

Modelos probabilísticos de los contenidos porcentuales de pérdida al fuego, residuo insoluble y SO_3 de cementos P-350 fabricados en España

FERNANDO SALCEDO MARTINEZ (*)
ANGEL ARTEAGA IRIARTE (**)

RESUMEN

Las limitaciones fijadas en las normas para las características químicas de los cementos han sido establecidas según métodos semi-empíricos, dada la complejidad de los fenómenos que influyen, sin que exista correspondencia entre estos valores y las propiedades físico-químicas y mecánicas como durabilidad y resistencia. El conocimiento de los modelos estadísticos de distribución de las características químicas permite establecer valores límites de aceptación o rechazo, según criterios frecuentistas, y las relaciones de dependencia existentes entre ellas.

Con el fin de proponer modelos de distribución de los contenidos de Pérdida al Fuego, Residuo Insoluble y SO_3 se ha hecho un estudio sobre los valores obtenidos de estas tres variables en análisis efectuados en el Instituto E. Torroja sobre 255 muestras de cemento durante 10 años. Se han estudiado las dependencias existentes entre las tres variables, definidas por los coeficientes de correlación entre ellas. Los valores de las muestras se han agrupado en intervalos equiprobables y se ha aplicado el test χ^2 para verificar la bondad de ajuste de las distribuciones Normal, Gamma y Log-Normal a cada una de ellas. Finalmente, la bondad de ajuste y la concordancia entre los valores de los fractiles más altos y los valores máximos encontrados en las muestras ha permitido proponer modelos de distribución para cada una de las variables.

SUMMARY

Limits fixed in Codes for the chemical characteristics of cements have been established with semi-empirical methods, given the complexity of influencing phenomena, without correspondence between these values and the physico-chemical or mechanical properties as durability or strength. Knowledge of statistical distribution models allows to fix limits of acceptance or rejection, with criteria of frequencies, and dependence relationships among them.

In order to propose distribution models for the percentage of Ignition Loss, Insoluble Residuum and SO_3 , the values of the variables on 255 samples analysed at the Instituto E. Torroja during 10 years, have been studied. Dependences among variables, defined by the correlation coefficients, have been studied as well. Sample values have been grouped in equally probable intervals and goodness of fit with Normal, Gamma and Log-Normal distributions was done by means of test χ^2 . Finally, goodness of fit and agreement between upper fractiles and maxima values in samples let us propose distribution models for each variable.

1. INTRODUCCION

Dentro de las características químicas de los cementos Portland, el Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para la Recepción de Cementos (RC-75) [1] establece limitaciones según tipo y categoría para cuatro de ellas: Los contenidos de Pérdida al Fuego, Residuo Insoluble,

(*) Ingeniero Civil, Las Malvas 630, Las Condes, SANTIAGO (CHILE).

(**) Ingeniero de Caminos. CECIME - CSIC, Serrano, 123 - 28006 MADRID.

SO₃ y MgO. Los límites máximos fijados, en el caso del P-350 son del 4, 3, 4 y 5 %, respectivamente.

El estudio de la variabilidad de estas características tiene un doble interés: primero, conocer el grado de ajuste entre los valores fijados en el Pliego y los correspondientes a los cementos fabricados en España; segundo, la determinación de los modelos probabilistas que representen, en conjunto o independientemente, a tales características.

Dadas las numerosas variables que influyen en las características del cemento, el carácter estocástico (variabilidad en el tiempo) de las mismas y la complejidad de los fenómenos involucrados, las limitaciones establecidas han sido fijadas, usualmente, según métodos semi-empíricos. En estos métodos sólo se consideran los momentos de primer y segundo orden de tales características (medias y varianzas), asociados a distribuciones de probabilidad Normales. La correspondencia, en sentido probabilista, entre estas limitaciones y los valores mínimos de otras características de tipo físico-químico y mecánico no son bien conocidas y, por tanto, no se dispone de criterios probabilistas en la codificación de valores, que consideren la durabilidad y resistencia de los cementos.

Dada la uniformidad del valor límite establecido en los distintos códigos nacionales para el contenido porcentual de MgO y el buen cumplimiento general de los cementos españoles de este límite, no se considera esta variable en este primer estudio sobre el tema.

El conocimiento de los modelos de distribución de contenidos porcentuales de las características químicas de Pérdida al Fuego, Residuo Insoluble y SO₃ en cementos, permite fijar, tanto los valores límites según criterios frecuentistas, como las relaciones de dependencia entre estas características. Ello posibilita establecer criterios de aceptación o rechazo, estableciendo valores característicos para tales contenidos.

En este trabajo las dependencias se evalúan mediante coeficientes de correlación y las funciones marginales de distribución se obtienen aplicando el test χ^2 [2], [3] a muestras puntuales según los tipos usuales de distribución: Normal, Log-Normal y Gamma.

Para la ejecución de este trabajo se han elaborado programas propios de cálculo en ordenador, de aplicación general, basados en los desarrollados en [4].

2. CARACTERISTICAS DE LA POBLACION ESTUDIADA

La población está constituida por 255 valores de las tres variables obtenidos en análisis efectuados sobre las mismas muestras provenientes de 45 fábricas distintas. Estos análisis han sido efectuados en el Instituto E. Torroja a lo largo de 10 años (1965-1975).

Los valores medios, desviaciones estándar y coeficientes de variación de las poblaciones correspondientes a las tres variables estudiadas, así como los valores límites fijados en la RC-75, figuran en el cuadro 1.

CUADRO 1

	PERDIDA FUEGO	RESIDUO INSOLUBLE	SO 3
MEDIA	2,641 %	1,568 %	2,703 %
DESVIACION ESTANDAR	1,178 %	1,368 %	0,515 %
COEFICIENTE DE VARIACION	0,466	0,872	0,190
VALOR LIMITE (RC-75)	4 %	3 %	4 %

En el Anejo 1 figuran, para cada fábrica —indicada por un número clave—, el número de muestras y los valores medios, desviaciones estándar y coeficientes de variación para las tres variables.

Dado el número reducido de muestras en la mayoría de las fábricas, dentro de la población examinada, se realiza, exclusivamente, un estudio global de las poblaciones en todo lo que sigue.

3. DEPENDENCIAS ENTRE LAS TRES VARIABLES

Para estudiar la dependencia estadística entre las variables correspondientes a contenidos de Pérdida al Fuego, Residuo Insoluble y SO₃ se calculó la matriz de correlación, $\|\rho_{mn}\|$. Los elementos de esta matriz, coeficientes de correlación entre dos variables, se obtienen por la expresión:

$$\rho_{mn} = \frac{\text{Cov}(X_m, X_n)}{\sigma_m \sigma_n}$$

Siendo $\text{Cov}(X_m, X_n)$ la covarianza de las variables X_m y X_n , definida por:

$$\text{Cov}(X_m, X_n) = \frac{\sum_k^n x_{mk} \cdot x_{nk}}{n} - \bar{x}_m \cdot \bar{x}_n$$

y σ_m y σ_n las desviaciones estándar de las variables X_m y X_n .

Los resultados de este estudio se indican en el cuadro 2.

CUADRO 2
Matriz de correlación

	P.F.	R.I.	SO ₃
P.F.	1	0.37	-0.02
R.I.	0.37	1	-0.11
SO ₃	-0.02	-0.11	1

4. AJUSTE DE LAS VARIABLES A LEYES DE DISTRIBUCION TEORICAS

Las tres variables se han ajustado a funciones de distribución teóricas de tres tipos: Normales o Gaussianas, Gammas y Logarítmico-Normales.

Las funciones de densidad de las distribuciones empleadas vienen definidas por las expresiones siguientes:

Ley de distribución Normal

$$f_x(x; \bar{x}, \sigma) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \exp\left[-1/2 \left(\frac{x - \bar{x}}{\sigma}\right)^2\right] \quad -\infty < x < +\infty$$

Con los parámetros de localización y escala, \bar{x} y σ , definidos por:

$$\bar{x} = \frac{\sum_i^n x_i}{n} \quad \sigma = \sqrt{\frac{\sum_i^n (x_i - \bar{x})^2}{n}}$$

Ley de distribución Gamma

$$f_x(x; \nu, \beta) = \begin{cases} \frac{\beta^\nu}{\Gamma(\nu)} x^{\nu-1} \exp(-\beta x) & x \geq 0 \\ 0 & x < 0 \end{cases}$$

Siendo $\Gamma(\nu)$ la función Gamma completa, definida por:

$$\Gamma(\nu) = \int_0^\infty x^{\nu-1} \exp(-x) dx$$

y los parámetros de forma y escala, ν y β , correspondientes a estimadores de momentos, definidos por

$$\nu = \frac{\bar{x}^2}{\sigma^2} \quad \beta = \frac{\bar{x}}{\sigma^2}$$

Siendo \bar{x} y σ^2 la media y varianza de la población.

Ley de distribución Logarítmico-Normal

$$f_x(x; \mu, \sigma_L) = \begin{cases} \frac{1}{x \cdot \sigma_L \sqrt{2\pi}} \exp\left[-1/2 \left(\frac{\log x - \mu}{\sigma}\right)^2\right] & x \geq 0 \\ 0 & x < 0 \end{cases}$$

Con los parámetros de forma y escala, μ y σ_L , correspondientes a estimadores de momentos, definidos por:

$$\mu = \frac{\sum^n \log x_i}{n} \quad \sigma_L = \sqrt{\frac{\sum^n (\log x_i - \mu)^2}{n}}$$

En el cuadro 3 figuran los valores de estos parámetros para cada función de distribución y cada variable, obtenidos por las expresiones anteriores. En el caso de las distribuciones Gamma y Log-Normal, los valores de los parámetros correspondientes a estimadores de máxima verosimilitud han sido, también, considerados según [4]; tales valores no se incluyen en este estudio por no ser significativas las diferencias encontradas para la elección y ajuste de los modelos.

CUADRO 3
Parámetros de las distribuciones

	NORMAL		GAMMA		LOG-NORMAL	
	\bar{x}	σ	ν	β	μ	σ_L
PERDIDA FUEGO	2,641	1,178	5,024	1,902	0,869	0,466
RESIDUO INSOL.	1,568	1,368	1,315	0,838	0,869	0,466
SD 3	2,703	0,514	27,575	10,204	0,975	0,198

5. VERIFICACION DE LA BONDAD DE AJUSTE

Para verificar la bondad de ajuste de las variables a las distintas leyes de distribución se utilizó el test χ^2 .

La realización del test ([2] y [3]) requiere las siguientes etapas:

a) *Agrupación de las muestras por intervalos*

Para cada variable y cada tipo de distribución se calculan los límites de los intervalos de equiprobabilidad. Es decir, para un número de intervalos dado, k , se calculan los límites superiores de cada intervalo, x_i , por la expresión:

$$\Pr [X < x_i] = i/k \quad i = 1, k$$

Los límites inferiores de cada intervalo corresponden a los superiores del intervalo anterior. El límite inferior del primer intervalo será, para las distribuciones Gamma y Log-Normal, el valor 0.

b) *Determinación del número esperado de observaciones en cada intervalo, E_i*

En nuestro caso, por utilizar intervalos equiprobables, corresponde, simplemente, al valor del número total de muestras dividido por el número de intervalos.

c) *Recuento del número de observaciones realmente existentes en cada intervalo, N_i*

d) *Cálculo del estadístico W*

Se determina por la expresión:

$$W = \sum_{i=1}^k (N_i - E_i)^2/E_i$$

e) *Cálculo del nivel de confianza*

La hipótesis de que la muestra corresponde a la función de distribución ensayada puede ser aceptada con un nivel de confianza dado, definido por el fractil f , si se verifica:

$$W < [\chi_{k-1}^2]_f$$

Es decir, si el estadístico calculado, W , es menor que el valor de la variable de la distribución χ^2 con $k - 1$ grados de libertad, asociada el fractil f .

El test ha sido realizado, para cada variable y cada distribución, variando el número de intervalos para buscar aquel que tuviese el mayor nivel de confianza. En el anejo 2 se dan los resultados de estos ensayos, únicamente para los casos que se han obtenido mayores niveles de

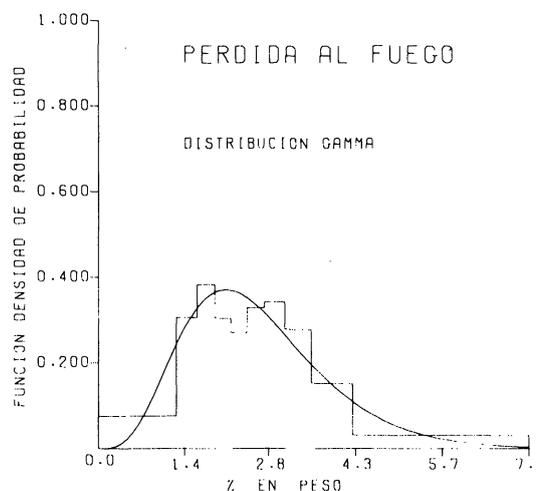


Figura 1

confianza. Igualmente, para estos casos, en las figuras 1 a 3, se han dibujado los histogramas correspondientes a esa agrupación y la función de densidad correspondiente.

En el cuadro 4 se resumen los resultados obtenidos, indicando, para cada variable y función de distribución, el máximo nivel de confianza alcanzado, expresado en %, y el número de intervalos en que se divide la muestra para alcanzarlo.

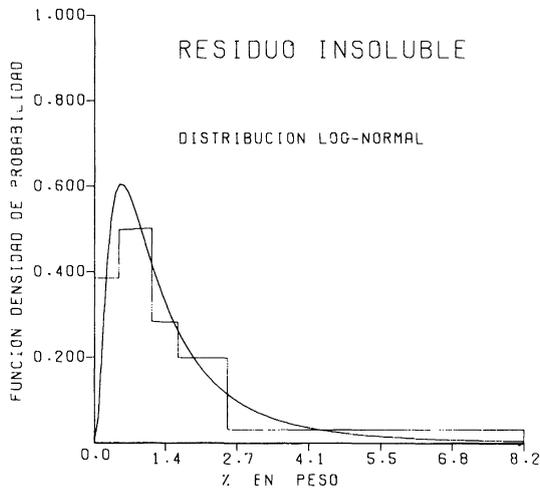


Figura 2

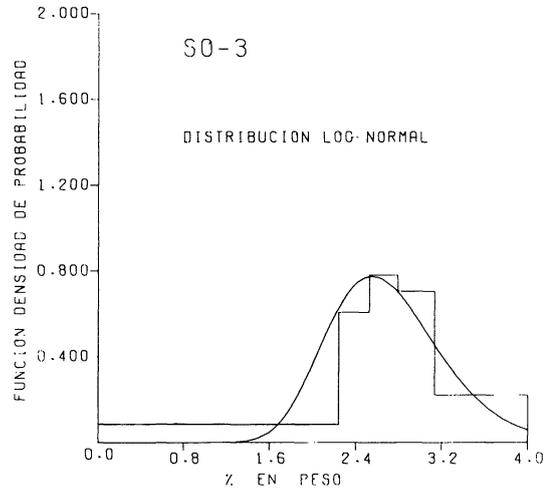


Figura 3

CUADRO 4

FUNCION	PERDIDA AL FUEGO		RESIDUO INSOLUBLE		SO3	
	NUMERO INTERVA	NIVEL DE CONFIANZA	NUMERO INTERVA	NIVEL DE CONFIANZA	NUMERO INTERVA	NIVEL DE CONFIANZA
NORMAL	10	5,9 %	4	0,7 %	7	24,2 %
GAMMA	10	82,8 %	8	34,1 %	4	7,1 %
LOG-NORMAL	6	38,1 %	6	65,7 %	5	41,2 %

6. FRACTILES REPRESENTATIVOS Y MODELOS PROPUESTOS

En el cuadro 5 se dan, para cada variable y cada función de distribución, los valores correspondientes a los fractiles más representativos. Igualmente, se indican los valores máximos encontrados en la población que, como comparación, dado el número de muestras (255), debería corresponder a un fractil aproximado de 0,996.

En las figuras 4 a 6 se han dibujado en escala doblemente logarítmica las tres funciones de distribución correspondientes a cada variable.

Como se deduce de dichas figuras y del cuadro 5, para la Pérdida al Fuego y el Residuo Insoluble, la función Normal hace corresponder para valores de la variable semejantes al máximo encontrado, fractiles mayores que el correspondiente al número de muestras; la función Log-Normal fractiles inferiores; mientras que para la función Gamma los fractiles son del mismo orden que los correspondientes al número de muestras.

CUADRO 5

	FUNCION	FRACTIL						VALORES MAXIMOS
		0,50	0,90	0,95	0,99	0,999	0,9999	
P. F.	NORMAL	2,64	4,15	4,58	5,38	6,28	7,02	7,1
	GAMMA	2,47	4,22	4,83	6,12	7,80	9,37	
	LOG-NOR	2,38	4,33	5,13	7,05	10,07	13,49	
R. I.	NORMAL	1,57	3,32	3,82	4,75	5,80	6,66	8,2
	GAMMA	1,19	3,38	4,27	6,31	9,18	12,02	
	LOG-NOR	1,10	3,35	4,57	8,27	16,03	27,62	
SO 3	NORMAL	2,70	3,36	3,55	3,90	4,29	4,62	4,0
	GAMMA	2,68	3,38	3,60	4,04	4,58	5,05	
	LOG-NOR	2,65	3,42	3,67	4,20	4,89	5,54	

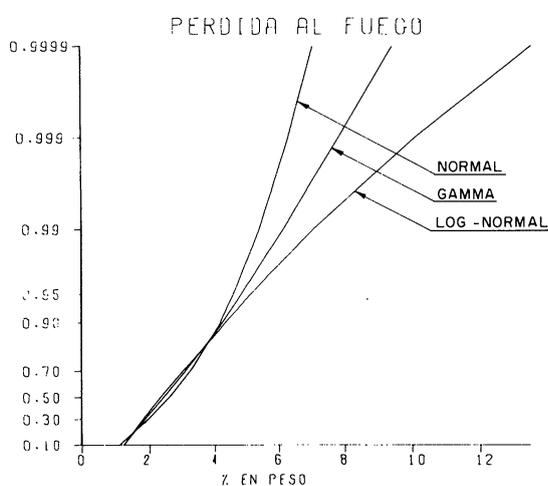


Figura 4

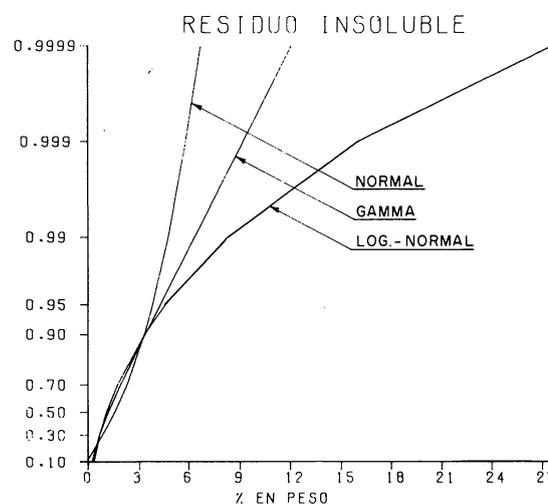


Figura 5

Para el contenido de SO_3 , la función Normal es la que mejor ajusta los fractiles correspondientes al número de muestras; quedando las funciones Gamma y Log-Normal con fractiles más bajos.

La influencia de la elección de la función de distribución al tomar fractiles representativos es pequeña en el caso de Contenido de SO_3 (Coeficiente de Variación 0,19), pero muy grande en el de Residuo Insoluble (Coeficiente de Variación 0,872).

Las variaciones de los valores representativos son más importantes para fractiles elevados (o bajos) que, obviamente, para los fractiles intermedios.

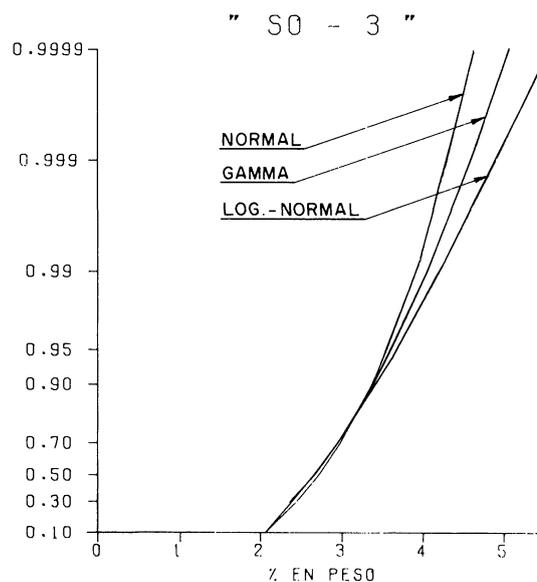


Figura 6

Por lo indicado respecto a valores máximos y el nivel de confianza alcanzado en el test χ^2 , se propone modelar el contenido de Residuo Insoluble y Pérdida al Fuego mediante funciones Gamma definidas por los parámetros indicados.

Se propone, igualmente, la función Normal para modelar el contenido porcentual de SO_3 .

Las funciones adoptadas como modelo están definidas, teóricamente, en todo el campo real la función Normal y en el campo real positivo la función Gamma. La variación real de las variables es más restringida. Por ser contenidos porcentuales, deben, en principio, estar restringidos entre 0 y 100; pero, en la práctica, la restricción será mucho más fuerte (un producto con un contenido de SO_3 más allá de un cierto valor no podría considerarse como cemento). Se han truncado estas funciones de distribución, de forma que su campo de variabilidad quedase restringido a los valores posibles, según lo indicado en [5]. Los valores de los fractiles obtenidos al truncar las funciones tienen una variación pequeña con respecto a los ya indicados y, por tanto, no se tienen en cuenta.

7. CONCLUSIONES

La correlación encontrada entre los contenidos de Pérdida al Fuego y Residuo Insoluble es baja (cuadro 2); entre el contenido de SO_3 y los otros dos es prácticamente nula. Puede ser admitida, en principio, la hipótesis de independencia entre variables.

La bondad de ajuste de las tres variables a las distintas distribuciones, definido por el nivel de confianza alcanzado en el test χ^2 (cuadro 4), es significativa: en la función Normal, para el contenido de SO_3 ; en la función Gamma, para los contenidos de Pérdida al Fuego (muy alta) y Residuo Insoluble; en la función Log-Normal, para las tres variables.

Teniendo en cuenta la conclusión anterior y la concordancia entre los valores de los fractiles más altos y los valores máximos encontrados en las muestras, se proponen como modelo de las variables las funciones de distribución y parámetros indicados en el cuadro 6.

El cumplimiento, en los cementos analizados, del límite fijado en RC-75 para el contenido de SO_3 es total, pero bajo (87 %), para los contenidos de Pérdida al Fuego y Residuo Insoluble (cuadro 6).

CUADRO 6

VARIABLE	FUNCION	PARAMETROS		Fractil RC-75
PERDIDA AL FUEGO	GAMMA	$\nu = 5,024$	$\beta = 1,902$	0,873
RESIDUO INSOLUBLE	GAMMA	$\nu = 1,315$	$\beta = 0,838$	0,867
SO_3	NORMAL	$\bar{x} = 2,703$	$\sigma = 0,514$	0,994

Como sugerencia para futuros trabajos se destaca la necesidad de realizar estudios de las correlaciones entre las propiedades físico-químicas y mecánicas y los valores obtenidos en análisis químicos, ya que esto permitiría fijar valores límites con más criterios que los puramente frecuentistas.

AGRADECIMIENTO

Agradecemos al Dr. F. Triviño el habernos facilitado todos los datos necesarios para la realización de este estudio y, fundamentalmente, su comprensión al introducirnos en el área de la química del cemento.

BIBLIOGRAFIA

- [1] PLIEGO DE PRESCRIPCIONES TECNICAS GENERALES PARA LA RECEPCION DE CEMENTOS 1975 (RC-75): MOPU, Secretaría General Técnica. 3.ª Edición. Madrid 1984.
- [2] HAHN, G. J. y SHAPIRO, S. S.: STATISTICAL MODELS IN ENGINEERING. John Willey & Sons. Nueva York. 1967.
- [3] MANN, N. R. et al.: METHODS FOR STATISTICAL ANALYSIS OF RELIABILITY & LIFE DATA. John Willey & Sons. Nueva York. 1974.
- [4] SOLANA, V.: ESTUDIO DE COMBINACIONES DE ACCIONES PARA EL ANALISIS DE FIABILIDAD DE COMPONENTES Y SISTEMAS DE ESTRUCTURAS. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. 1982.
- [5] JOHNSON, N. L. y KOTZ, S.: DISTRIBUTIONS IN STATISTICS: CONTINUOS UNIVARIATE DISTRIBUTIONS. Willey Series in Probability. John Willey & Sons. Nueva York. 1970.

ANEJO 1

FABRICA		Pérdida al fuego			Residuo insoluble			Contenido en SO ₃			
	Muestras	MEDIA	DESV.	C.VAR	MEDIA	DESV.	C.VAR	MEDIA	DESV.	C.VAR	
	1	11	3.78	1.03	.27	2.35	1.03	.28	2.46	.42	.17
	2	10	3.12	.90	.29	1.78	.90	1.01	2.23	.21	.10
	3	24	2.05	1.05	.52	.85	1.05	.64	3.10	.67	.22
	4	7	3.23	.60	.18	1.63	.60	.39	3.16	.32	.10
	5	5	3.22	.50	.15	1.62	.50	.34	2.48	.16	.06
	6	6	1.70	.39	.23	.55	.39	.31	2.50	.27	.11
	7	13	2.17	.89	.41	.56	.89	.51	2.88	.28	.10
	8	14	3.79	1.56	.41	1.54	1.56	.52	2.59	.39	.15
	9	1	1.10	0.00	0.00	.30	0.00	0.00	1.60	0.00	0.00
	10	9	2.34	.26	.11	5.63	.26	.18	2.47	.23	.09
	11	7	2.63	.65	.25	.91	.65	.88	2.86	.35	.12
	12	10	2.11	.69	.33	.48	.69	.40	2.78	.51	.18
	13	4	2.68	1.03	.38	.85	1.03	.46	2.70	.44	.16
	14	1	1.30	0.00	0.00	.30	0.00	0.00	3.00	0.00	0.00
	15	3	2.90	1.07	.37	1.30	1.07	.82	2.43	.33	.14
	16	5	1.65	.32	.20	.34	.32	.14	2.31	.32	.14
	17	5	4.26	1.17	.27	1.44	1.17	.18	2.80	.25	.09
	18	30	2.60	.93	.36	2.35	.93	.29	3.02	.40	.13
	19	5	2.62	.37	.14	1.01	.37	.17	2.82	.60	.21
	20	2	1.20	.10	.08	.35	.10	.14	1.60	.10	.06
	21	3	1.97	.66	.34	.83	.66	.34	2.83	.05	.02
	22	1	6.50	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	1.70	0.00	0.00
	23	1	1.60	0.00	0.00	.40	0.00	0.00	2.80	0.00	0.00
	24	1	1.60	0.00	0.00	5.30	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00
	25	2	2.20	.20	.09	3.00	.20	.17	2.25	.15	.07
	26	6	3.17	2.06	.65	1.68	2.06	.32	2.48	.58	.23
	27	2	2.30	.30	.13	.95	.30	.37	3.35	.05	.01
	28	6	.85	.13	.15	.18	.13	.58	2.60	.10	.04
	29	16	3.11	.65	.21	1.40	.65	.45	2.74	.43	.16
	30	1	1.30	0.00	0.00	.70	0.00	0.00	2.70	0.00	0.00
	31	2	3.05	.05	.02	.75	.05	.07	1.95	.05	.03
	32	1	5.60	0.00	0.00	6.80	0.00	0.00	1.60	0.00	0.00
	33	6	1.80	.47	.26	.53	.47	.18	2.68	.17	.06
	34	2	2.95	.65	.22	3.25	.65	.78	3.15	.55	.17
	35	1	3.70	0.00	0.00	.90	0.00	0.00	2.60	0.00	0.00
	36	6	2.53	.86	.34	4.07	.86	.13	2.22	.39	.17
	37	8	2.23	.64	.29	1.30	.64	.17	2.33	.44	.19
	38	2	3.35	.55	.16	1.45	.55	.31	2.75	.15	.05
	39	6	2.97	.60	.20	1.64	.60	.36	2.98	.33	.11
	40	3	3.33	.52	.16	1.40	.52	.10	2.60	.59	.23
	41	1	1.70	0.00	0.00	.90	0.00	0.00	2.40	0.00	0.00
	42	1	2.10	0.00	0.00	.90	0.00	0.00	2.90	0.00	0.00
	43	3	3.47	.90	.26	1.27	.90	.64	2.77	.37	.13
	44	1	.80	0.00	0.00	.20	0.00	0.00	2.70	0.00	0.00
	45	1	1.40	0.00	0.00	.40	0.00	0.00	2.60	0.00	0.00

ANEJO 2 (a)

TEST CHI-2 ASUMIENDO UNA DISTRIBUCION GAMMA

IDENTIFICACION: PERDIDA AL FUEGO
TAMAÑO DE LA MUESTRA= 255

PARAMETROS: NI = 5.0245
BETA= 1.9028

LIMITES DE LOS INTERVALOS		No. MUESTRAS
.6000	1.2875	25
1.2875	1.6341	27
1.6341	1.9209	28
1.9209	2.1920	21
2.1920	2.4677	19
2.4677	2.7657	25
2.7657	3.1101	30
3.1101	3.5476	31
3.5476	4.2177	26
4.2177	7.1000	23

ESTADISTICO W = 5.0392
GRADOS DE LIBERTAD = 9

NIVEL DE CONFIANZA (aprox.) = 82.8%

VALORES DE LA DISTRIBUCION

FRACIL	VALOR
.5000	2.468
.9000	4.218
.9500	4.828
.9900	6.118
.9990	7.797
.9999	9.369

ANEJO 2 (b)

TEST CHI-2 ASUMIENDO UNA DISTRIBUCION LOG-NORMAL

IDENTIFICACION: RESIDUO INSOLUBLE
TAMAÑO DE LA MUESTRA= 255

PARAMETROS: MU = .0991
SIGMA = .8657

LIMITES DE LOS INTERVALOS		No. MUESTRAS
.1000	.4779	47
.4779	.7605	36
.7605	1.1042	44
1.1042	1.6031	36
1.6031	2.5512	48
2.5512	8.2000	44

ESTADISTICO W = 3.2824
GRADOS DE LIBERTAD = 5

NIVEL DE CONFIANZA (aprox.) = 65.7%

VALORES DE LA DISTRIBUCION

FRACTIL	VALOR
.5000	1.104
.9000	3.348
.9500	4.586
.9900	8.273
.9990	16.027
.9999	27.621

ANEJO 2 (c)

TEST CHI-2 ASUMIENDO UNA DISTRIBUCION LOG-NORMAL

IDENTIFICACION: SO-3

TAMAÑO DE LA MUESTRA= 255

PARAMETROS: MU = .9753

SIGMA = .1979

LIMITES DE LOS INTERVALOS No. MUESTRAS

1.2000	2.2449	48
2.2449	2.5221	43
2.5221	2.7882	53
2.7882	3.1325	62
3.1325	4.0000	49

ESTADISTICO W = 3.9608

GRADOS DE LIBERTAD = 4

NIVEL DE CONFIANZA (aprox.) = 41.2%

VALORES DE LA DISTRIBUCION

FRACTIL	VALOR
.5000	2.652
.9000	3.418
.9500	3.672
.9900	4.203
.9990	4.889
.9999	5.537