

ÍNDICES

ÍNDICE GENERAL

PRESENTACIÓN	xi
AGRADECIMIENTOS.....	xii
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 La calidad en el diseño del producto	1
1.2 Estrategias de experimentación para optimizar las características de un producto	3
1.3 Concepto de Producto Robusto. Tipos de Ruido.....	13
1.4 Diseño de productos robustos. Estado de la cuestión	15
1.4.1 Distintos enfoques del problema.....	15
1.4.2 Método de Taguchi	15
1.4.2.1 Descripción del Método	15
1.4.2.2 Ejemplo de Aplicación	18
1.4.2.3 Comentarios críticos	25
1.4.3 Método de Box-Jones	26
1.4.3.1 Descripción del Método	26
1.4.3.2 Ejemplo de Aplicación	31
1.4.3.3. Comentarios Críticos	32
1.5 Objetivo y contenido de la Tesis	35
2. DISEÑO DE PRODUCTOS ROBUSTOS FRENTE AL RUIDO EXTERNO	36

2.0	Planteamiento del problema. Plan de trabajo propuesto	36
2.1	Hipótesis sobre el modelo de la respuesta	36
2.2	Estimación de los parámetros del modelo.....	37
2.3	Análisis del modelo.....	38
	2.3.1 Varianza de la Respuesta	38
	2.3.2 Esperanza matemática de la respuesta y distancia al óptimo	43
2.4	Elección del nivel óptimo de los factores de diseño: El gráfico Distancia-Variancia	44
2.6	Ejemplo de Aplicación: Diseño de un tubo cilíndrico para transmisión de calor afectado de factores de ruido externo	51
	2.6.1 Planteamiento del problema.....	51
	2.6.1 Diseño óptimo a partir del modelo real	52
	2.6.3 Diseño óptimo a partir del modelo experimental	54
3.	DISEÑO DE PRODUCTOS ROBUSTOS CON FACTORES DE DISEÑO AFECTADOS DE RUIDO INTERNO	59
3.0	Planteamiento del problema. Plan de trabajo propuesto	59
3.1	Hipótesis sobre el modelo de la respuesta	59
3.2	Estimación de los parámetros del modelo.....	63
3.3	Esperanza Matemática y Varianza de la Respuesta	72
	3.3.1 Esperanza Matemática de la Respuesta.....	72
	3.3.2 Varianza de la respuesta.....	73
3.4	Elección del nivel óptimo de los factores.....	74
3.5	Ejemplo de aplicación: Diseño de un circuito con bobina y resistencia	77

3.5.1	Planteamiento del problema.....	77
3.5.2	Resolución utilizando el modelo real.....	78
3.5.2.1	Esperanza Matemática y Varianza de I	78
3.5.2.2	Valores óptimos de R y L.....	80
3.5.3	Resolución utilizando el modelo deducido a través de la experimentación	83
3.5.3.1	Planteamiento del modelo y estimación de sus parámetros	83
3.5.3.2	Valores óptimos de R y L. Comparación con los resultados obtenidos con la utilización del modelo real	83
3.5.4	Nuevo enfoque del problema. Utilización del gráfico Distancia-Variancia	85
3.6	Diseño de parámetros en el caso del Puente de Wheatstone. Comparación con el Método de Taguchi.....	87
3.6.1	Planteamiento General	87
3.6.2	Hipótesis sobre el modelo de la respuesta	88
3.6.3	Método de Análisis Basado en la Metodología Propuesta .	88
3.6.3.1	Primera Fase de Experimentación y Análisis.....	90
3.6.3.2	Segunda Fase de Experimentación y Análisis.....	94
3.6.3.3	Tercera Fase de Experimentación y Análisis.....	95
3.6.3.4	Resumen del Proceso Seguido.....	97
3.6.4	Análisis del óptimo obtenido. Comparación con el óptimo de Taguchi	98

4.	CONCLUSIONES	101
4.1	Aportaciones de la presente Tesis	101
4.2	Posibles líneas futuras de investigación	102

APÉNDICES

A.1	MODELOS OBTENIDOS MEDIANTE DISEÑOS 2^k Y SU RELACIÓN CON EL DESARROLLO DE FUNCIONES EN SERIE DE TAYLOR ...	104
A.2	DEDUCCIÓN DE ESTRUCTURAS DE ALIAS MEDIANTE HOJAS DE CALCULO PARA ORDENADOR PERSONAL	106
A.3	HOJA DE CALCULO PARA EL ANÁLISIS DEL EJEMPLO DE JONES .	109
A.4	GRÁFICO DISTANCIA-VARIANCA CORRESPONDIENTE A UN MODELO CON 5 FACTORES DE DISEÑO Y 3 FACTORES DE RUIDO.....	111
	BIBLIOGRAFÍA.....	114

ÍNDICE DE FIGURAS

<u>Figura</u>	<u>Contenido</u>
1.1	Evolución del Control de Calidad según Ishikawa.
1.2	Esquema de la relación funcional entre una característica de calidad (respuesta) y los factores de diseño.
1.3	Circuito con resistencia.
1.4	Superficie que representa la relación real entre intensidad, voltaje y resistencia en un circuito.
1.5	Superficie que representa la relación que se deduce a partir de un diseño 2^2 entre intensidad, voltaje y resistencia de un circuito.
1.6	Diferencias entre la intensidad estimada mediante un diseño 2^2 y la intensidad real.
1.7	Contramedidas posibles en cada una de las fases de desarrollo de un producto.
1.8	Matriz producto según el plan experimental propuesto por Taguchi.
1.9	Esquema de un Puente de Wheatstone.
1.10.	Respuesta media, varianza y ratio señal-ruido, en cada una de las condiciones de la matriz de diseño.
1.11	Ratio señal-ruido en función del nivel a que se fija cada uno de los factores de diseño.
1.12	Valores de una respuesta 'y' en función de un factor de diseño 'x' que puede ser fijado al nivel deseado y un factor de ruido ambiente 'z' que toma valores al azar.
1.13a	Si aumenta la variabilidad en torno a y_x , aumenta $L(x)$.
1.13b	Si aumenta la distancia $\tau - y_x$, también aumenta $L(x)$.
1.14	Contornos de $M(x)$ y $V(x)$, con la localización de los mínimos de $R(x)$.

<u>Figura</u>	<u>Contenido</u>
1.15	Contornos de $M(x)$, $(1/3)g'(x)g(x)$ y localización de mínimos de $R(x)$.
2.1a	Superficie de respuesta correspondiente al modelo $y = 11 + 2x - 1.5z + 3xz$
2.1b	Porción de la superficie de respuesta de la figura anterior, observado que para cierto valor de x , la respuesta es constante.
2.2	Diagrama Distancia-Variancia correspondiente al modelo del ejemplo 1.
2.3	Diagrama Distancia-Variancia correspondiente al modelo del ejemplo 2.
2.4a	Diagrama Distancia-Variancia correspondiente al modelo del ejemplo de Jones.
2.4b	Ampliación de una parte de la figura anterior, identificando algunos puntos óptimos de acuerdo con el método de Jones.
2.5	Sección de una superficie cilíndrica.
2.6a	Diagrama Distancia-Variancia correspondiente al ejemplo del tubo calefactor.
2.6b	Puntos del esquema anterior que corresponden a las condiciones de experimentación.
3.1	Transmisión de variabilidad a H según sea el valor de r .
3.2	Representación geométrica de un diseño 2^3+C .
3.3	Comparación de las curvas obtenidas para $H=f(r)$ con las modelos experimental y real.
3.4a	Gráfico Distancia-Varianza para el caso del tubo calefactor.
3.4b	Detalle de la zona de varianza mínima del gráfico anterior.
3.5	Circuito con bobina y resistencia.
3.6	Varianza de I en función de L con $k_R=0.2$ y $k_L=0.01$.

<u>Figura</u>	<u>Contenido</u>
3.7	Varianza de I en función de L con $k_R=0.1$ y $k_L=0.01$.
3.8	Varianza de I en función de L según el modelo real y el experimental. $k_R=0.2$ y $k_L=0.01$.
3.9	Varianza de I en función de L según el modelo real y el experimental. $k_R=0.1$ y $k_L=0.01$.
3.10	Gráfico Distancia-Varianza a partir del modelo real (circuito con bobina y resistencia). $k_R=0.2$, $k_L=0.01$.
3.11	Gráfico Distancia-Varianza a partir del modelo experimental (circuito con bobina y resistencia). $k_R=0.2$, $k_L=0.01$.

ÍNDICE DE TABLAS

<u>Tabla</u>	<u>Contenido</u>
1.1	Matriz de un diseño 2^{7-3} a partir de un 2^4 .
1.2	Estructura de alias para los efectos principales de un diseño 2^{7-3} .
1.3	Tipo de confusiones que se presentan según sea la resolución del diseño.
1.4	Diseño de parámetros en el caso del Puente de Wheatstone. Niveles de los factores de diseño asignados por Taguchi.
1.5	Nivel a que se fijan los factores de ruido para cada uno de los elementos constructivos del Puente de Wheatstone.
1.6	Ejemplo de selección del nivel de los factores en la condición experimental y_{57} . (Puente de Wheatstone, Método de Taguchi).
1.7	Valores medios del ratio señal-ruido para cada nivel de los factores de diseño.
2.1	Hoja de cálculo en que se obtienen los valores de la varianza y la distancia al óptimo de la respuesta, para el modelo de los ejemplos 1 y 3.
2.2	Valores óptimos de x_1 y x_2 para diversos valores de X en el ejemplo de Jones.
2.3	Primeras filas de la tabla construida para la realización del diagrama Distancia-Varianza. (Caso del tubo calefactor).
3.1	Valores de a para que un diseño compuesto central sea ortogonal.
3.2	Comparación entre los diseños 3^k y 2^{k+C} .
3.3	Inicio y final de la hoja de cálculo realizado para la construcción del diagrama de la figura 3.4a.

<u>Tabla</u>	<u>Contenido</u>
3.4	Fragmento de la hoja de cálculo utilizada para estudiar las $\text{Var}(y)$ en función de R y L forzando $E(y)=10.00$.
3.5	Valores a que se han fijado cada uno de los factores en la primera fase de análisis (Diseño de parámetros en el Puente de Wheatstone, método propuesto).
3.6	Modelo obtenido utilizando la estrategia de regresión paso a paso con $F(\text{entrada})=F(\text{salida})=4$. (Primera fase de análisis, diseño de parámetros en el Puente de Wheatstone, método propuesto).
3.7	Modelo obtenido forzando la introducción de los términos cuadráticos.
3.8a	Primera fase de análisis. Porción de la hoja de cálculo con que se ha calculado la varianza de la respuesta para cada una de las condiciones de experimentación
3.8b	Porción de la hoja de cálculo en que se presentan los valores de los factores junto con la varianza de la respuesta, ordenada de menor a mayor.
3.9	Valores a que se han fijado los factores en la segunda fase de análisis. (Diseño de parámetros en el Puente de Wheatstone, método propuesto).
3.10	Modelo obtenido en la segunda fase de análisis.
3.11	Tercera fase de análisis. Porción de la hoja de cálculo en que se presentan los valores de los factores junto con la varianza de la respuesta, ordenada de menor a mayor.
3.12	Valores a que se han fijado los factores en la tercera fase de análisis. (Diseño de parámetros en el Puente de Wheatstone, método propuesto).
3.13	Modelo obtenido en la tercera fase de análisis.
3.14	Tercera fase de análisis. Porción de la hoja de cálculo en que se presentan los valores de los factores junto con la varianza de la respuesta, ordenada de menor a mayor.
3.15	Hoja de cálculo utilizada para calcular el ratio señal/ruido del óptimo obtenido (método propuesto).

<u>Tabla</u>	<u>Contenido</u>
3.16	Hoja de cálculo igual a la de la tabla 3.15 pero situando los factores en el óptimo propuesto por Taguchi.
A3.1	Porción de la hoja de cálculo utilizada para analizar el ejemplo de Jones.