	20,878	20,891	20,904	20,916	20,923	20,942	20,955	20,968	20,981	20,865	21,006	
	21,006	21,019	21,032	21,045	21,057	21,070	21,083	21,096	21,108	20,994		

TIPO S

-50	-0,236											-50
-40	-0,194	-0,199	-0,203	-0,207	-0,211	-0,215	-0,220	-0,224	-0,228	-0,232	-0,236	-40
-30	-0,150	-0,155	-0,159	-0,164	-0,168	-0,173	-0,177	-0,181	-0,186	-0,190	-0,194	-30
-20	-0,103	-0,108	-0,112	-0,117	-0,122	-0,127	-0,132	-0136	-0,141	-0,145-	0,150	-20
-10	-0,053	-0,058	-0,063	-0,068	-0,073	-0,078	-0,083	-0,088	-0.093	-0,098	-0,103	-10
0	0,000	-0,005	-0,011	-0,016	-0,021	-0,027	-0,032	-0,037	-0,042	-0,048	-0,053	0
0	0,000	0,005	0,011	0,016	0,022	0,027	0,033	0,038	0,044	0,050	0,055	0
10	0,055	0,061	0,067	0,072	0,078	0,084	0,090	0,095	0,101	0,107	0,113	10
20	0,113	0,119	0,125	0,131	0,137	0,142	0,0148	0,154	0,161	0,167	0,173	20
30	0,173	0,179	0,185	0,191	0,197	0,203	0,210	0,216	0,222	0,228	0,235	30
40	0,235	0,241	0,247	0,254	0,260	0,266	0,273	0,279	0,286	0,292	0,299	40
50	0,299	0,305	0,312	0,318	0,325	0,331	0,338	0,345	0,351	0,358	0,365	50
60	0,365	0,371	0,378	0,385	0,391	0,398	0,405	0,412	0,419	0,425	0,432	60
70	0,432	0,439	0,446	0,453	0,460	0,.467	0,474	0,481	0,488	0,495	0,502	70

BIBLIOTECA VIRTUAL
MIGUEL DE CERVANTES

TABLA.6.5 (Continuación)

(IPTS 1968)

ºC	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	ºC
						Milivoltios						

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

8e+1	0,502	0,509	0,516	0,523	0,530	0,537	0,544	0,551	0,558	0,566	0,573	8,090e
80	0,573	0,580	0,587	0,594	0,602	0,609	0,616	0,623	0,631	0,638	0,645	+198
	0,645	0,653	0,66	0,667	0,675	0,682	0,690	0,697	0,704	0,712	0,719	
	0,719	0,727	0,734	0,742	0,749	0,757	0,764	0,772	0,780	0,787	0,795	
	0,795	0,802	0,810	0,816	0,825	0,833	0,841	0,848	0,856	0,864	0,872	
	0,872	0,879	0,887	0,895	0,903	0,910	0,918	0,926	0,934	0,942	0,950	
	0,950	0,957	0,965	0,973	0,981	0,989	0,997	1,005	1,013	0,021	1,029	
	1,029	1,037	1,045	1,053	1,061	1,069	1,077	1,085	1,093	1,101	1,109	
	1,109	1,117	1,125	1,133	1,141	1,149	1,158	1,166	1,174	1,182	1,190	
	1,190	1,198	1,207	1,215	1,223	1,231	1,240	1,248	1,256	1,264	1,273	
	1,273	1,281	1,289	1,297	1,306	1,314	1,322	1,331	1,339	1,347	1,356	
	1,356	1,364	1,373	1,381	1,389	1,396	1,406	1,415	1,423	1,432	1,440	
	1,440	1,448	1,457	1,465	1,474	1,482	1,491	1,499	1,506	1,516	1,525	
	1,525	1,534	1,542	1,551	1,559	1,568	1,576	1,585	1,594	1,602	1,611	
	1,611	1,620	1,628	1,637	1,645	1,654	1,663	1,671	1,680	1,689	1,698	
	1,698	1,706	1,715	1,724	1,732	1,741	1,750	1,759	1,767	1,776	1,785	
	1,785	1,794	1,802	1,811	1,820	1,829	1,838	1,846	1,855	1,864	1,873	
	1,873	1,882	1,891	1,899	1,908	1,917	1,926	1,935	1,944	1,953	1,962	
	1,962	1,971	1,979	1,988	1,997	2,006	2,015	2,024	2,033	2,042	2,051	
	2,051	2,060	2,069	2,078	2,087	2,096	2,106	2,114	2,123	2,132	2,141	
	2,141	2,150	2,159	2,168	2,177	2,186	2,195	2,204	2,213	2,222	2,232	
	2,232	2,241	2,250	2,259	2,68	2,277	2,286	2,295	2,304	2,314	2,323	
	2,323	2,332	2,341	2,350	2,359	2,368	2,378	2,367	2,396	2,405	2,414	
	2,414	2,424	2,433	2,442	2,451	2,460	2,470	2,479	2,488	2,497	2,506	
	2,506	2,516	2,525	2,534	2,543	2,553	2,562	2,571	2,581	2,590	2,599	
	2,599	2,608	2,618	2,627	2,636	2,646	2,655	2,664	2,674	2,683	2,692	
	2,692	2,702	2,711	2,720	2,730	2,739	2,748	2,758	2,767	2,776	2,786	
	2,786	2,795	2,805	2,814	2,823	2,833	2,842	2,852	2,861	2,870	2,880	
	2,880	2,889	2,899	2,908	2,917	2,927	2,936	2,946	2,955	2,965	2,974	
	2,974	2,984	2,993	3,003	3,012	3,022	3,031	3,041	3,050	3,059	3,069	
	3,069	3,078	3,088	3,097	3,107	3,117	3,126	3,136	3,145	3,155	3,164	
	3,164	3,174	3,183	3,193	3,202	3,212	3,221	3,231	3,241	3,250	3,260	
	3,260	3,269	3,279	3,288	3,298	3,308	3,317	3,327	3,336	3,346	3,356	
	3,356	3,365	3,375	3,384	3,394	3,404	3,413	3,423	3,433	3,442	3,452	
	3,452	3,462	3,471	3,481	3,491	3,500	3,510	3,520	3,529	3,539	3,549	
	3,549	3,558	3,568	3,578	3,587	3,597	3,607	3,616	3,626	3,636	3,645	
	3,645	3,655	3,665	3,675	3,684	3,694	3,704	3,714	3,723	3,733	3,743	
	3,743	3,752	3,762	3,772	3,782	3,791	3,801	3,811	3,821	3,831	3,840	
	3,840	3,850	3,860	3,870	3,879	3,889	3,899	3,909	3,919	3,928	3,938	
	3,938	3,948	3,958	3,968	3,977	3,987	3,997	4,007	4,017	4,027	4,036	
	4,036	4,046	4,056	4,066	4,076	4,086	4,095	4,105	4,115	4,125	4,135	
	4,135	4,145	4,155	4,164	4,174	4,184	4,194	4,204	4,214	4,224	4,234	
	4,234	4,243	4,253	4,263	4,273	4,283	4,293	4,303	4,313	4,323	4,333	
	4,333	4,343	4,352	4,362	4,372	4,382	4,392	4,402	4,412	4,422	4,432	
	4,432	4,442	4,452	4,462	4,472	4,482	4,492	4,502	4,512	4,522	4,532	
	4,532	4,542	4,552	4,562	4,572	4,582	4,592	4,602	4,612	4,622	4,632	
	4,632	4,642	4,652	4,662	4,672	4,682	4,692	4,702	4,712	4,722	4,732	
	4,732	4,742	4,752	4,762	4,772	4,782	4,792	4,802	7,812	4,822	4,832	
	4,832	4,842	4,852	4,862	4,873	4,883	4,893	4,903	4,913	4,923	4,933	
	4,933	4,943	4,953	4,963	4,973	4,984	4,994	5,004	5,014	5,024	5,034	
	5,034	5,044	5,054	5,065	5,075	5,085	5,095	5,105	5,115	5,125	5,136	
	5,136	5,146	5,156	5,166	5,176	5,186	5,197	5,207	5,217	5,227	5,237	
	5,237	5,247	5,258	5,268	5,278	5,288	5,298	5,309	5,319	5,329	5,339	
	5,339	5,350	5,360	5,370	5,380	5,391	5,401	5,411	5,421	5,431	5,442	
	5,442	5,452	5,462	5,473	5,483	5,493	5,503	5,514	5,524	5,534	5,544	
	5,544	5,555	5,565	5,575	5,586	5,596	5,606	5,617	5,627	5,637	5,648	
	5,648	5,658	5,668	5,679	5,689	5,700	5,710	5,720	5,731	5,741	5,751	
	5,751	5,762	5,772	5,782	5,793	5,803	5,814	5,824	5,834	5,845	5,855	
	5,855	5,866	5,876	5,887	5,897	5,907	5,918	5,928	5,939	5,949	5,960	
	5,960	5,970	5,980	5,991	6,001	6,012	6,022	6,033	6,043	6,054	6,064	
	6,064	6,075	6,085	6,096	6,106	6,117	6,127	6,138	6,148	6,159	6,169	
	6,169	6,180	6,190	6,201	6,211	6,222	6,232	6,243	6,253	6,264	6,274	
	6,274	6,285	6,295	6,306	6,316	6,327	6,338	6,348	6,359	6,369	6,380	
	6,380	6,390	6,401	6,412	6,422	6,433	6,443	6,454	6,465	6,475	6,486	
	6,486	6,496	6,507	6,518	6,528	6,539	6,549	6,560	6,571	6,581	6,592	
	6,592	6,603	6,613	6,624	6,635	6,645	6,656	6,667	6,677	6,688	6,699	
	6,699	6,709	6,720	6,731	6,741	6,752	6,763	6,773	6,784	6,795	6,805	

TABLA.6.5 (Continuación)

(IPTS 1968)

ºC	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	ºC
						Milivoltios						

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

7,508e	6,805	6,816	6,827	6,838	6,848	6,853	6,870	6,880	6,891	6,902	6,913	7,51e
+218	6,913	6,923	6,934	6,945	6,956	6,964	6,977	6,988	6,999	7,009	7,020	+246
	7,020	7,031	7,042	7,053	7,063	7,074	7,085	7,096	7,107	7,117	7,128	
	7,128	7,139	7,150	7,161	7,171	7,182	7,193	7,204	7,215	7,225	7,236	
	7,236	7,247	7,258	7,269	7,280	7,291	7,301	7,312	7,323	7,334	7,345	
	7,345	7,356	7,367	7,377	7,388	7,399	7,410	7,421	7,432	7,443	7,454	
	7,454	7,468	7,476	7,486	7,497	7,508	7,519	7,530	7,541	7,552	7,563	
	7,563	7,574	7,585	7,596	7,607	7,618	7,629	7,640	7,651	7,661	7,672	
	7,672	7,683	7,694	7,705	7,716	7,727	7,738	7,749	7,760	7,771	7,782	
	7,782	7,793	7,804	7,815	7,826	7,837	7,848	7,859	7,870	7,881	7,892	
	7,892	7,904	7,915	7,926	7,937	7,948	7,959	7,970	7,981	7,992	8,003	
	8,003	8,014	8,025	8,036	8,047	8,058	8,069	8,081	8,092	8,103	8,114	
	8,114	8,125	8,136	8,147	8,158	8,169	8,180	8,192	8,203	8,214	8,225	
	8,225	8,236	8,247	8,258	8,270	8,281	8,292	8,303	8,314	8,325	8,336	
	8,336	8,348	8,.359	8,370	8,381	8,392	8,404	8,415	8,426	8,437	8,448	
	8,448	8,460	8,471	8,482	8,493	8,504	8,516	8,527	8,538	8,549	8,560	
	8,560	8,572	8,583	8,594	8,605	8,617	8,628	8,639	8,650	8,662	8,673	
	8,673	8,684	8,695	8,707	8,718	8,729	8,741	8,752	8,763	8,774	8,786	
	8,786	8,797	8,808	8,820	8,831	8,842	8,854	8,865	8,876	8,888	8,899	
	8,899	8,910	8,922	8,933	8,944	8,956	8,967	8,978	8,990	9,001	9,012	
	9,012	9,024	9,035	9,047	9,058	9,069	9,081	9,092	9,103	9,115	9,126	
	9,126	9,138	9,149	9,160	9,172	9,183	9,195	9,206	9,217	9,229	9,240	
	9,240	9,252	9,263	9,275	9,286	9,298	9,309	9,320	9,332	9,343	9,355	
	9,355	9,366	9,378	9,389	9,401	9,412	9,424	9,435	9,447	9,458	9,470	
	9,470	9,481	9,493	9,504	9,516	9,527	9,539	9,550	9,562	9,573	9,585	
	9,585	9,596	9,608	9,619	9,631	9,642	9,654	9,665	9,677	9,689	9,700	
	9,700	9,712	9,723	9,735	9,746	9,758	9,770	9,781	9,783	9,804	9,816	
	9,816	9,828	9,839	9,851	9,862	9,874	9,886	9,897	9,909	9,920	9,932	
	9,932	9,944	9,955	9,967	9,979	9,990	10,002	10,013	10,025	10,037	10,048	
	10,048	10,060	10,072	10,083	10,095	10,107	10,118	10,130	10,142	10,154	10,165	
	10,165	10,177	10,189	10,200	10,212	10,224	10,235	10,247	10,259	10,271	10,282	
	10,282	10,294	10,306	10,318	10,329	10,341	10,353	10,364	10,376	10,388	10,400	
	10,400	10,411	10,423	10,435	10,447	10,459	10,470	10,482	10,494	10,506	10,517	
	10,517	10,529	10,541	10,553	10,565	10,576	10,588	10,600	10,612	10,624	10,635	
	10,635	10,647	10,659	10,671	10,683	10,694	10,706	10,718	10,730	10,742	10,754	
	10,754	10,765	10,777	10,789	10,801	10,813	10,825	10,836	10,848	10,860	10,872	
	10,872	10,884	10,896	10,908	10,919	10,931	10,943	10,955	10,967	10,979	10,991	
	10,991	11,003	11,014	11,026	11,038	11,050	11,062	11,074	11,086	11,098	11,110	
	11,110	11,121	11,133	11,145	11,157	11,169	11,181	11,193	11,205	11,217	11,229	
	11,229	11,241	11,252	11,264	11,276	11,288	11,300	11,312	11,324	11,336	11,348	
	11,348	11,360	11,372	11,384	11,396	11,408	11,420	11,432	11,443	11,455	11,467	
	11,467	11,479	11,491	11,503	11,515	11,527	11,539	11,551	11,563	11,575	11,587	
	11,587	11,599	11,611	11,623	11,635	11,647	11,659	11,671	11,683	11,695	11,707	
	11,707	11,719	11,731	11,743	11,755	11,767	11,779	11,791	11,803	11,815	11,827	
	11,827	11,839	11,851	11,863	11,876	11,887	11,899	11,911	11,923	11,935	11,947	
	11,947	11,959	11,971	11,983	11,995	12,007	12,019	12,031	12,043	12,055	12,067	
	12,067	12,079	12,091	12,103	12,116	12,128	12,140	12,152	12,164	12,176	12,188	
	12,188	12,200	12,212	12,224	12,236	12,248	12,260	12,272	12,284	12,296	12,308	
	12,308	12,320	12,332	12,345	12,357	12,369	12,381	12,393	12,405	12,417	12,429	
	12,429	12,441	12,453	12,465	12,477	12,489	12,501	12,514	12,526	12,538	12,550	
	12,550	12,562	12,574	12,586	12,598	12,610	12,622	12,634	12,647	12,659	12,671	
	12,671	12,683	12,695	12,707	12,719	12,731	12,743	12,755	12,767	12,780	12,792	
	12,792	12,804	12,816	12,828	12,840	12,852	12,864	12,876	12,888	12,901	12,913	
	12,913	12,925	12,937	12,949	12,961	12,973	12,985	12,997	13,010	13,022	13,034	
	13,034	13,046	13,058	13,070	13,082	13,094	13,107	13,119	13,131	13,143	13,155	
	13,155	13,167	13,179	13,191	13,203	13,216	13,228	13,240	13,252	13,264	13,276	
	13,276	13,288	13,300	13,313	13,325	13,337	13,349	13,361	13,373	13,385	13,397	
	13,397	13,410	13,422	13,434	13,446	13,458	13,470	13,482	13,495	13,507	13,519	
	13,519	13,531	13,543	13,555	13,567	13,579	13,592	13,604	13,616	13,628	13,640	
	13,640	13,652	13,664	13,677	13,689	13,701	13,713	13,725	13,737	13,749	13,761	
	13,761	13,774	13,786	13,798	13,810	13,822	13,834	13,846	13,859	13,871	13,883	
	13,883	13,895	13,907	13,919	13,931	13,943	13,956	13,968	13,980	13,992	14,002	
	14,004	14,016	14,028	14,040	14,053	14,065	14,077	14,089	14,101	14,113	14,125	
	14,125	14,238	14,150	14,162	14,174	14,186	14,198	14,210	14,222	14,235	14,247	
	14,247	14,259	14,271	14,283	14,295	14,307	14,319	14,332	14,344	14,356	14,368	
	14,368	14,380	14,392	14,404	14,416	14,429	14,441	14,453	14,465	14,477	14,489	
	14,489	14,501	14,513	14,526	14,538	14,550	14,562	14,574	14,586	14,598	14,610	
	14,610	14,622	14,635	14,647	14,659	14,671	14,683	14,695	14,707	14,719	14,731	

TABLA.6.5 (Continuación)

(IPTS 1968)

Milivoltios

ºC	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	ºC
1,43e	14,731	14,744	14,756	14,768	14,780	14,792	14,804	14,816	14,826	14,840	14,852	1,43014
+135	14,845	14,865	14,877	14,889	14,901	14,913	14,925	14,937	14,949	14,961	14,973	e+79
	14,973	14,985	14,998	15,010	15,022	15,034	15,046	15,058	15,070	15,082	15,094	
	15,094	15,106	15,118	15,130	15,143	15,155	15,167	15,179	15,191	15,203	15,215	
	15,215	15,227	15,239	15,251	15,263	15,275	15,287	15,299	15,311	15,324	15,336	
	15,336	15,348	15,360	15,372	15,384	15,396	15,408	15,420	15,432	15,444	15,456	
	15,456	15,468	15,480	15,492	15,504	15,516	15,526	15,540	15,552	15,564	15,576	
	15,576	15,589	15,601	15,613	15,625	15,637	15,649	15,661	15,673	15,685	15,697	
	15,697	15,709	15,721	15,733	15,745	15,757	15,769	15,781	51,793	15,805	15,817	
	15,817	15,829	15,841	15,853	15,865	15,877	15,889	15,901	15,913	15,925	15,937	
	15,937	15,949	15,961	15,973	15,985	15,997	16,009	16,021	16,033	16,045	16,057	
	16,057	16,069	16,080	16,092	16,104	16,116	16,128	16,140	16,152	16,164	16,176	
	16,176	16,188	16,200	16,212	16,224	16,236	16,248	16,260	16,272	16,284	16,296	
	16,296	16,308	16,319	16,331	16,343	16,355	16,367	16,379	16,391	16,403	16,415	
	16,415	16,427	16,439	16,451	16,462	16,474	16,486	16,498	16,510	16,522	16,534	
	16,534	16,546	16,558	16,569	16,581	16,593	16,605	16,617	16,629	16,641	16,653	
	16,653	16,664	16,676	16,688	16,700	16,712	16,724	16,736	16,747	16,759	16,771	
	16,771	16,783	16,795	16,807	16,819	16,830	16,842	16,854	16,866	16,878	16,900	
	16,890	16,901	16,913	16,925	16,937	16,949	16,960	16,972	16,984	16,996	17,008	
	17,008	17,019	17,031	17,043	17,055	17,067	17,078	17,090	17,102	17,114	17,125	
	17,125	17,137	17,149	17,161	17,173	17,184	17,196	17,208	17,220	17,231	17,243	
	17,243	17,255	17,267	17,278	17,290	17,302	17,313	17,325	17,337	17,349	17,360	
	17,360	17,372	17,384	17,396	17,407	17,419	17,431	17,442	17,454	17,466	17,477	
	17,477	17,489	17,501	17,512	17,524	17,536	17,548	17,559	17,571	17,583	17,594	
	17,594	17,606	17,617	17,629	17,641	17,652	17,664	17,676	17,687	17,699	17,711	
	17,711	17,722	17,734	17,745	17,757	17,769	17,780	17,792	17,803	17,815	17,826	
	17,826	17,838	17,850	17,861	17,873	17,884	17,896	17,907	17,919	17,930	17,942	
	17,942	17,953	17,965	17,976	17,988	17,999	18,010	18,022	18,033	18,046	18,056	
	18,056	18,068	18,079	18,090	18,102	18,113	18,124	18,136	18,147	18,158	18,170	
	18,170	18,181	18,192	18,204	18,215	18,226	18,237	18,249	18,260	18,271	18,282	
	18,282	18,293	18,305	18,316	18,327	18,336	18,349	18,360	18,372	18,383	18,394	
	18,394	18,405	18,416	18,427	18,436	18,449	18,460	18,471	18,482	18,493	18,504	
	18,504	18,515	18,526	18,536	18,547	18,558	18,569	18,580	18,591	18,602	18,612	
	18,612	18,623	18,634	18,645	18,655	18,666	18,677	18,687	18,698			

BIBLIOTECA CERVANTES

APÉNDICE IV

RESÚMENES DE LAS ECUACIONES CORRESPONDIENTES A LOS ENSAYOS REALIZADOS EN RÉGIMEN ESTÁTICO

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

RESUMEN DE REGRESIONES LINEALES ESTIMACIÓN PARCIAL MODELO DE PRUEBA 27-7-84

ECUACIÓN	V. INDEP	DETERM.ZZ	P.C.R.MIN	P.C.R.MAX	S	EM	R2	I	J	F(I,J)	K	L	DW(K,L)	KO
EC-1	L(TIÑP3)	.36D+05	-.22D+03	.10D+04	.70	.61D-02	.39	4	82	13.	87	5	1.4	.22
EC-2	L(TIÑP3)	.16D+05	-.20D+03	.96D+03	.70	-.16D-01	.38	3	83	13.	87	5	1.4	.22
EC-3	L(TIÑP3)	.34D+06	-.22D+03	.10D+04	.74	-.96	.31	2	84	6.1	87	3	1.3	.29
EC-4	L(TIñp3)	.40D+05	-.32D+03	.13D+04	.83	-.48D-03	.13	2	84	61	87	3	13	29
EC-5	L(TI)	.50D-02	-.10D+03	32.	.68	-42D-01	.24	5	81	5.1	87	6	1.5	.21
EC-6	L(TI)	.12	-.11D+03	33.	.69	-.11	.20	4	82	5.2	87	5	1.4	.24
EC-7	L(TI)	.38D+05	-97.	34.	.71	-.75D-01	.15	3	83	4.8	87	4	1.3	28
EC-8	L(TI)	30	-.12D+03	34	71	-76	15	3	83	48	87	4	13	28

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

RESUMEN DE REGRESIONES LINEALES ESTIMACIÓN PARCIAL MODELO DE PRUEBA 27-7-84

ECUACIÓN	V. INDEP.	VARIABLES DEPENDIENTES COEFICIENTES VALORES DE T.					
EC-1	L(TIÑP3)	UNO	L(DP)	L(TK)	L(LEY)	L(1-XB)	
		42.	-.35D-01	-.46	-9.4	-.88	
		3.3	-50.	-.99	-2.8	-5.6	
EC-2	L(TIÑP3)	UNO	L(DP)	L(LEY)	L(1-XB)		
		42.	-.32D-01	-10.	-.82		
		3.4		-3.2	-5.7		
EC-3	L(TIP3)	UNO	L(DP)	L(1-XB)			
		2.1	-.15	-.69			
		11.	-2.5	-4.7			
EC-4	L(TIÑP3)	UNO	L(DP)	L(TK)			
		1.1	-.23	.27			
		.33	-3.4	.57			
EC-5	L(TI)	UNO	L(DP)	1ÑTK	L(LEY)	L(1-XB)	L(P3)
		37.	-.13D-01	.64D+03	-6.8	1.8	-4.2
		2.9	-1.3	1.6	-2.0	1.6	-1.9
EC-6	L(TI)	UNO	L(DP)	1ÑTK	L(1-XB)	L(P3)	
		12.	-.78D-01	.90D+03	2.5	-5.7	
		3.5	-1.3	2.3	2.4	-2.7	
EC-7	L(TI)	1232	-.10	L(1-XB)	L(P3)		
			-1.7	2.2	-4.6		
				2.0	-2-2		

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

EC-8	L(TI)	UNO	L(DP)	1ÑTK	L(P3)
		3.9	-.12	.76D+03	-.75
		8.7	-2.0	1.9	-2.3

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

RESUMEN DE REGRESIONES LINEALES ESTIMACIÓN PARCIAL MODELO DE PRUEBA 27-7-84

ECUACIÓN	V.INDEP.	DETERM.ZZ	P.C.R.MIN	P.C.R.MAX	S	EM	R2	I	J	F(I,J)	K	L	DW(K,L)	RO
ER-1.EA	L(P2ÑDP)	.40D-03	-.54D+04	.85D+03	2.3	-.28D-01	.16	1	85	16.	87	2	.49	70
ER-32.K	KO	.30D+11	-.71D+05	.38D+05	3.8	-.27	.62	2	84	68.	87	3	.70	.63
ER-33.K	KO	.86D+05	-.27D+06	.17D+05	4.6	.86D-01	.45	3	83	23.	87	4	.59	.68
ER-34.K	KO	.61	-.23D+06	.18D+05	4.6	-.18	.45	2	84	35.	87	3	.59	.69
ER-35.K	KO	.31D+12	-.37D+04	.30D+05	4.7	-.49	.44	2	84	32.	87	3	.60	.68
ER-36.K	KO	.86D+05	-.27D+06	.17D+05	4.6	.86D-01	.45	3	83	23.	87	4	.59	.68
ER-37.K	KO	.88D+04	-.21D+06	.37D+05	3.9	.10	.62	3	83	45.	87	4	.71	.62

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

RESUMEN DE REGRESIONES-LINEALES ESTIMACIÓN PARCIAL MODELO DE PRUEBA 27-7-94

ECUACIÓN	V. INDEP.	VARIABLES DEPENDIENTES COEFICIENTES VALORES DE T			
ER-1.EA	L(P2ÑDP)	UNO 2.4 1.7	1ÑTK -.43D+04 -4.0		
ER-32.K	KO	UNO 16. 7.7	L(DP) -3.3 -11.	TK -13.D-01 -4.9	
ER-33.K	KO	UNO -13. -.65	DP -.87 -7.3	1ÑTK.15D+05 5.7	TK .27D-02 .22
ER-34.K	KO	UNO -8.9 -3.1	DP -.86 -7.4	TK -.17D-01 -5.4	
ER-35.K	KO	UNO 21. 7.7	DP -.82 -7.0	TK -.17D-01 -5.4	
ER-36.K	KO	UNO -13.6 -.65	DP -.87 -7.3	1ÑTK .15D+05 1.7	TK .27D-02 .22
ER-37K	KO	UNO 3.2 .19	L(DP) -3.3 -11.	1ÑTK .55D+04 .77	TK -.51D-02 -.51

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

BIBLIOTECA VIRTUAL
MIGUEL DE CERVANTES

RESUMEN DE REGRESIONES LINEALES ESTIMACIÓN PARCIAL MODELO DE PRUEBA 27-7-84

ECUACIÓN	V.INDEP.	DETERMZZ	P.C.R.MIN	P.C.R.MAX	S	EM	K2	I	J	F(I,,J)	K	L	DW(K,L)	R0
ER-1.EA	L(P2ÑDP)	.40D-03	-.54D+04	.850+03	2.3	-.28D-01	.16	1	85.	16.	87	2	.49	.70
ER-10.K	KO	.40D+03	-.19D+06	.37D+05	3.9	.26	.62	4	82	34.	87	5	.71	.61
ER-11.K	KO.	28D-02	-.26D+06	.35D+05	3.9	.17	.62	3	83	45.	87	4	.72	.62
ER-12.K	KO	.14D+10	-.55D+05	.38D+05	3.9	.17	.62	3	83	45.	87	4.	70	.63
ER-13.K	KO	.18D+04	.17D+06	.37D+05	3.8	.16	.62	3	83	45.	87	4	.71	.62
ER-14.K	KO	.69D+03	-.69D+04	.50D+06	4.3	.19	.52	2	84	46.	87	3	.70	.63
ER-15.K	KO	.40D+05	-.18D+06	.37D+05	3.8	-.14	.62	2	84	69.	87	3	.71	.63
ER-16.K	KO	.13D+05	-.13D+05	.50D+06	4.3	-.85	.51	1	85	87	87	2	67	66
ER-17.K	KO	6.1	-.36D+06	89.	5.4	-.23	.23	1	85	25.	87	2	.86	.56
ER-18K	KO	.26D+03	-.15D+07	.49D+03	5.8	-.12	.11	1	85	10.	87	2	.58	.69

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

RESUMEN DE REGRESIONES LINEALES ESTIMACIÓN PARCIAL MODELO DE PRUEBA 27-7-84

ECUACIÓN	V. INDEP.	VARIABLES DEPENDIENTES COEFICIENTES VALORES DE T				
ER-1.EA	L(P2ÑDP)	UNO 2.4 1.7	1ÑTK -.43D+04 -4.0			
ER-10.K	KO	UNO 25. .34	L(DP) -3.2 -8.7	1ÑTK .53D+04 .74	L(LEY) -5.6 -.31	TK -.51D-02 -.50
ER-11.K	KO	UNO 17. .24	L(DP) -3.2 -8.7	1ÑTK .87D+04 4.5	L(LEY) -5.6 -.31	
ER-12.K	KO	UNO 43. .61	L(DP) -3.2 -8.7	TK -.12D-01 -4.5	L(LEY) -6.8 -.38	
ER-13.K	KO	UNO 99. 1.5	L(DP) -3.2 .8.8	L(TK) -11. -4.6	L(LEY) -5.2 -.29	
ER-14.K	KO	UNO .14D+03 1.9	L(DP) -3.3 -11.	L(LEY) -11. -5.0		
ER-15.K	KO	UNO 80. 5.4	L(DP) -3.3 -9.3	L(TK) -11. -5.0		
ER-16.K	KO	UNO 6.1 12.	L(LEY) -.10D+03 -5.0			

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

ER-17.K	KO	UNO	L(TK)
		76.	-11.
		3.4	-3.2

RESUMEN DE REGRESIONES LINEALES ESTIMACIÓN PARCIAL MODELO DE PRUEBA 27-7-84

ECUACIÓN	V.INDEP.	DETERMZZ	P.C.R.MIN	P.C.R.MAX	S	EM	K2	I	J	F(I,,J)	K	L	DW(K,L)	R0
ER-1.EA	L(P2ÑDP)	.40D-03	-.54D+04	.85D+03	23	-.28D-01	16	1	85	16	87	2	49	70
ER-19.K	KO	.81D+07	-.26D+06	.17D+05	46	25	45	4	82	17	87	5	59	67
ER-20.K	KO	58	-.23D+06	.18D+05	46	11	45	3	83	23	87	4	59	68
ER-21.K	KO	.31D+14	-.40D+04	.26D+05	47	12	44	3	83	22	87	4	61	67
ER-22.K	KO	.19D+08	-.34D+05	.39D+06	52	.86D-01	30	2	84	18	87	3	73	62
ER-23.K	KO	.31D+12	-.37D+04	.30D+05	47	-49	44	2	84	32	87	3	60	68
ER-24.K	KO	.14D+06	-.52D+05	.54D+06	54	-72	24	1	85	27	87	2	59	69
ER-25.K	KO	.16D+05	-.36D+06	89	54	-24	23	1	85	25	87	2	86	56
ER-26.K	KO	.19D+09	-.14D+07	.88D+03	58	-21	11	1	85	10	87	2	58	69

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

RESUMEN DE REGRESIONES LINEALES ESTIMACIÓN PARCIAL MODELO DE PRUEBA 27-7-84

ECUACIÓN	V. INDEP.	VARIABLES DEPENDIENTES COEFICIENTES VALORES DE T				
ER-1.EA	L(P2ÑDP)	UNO	1ÑTK			
		2.4	-.43D+04			
		1.7	-4.0			
ER-19.K	KO	UNO	DP	1ÑTK	LEY	TK
		-9.4	-.85	.14D+05	-.70D-01	.26D-02
		-.27	-5.3	1.6	-.15	.20
ER-20.K	KO	UNO	DP	1ÑTK	LEY	
		-4.5	-.85	.13D+05	-.26	
		-.17	-5.4	4.8	-.55	
ER-21.K	KO	UNO	DP	TK	LEY	
		34.	-.76	-.16D-01	-.26	
		1.5	-5.0	-4.5	-.55	
ER-22.K	KO	UNO	DP	LEY		
		71.	-.46	-1.3		
		3.0	-3.1	-2.8		
ER-23.K	KO	UNO	DP	TK		
		21.	-.82	-.17D-01		
		7.7	-7.0	-5.4		
ER-24.K	KO	UNO	DP			
		6.8	-.68			
		9.0	-5.2			
ER-25.K	KO	UNO	LEY			
		.11D+03	-2.0			
		5.2	-5.0			

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

ER-26.K	KO	UNO	TK
		14.	-.13D-01
		4.5	-3.2

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

RESUMEN DE REGRESIONES LINEALES ESTIMACIÓN PARCIAL MODELO DE PRUEBA 27-7-84

ECUACIÓN	V.INDEP.	DETERMZZ	P.C.R.MIN	P.C.R.MAX	S	EM	K2	I	J	F(I,,J)	K	L	DW(K,L)	R0
ER-1.EA	L(P2ÑDP)	.40D-03	-.54D+04	.85D+03	23	-.28D-01	16	1	85	16	87	2	49	70
ER-27.K	KO	.88D+04	-.21D+06	.37D+05	39	10	62	3	83	45	87	4	71	62
ER-28.K	KO	.61D-01	-.28D+06	.35D+05	38	-.38D-01	62	2	84	68	87	3	72	62
ER-29.K	KO	.30D+11	-.71D+05	.38D+05	38	-27	62	2	84	68	87	3	70	63
ER-30.K	KO	-.30D-02	-.19D+06	.37D+05	38	11	62	3	83	45	87	4	71	62
ER-31.K	KO	.61D-01	-.28D+06	.35D+05	38	-.38D-01	62	2	84	68	87	3	72	62

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

RESUMEN DE REGRESIONES LINEALES ESTIMACIÓN PARCIAL MODELO DE PRUEBA 27-7-84

ECUACIÓN	V. INDEP.	VARIABLES DEPENDIENTES COEFICIENTES VALORES DE T			
ER-1.EA	L(P2ÑDP)	UNO	1ÑTK		
		2.4	-.43D+04		
		1.7	-4.0		
ER-27.K	KO	UNO	L(DP)	1ÑTK	TK
		3.2	-3.3	.55D+04	-.51D-02
		.19	-11.	.77	-.51
ER-28.K	KO	UNO	L(DP)	1ÑTK	
		-5.3	-3.3	.89D+04	
		-2.3	-11.	5.0	
ER-29.K	KO	UNO	L(DP)	TK	
		16.	-3.3	-.13D-01	
		7.7	-11.	-4.9	
ER-30.K	KO	UNO	L(DP)	L(TK)	1ÑTK
		73.	-3.3	-10.	.73D+03
		.55	-11.	-.59	.52D-01
ER-31K	KO	UNO	L(DP)	1ÑTK	
		-5.3	-3.3	.89D+04	
		-2.3	-11.	5.0	

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

RESUMEN DE REGRESIONES LINEALES ESTIMACIÓN PARCIAL MODELO DE PRUEBA 27-7-84

ECUACIÓN	V.INDEP.	DETERMZZ	P.C.R.MIN	P.C.R.MAX	S	EM	K2	I	J	F(I,,J)	K	L	DW(K,L)	R0
ER-1.EA	L(P2ÑDP)	.40D-03	-.54D+04	.85D+03	23	-.28D-01	16	1	85	16	87	2	49	70
ER-1.K	L(KO)	.40D+03	-.25D+04	.50D+03	88	16	86	4	82	.13D+03	87	5	12	34
ER-2.K	L(KO)	.28D-02	-.40D+04	.47D+03	12	28	73	3	83	73	87	4	94	47
ER-3K	L(KO)	.14D+10	-.38D+04	.49D+03	12	27	73	3	83	75	87	4	80	52
ER-4.K	L(KO)	.18D+04	-.39D+04	.45D+03	12	27	73	3	83	73	87	4	86	50
ER-5.K	L(KO)	.69D+03	-.39D+04	.47D+03	12	26	72	2	84	.11D+03	87	3	90	49
ER-6.K	L(KO)	.40D+05	-.35D+04	.52D+03	13	-.90D-02	71	2	84	.10D+03	87	3	82	52
ER-7.K	L(KO)	.13D+05	-.35D+04	.92D+03	13	-10	70	1	85	.20D+03	87	2	89	50
ER-8.K	L(KO)	61	-.24D+04	.44D+04	19	-30	30	1	85	36	87	2	78	56
ER-9.K	L(KO)	.26D+03	-.23D+03	.74D+03	23	-.38D+02	.38D+02	1	85	32	87	2	45	71

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

RESUMEN DE REGRESIONES LINEALES ESTIMACIÓN PARCIAL MODELO DE PRUEBA 27-7-84

ECUACIÓN	V. INDEP.	VARIABLES DEPENDIENTES COEFICIENTES VALORES DE T				
ER-1.EA	L(P2ÑDP)	UNO 2.4 1.7	1ÑTK -.43D+04 -4.0			
ER-1.K	L(KO)	UNO 91.5.4	L(DP) -1.2 -15.	1ÑTK -.14D+05 -8.7	L(LEY) -14. -3.4	TK -.21D-01 -8.9
ER-2.K	L(KO)	UNO 57. 2.5	L(DP) -1.3 -11.	1ÑTK -.25D+03 -.42	L(LEY) -14. -2.5	
ER-3.K	L(KO)	UNO 45. 2.0	L(DP) -1.3 -12.	TK -.12D-02 -1.3	L(LEY) -11. -1.9	
ER-4.K	L(KO)	UNO 52. 2.4	L(DP) -1.3 -11.	L(TK) -.37 -.49	L(LEY) -12. -2.2	
ER-5.K	L(KO)	UNO 54. 2.5	L(DP) -1.3 -11.	L(LEY) -13. -2.5		
ER-6.K	L/KO)	UNO 7.0 1.4	L(DP) -1.5 -14.	L(TK) -.92 -1.3		
ER-7K	L(KO)	UNO .80 5.4	L(DP) -1.4 -14.			
ER-8.K	L(KO)	UNO .17D+03 6.0	L(LEY) -44. -6.0			
ER-9.K	L(KO)	UNO 5.1 .57	L(TK) -.76 -.57			

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

BIBLIOTECA VIRTUAL
MIGUEL DE CERVANTES

RESUMEN DE REGRESIONES LINEALES ESTIMACIÓN PARCIAL MODELO DE PRUEBA 27-7-84

ECUACIÓN	V. INDEP.	VARIABLES DEPENDIENTES COEFICIENTES VALORES DE T					
EC-9	L(Ti)	UNO	1ÑTK	L(LEY)	L(1-XB)	L(P3)	
		38.	.64D+03	-7.1	1.8	-4.3	
		3.5	1.6	-2.4	1.6	-2.0	
EC-10	L(TIÑP3)	UNO	L(YK)	L(LEY)	L(1-XB)		
		45.	-.48	-10.	-.91		
		4.3	-.98	-3.7	-6.1		
ER-2.A	L(P2ÑDP)	UNO	L(TK)	L(LEY)	1ÑTK	L(DP)	
		.33D+03	-36.	-12.	-.34D+05	-1.2	
		10.	-9.5	-3.1	-11.	-15.	
ER-3.A	L(P2ÑDP)	UNO	L(TK)	L(LEY)	1ÑTK	L(DP)	L(1-XB)
		.27D+03	-27.	-16.	-25.D+05	-1.1	-1.2
		9.3	-7.6	-4.8	-8.5	-16.	-6.4
ER-4.A	L(P2ÑDP)	UNO	L(LEY)	1ÑTK	L(DP)	L(1-XB)	
		73.	-19.	-.26D+04	-1.1	-1.8	
		4.3	-4.4	-5.2	-12.	-8.2	

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

RESUMEN DE REGRESIONES LINEALES ESTIMACIÓN PARCIAL MODELO DE PRUEBA 27-7-84

ECUACIÓN	V.INDEP.	DETERMZZ	P.C.R.MIN	P.C.R.MAX	S	EM	R2	I	J	F(I,,J)	K	L	DW(K,L)	R0
EG-1	L(XB)	.77D+05	-.18D+04	.82D+03	11	.94D-01	50	4	82	20	87	5	96	47
EG-2	L(XB)	.18D+04	-.17D+04	.74D+03	11	-27	48	3	83	26	87	4	97	47
EG-3	L(XBÑTI)	.18D+04	-47	53	11	.38D-01	39	3	83	18	87	4	11	41
EG-4	L(XBÑTI)	.40D+05	-44	52	11	-43	38	2	84	26	87	3	11	42
EG-5	L(XB)	12	-.15D+04	.81+03	10	.80D-01	57	4	82	28	87	5	11	42
EG-6	L(XB)	27	-.15D+04	.71D+03	10	.38D-01	55	3	83	34	87	4	11	43
EG-7	L(XBÑTI)	.28D-02	-46	58	10	.31D-01	47	3	83	25	87	4	13	35
EG-8	L(XBÑTI)	.61D-01	-42	52	11	.77D-02	46	2	84	36	87	3	12	37

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

RESUMEN DE REGRESIONES LINEALES ESTIMACIÓN PARCIAL MODELO DE PRUEBA 27-7-84

ECUACIÓN	V. INDEP.	VARIABLES DEPENDIENTES COEFICIENTES VALORES DE T				
EG-1	L(XB)	UNO	L(DP)	L(TK)	L(LEY)	L(TI)
		-2.0	-.22	4.5	-8.0	.68
		-.10	-2.1	6.6	-1.5	3.9
EG-2	L(XB)	UNO	L(DP)	L(TK)	L(TI)	
		-31.	-.30	4.2	.74	
		-7.1	-3.2	6.4	4.4	
EG-3	L(XBÑTI)	UNO	L(DP)	L(TK)	L(LEY)	
		-13.	-.20	4.5	-5.5	
		-.68	-1.8	6.5	-1.0	
EG-4	L(XBÑTI)	UNO	L(DP`)	L(TK)		
		-33.	-.25	4.3		
		-7.7	-2.8	6.6		
EG-5	L(XB)	UNO	L(DP)	1ÑTK	L(LEY)	L(TI)
		40.	-.20	-.42D+04	-9.6	.65+4.1
		2.0	-2.0	-8.1	-1.9	
EG-6	L(XB)	UNO	L(DP)	1ÑTK	L(LEY)	
		1.3	-.29	-.41D+04	-6.8	
		1.5	-3.3	-7.9	-1.4	

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

EG-8	L(XBÑTI)	UNO	L(DP)	1ÑTK
		.32	-.24	-.39D+04
		.50	-2.9	-7.9

APENDICE V

FOTOCOPIA DE LOS LISTADOS DE LAS ECUACIONES SELECCIONADAS.

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

ECUACIÓN EC-9

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

ESTIMACIÓN PARCIAL MODELO DE PRUEBA 27-7-84
MINIMOS CUADRADOS ORDINARIOS

ECUACIÓN EC-9

V EXPLICADAL.....L(TI)
V EXPLICATIVAS.....UNO, 1ÑTK, L(LEY), L(t-XP), t (P3)
**SE HA INVERT1DO UNA MATRIZ SIN LA PRECISIÓN DESEADA
Tmx=20 L=21 D=.50712618d-04 D1=1.0000000 ERS=.100000000-11 N=5

	UNO	1ÑTK	L(LFY)	L(1-XB)	L(P3)
COEF.	37973	64204	-70900	17921	-42956
DESV. TIPO	10818	39701	29846	11134	21626
T	35119	16172	-23576	16096	-19863
CURR. PARC.	35157	17581	-25375	17501	-21426
CONT. INCR.	11439	.24258D-01	.52344D-01	.24031D-01	.36596D-01

V UNIDAD=UNO

S=0.6768

EFECTO DE MULTICOLINEALIDAD=-0.01221

V PESIO.....0.3757D+02
V EXPL.....0.1182D+02
V TOTAL.....0.4939D+02 R2=0.2394

Y	Y AJUSTADA	RESIDUO	POR CIEN	PESÑMCD.DE Y	RESIDUOÑS

1	1.6094	3.2844	-1.6850	-104.69	-.43142	-2.4895
2	2.3026	3.2997	-0.9971	-43.31	-.25531	-1.4732
3	2.7081	3.2955	-0.5875	-21.69	-.15042	-.86708

BIBLIOTECA VIRTUAL
MIGUEL DE CERVANTES

4	2.9957	3.2938	-0.2980	-9.95	-.76312D-01	-.44035
5	3.2189	3.2984	-0.0796	-2.47	-.20368D-01	-.11753
6	4.9263	3.3058	1.5305	31.65	.39187	2.2612
7	4.6363	3.3167	1.5195	31.42	.38906	2.2450
8	2.7081	3.3019	-0.5939	-21.93	-.15206	-.67743
9	3.4012	3.6989	-0.2977	-8.75	-.76231D-01	-.43989
10	3.8067	3.9332	-0.1265	-3.32	-.32390D-01	-.18690
11	4.0943	3.5833	0.5110	12.48	.13085	.75504
12	4.3175	3.4151	3.9024	20.90	.23106	1.3333
13	4.2820	3.3607	1.0219	23.32	.26164	1.5007
14	3.8067	3.8380	-0.0314	-0.82	-.80357D-02	-.46369D-01
15	4.0943	3.4510	0.6433	15.71	.16478	.95048
16	4.0943	3.9108	0.1835	4.48	.46994D-01	.27117
17	4.0943	3.9226	0.1717	4.19	.43973D-01	.25374
18	3.4012	3.6586	-0.2574	-7.57	-.65916D-01	-.38036
19	4.0942	3.8967	0.2081	5.08	.53290D-01	.30751
20	4.4998	3.8643	0.6455	14.35	.16528	.95376
21	4.7875	3.6494	1.1381	23.77	.29140	1.6815
22	4.0943	3.8459	0.2485	6.07	.63623D-01	.36713
23	4.5747	3.7437	0.8313	18.17	.21284	1.2282
24	3.4012	3.7909	-0.3895	-11.45	-.99739D-01	-.57553
25	2.7081	2.8266	-0.1185	-4.38	-.30346D-01	-.17511
26	3.4012	3.4786	-0.0774	-2.28	-.19825D-01	-.11440
27	4.0943	3.8774	0.2169	5.30	.55543D-01	.32050
28	3.4012	4.0205	-0.6193	-18.21	-.15858	-.91505
29	4.0943	3.8300	0.2643	6.46	.67671D-01	.39049
30	2.7031	3.8475	-1.1394	-42.05	-.29174	.1.6834
31	3.4012	3.5889	-0.1977	-5.52	-.48053D-01	-.27729
32	3.8067	3.6591	0.1476	3.88	.37793D-01	.21808
33	2.7081	3.4733	-0.7653	-28.26	-.19593	-1.1006
34	3.4012	3.9100	-0.5088	-14.96	-.13028	-.75178
35	4.0943	3.5305	0.5639	13.77	.14437	.83307
36	2.7081	2.6173	-0.9093	-03.58	-.23281	-1.3434
37	3.4012	4.0097	-0.6085	-17.89	-.16580	-.89904

38	4.0943	4.0196	0.0747	1.83	.19135-01	.11041
39	4.3175	4.0013	0.3162	7.32	.80968D-01	.46722
40	4.3175	3.3857	.9308	21.56	.23833	1.3752
41	2.7081	3.6838	-0.9859	-36.41	-.25244	-1.4506
42	3.4212	3.8332	-0.4320	-12.70	-.11062	-.63831
43	4.0943	3.8506	0.2427	5.95	.62401D-01	.36008
44	2.7031	3.8082	-1.1001	-43.62	-.28168	-1.6254
45	3.4012	3.8425	-0.4413	-1298	-.11300	-.65204
46	4.0943	3.8107	0.2836	6.93	.72612D-01	.41900
47	2.4012	3.7814	-0.3902	-11.47	-.99905D-01	-.57648
48	4.3942	3.9165	0.1777	4034	.45503D-01	.26257
49	4.4998	3.9864	0.5734	12.74	.14682	.84723
50	3.4012	3.3719	-0.4707	-13.84	-.12053	-.69549
51	4.0943	3.9200	0.1743	4.26	.44635D-01	.25756
52	4.4998	3.9244	0.5754	12.79	.14733	.85017
53	3.7081	3.4252	-0.7271	-26.85	-.18617	-10743
54	3.4012	3.9440	-0.5428	-15.96	-.13808	-.80196
55	3.8067	4.3252	-0.5185	-13.62	-.13276	-.76605
56	4.0943	4.2561	-0.1617	-2.95	-.41410D-01	-.23895
57	4.3175	4.3330	-0.0155	-0.36	-.39683D-02	-.22899D-01
58	4.4908	4.2374	0.2624	5.83	.67176D-01	.38763
59	4.7875	4.3807	0.4668	9.75	.11952	.68965
60	5.1930	4.2431	0.8499	16.37	.21760	1.2556
61	6.0403	4.3137	1.7270	28.59	.44219	2.5516
62	4.0943	4.3148	-0.2205	-5.38	-.56450D-01	-.32574
63	4.4998	4.4289	0.0709	1.58	.18153D-01	.10475
64	4.7875	4.3865	0.3910	8.17	.10010	.57761
65	4.0942	4.3050	-0.3007	-7.34	-.76978D-01	-.44420
66	4.4890	4.4375	0.0624	1.39	.15966D-01	.92131D-01
67	4.7875	4.4770	0.3105	6.48	.79488D-01	.45868
68	3.4012	4.3367	-0.9355	-27.51	-.23953	-1.3822
69	4.0943	4.2412	-0.1469	-3.59	-.37612D-01	-.21703
70	4.4998	4.2265	0.2734	6.07	.69989D-01	.40386
71	3.4012	4.2781	-0.8769	-25.78	-.22453	-1.2956
72	4.0943	4.3154	-0.2210	-5.40	-.56597D-01	-.32659
73	4.4998	4.3215	0.1783	3.96	.45642D-01	.26338
74	5.4306	4.2412	1.2394	22.61	.31733	1.8311

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

75	5.4806	3.9819	1.4987	27.35	.38373	2.2143
76	3.4012	3.6683	-0.2671	-7.85	-.68386D-01	-.39461
77	4.0943	4.4829	-0.3286	-8.03	-.84132D-01	-.48548
78	4.4998	4.4083	0.0915	2.03	.23428D-01	.13519
79	3.4012	4.1701	-0.7689	-22.61	-.19686	-1.1359
80	4.0943	4.1954	-0.1010	-2.47	-.25870D-01	-.14928
81	4.5326	4.1781	0.3545	7.82	.90777D-01	.52382
82	3.4012	4.3113	-0.9101	-26.76	-.23302	-1.3446
83	4.0943	4.2727	-0.1783	-4.36	-.45657D-01	-.26346
84	4.4998	4.2746	0.2253	5.01	.57675D-01	.33281
85	3.4012	4.2847	-0.8935	-26.27	-.22878	-1.3201
86	4.0943	4.2737	-0.1794	-4.38	-.45921D-01	-.26498
87	4.4998	4.2075	0.2923	6.50	.74844D-01	.43188

VALOR MEDIO DE Y= 3.9057
SÑVALOR MEDIO DE Y = .17330
VALOR MEDIO DEL RESIDUO= .51477
r2=0.2394

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

TEST DE DURBIN Y WATSON.....D=1.4747
NÚMERO DE OBSERVACIONES.....N=87

SUMA RESIDUOS= 0.96050-08
COEF. AUTORG.= 0.2132951
DETERMINANTE DE LA MATRIZ ZZ= .50712618D-04

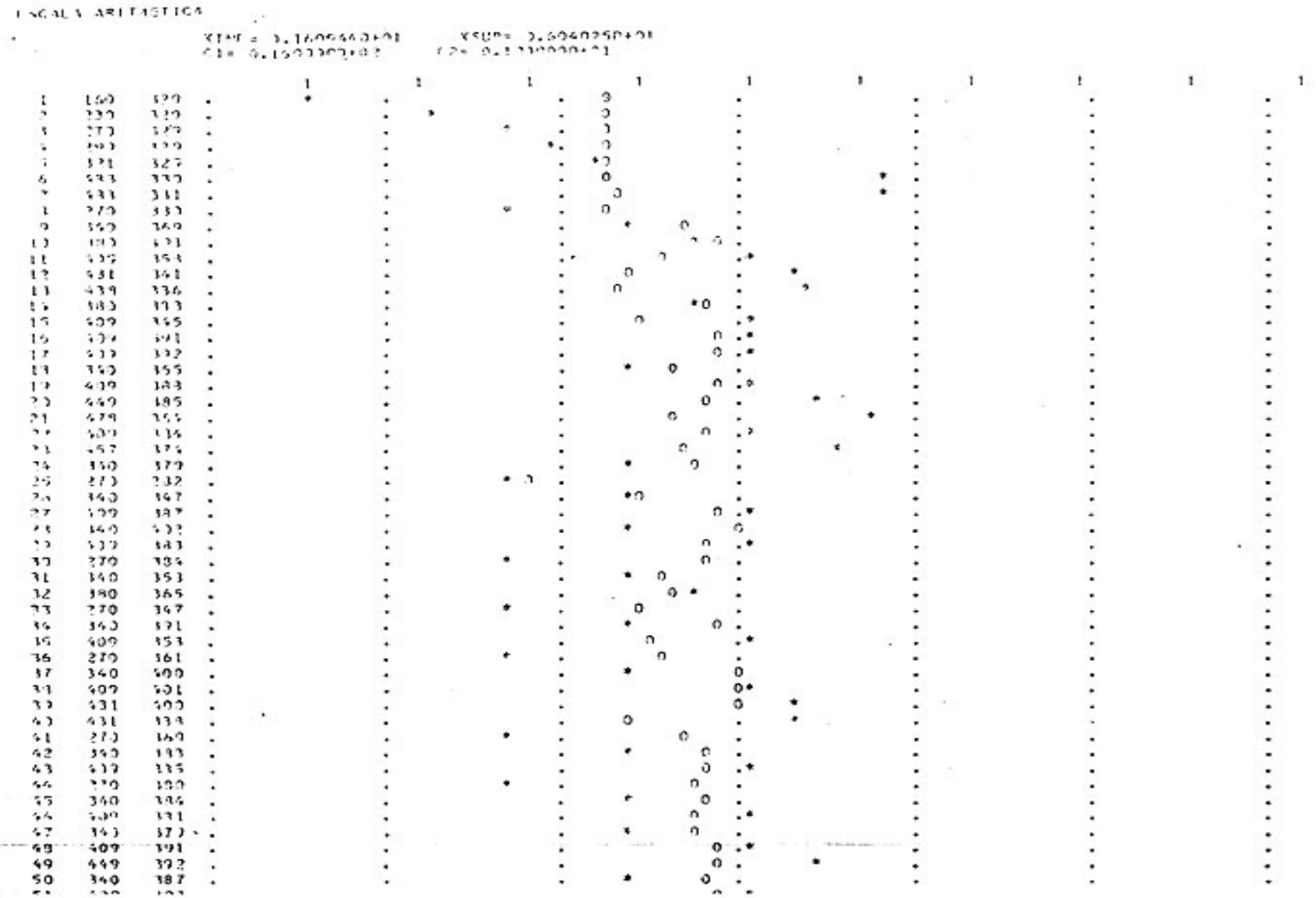
VAL. AJ SERIE AC5
PFSID. SERIE RC5

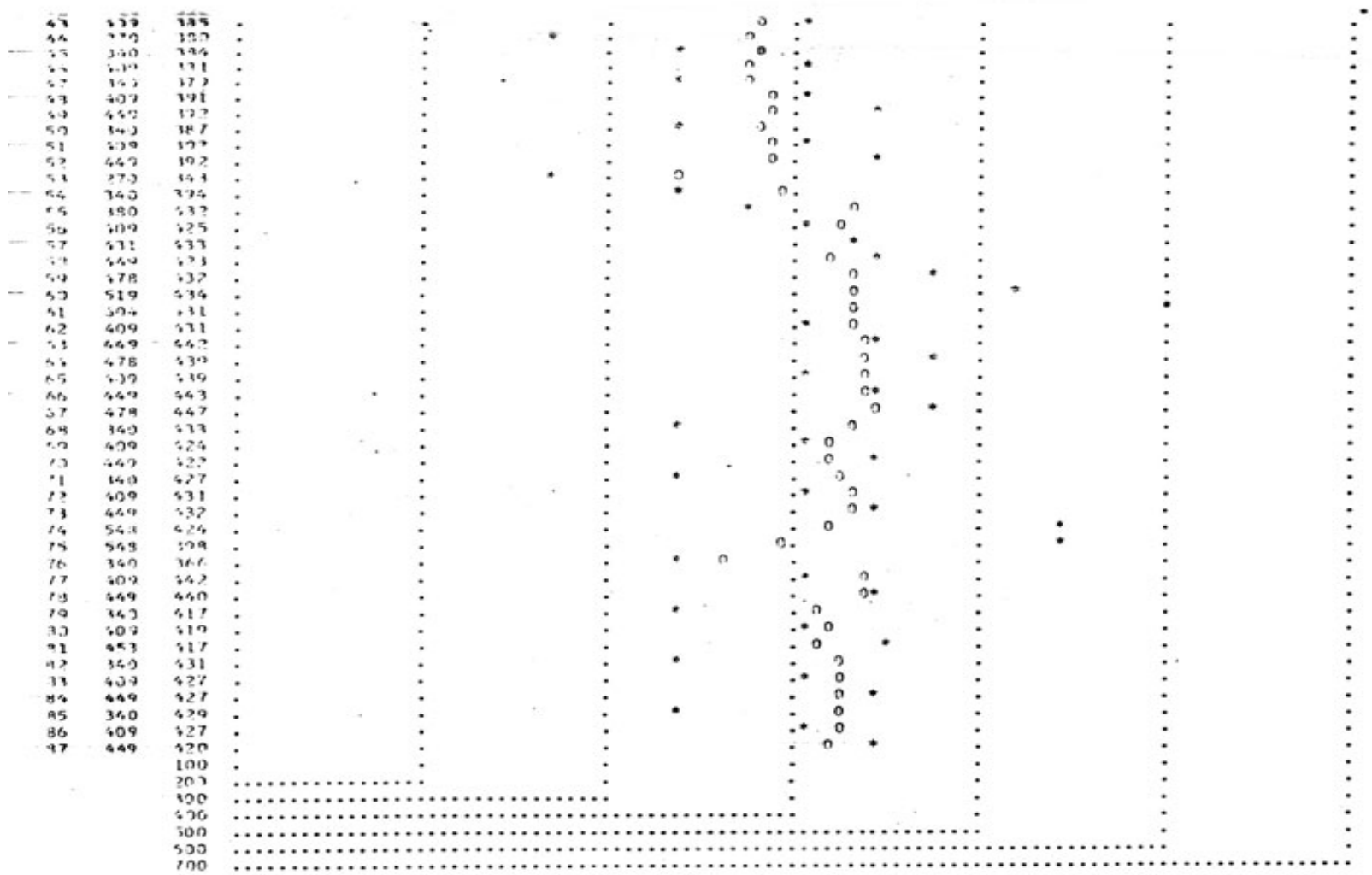
BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

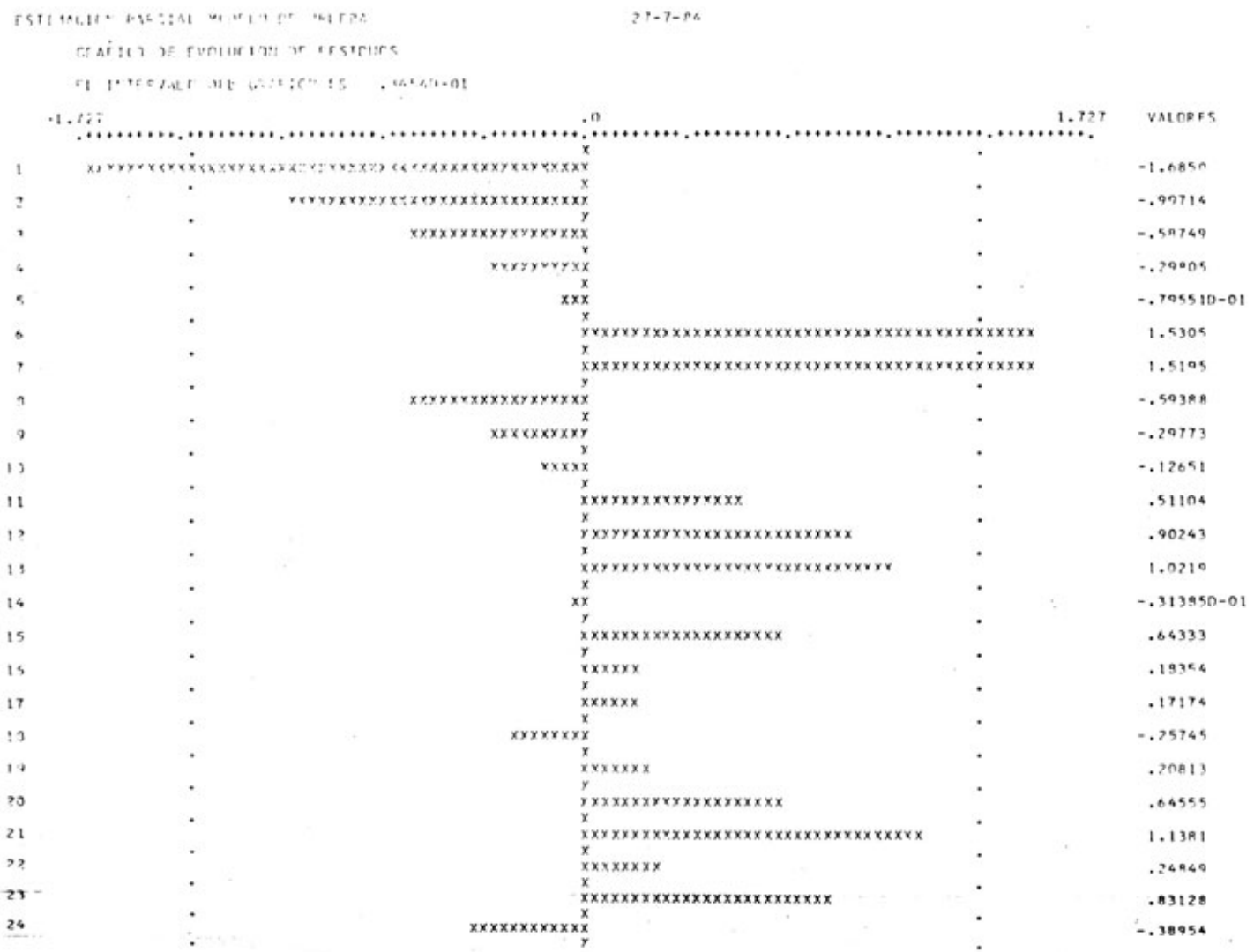
ESCALA ARITMETICA

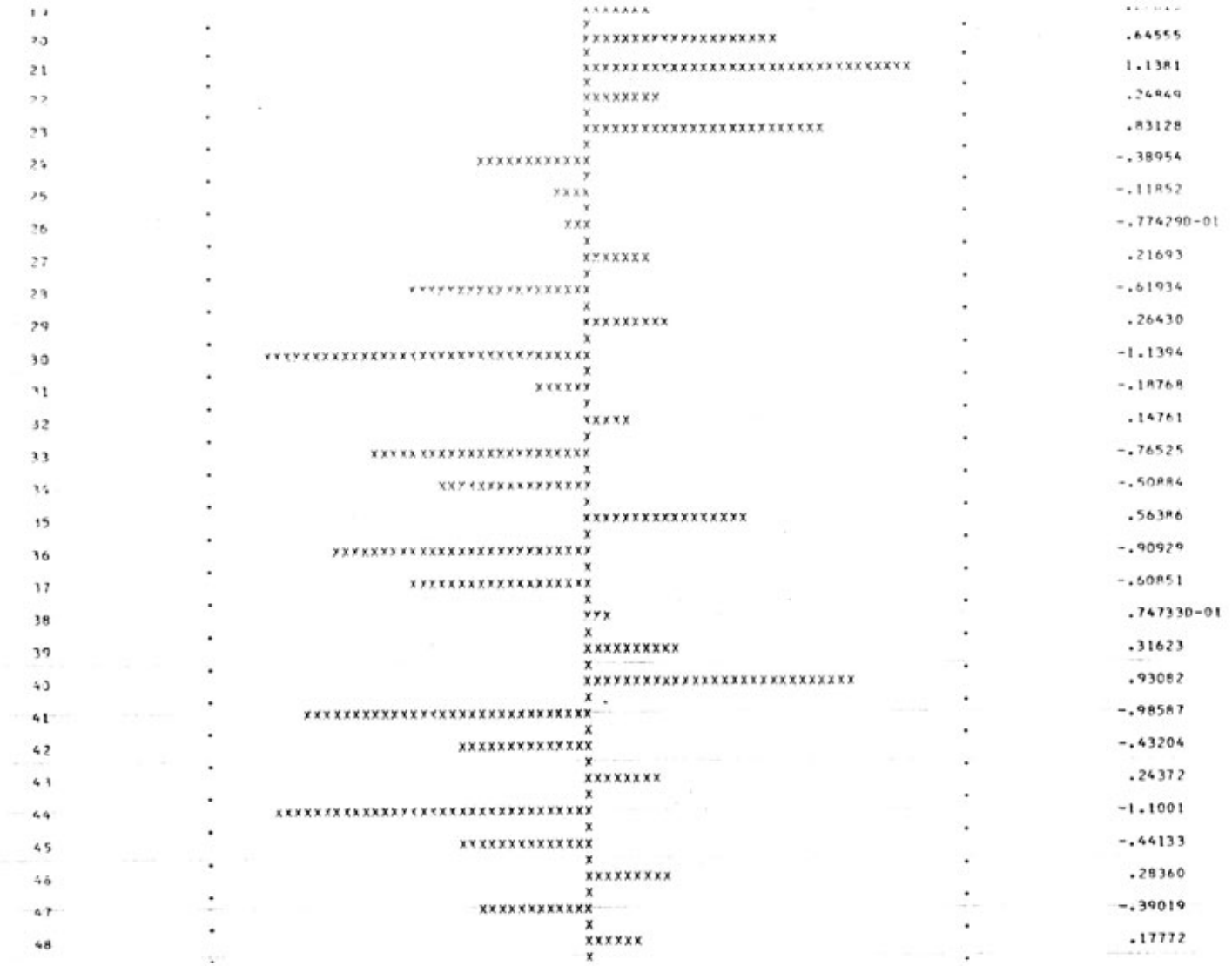
XINF = 0.1609440+01 XSUP= 0.6040250+01
C1= 0.1600000+02 C2= 0.1000000+01

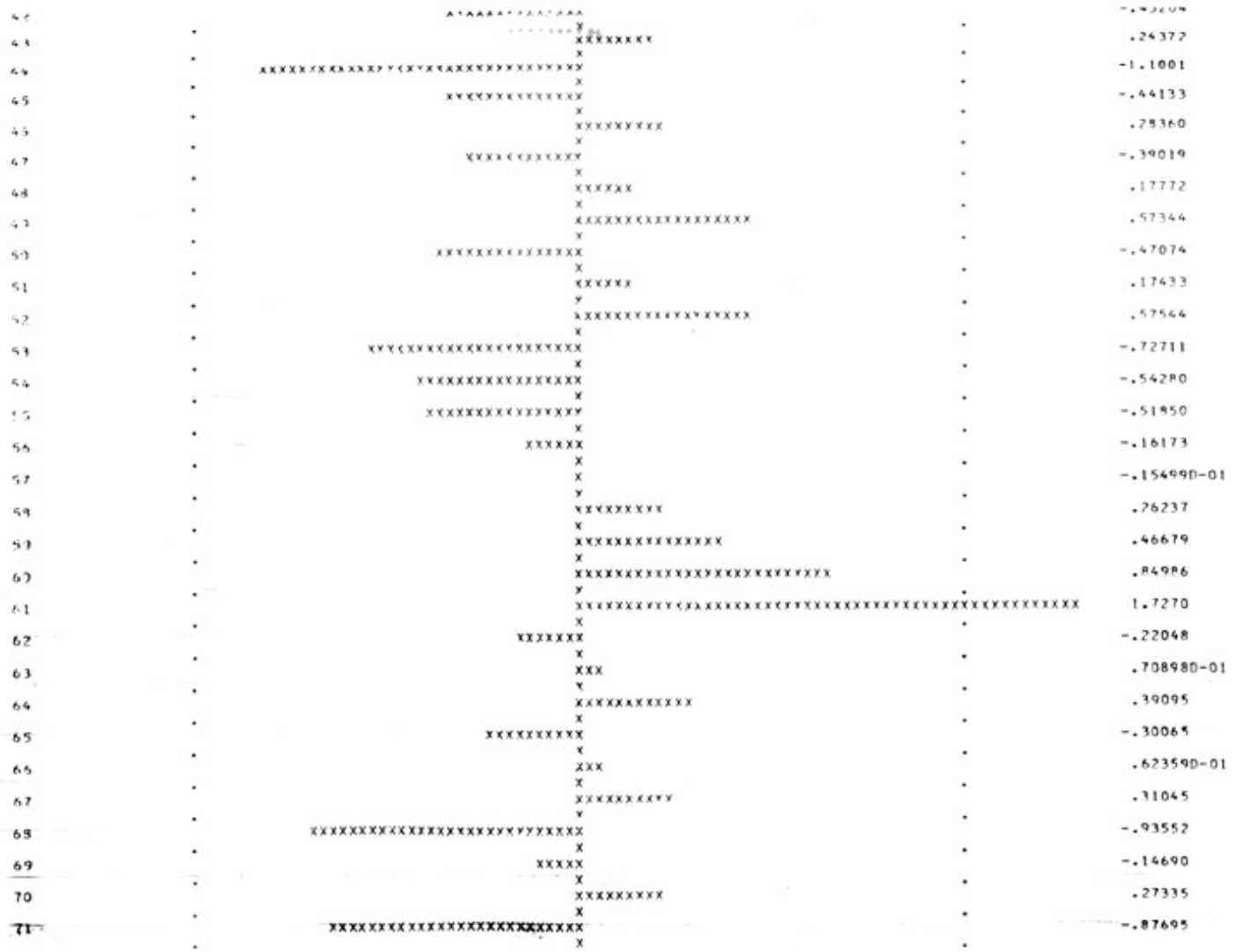
1	160	329
2	230	329
3	270	329
4	290	329
5	321	329
6	433	330
7	433	331
8	270	333
9	340	369
10	380	391
11	409	353
12	431	341
13	439	336
14	380	393
15	409	345
16	409	391
17	409	392
18	340	355
19	409	388
20	449	385
21	479	355
22	409	336
23	457	374
24	340	379
25	270	382
26	340	347
27	409	387
28	340	402
29	409	383
30	270	384
31	340	353
32	380	365
33	270	347
34	340	391
35	409	353
36	270	361
37	340	400
38	409	401
39	431	400
40	431	338
41	270	369
42	340	383
43	409	335
44	270	380
45	340	384
46	409	381
47	340	379
48	409	391
49	449	392
50	340	387
51	[illegible]	[illegible]

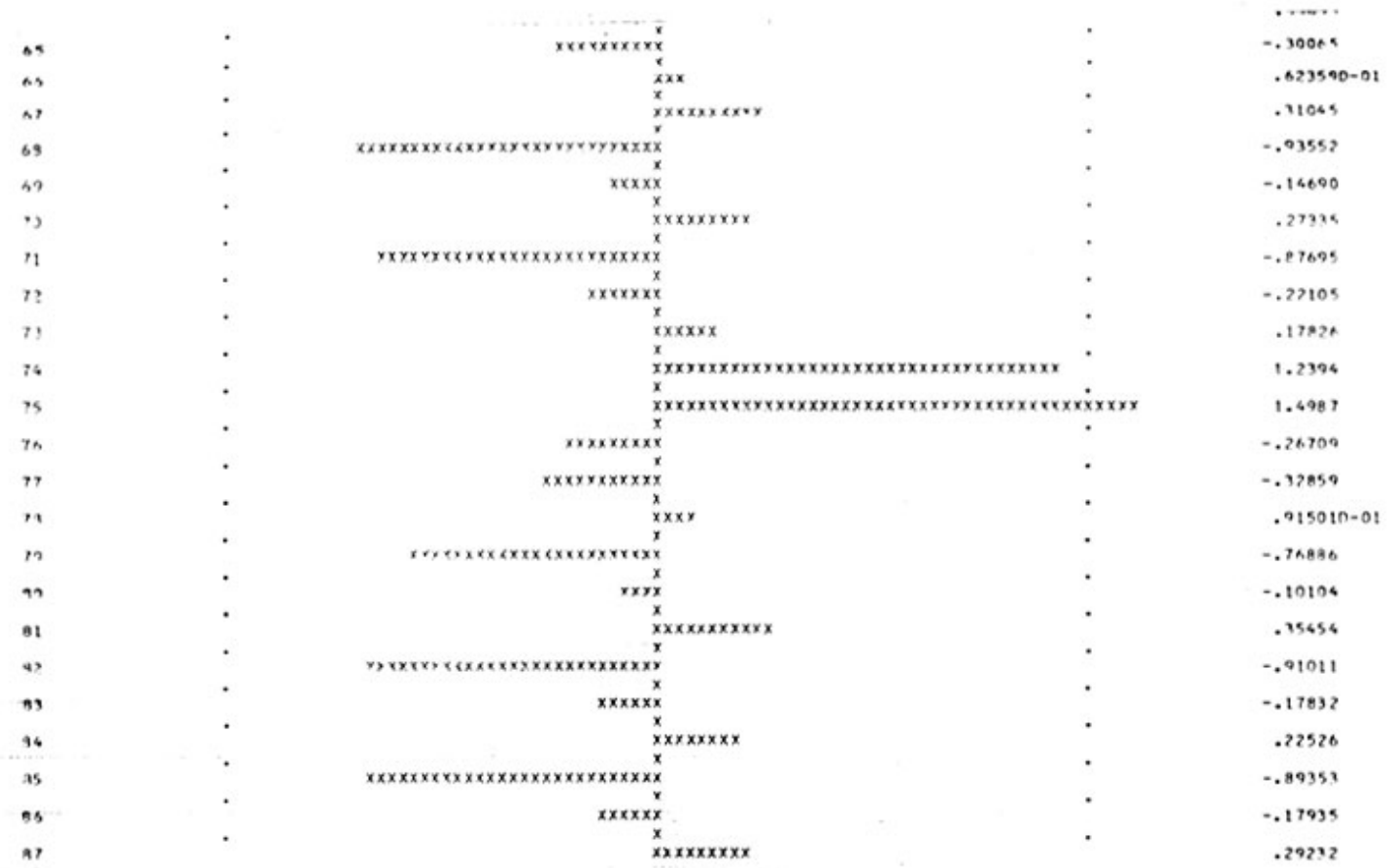


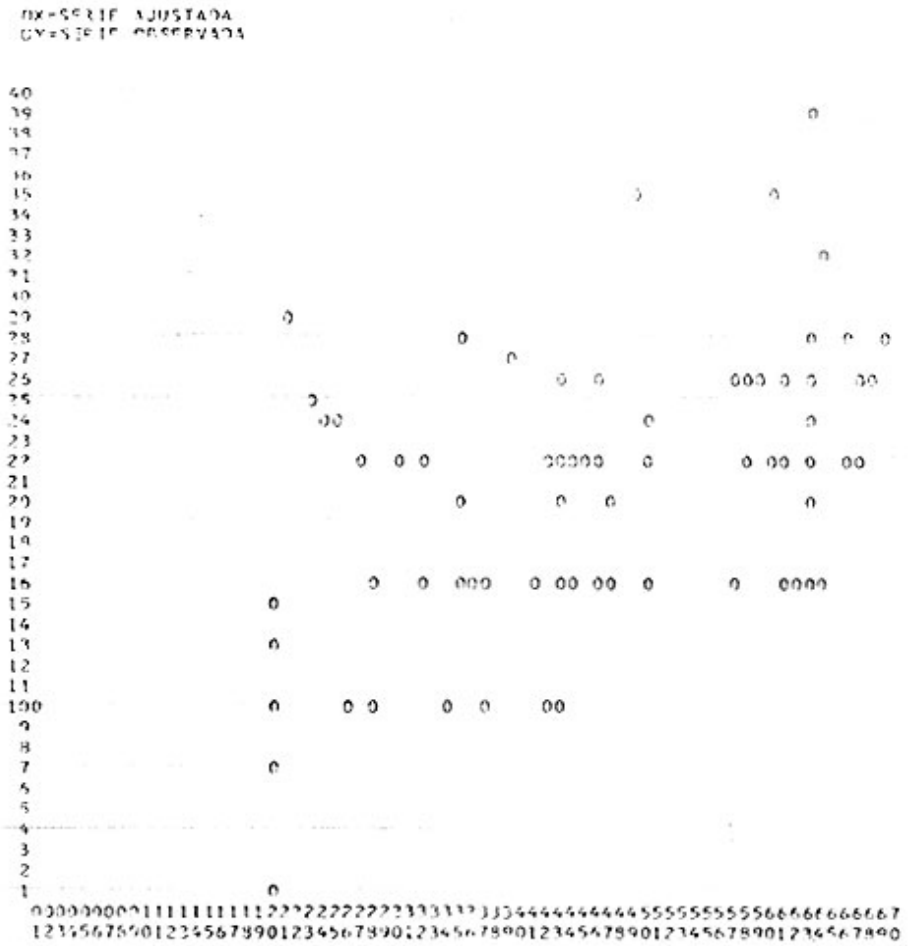


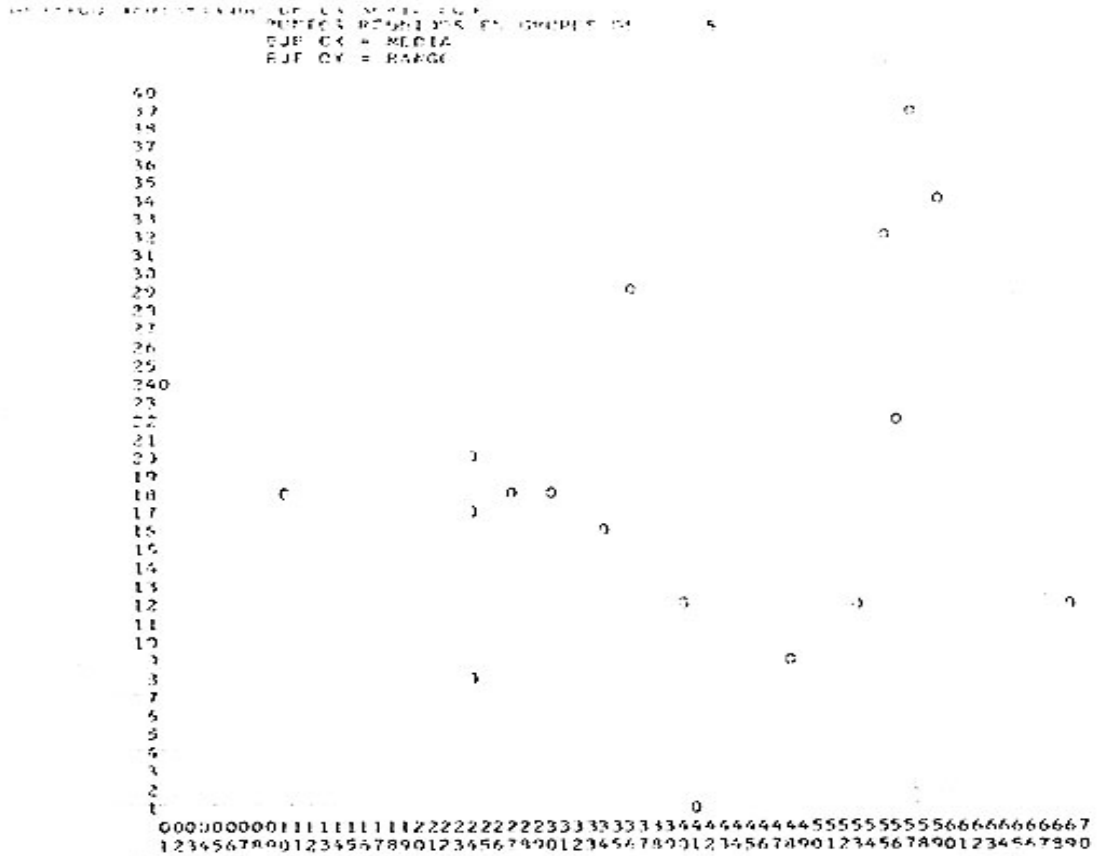

27-7-84
GRAFICO DE EVOLUCION DE RESIDUOS
-1.727
.0
1.727
VALORES
-1.6850
-.99714
-.58749
-.29805
-.79551D-01
1.5305
1.5195
-.59388
-.29773
-.12651
.51104
.90243
1.0219
-.31385D-01
.64333
.18354
.17174
-.25745
.20813
.64555
1.1381
.24949
.83128
-.38954


.64555
1.1381
.24949
.83128
-.38954
-.11852
-.774290-01
.21693
-.61934
.26430
-1.1394
-.18768
.14761
-.76525
-.50884
.56386
-.90929
-.60851
.747330-01
.31623
.93082
-.98587
-.43204
.24372
-1.1001
-.44133
.28360
-.39019
.17772


.24372
-1.1001
-.44133
.28360
-.39019
.17772
.57344
-.47074
.17433
.57544
-.72711
-.54280
-.51850
-.16173
-.154990-01
.76237
.46679
.84986
1.7270
-.22048
.708980-01
.39095
-.30065
.623590-01
.31045
-.93552
-.14690
.27335
-.87695


65 -.30065
66 .623590-01
67 .31045
68 -.93552
69 -.14690
70 .27335
71 -.87695
72 -.22105
73 .17826
74 1.2394
75 1.4987
76 -.26709
77 -.32859
78 .915010-01
79 -.76886
80 -.10104
81 .35454
82 -.91011
83 -.17832
84 .22526
85 -.89353
86 -.17935
87 .29232


DX=SERIE AJUSTADA
DY=SERIE OBSERVADA



X	Y	INDICE	MEDIA	RANGO
1	24	1	-0.729439	1.605419
10	19	41	-0.543133	1.343864

X	Y	ÍNDICE	MEDIA	RANGO
1	24	1	-729439	1605419
10	18	41	-543133	1343864
24	8	76	-274816	860358
24	17	81	-280423	1264657
27	18	51	-207728	1829110
30	18	81	-150061	1329110
34	16	66	-87250	1245973
36	29	36	56483	1840112
40	12	46	34766	1044184
41	1	36	56483	471666
48	9	16	190304	902998
53	18	56	280356	1011594
55	32	61	333553	2027693
56	22	21	341967	1527674
57	39	71	363630	2375880
59	34	6	406386	153246

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

ECUACIÓN ER-3.A

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

ESTIMACIÓN PARCIAL MODELO DE PRUEBA 27-7-84
MINIMOS CUADRADOS ORDINARIOS

ECUACIÓN ER-3.A

V EXPLICADAL.....L(P2ÑDP)
V EXPLICATIVAS.....UNO, L(TK), L(LEY), 1ÑTK, L(DP), L(1-XB)
**SE HA INVERT1DO UNA MATRIZ SIN LA PRECISIÓN DESEADA
LMX=20 L=21 D=.20730180D-02 D1=1.0000000 ERS=.100000000-11 N=6
ER. MAX.=.29104D-08

	UNO	L(TK)	L(LEY)	1ÑTK	L(DP)	L(1-XB)
COEF.	269.20	-26.725	-15.916	-24820.	-1.1040	-1.1567
DESV. TIPO	28.853	3.4981	3.3244	2928.6	.70496D-01	.18100
T	9.3300	-7.6397	-4.7875	-8.4753	-15.660	-6.3906
CORR.PARC.	.71972	-.64714	-.46964	-.68557	-.86702	-.57896
CONT. INCR.	.79119D-01	.53047D-01	.20832D-01	.65287D-01	.22290	.37119D-01

VUNIDAD=UNO

S=0.7016

EFECTO DE MULTICOLINEALIDAD = 0.44808

V RESID.....0.3988D+02
V EXPL.....0.5018D+03
V TOTAL.....0.5416D+03 R2=0.9264
R2 AJUST.= 203.8475

Y	Y AJUSTADA	RESIDUO	POR CIEN	RESÑMED. DE Y	RESIDUOÑS

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

1	-11.7004	-9.8465	-1.8539	15.84	.59269	-2.6422*
2	-9.8597	-9.8408	-0.0189	0.19	.60379D-02	-.26917D-01
3	-10.9462	-9.8453	-1.1009	10.06	.35195	-1.5690
4	-12.6815	-9.8472	-2.8343	22.35	.90613	-4.0395*
5	-10.0893	-9.8422	-0.2471	2.45	.79011D-01	-.35223
6	-9.1872	-9.8342	0.6471	-7.04	-.20686	.92220
7	-2.7792	-3.4511	0.6719	-24.18	-.21480	.95759
8	-5.6936	-6.0124	0.3188	-5.60	-.10193	.45440
9	-4.7326	-5.4255	0.6929	-14.64	-.22152	.98755
10	-4.2963	-4.8726	0.5763	-13.41	-.18424	.82136
11	-4.9566	-5.6203	0.6638	-13.39	-.21221	.94602
12	-5.3465	-5.8650	0.5186	-9.70	-.16579	.73907
13	-5.5026	-5.9379	0.4354	-7.91	-.13919	.62051
14	-4.4800	-5.1391	0.6591	-14.71	-.21073	.93941
15	-3.5428	-2.4303	-1.1125	31.40	.35568	-1.5856
16	-4.1040	-4.0984	-0.0056	0.14	.17832D-02	-.79496D-02
17	0.3396	0.8680	-0.5283	-155.56	.16891	-.75300
18	-0.0464	0.1674	-0.2137	460.99	.68334D-01	-.30463
19	-4.0331	-4.6217	0.5886	-14.59	-.18817	.83885
20	-4.0931	-4.7054	0.6123	-14.96	-.19576	.87268
21	-4.4688	-5.1183	0.6495	-14.53	-.20764	.92566
22	-4.1086	-4.7261	0.6175	-15.03	-.19742	.88010
23	-3.9785	-4.0910	0.1125	-2.83	-.35962D-01	.16032

BIBLIOTECA VIRTUAL
MIGUEL DE CERVANTES

24	-3.8762	-3.9238	0.0475	-1.23	-.15194D-01	.67733D-01
25	-6.6306	-5.2067	-1.4238	21.47	.45520	-2.0293
26	-4.3899	-4.8974	0.5074	-11.56	-.16223	.72320
27	-3.6103	-4.1604	0.5501	-15.24	-.17586	.78399
28	-3.2188	-3.4552	0.2364	-7.34	-.75575D-01	.33691
29	-3.3268	-3.2347	-0.0921	2.77	.29456D-01	-.13131
30	-3.2434	-3.0607	-0.1827	5.63	.58415D-01	-.26040
31	-3.7144	-4.0875	0.3731	-10.05	-.11930	.53182
32	-3.5840	-3.9107	0.3267	-9.12	-.10444	.46561
33	-3.3148	-3.6498	0.3350	-10.11	-.10711	.47750
34	-2.9379	-3.3950	0.4570	-15.56	-.14612	.65138
35	-3.6626	-4.1493	0.4867	-13.29	-.15560	.69365
36	-2.7855	-3.2445	0.4590	-16.48	-.14675	.65420
37	-1.7975	-1.7328	-0.0647	3.60	.20675D-01	-.92169D-01
38	-1.9240	-2.0387	0.1147	-5.96	-.36665D-01	.16345
39	-2.0188	-2.2382	0.2194	-10.87	-.70152D-01	.31274
40	-2.6044	-3.8008	1.1964	-45.94	-.38249	1.7052
41	-1.9192	-2.7500	0.8308	-43.29	-.26560	1.1840
42	-2.0091	-1.7696	-0.2395	11.92	.76575D-01	.34137
43	-2.5947	-2.2994	-0.2953	11.38	.94411D-01	-.42088
44	-2.0868	-1.9186	-0.1682	8.06	.53787D-01	-.23978
45	-1.9684	-1.6858	-0.2826	14.36	.90353D-01	-.40279
46	-2.0799	-1.9059	-0.1740	8.37	.55633D-01	-.24801
47	-1.0136	-0.2525	-0.7611	75.09	.24332	-1.0847
48	-1.1193	-0.5695	-0.5499	49.12	.17579	-.78367
49	-1.1978	-0.7630	-0.4348	36.30	.13901	-.61969
50	-0.7232	-0.4573	-0.2658	36.76	.84991D-01	-.37889
51	-0.4261	0.1740	-0.6001	140.82	.19184	-.85524
52	-0.5315	-0.0770	-0.4546	85.52	.14533	-.64788
53	-4.5539	-2.5626	-1.9912	43.73	.63661	-2.8380
54	-3.2525	-3.6979	0.4454	-13.69	-.14240	.63480
55	-2.4590	-3.0692	0.6102	-24.82	-.19509	.86973
56	-2.5840	-3.2078	0.6238	-24.14	-.19941	.88899
57	-2.4449	-3.0523	0.6075	-24.85	-.19420	.86576
58	-2.6182	-3.2424	0.6242	-23.84	-.19956	.88963
59	-2.4670	-3.0787	0.6117	-24.80	-.19556	.87181

BIBLIOTECA VIRTUAL
MIGUEL DE CERVANTES

60	-2.4266	-3.0300	0.6034	-24.87	-.19292	.86005
61	-2.4805	-3.0945	0.6140	-24.75	-.19629	.87505
62	-1.7920	-2.3342	0.5422	-30.26	-.17335	.77278
63	-1.5816	-2.0578	0.4762	-30.11	-.15224	.67869
64	-1.6431	-2.1456	0.5025	-30.58	-.16065	.71617
65	-0.9378	-1.3677	0.4299	-45.85	-.13745	.61276
66	-0.8567	-1.2510	0.3943	-46.03	-.12606	.56198
67	-0.7746	-1.1211	0.3465	-44.73	-.11078	.49384
68	-1.0443	-1.5054	0.4611	-44.16	-.14742	.65718
69	-2.3876	-1.9134	-0.4742	19.86	.15160	-.67583
70	-2.4144	-1.9474	-0.4670	19.34	.14929	-.66555
71	-2.3195	-1.8222	-0.4973	21.44	.15898	-.70874
72	-1.5623	-0.9614	-0.6009	38.46	.19210	-.85638
73	-1.5500	-0.9427	-0.6073	39.18	.19415	-.86552
74	-1.7019	-1.1564	-0.5455	32.05	.17439	-.77743
75	-2.2624	-2.4621	0.1997	-8.83	-.63834D-01	.28457
76	-2.1636	-2.3428	0.1792	-8.28	-.57293D-01	.25541
77	-0.8849	-1.2929	0.4080	-46.10	-.13043	.58147
78	-0.9128	-1.3330	0.4201	-46.03	-.13432	.59879
79	-1.3515	-1.8216	0.4701	-34.78	-.15028	.66994
80	-2.4705	-2.0154	-0.4552	18.42	.14552	-.65874
81	-2.5018	-2.0514	-0.4504	18.00	.14401	-.64197
82	-2.2560	-1.7305	-0.5255	23.29	.16801	-.74898
83	-1.6441	-1.0794	-0.5646	34.34	.18052	-.80475
84	-1.6405	-1.0746	-0.5660	34.50	.18094	-.80665
85	-1.6024	-1.0207	-0.5817	36.30	.18597	-.82904
86	-0.9340	-0.2949	-0.6390	68.42	.20429	-.91073
87	-1.0549	-0.4507	-0.6042	57.28	.19316	-.86111

VALOR MEDIO DE Y = -3.1279

SÑVALOR MEDIO DE Y= -.22432

VALOR MEDIO DEL RESIDUO= .53964

R2= 0.9264

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

TEST DE DURBIN Y WATSON.....D=1.0374
NÚMERO DE OBSERVACIONES.....N=87

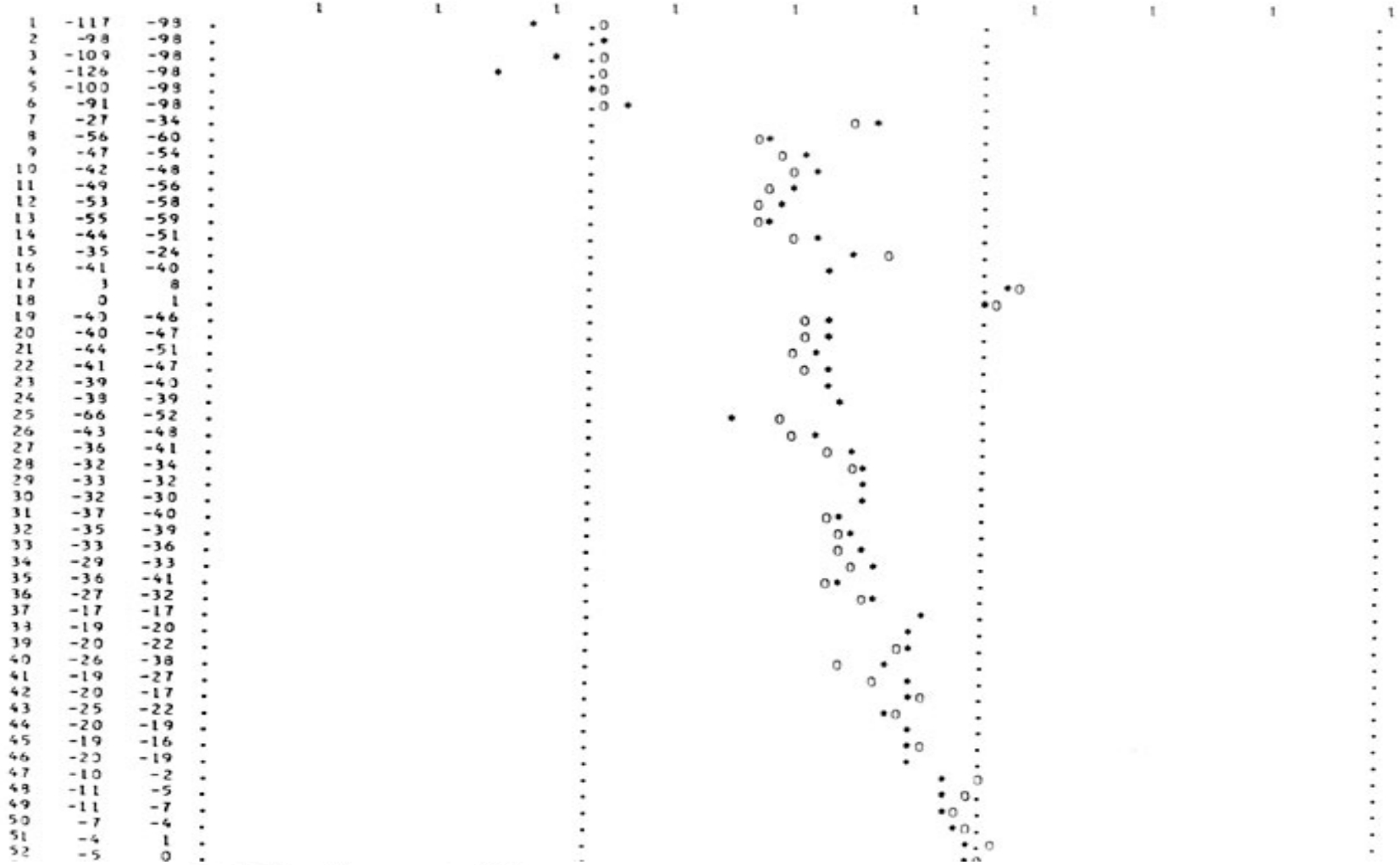
SUMA RESIDUOS= -0.1336D-06
COEF. AUTORG.= 0.4084142
DETERMINANTE DE LA MATRIZ ZZ= .20730180D-02

VAL. AJ SERIE AC1
RESID. SERIE RC1

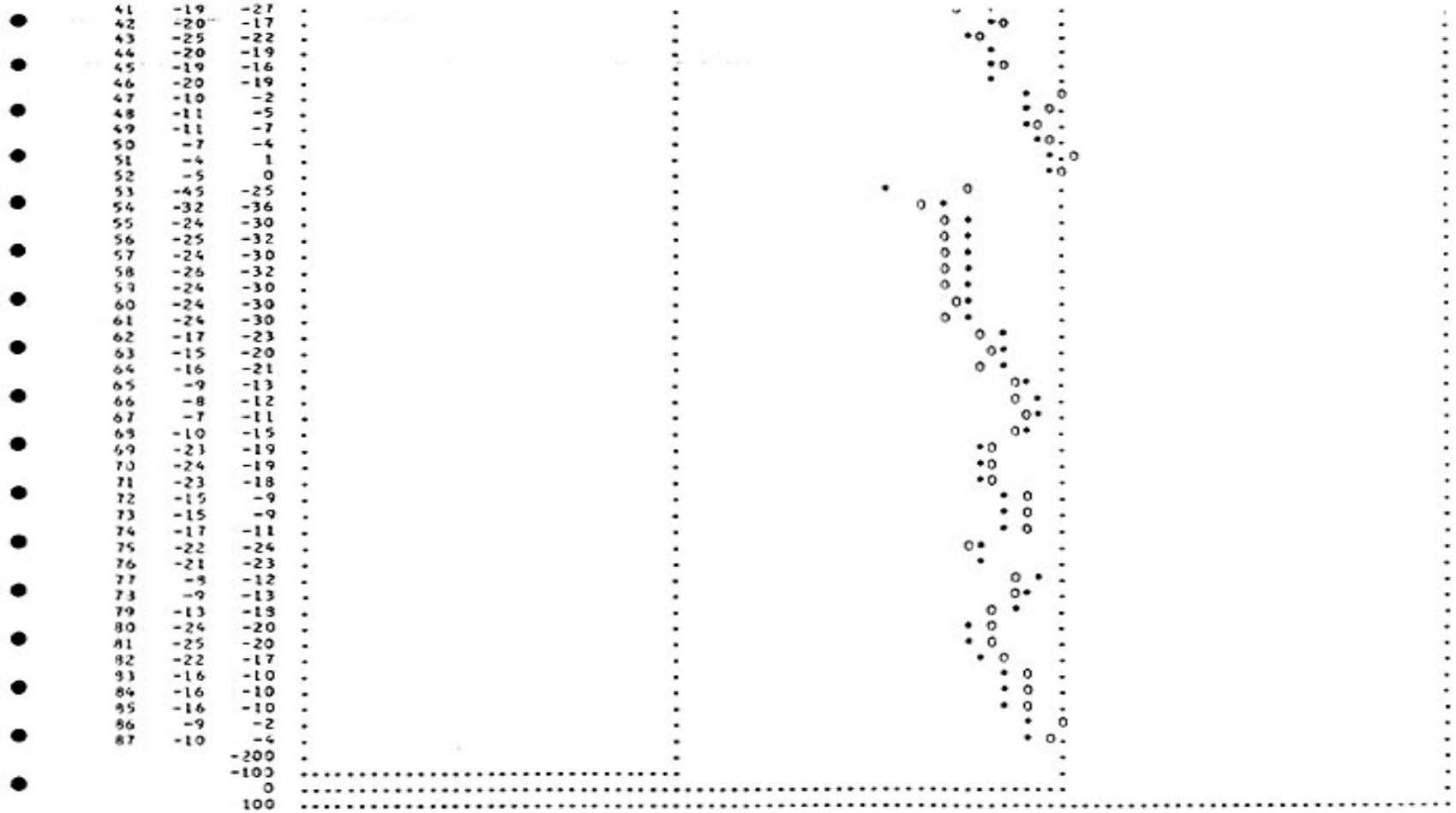
BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

ESCALA ARITMETICA

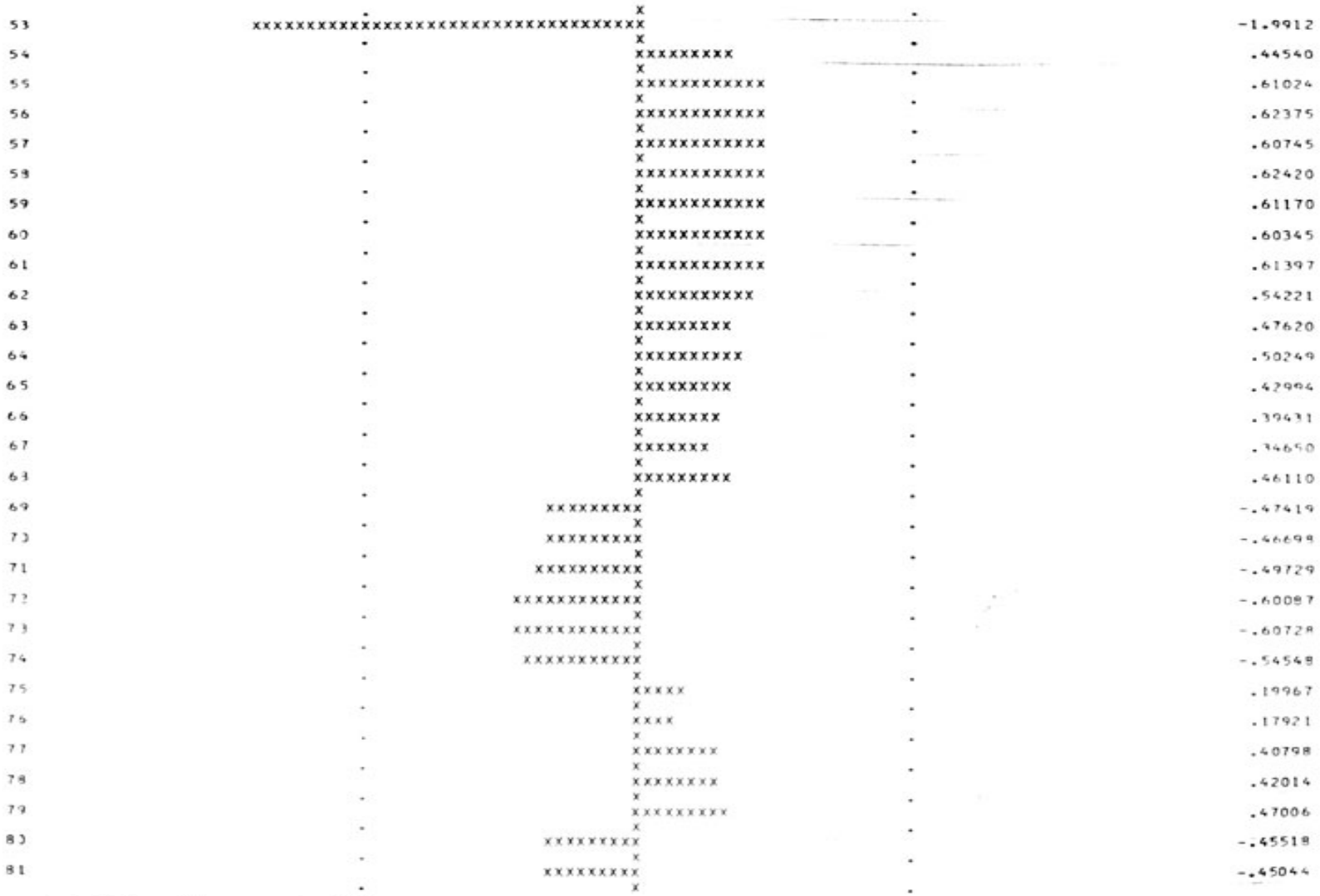
XINF=-0.126815D+02 XSUP= 0.9679600+00
C1= 0.3300000+01 C2=-0.2000000+02

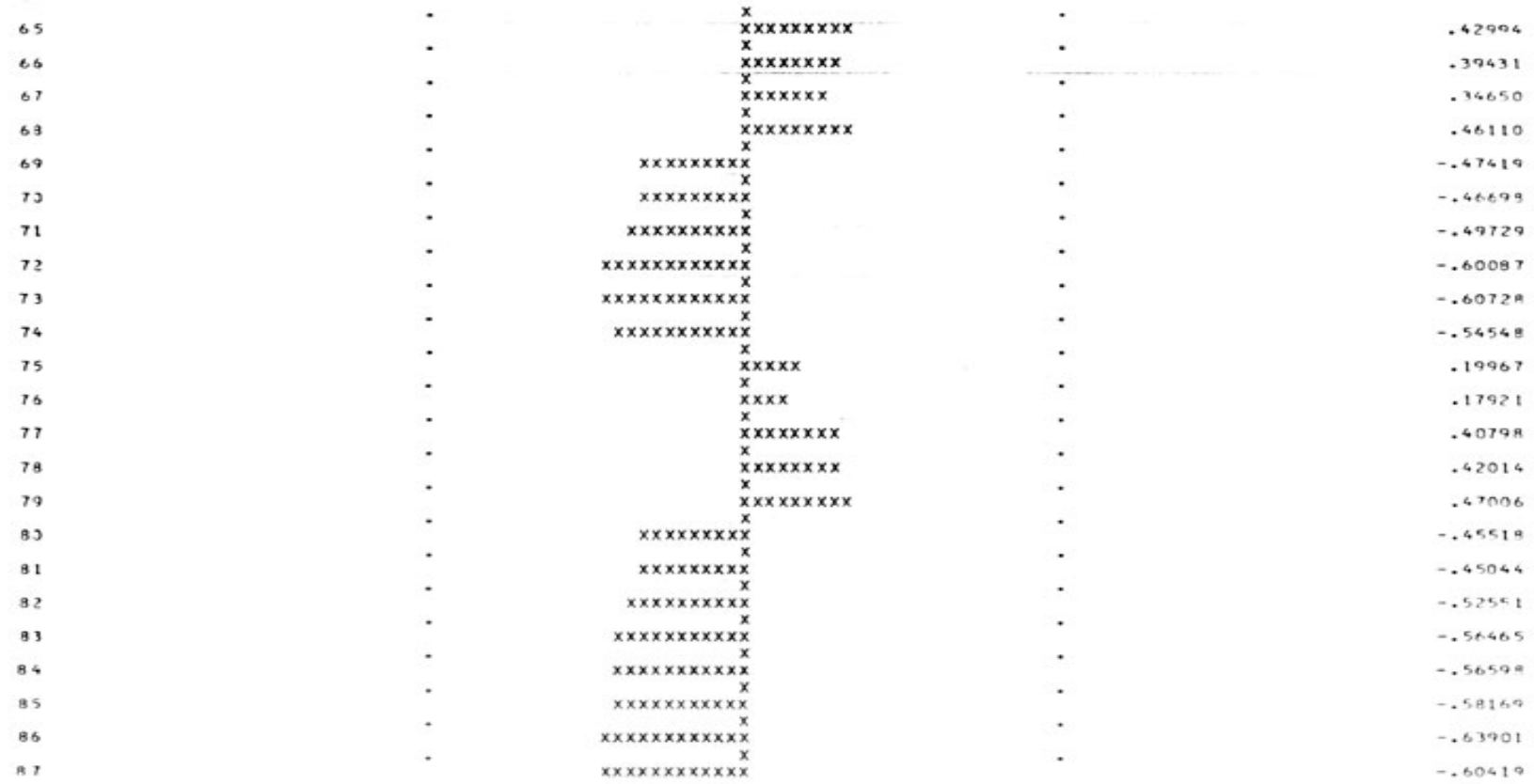


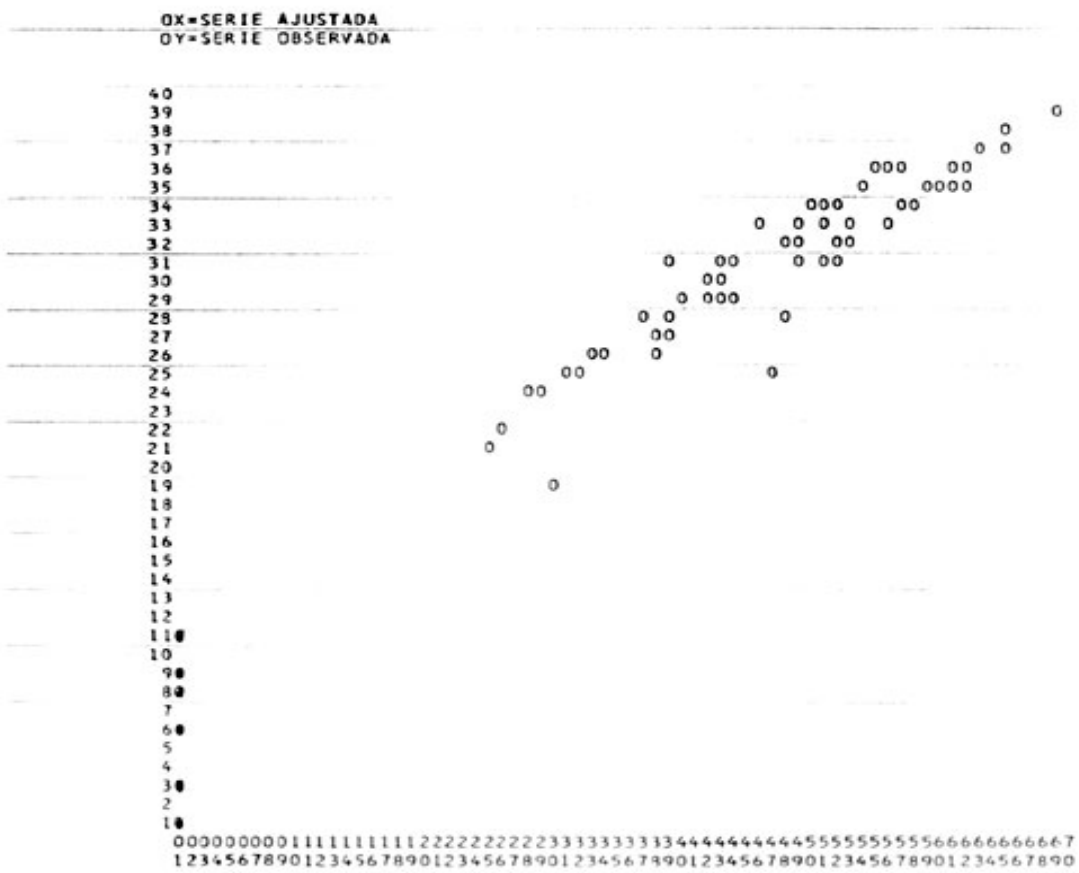
1	-117	-93
2	-98	-98
3	-109	-98
4	-126	-98
5	-100	-99
6	-91	-98
7	-27	-34
8	-56	-60
9	-47	-54
10	-42	-48
11	-49	-56
12	-53	-58
13	-55	-59
14	-44	-51
15	-35	-24
16	-41	-40
17	3	8
18	0	1
19	-43	-46
20	-40	-47
21	-44	-51
22	-41	-47
23	-39	-43
24	-38	-39
25	-66	-52
26	-43	-48
27	-36	-41
28	-32	-34
29	-33	-32
30	-32	-30
31	-37	-40
32	-35	-39
33	-33	-36
34	-29	-33
35	-36	-41
36	-27	-32
37	-17	-17
38	-19	-20
39	-20	-22
40	-26	-38
41	-19	-27
42	-20	-17
43	-25	-22
44	-20	-19
45	-19	-16
46	-23	-19
47	-10	-2
48	-11	-5
49	-11	-7
50	-7	-4
51	-4	1
52	-5	0


41 -19 -27
42 -20 -17
43 -25 -22
44 -20 -19
45 -19 -16
46 -20 -19
47 -10 -2
48 -11 -5
49 -11 -7
50 -7 -4
51 -4 1
52 -5 0
53 -45 -25
54 -32 -36
55 -24 -30
56 -25 -32
57 -24 -30
58 -26 -32
59 -24 -30
60 -24 -30
61 -24 -30
62 -17 -23
63 -15 -20
64 -16 -21
65 -9 -13
66 -8 -12
67 -7 -11
68 -10 -15
69 -21 -19
70 -24 -19
71 -23 -18
72 -15 -9
73 -15 -9
74 -17 -11
75 -22 -24
76 -21 -23
77 -9 -12
78 -9 -13
79 -13 -18
80 -24 -20
81 -25 -20
82 -22 -17
83 -16 -10
84 -16 -10
85 -16 -10
86 -9 -2
87 -10 -4
-200
-100
0
100

ESTIMACION PARCIAL MODELO DE PRUEBA 27-7-84
GRAFICO DE EVOLUCION DE RESIDUOS
EL INTERVALO DEL GRAFICO ES .56690-01
-3.334
.0
2.834
VALORES
1 -1.9539
2 -.188860-01
3 -1.1009
4 -2.9343
5 -.24714
6 .64705
7 .67189
8 .31883
9 .69291
10 .57630
11 .66377
12 .51856
13 .43539
14 .65913
15 -1.1125
16 -.557780-02
17 -.52834
18 -.21374
19 .59957
20 .61231
21 .64949
22 .61752
23 .11249
24 .475240-01
25 -1.4239

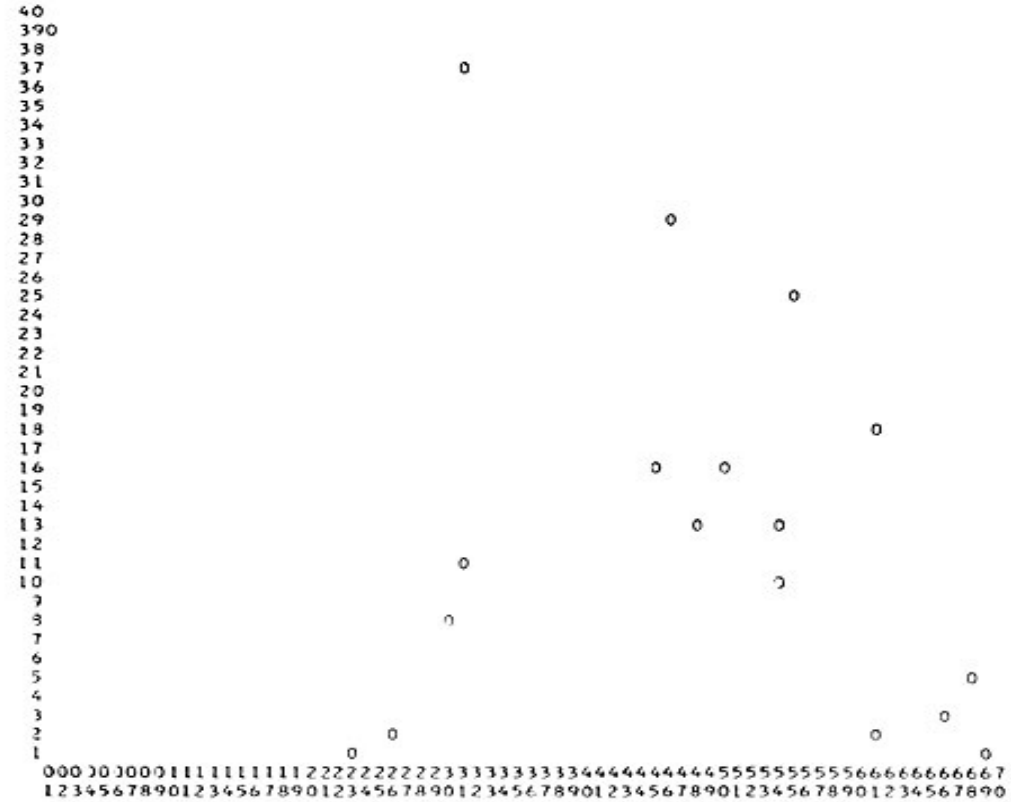

53 -1.9912
54 .44540
55 .61024
56 .62375
57 .60745
58 .62420
59 .61170
60 .60345
61 .61397
62 .54221
63 .47620
64 .50249
65 .42994
66 .39431
67 .34650
68 .46110
69 -.47419
70 -.46699
71 -.49729
72 -.60087
73 -.60728
74 -.54548
75 .19967
76 .17921
77 .40798
78 .42014
79 .47006
80 -.45518
81 -.45044


65 .42994
66 .39431
67 .34650
68 .46110
69 -.47419
70 -.46699
71 -.49729
72 -.60087
73 -.60728
74 -.54548
75 .19967
76 .17921
77 .40798
78 .42014
79 .47006
80 -.45518
81 -.45044
82 -.52551
83 -.56465
84 -.56598
85 -.58169
86 -.63901
87 -.60419


OX=SERIE AJUSTADA
OY=SERIE OBSERVADA
40
39
38
37
36
35
34
33
32
31
30
29
28
27
26
25
24
23
22
21
20
19
18
17
16
15
14
13
12
11
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
0000000001111111111222222222233333333334444444444555555555566666666667
1234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890

SERIES RCL , RCL

GRAFICO MEDIA-RANGO DE LA SERIE RCL
PUNTOS REUNIDOS EN GRUPOS DE 5
EJE OX = MEDIA
EJE OY = RANGO



X Y INDICE MEDIA RANGO

X	Y	ÍNDICE	MEDIA	RANGO
1	39	1	-1211010	2815398
23	1	86	-621598	34816
26	2	81	-537653	131250
30	8	46	-437122	587074
31	11	71	-410251	806950
31	37	51	-398051	2601486
45	16	41	-30983	1126080
46	29	21	637	2073303
48	13	66	52149	935293
50	16	16	90645	1140643
54	10	26	203811	732799
54	13	76	204441	925242
55	25	11	232862	1776299
61	2	31	395722	159999
61	18	36	384973	1261079
66	3	61	512963	184032
68	5	6	581395	374079
69	1	56	614111	20752

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

ECUACIÓN LFCD-8

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

ECUACIÓN LFCD-8

VARIABLE DEPENDIENTE L(TI)

VALORES AJUSTADOS Y.AJ

RESIDUOS

NÚMERO DE PUNTOS 33

VARIABLES INDEPENDIENTES

UNO L(DP) L(F(XB)) L(T) L(PPMAX)

TOSTACIÓN DE CINABRIO EN LECHO FLUIDIZADO. DIFUSIÓN CAPA CENIZAS

Y.AJ	L(TI)	UNO	L(DP)	L(F(XB))	L(T)	L(PPMAX)

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

1	0.0	0.0	3.4012	1.0000	2.0308	-1.5055	6.5484	4.4480
2	0.0	0.0	4.0943	1.0000	2.0308	-1.2123	6.5484	4.4480
3	0.0	0.0	4.4998	1.0000	2.0308	-1.0278	6.5484	4.4480
4	0.0	0.0	3.4012	1.0000	0.2852	-1.3327	6.5484	4.4480
5	0.0	0.0	4.0943	1.0000	0.2852	-0.7386	6.5484	4.4480
6	0.0	0.0	4.4998	1.0000	0.2852	-0.5070	6.5484	4.4480
7	0.0	0.0	3.4012	1.0000	-0.4005	-0.9883	6.5484	4.4480
8	0.0	0.0	4.0943	1.0000	-0.4005	-0.8924	6.5484	4.4480
9	0.0	0.0	4.4998	1.0000	-0.4005	-0.4827	6.5484	4.4480
10	0.0	0.0	3.4012	1.0000	-1.1087	-1.3039	6.5484	4.4480
11	0.0	0.0	4.0943	1.0000	-0.1087	-0.8222	6.5484	4.4480
12	0.0	0.0	4.4998	1.0000	-1.1087	-0.6118	6.5484	4.4480
13	0.0	0.0	3.4012	1.0000	2.0308	-1.4645	6.7869	4.4480
14	0.0	0.0	4.0943	1.0000	2.0308	-1.5291	6.7869	4.4480
15	0.0	0.0	4.4998	1.0000	2.0308	-0.9567	6.7869	4.4480
16	0.0	0.0	3.4012	1.0000	0.2852	-1.2417	6.7869	4.4480
17	0.0	0.0	4.0943	1.0000	0.2852	-0.8808	6.7869	4.4480
18	0.0	0.0	4.4998	1.0000	0.2852	-0.5831	6.7869	4.4480
19	0.0	0.0	3.4012	1.0000	-0.4005	-1.1164	6.7869	4.4480
20	0.0	0.0	4.0943	1.0000	-0.4005	-0.9496	6.7869	4.4480
21	0.0	0.0	4.4998	1.0000	-0.4005	-0.6166	6.7869	4.4480
22	0.0	0.0	3.4012	1.0000	-1.1087	-0.7145	6.7869	4.4480
23	0.0	0.0	4.0943	1.0000	-1.1087	-0.6176	6.7869	4.4480
24	0.0	0.0	4.4998	1.0000	-1.1087	-0.2915	6.7869	4.4480
25	0.0	0.0	3.4012	1.0000	0.2852	-1.4699	6.7892	4.3781
26	0.0	0.0	4.0943	1.0000	0.2852	-1.2987	6.7892	4.3781
27	0.0	0.0	4.4998	1.0000	0.2852	-0.9702	6.7892	4.3781
28	0.0	0.0	3.4012	1.0000	-0.4005	-1.0958	6.7892	4.3781
29	0.0	0.0	4.0943	1.0000	-0.4005	-0.8174	6.7892	4.3781
30	0.0	0.0	4.4998	1.0000	-0.4005	-1.1938	6.7892	4.3781
31	0.0	0.0	3.4012	1.0000	-1.1087	-1.1286	6.7892	4.3781
32	0.0	0.0	4.0943	1.0000	-1.1087	-0.9497	6.7892	4.3781
33	0.0	0.0	4.4998	1.0000	-1.1087	-0.6891	6.7892	4.3781

TOSTACIÓN DEL CINABRIO EN LECHO FLUIDIZADO. DIFUSIÓN CAPA CENIZAS
V EXPLICADA.....L(TI)
V EXPLICATIVAS.....UNO, L(DP), L(F(XB)), L(T), L(PPMAX)

SE HA INVERTIDO UNA MATRIZ SIN LA PRECISIÓN DESEADA
LMX= 10 L= 11 D= 0.26774780E+02 D1=0.99999994E+00 ERS= 0.99999956E-12 N= 5
ER MAX.= 0.27285E-11

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

	UNO	L(DP)	L(F(XB))	L(T)	L(PPMAX)
COEF.	0.30834E+02	0.25787E+00	0.14219E+01	-0.23018E+00	-0.54016E+01
DESV. TIPO	0.11437E+02	0.63283E-01	0.20879E+00	0.51840E+00	0.21182E+01
T	0.26959E+01	0.40749E+01	0.68102E+01	-0.44401E+00	-0.25501E+01
CORR. PARC.	0.45396E+00	0.61013E+00	0.78965E+00	-0.83627E-01	-0.43413E+00
CONT. INCR.	0.97716E-01	0.22324E+00	0.62355E+00	0.26506E-02	0.87429E-01

V UNIDAD =Y.AJ

S=0.3021

EFECTO DE MULTICOLINEALIDAD= -0.41104

V RESID.....0.2556E+01
V EXPL.....0.4234E+01
V TOTAL.....0.6790E+01 R2=0.6235

R2 AJUST. = 0.5698
F(4/28) = 11.5946

	Y	Y AJUSTADA	RESIDUO	POR CIEN	RES/MED. DE Y	RESIDUO/S
1	34012	36833	-2821	-829	-7054,4	-93356
2	40943	41001	-58	-14	-144,22	-1908,5
3	44998	43625	1373	305	3432,8	45429
4	34012	34788	-776	-228	-1940	-25673
5	40943	43236	-2292	-560	-5733,3	-75873
6	44998	46528	-1530	-340	-3827,3	-50650
7	34012	37918	-3906	-1148	-9767,6	-129260
8	40943	39280	1663	406	4159,6	55048
9	44998	45105	-107	-24	-268,58	-3554,3
10	34012	31603	2409	708	6026	79746
11	40943	38453	2491	608	6229,5	82439
12	44996	41444	3554	790	8887,4	117610
13	34012	36867	-2855	-839	-7139,1	-94477
14	40943	35948	4995	1220	12493	165330
15	44998	44087	911	202	2278,7	30156
16	44012	35533	-1521	-447	-3802,8	-50326
17	40943	40665	278	68	695,89	9209,2
18	44998	44898	100	22	250,08	3309,5

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

19	34012	35547	-1535	-451	-3838,5	-50798
20	40943	37919	3025	739	7564,7	100110
21	44998	42653	2345	521	5864,5	77609
22	34012	39435	-5423	-1595	-13563	-179490
23	40943	40813	130	32	325,51	4307,7
24	44998	45450	-451	-100	-1129	-14940
25	34012	36059	-2047	-602	-5119,9	-67755
26	40943	38494	2450	598	6127	81083
27	44998	43164	1834	408	4586,6	60698
28	34012	39611	-5599	-1646	-14002	-185300
29	10943	43569	-2626	-641	-6567,2	-86908
30	44998	38217	6781	1507	16960	224450
31	34012	37318	-3306	-972	-8268,3	-109420
32	40943	39862	1082	264	2705,7	35806
33	44998	43567	1431	618	8578	47351

VALOR MEDIO DE Y = 0.39985E+01
S/VALOR MEDIO DE Y= 0.75564E-01
VALOR MEDIO DEL RESIDUO= 0.22335E+00
R2= 0.6235

TEST DE RUBIN Y WATSON.....D=2.3680
NÚMERO DE OBSERVACIONES.....N= 33
SUMA RESIDUOS= 0.1222E-07
COEF AUTORG.= -0.1781286
DETERMINANTE DE LA MATRIZ ZZ= 0.26774780E+02

VAL. AJ. SERIE Y.AJ
RESID. SERIE

GRÁFICO

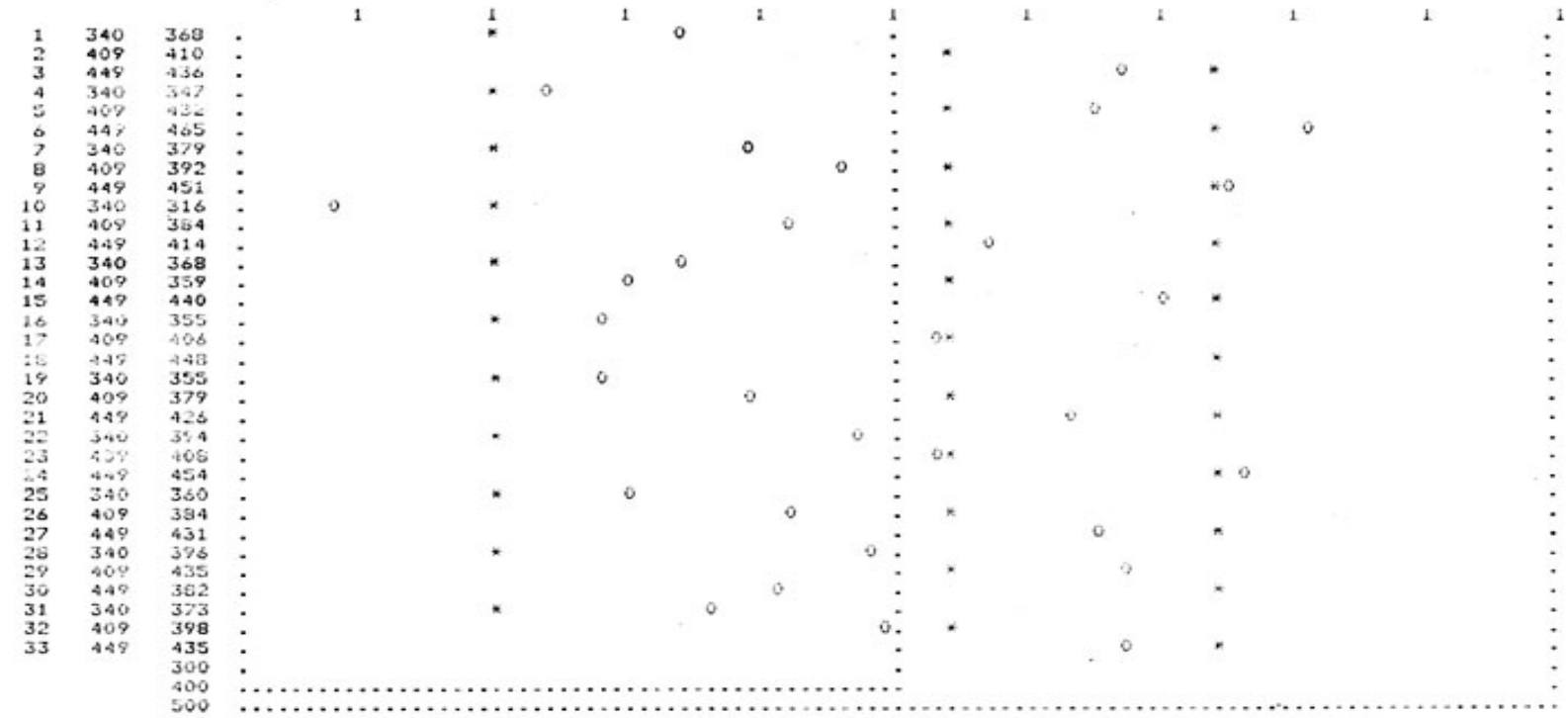
X= Y??????????????????????????????????

0= Y AJUSTADA

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

ESCALA ARITMETICA

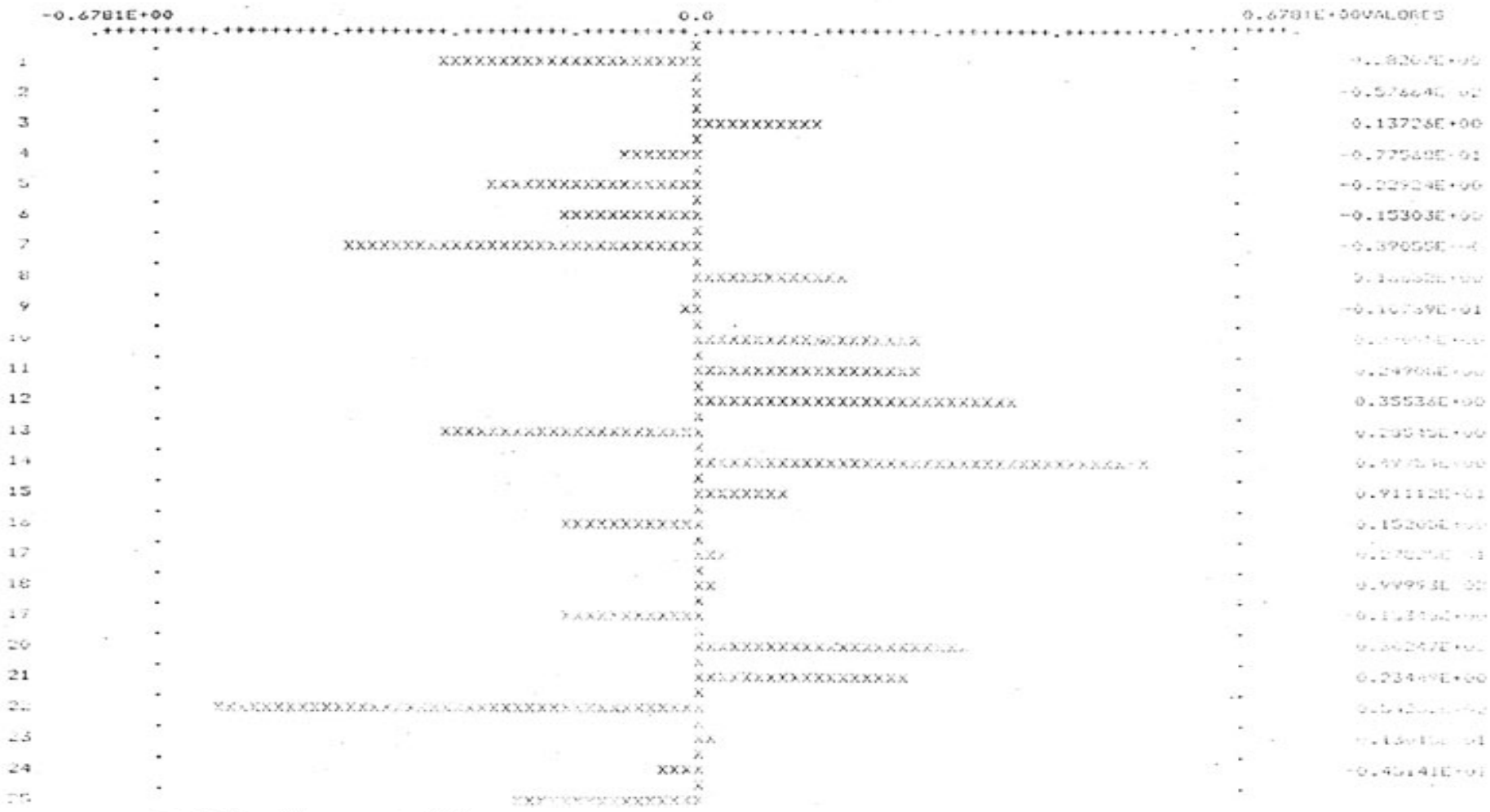
XINF= 0.316025E+01 XSUP= 0.465284E+01
C1= 0.490000E+02 C2= 0.300000E+01

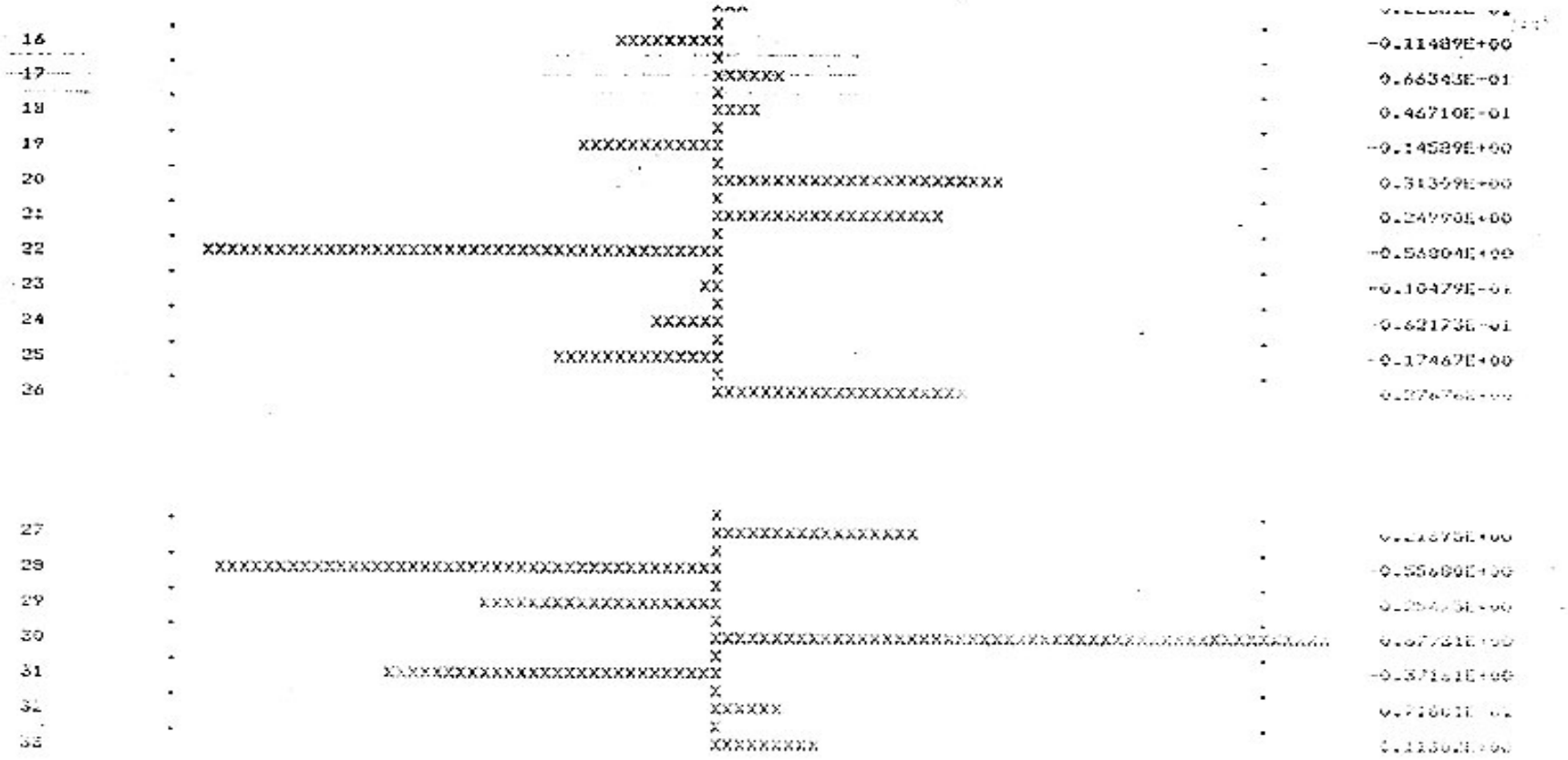


TOSTACION DE CINABRIO EN LECHO FLUIDIZADO. DIFUSION CAPA CENIZAS

GRAFICO DE EVOLUCION DE RESIDUOS

EL INTERVALO DEL GRAFICO ES 0.1356E-01




16
-0.11489E+00
17
0.66343E-01
18
0.46710E-01
19
-0.14589E+00
20
0.31369E+00
21
0.24990E+00
22
-0.56804E+00
23
24
25
-0.17467E+00
26
27
28
29
30
31
32
33

```
OX=SERIE AJUSTADA
OY=SERIE OBSERVADA

40
39                                  0                 0      0 0 0.0   00 0   0
38
37
36
35
34
33
32
31
30
29
28
27
26
25                      0         0 0   0  0  000          0 0
24
23
22
21
20
19
18
17
16
15
14
13
12
11
10
 9
 8
 7
 6
 5
 4
 3
 2
 10              0   0 0   0 0  0      00
  000000000111111111122222222223333333333444444444455555555556666666667
  123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890123456789 0
```

```
ECUACION LFDC-9
        VARIABLE DEPENDIENTE L(TI)
        VALORES AJUSTADOS     Y.AJ
        RESIDUOS
        NUMERO DE PUNTOS            33
        VARIABLES INDEPENDIENTES
              UNO       L(DP)     L(1-XB)  L(F(XB)) L(PPMAX) L(T)

        JUSTACION DE CINABRIO EN LECHO FLUIDIZADO. DIFUSION CAPA CENTRAL
```

ECUACIÓN LFDR-3

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

ECUACIÓN LFDR-3

VARIABLE DEPENDIENTE L(TI)

VALORES AJUSTADOS Y.AJ

RESIDUOS

NÚMERO DE PUNTOS

VARIABLES DE PUNTOS 33

VARIABLES INDEPENDIENTES

UNO L(DP) L(F(XB)) L(T) L(PPMAX) RQEC

TOSTACIÓN DE CINABRIO EN LECHO FLUIDIZADO. REACCIÓN MES DIFUSIÓN

Y.AJ	L(TI)	UNO	L(DP)	L(F(XB))	L(T)	L(PPMAX)	RQEC

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

1	0.0	0.0	3.4012	1.0000	2.0308	-1.5055	6.5484	4.4480	1.1608
2	0.0	0.0	4.0943	1.0000	2.0308	-1.2123	6.5484	4.4480	1.3772
3	0.0	0.0	4.4998	1.0000	2.0308	-1.0278	6.5484	4.4480	1.5393
4	0.0	0.0	3.4012	1.0000	0.2852	-1.3327	6.5484	4.4480	0.2239
5	0.0	0.0	4.0943	1.0000	0.2852	-0.7386	6.5484	4.4480	0.3227
6	0.0	0.0	4.4998	1.0000	0.2852	-0.5070	6.5484	4.4480	0.3781
7	0.0	0.0	3.4012	1.0000	-0.4005	-0.9883	6.5484	4.4480	0.1387
8	0.0	0.0	4.0943	1.0000	-0.4005	-0.8924	6.5484	4.4480	0.1472
9	0.0	0.0	4.4998	1.0000	-0.4005	-0.4827	6.5484	4.4480	0.1939
10	0.0	0.0	3.4012	1.0000	1.1087	-1.3039	6.5484	4.4480	0.0565
11	0.0	0.0	4.0943	1.0000	-1.1087	-0.8222	6.5484	4.4480	0.0758
12	0.0	0.0	4.4998	1.0000	-1.1087	-0.6118	6.6118	4.4480	0.0872
13	0.0	0.0	3.4012	1.0000	2.0308	-1.4645	6.7869	4.4480	1.1884
14	0.0	0.0	4.0943	1.0000	2.0308	-1.5291	6.7869	4.4480	1.1452
15	0.0	0.0	4.4998	1.0000	2.0308	-0.9567	6.7869	4.4480	1.6084
16	0.0	0.0	3.4012	1.0000	0.2852	-1.2417	6.7869	4.4480	0.2362
17	0.0	0.0	4.0943	1.0000	0.2852	-0.8808	6.7869	4.4480	0.2944
18	0.0	0.0	4.4998	1.0000	0.2852	-0.5831	6.7869	4.4480	0.3583
19	0.0	0.0	3.4012	1.0000	-0.4005	-1.1164	6.7869	4.4480	0.1282
20	0.0	0.0	4.0943	1.0000	-0.4005	-0.9496	6.7869	4.4480	0.1420
21	0.0	0.0	4.4998	1.0000	-0.4005	-0.6168	6.7869	4.4480	0.1764
22	0.0	0.0	3.4012	1.0000	-1.1087	-0.7145	6.7869	4.4480	0.0813
23	0.0	0.0	4.0943	1.0000	-1.1087	-0.6176	6.7869	4.4480	0.0868
24	0.0	0.0	4.4998	1.0000	-1.1087	-0.2915	6.7869	4.4480	0.1108
25	0.0	0.0	4.4012	1.0000	0.2852	-1.4699	6.7892	4.3701	0.2060
26	0.0	0.0	4.0943	1.0000	0.2852	-1.2987	6.7892	4.3781	0.2284
27	0.0	0.0	4.4998	1.0000	0.2852	-0.9702	6.7892	4.3781	0.2784
28	0.0	0.0	3.4012	1.0000	-0.4005	-1.0958	6.7892	4.3781	0.1299
29	0.0	0.0	4.0943	1.0000	-0.4005	-0.8174	6.7892	4.3781	0.1544
30	0.0	0.0	4.4998	1.0000	-0.4005	1.1938	6.7892	4.3781	0.1224
31	0.0	0.0	3.4012	1.0000	-1.1087	-1.1285	6.7892	4.3701	0.0627
32	0.0	0.0	4.0943	1.0000	-1.1087	-0.9497	6.7892	4.3781	0.0827
33	0.0	0.0	4.4998	1.0000	-1.1087	-0.6891	6.7892	4.3781	0.0827

BIBLIOTECA VIRTUAL
MIGUEL DE CERVANTES

TOSTACIÓN DE CINABRIO EN LECHO FLUIDIZADO. REACCIÓN MES DIFUSIÓN.

ECUACIÓN LFDR-3

V EXPLICADA.....L(TI)
V EXPLICATIVAS.....UNO, L(DP), L(F(XB)), L(T), L(PPMAX), RQEC
SE HA INVERTIDO UNA MATRIZ SIN LA PRECISIÓN DESEADA.
LMX= 10 L= 11 D= 0.23879013E+02 D1= 0.99999994E+00 ERS= 0.999999E-12 N=6
ER. MAX.= 0.11141E-10

	UNO	L(DP)	L(F(XB))	L(T)	L(PPMAX)	RQEC
COEF.	3094600	17980	138860	-21552	-547160	18329
DESV. TIPO	1158100	15211	21941	52545	21480	32389
T	267230	118200	632890	-41017	-254730	56591
CORR. PARC.	45734	22180	77288	-7869,2	-44018	10827
CONT. INCR.	9839,9	1925	55193	231,82	8941,1	441,29

V UNIDAD=Y.AJ

S=0.3059

EFECTO DE MULTICOLINEALIDAD= -0.13776

V RESID.....0.2526E+01
V EXPL.....0.4264E+01
V TOTAL.....0.6790E+01 R2=0.6280
R2 AJUST.= 0.5591
F(5/27)9.1146

Y	Y AJUSTADA	RESIDUO	POR CIEN	RES/MED. DE Y	RESIDUO/S

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

1	34012	36846	-2834	-833	-7087	-92641
2	40943	41313	-370	-90	-924,47	-12085
3	44998	44173	825	183	2062,8	26965
4	34012	34389	-377	-111	-942,37	-12319
5	40943	42820	-1877	-458	-4693,6	-61358
6	44998	46137	-1139	-253	-2849,2	-37245
7	34012	37783	-3771	-1109	-9431,4	-123290
8	40943	39130	1814	443	4536,5	59302
9	44998	44904	94	21	235,63	3080,2
10	34012	31975	2037	599	5093,2	6579
11	40943	38701	2243	548	5809,3	73325
12	44998	41443	3355	746	8390,5	109680
13	34012	36951	-2940	-864	-7351,6	-96101
14	40943	35975	4968	1213	12425	162420
15	44998	44773	226	50	563,99	7372,6
16	34012	35161	-1149	-338	-2873,3	-37560
17	40943	40280	663	162	1659,2	21689
18	44998	44531	467	104	1168,2	15271
19	34012	35471	-1459	-429	-3648,5	-47694
20	40943	37813	3131	765	7830,3	102360
21	44998	42499	2499	555	6249,9	81700
22	34012	39692	-5680	-1670	-14206	-185710
23	40943	41048	-105	-26	-262,08	-3426
24	44998	45620	-622	-138	-1554,9	-20326
25	34012	35759	-1747	-514	-4368,5	-57106
26	40943	38176	2768	676	6921,8	90482
27	44998	42829	2169	482	5425,8	70927
28	34012	39580	-5568	-1637	-13925	-182030
29	40943	43491	-2548	-622	-6371,3	-83287
30	44998	38205	6793	1510	16989	0.22209E+01*
31	34012	37728	-3716	-1093	-9294	-121490
32	40943	40225	718	175	1795,7	23474
33	44998	43868	1130	251	2826,6	36950

VALOR MEDIO DE Y= 0.39985E+01
S/VALOR MEDIO DE Y= 0.76499E-01
VALOR MEDIO DEL RESIDUO= 0.21757E+00
R2= 0.6280

TEST DE DURBIN Y WATSON.....D= 2.4530
NÚMERO DE OBSERVACIONES.....N= 33

SUMA RESIDUOS= 0.9970E-08

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

COEF. AUTORG.= -0.2066655

DETERMINANTE DE LA MATRIZ ZZ= 0.23879013E+02

VAL. AJ. SERIE Y.AJ

RESID. SERIE

GRÁFICO

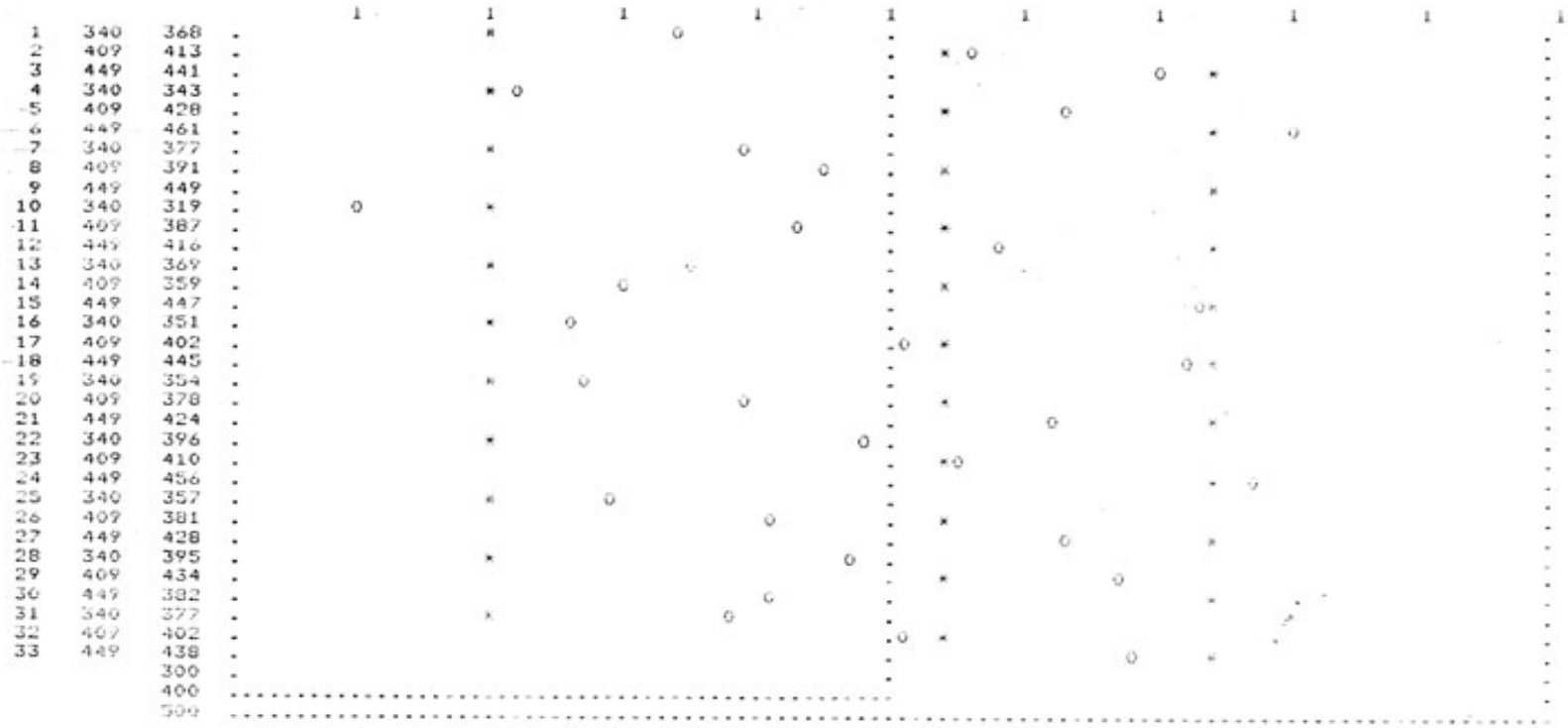
*=Y

0=Y AJUSTADA

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

ESCALA ARITMETICA

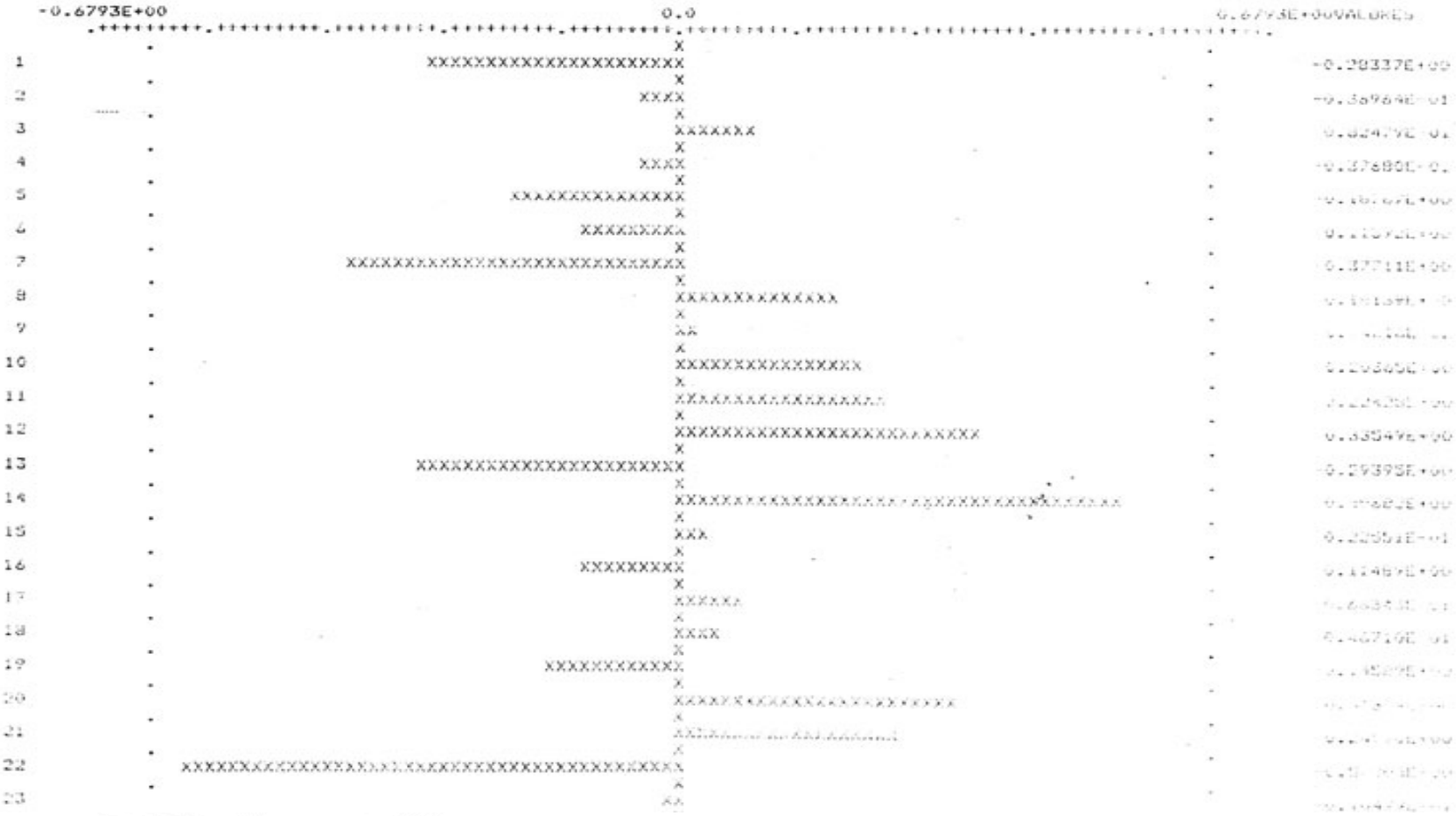
XINF= 0.319755E+01 XSUP= 0.461373E+01
C1= 0.490000E+02 C2= 0.300000E+01

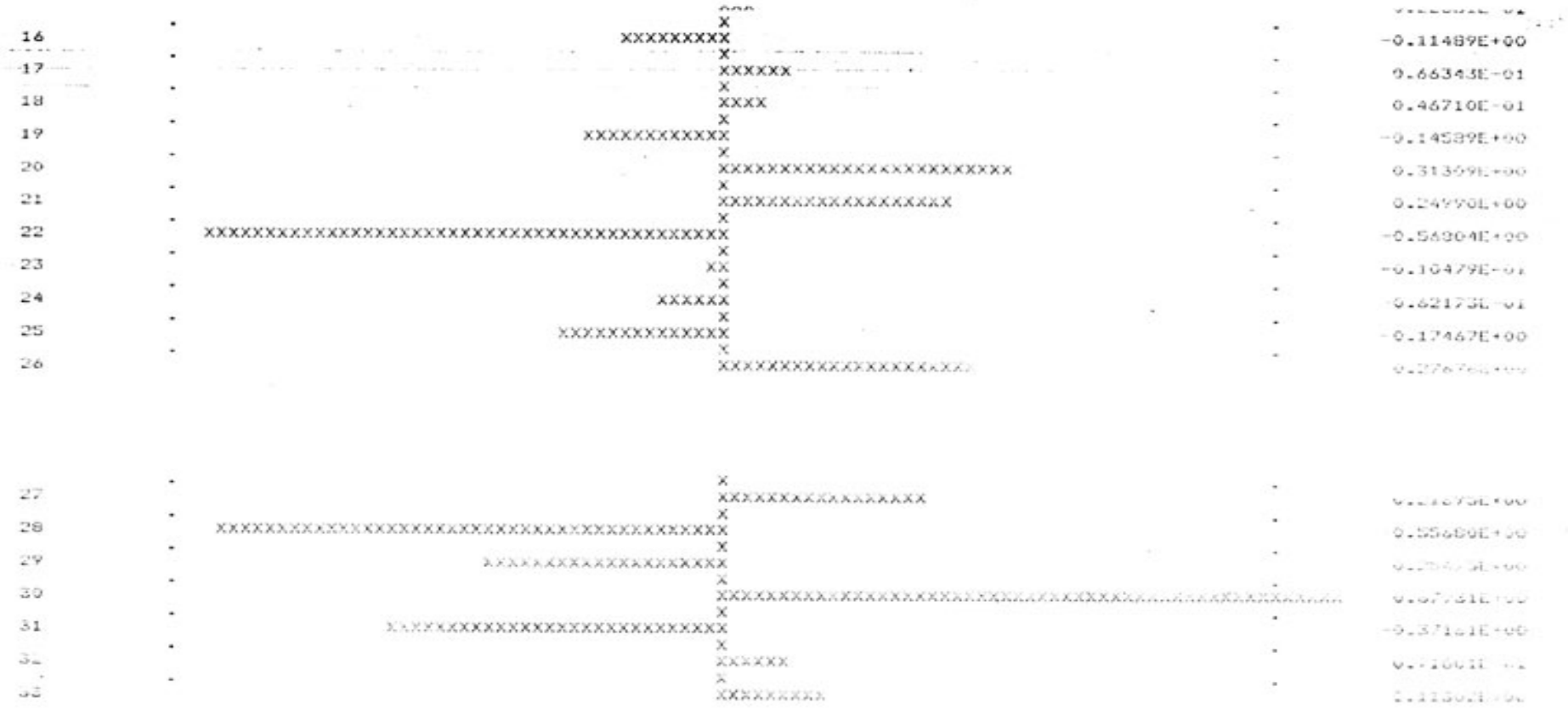


TOSTACION DE CINABRIO EN LECHO FLUIDIZADO. REACCION MES DIFUSION

GRAFICO DE EVOLUCION DE RESIDUOS

EL INTERVALO DEL GRAFICO ES 0.1359E-01




16
-0.11489E+00
17
0.66343E-01
18
0.46710E-01
19
-0.14589E+00
20
0.31369E+00
21
0.24990E+00
22
-0.56904E+00
23
24
25
-0.17467E+00
26
27
28
0.55609E+00
29
30
31
-0.37161E+00

OX=SERIE AJUSTADA
OY=SERIE OBSERVADA

ECUACIÓN LFAR-5

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

ECUACIÓN LFAR-4

VARIABLE DEPENDIENTE L(PP/TI)

VALORES AJUSTADOS Y.AJ

RESIDUOS

NÚMERO DE PUNTOS 33

VARIABLES INDEPENDIENTES

UNO T*L(P/X) L(TI) L(LEY) L(T)

TOSTACIÓN DE CINABRIO EN LECHO FLUIDIZADO

Y.AJ	L(PP/TI)	UNO	T*L(P/X)	L(TI)	L(LEY)	L(T)

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

1	0.0	0.0	0.6371	1.0000	-286.0680	3.4012	3.9637	6.5484
2	0.0	0.0	0.0521	1.0000	-210.5553	4.0943	3.9637	6.5484
3	0.0	0.0	-0.2896	1.0000	-166.0566	4.4998	3.9637	6.5484
4	0.0	0.0	0.7018	1.0000	-240.9173	3.4012	3.9637	6.5484
5	0.0	0.0	0.2070	1.0000	-102.4129	4.0943	3.9637	6.5484
6	0.0	0.0	-0.1354	1.0000	-58.4198	4.4998	3.9637	6.5484
7	0.0	0.0	0.8221	1.0000	-156.8938	3.4012	3.9637	6.5484
8	0.0	0.0	0.1600	1.0000	-135.2428	4.0943	3.9637	6.5484
9	0.0	0.0	-0.1295	1.0000	-54.2575	4.4998	3.9637	6.5484
10	0.0	0.0	0.7123	1.0000	-233.5731	3.4012	3.9637	6.5484
11	0.0	0.0	0.1819	1.0000	-119.9433	4.0943	3.9637	6.5484
12	0.0	0.0	-0.1626	1.0000	-77.4179	4.4998	3.9637	6.5484
13	0.0	0.0	0.6527	1.0000	-349.3057	3.4012	3.9637	6.7869
14	0.0	0.0	-0.0651	1.0000	-371.1025	4.0943	3.9637	6.7869
15	0.0	0.0	-0.2661	1.0000	-189.9722	4.4998	3.9637	6.7869
16	0.0	0.0	0.7348	1.0000	-276.5548	3.4012	3.9637	6.7869
17	0.0	0.0	0.1637	1.0000	-168.3947	4.0943	3.9637	6.7869
18	0.0	0.0	-0.1550	1.0000	-91.4559	4.4998	3.9637	6.7869
19	0.0	0.0	0.7789	1.0000	-237.4777	3.4012	3.9637	6.7869
20	0.0	0.0	0.1416	1.0000	-187.9188	4.0943	3.9637	6.7869
21	0.0	0.0	-0.1640	1.0000	-99.4242	4.4998	3.9637	6.7869
22	0.0	0.0	0.9072	1.0000	-123.7685	3.4012	3.9637	6.7869
23	0.0	0.0	0.2412	1.0000	-99.6564	4.0943	3.9637	6.7869
24	0.0	0.0	-0.0879	1.0000	-37.9896	4.4998	3.9637	6.7869
25	0.0	0.0	0.5807	1.0000	-351.9087	3.4012	3.8932	6.7892
26	0.0	0.0	-0.0488	1.0000	-295.4373	4.0943	3.8932	6.7892
27	0.0	0.0	-0.3405	1.0000	-194.3228	4.4998	3.8932	6.7892
28	0.0	0.0	0.7160	1.0000	-231.7185	3.4012	3.8932	6.7892
29	0.0	0.0	0.1135	1.0000	-151.2731	4.0943	3.8932	6.7892
30	0.0	0.0	-0.4167	1.0000	-262.0330	4.4998	3.8932	6.7892
31	0.0	0.0	0.7047	1.0000	-241.7576	3.4012	3.8932	6.7892
32	0.0	0.0	0.0717	1.0000	-188.3779	4.0943	3.8932	6.7892
33	0.0	0.0	-0.2540	1.0000	-117.5630	4.4998	3.8932	6.7892

BIBLIOTECA VIRTUAL
MIGUEL DE CERVANTES

TOSTACIÓN DE CINABRIO EN LECHO FLUIDIZADO

V EXPLICADA.....L(PP/TI)

V EXPLICATIVAS.....UNO, T*L(P/X), L(TI), L(LEY), L(T)

SE HA INVERTIDO UNA MATRIZ SIN LA PRECISIÓN DESEADA

LMX= 10 L=11 D=0.35672094E+06 D1=0.99999994E+00 ERS= 0.99999956E-12 N=5

ER. MAX.= 0.69849E-09

	UNO	T*L(P/X)	L(TI)	L(LEY)	L(T)
COEF.	-0.74462E+00	0.11881E-02	-0.99266E+00	0.95680E+00	0.20362E+00
DESV. TIPO	0.38814E+00	0.31685E-04	0.58240E-02	0.77672E-01	0.21007E-01
T	-0.19184E+01	0.37498E+02	-0.17044E+03	0.12319E+02	0.96927E+01
CORR. PARC.	-0.34084	0.99019E+00	-0.99952E+00	0.91882E+00	0.87772E-02
CONT. INCR.	0.10024E-03	0.38298E-01	0.79127E+00	0.41332E-02	0.25589E-02

V UNIDAD = Y.AJ

S = 0.0120

EFECTO DE MULTICOLINEALIDAD= 0.16287

V RESID.....0.4042E-02

V EXPL.....0.5295E+01

V TOTAL.....0.5299E+01 R2= 0.9992

R2 AJUST.= 0.9991

F(4/28)= 9171.5365

Y	Y AJUSTADA	RESIDUO	POR CIEN	RES/MED. DE Y	RESIDUO/S

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

1	0.6371	0.6651	-0.0280	-4.39	-0.13655E+00	-0.23303E+01*
2	0.0521	0.0668	-0.0146	-28.10	-0.71422E-01	-0.12188E+01
3	-0.2896	-0.2829	-0.0068	2.33	-0.32934E-01	-0.56202E+00
4	0.7018	0.7187	-0.0170	-2.42	-0.82770E-01	-0.14125E+01
5	0.2070	0.1952	0.0118	5.68	0.57398E-01	0.97950E+00
6	-0.1354	-0.1550	0.0195	-14.42	0.95283E-01	0.16260E+01
7	0.8221	0.8186	0.0036	0.43	0.17320E-01	0.29556E+00
8	0.1600	0.1562	0.0038	2.34	0.18290E-01	0.31213E+00
9	-0.1295	-0.1500	0.0206	-15.87	0.10024E+00	0.17107E+01
10	0.7123	0.7275	-0.0152	-2.13	-0.74021E-01	-0.12632E+01
11	0.1819	0.1744	0.0075	4.12	0.36515E-01	0.62314E+00
12	-0.1626	-0.1775	0.0149	-9.16	0.72653E-01	0.12398E+01
13	0.6527	0.6385	0.0141	2.17	0.69013E+01	0.11777E+01
14	-0.0651	-0.0754	0.0104	-15.92	0.50533E-01	0.86235E+00
15	-0.2661	-0.2627	-0.0034	1.28	-0.16676E-01	-0.28459E+00
16	0.7348	0.7250	0.0098	1.34	0.47849E-01	0.81655E+00
17	0.1637	0.1654	-0.0017	-1.06	-0.84346E-02	-0.14394E+00
18	-0.1550	-0.1457	-0.0093	6.00	-0.45335E-01	-0.77364E+00
19	0.7789	0.7714	0.0075	0.96	0.36482E-01	0.62257E+00
20	0.1416	0.1422	-0.0006	-0.40	-0.27548E-02	-0.47011E-01
21	-0.1640	-0.1551	-0.0088	5.38	-0.43017E-01	-0.73409E+00
22	0.9072	0.9065	0.0007	0.08	0.34035E-02	0.58082E-01
23	0.2412	0.2471	-0.0058	-2.42	-0.28430E-01	-0.48516E+00
24	-0.0879	-0.0750	-0.0128	14.62	-0.62633E-01	-0.10688E+01
25	0.5807	0.5685	0.0122	2.10	0.59560E-01	0.10164E+01
26	-0.0488	-0.0525	0.0036	-7.39	0.176113E-01	0.30057E+00
27	-0.3405	-0.3348	-0.0057	1.66	-0.27573E-01	-0.47054E+00
28	0.7160	0.7113	0.0047	0.66	0.23108E-01	0.39434E+00
29	0.1135	0.1188	-0.0054	-4.72	-0.26111E-01	-0.44559E+00
30	-0.4167	-0.4153	-0.0014	0.35	-0.70369E-01	-0.12009E+00
31	0.7047	0.6994	0.0054	0.76	0.26152E-01	0.44629E+00
32	0.0717	0.0747	-0.0030	4.25	-0.14858E-01	0.25355E+00
33	-0.2540	-0.2436	-0.0204	4.10	-0.50854E-01	-0.86783E+00

VALOR MEDIO DE Y = 0.20503E+00

S/VALOR MEDIO DE Y= 0.58599E-01

VALOR MEDIO DEL RESIDUO= 0.90885E-02

R2= 0.9992

TEST DE DURBIN Y WATSON.....D=1.4759

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

NÚMERO DE OBSERVACIONES.....N= 33

SUMA RESIDUOS= 0.1568E-09

COEF. AUTOGR.= 0.1326884

DETERMINANTE DE LA MATRIZ ZZ= 0.35672094E+06

VAL. AJ SERIE Y.AJ

RESID. SERIE

GRÁFICO

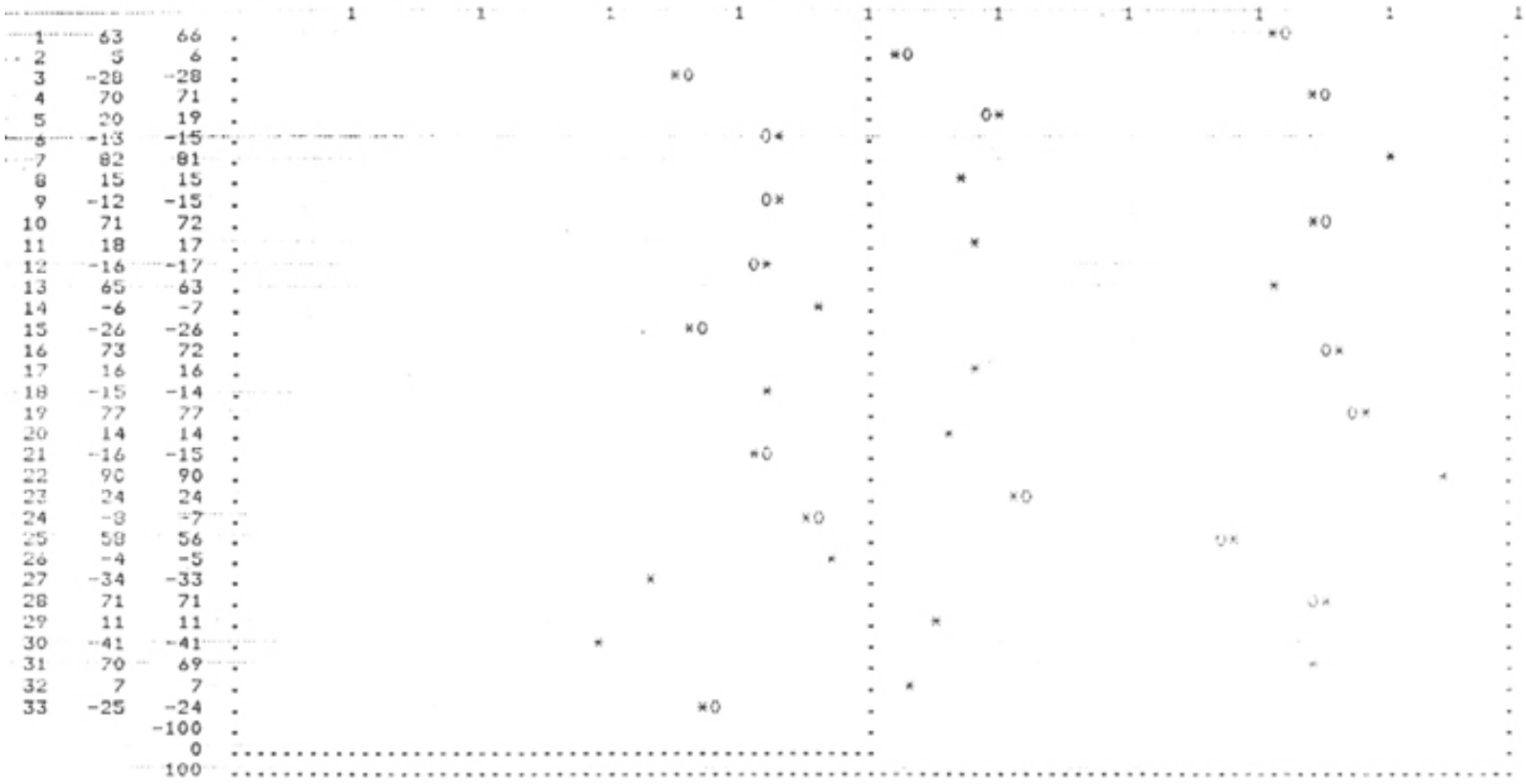
*=Y

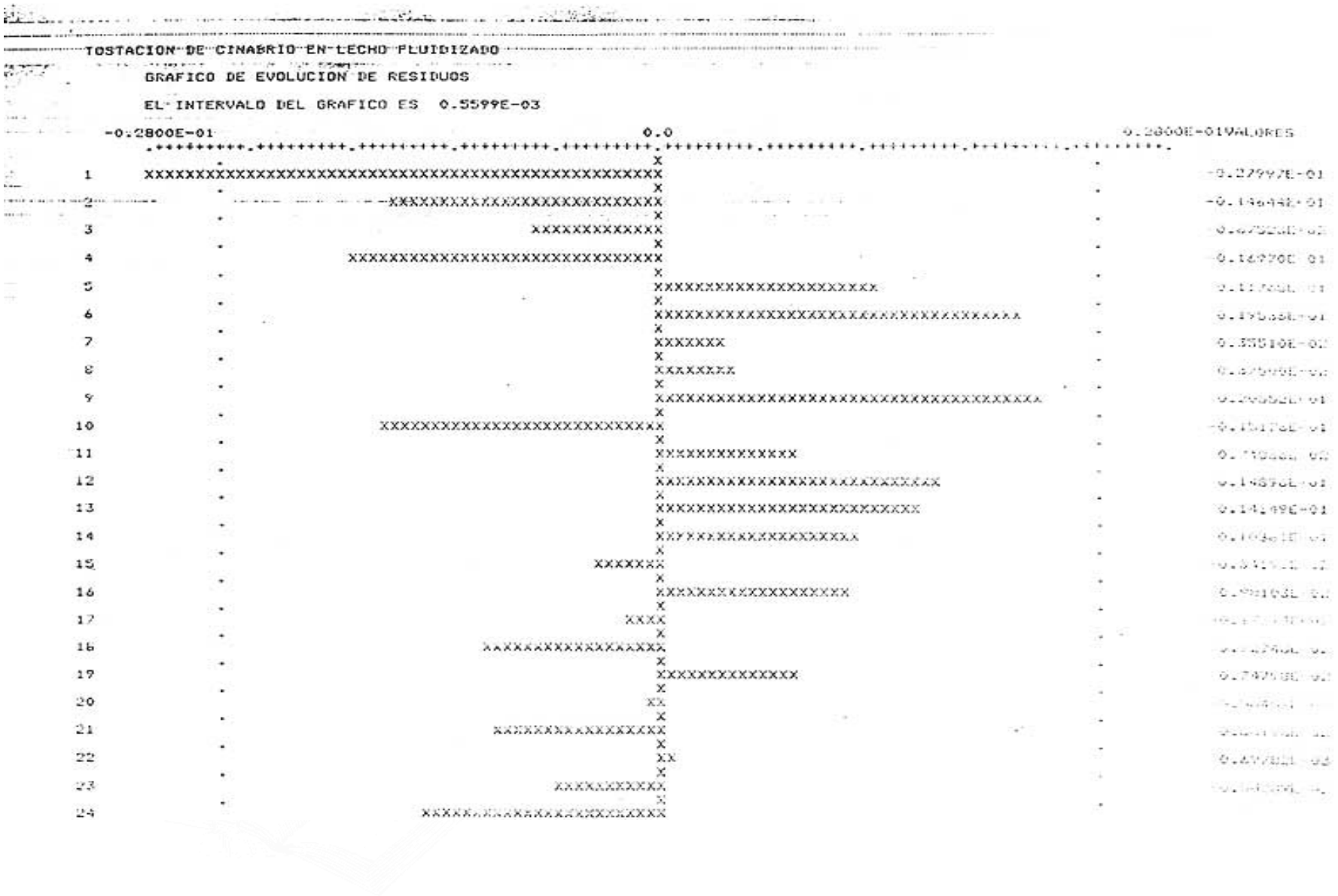
0=Y AJUSTADA

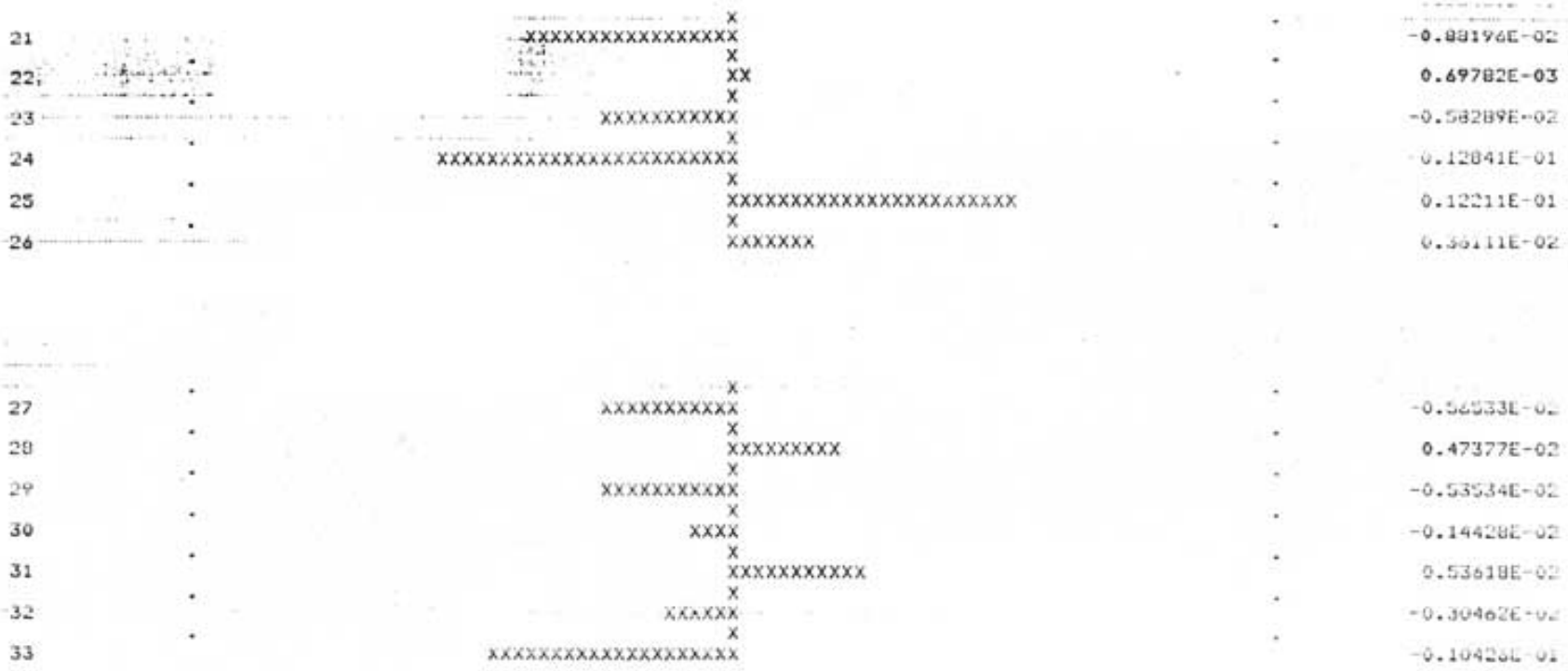
BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

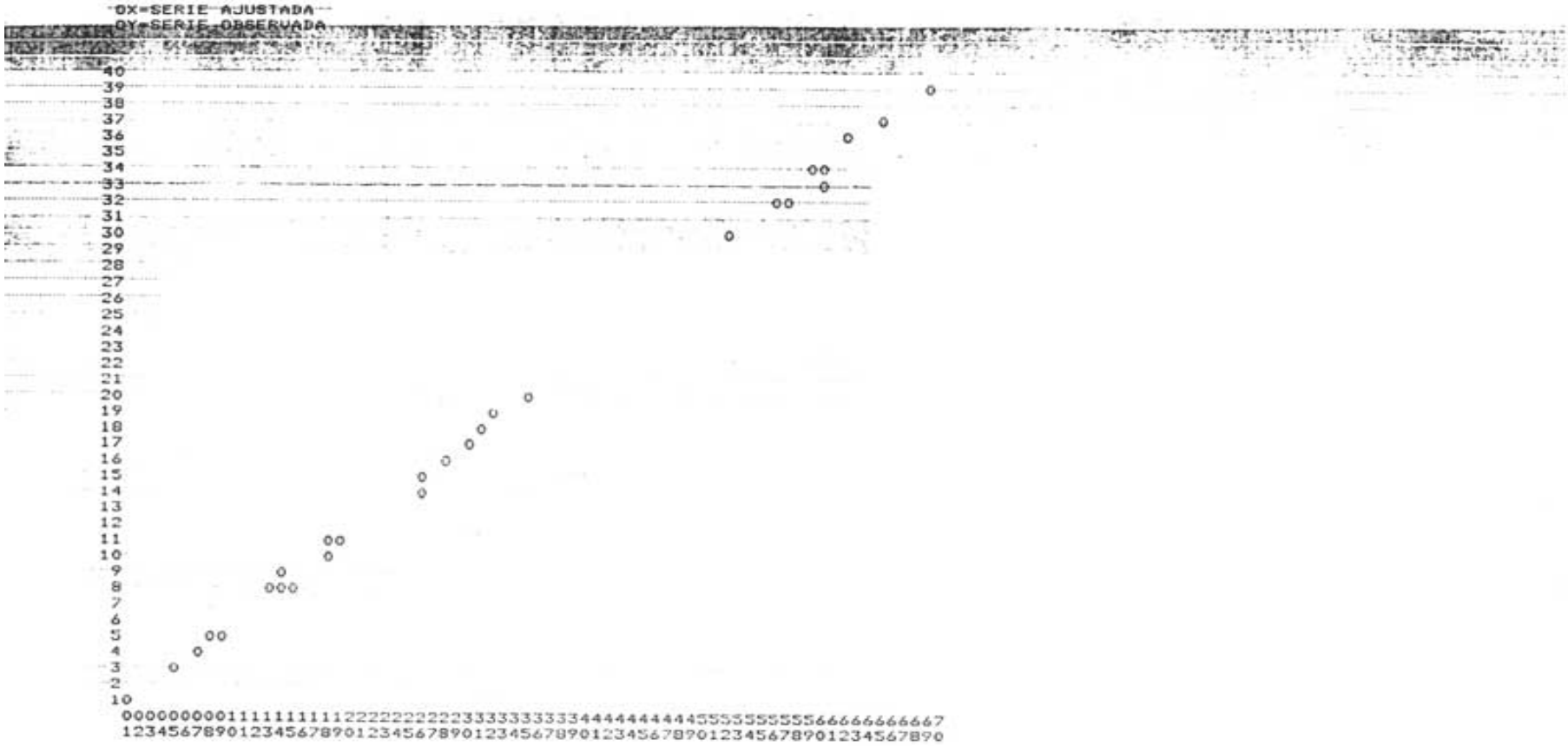
ESCALA-ARITMETICA

XINF=-0.416695E+00 XSUP= 0.907183E+00
C1= 0.490000E+02 C2=-0.100000E+01




TOSTACION DE CINABRIO EN LECHO FLUIDIZADO
GRAFICO DE EVOLUCION DE RESIDUOS
EL INTERVALO DEL GRAFICO ES 0.5599E-03
-0.2800E-01
0.0
0.2800E-01VALORES


21
-0.88196E-02
22
0.69782E-03
23
-0.58289E-02
24
0.12041E-01
25
0.12211E-01
26
27
28
0.47377E-02
29
30
-0.14428E-02
31
0.53618E-02
32
33



ECUACION LFAR-6
VARIABLE DEPENDIENTE L(PP/TI)
VALORES AJUSTADOS Y.AJ
RESIDUOS
NUMERO DE PUNTOS 33
VARIABLES INDEPENDIENTES
UNO T*L(P/X) L(LEY) L(T)

TOSTACION DE CINABRIO EN LECHO FLUIDIZADO

RESEÑA BIOGRÁFICA DEL AUTOR

Carlos de la Cruz Gómez nace el 5 de febrero de 1951 en Chillón (Ciudad-Real). Realiza sus estudios de Bachillerato en el Instituto Nacional de Enseñanza Media «Fray Andrés» de Puertollano.

Estudia las carreras de Ingeniero Técnico en Metalurgia en la Escuela de Ingeniería Técnica de Minas de Alamdén, y posteriormente la de Ingeniero Industrial en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Madrid.

Es contratado como Profesor Encargado de Curso en la Escuela Universitaria Politécnica de Almadén el curso 1.080-81. El 1 de octubre de 1.981 fue nombrado Profesor Agregado Interino de «Mecánica I» y el 1 de noviembre de 1.982 Agregado Contratado.

El 15 de septiembre de 1.981 fue nombrado Sibdirector de la Escuela Universitaria Politécnica de Almadén, cargo que desempeña en la actualidad.

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES