

TRATAMIENTO DE LA FIABILIDAD EN EL DISEÑO Y PRODUCCION DE SISTEMAS ELECTRONICOS: UNA ENSEÑANZA NECESARIA EN LA FORMACION DE LOS INGENIEROS.

E. Navarro

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

Departament d'Enginyeria Electrònica

Campus Nord de la U.P.C. Mòdul C4

C/ Gran Capità, s/n - 08034 Barcelona

Teléfono: 93-4016098 Fax: 93-4016756

RESUMEN.- El objeto de la presente ponencia es destacar la necesidad de enseñar a los futuros ingenieros cómo tratar la fiabilidad de los sistemas electrónicos durante el diseño, la fabricación y la explotación, y revisar los conceptos y métodos de predicción y análisis requeridos para dicho tratamiento. Se presenta el programa y la metodología docente de la asignatura *Fiabilidad de Sistemas Electrónicos* impartida en las titulaciones de Ingeniería de Telecomunicación e Ingeniería Electrónica de la Universidad Politécnica de Cataluña.

1.- JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS

Tradicionalmente, la formación de ingenieros en España se ha centrado en las materias relativas al diseño de dispositivos y sistemas técnicos. Los planes de estudios dirigidos a la formación de profesionales en el sector electrónico están orientados principalmente al diseño de circuitos y al análisis de sistemas, con escasa información sobre consideraciones de diseño relacionadas con la fabricación y con la eficiencia y seguridad de los productos durante su utilización.

En general, la enseñanza de las técnicas de fiabilidad no ha sido abordada todavía en su justa transcendencia en la mayoría de las universidades españolas. Sin embargo, las actividades del ingeniero van dirigidas a *diseñar, fabricar y mantener* sistemas e instalaciones técnicas. Tales tareas llevan implícito evitar o retardar la aparición de fallos, o reducir los efectos perjudiciales de éstos, por lo que el ingeniero está obligado a analizar los modos y mecanismos de las potenciales averías y a hacer frente a problemas inherentes a la variabilidad de los materiales, componentes, procesos y aplicaciones.

Los primeros productos de "alta fiabilidad" fueron obtenidos por equipos de ingenieros y técnicos que practicaron las virtudes tradicionales de la "alta calidad", sin considerar la ingeniería de fiabilidad como algo que requiriera atención especial. Sin embargo, en la actualidad existen muchos motivos que se oponen a la eficacia de los métodos tradicionales: la competencia, la planificación temporal de las actividades de I+D, el coste de los fallos, la rápida evolución de materiales y componentes, la aparición de nuevos métodos de producción, la creciente complejidad de los sistemas, la necesidad de reducir costes, las consideraciones de seguridad y las exigencias de los

usuarios. La ingeniería de fiabilidad se ha desarrollado como respuesta a la necesidad de controlar los riesgos derivados de la variabilidad inherente a los procesos de fabricación, de la diversidad de condiciones de aplicación y de las presiones presentes en la planificación de nuevos productos.

En consecuencia, el conocimiento de los fundamentos y métodos de fiabilidad es indispensable para los ingenieros y directivos involucrados en las tareas de diseño, fabricación y explotación de equipos y sistemas modernos, principalmente en los sectores de Electrónica, Informática y Telecomunicaciones, campos en los que más extensamente se han aplicado las técnicas de fiabilidad y con resultados más positivos.

El objeto de la presente ponencia es, además de destacar la necesidad de enseñar a los futuros ingenieros como tratar la fiabilidad de los sistemas electrónicos durante el diseño, la fabricación y la explotación, revisar los conceptos y métodos de predicción y análisis requeridos para dicho tratamiento.

2.- MÉTODOS

La Fiabilidad, como disciplina académica, puede definirse como *el estudio científico de la efectividad y los riesgos de los dispositivos y sistemas en aplicaciones prácticas*. El estudio científico incluye evaluar la fiabilidad de manera cuantitativa y verificar la validez de tal evaluación.

Lo interesante de los métodos y técnicas de tratamiento de la fiabilidad es que permiten cuantificar, a priori, la probabilidad de fallo (o de éxito) basándose en hechos probados.

La *fiabilidad*, como característica de un producto, no se puede improvisar, sino que ha de ser el resultado de la conjunción de actividades de diseño, producción y explotación, que han de ser planificadas y gestionadas convenientemente.

Los métodos aplicados en los estudios de fiabilidad se orientan hacia tres objetivos:

1º) Predecir la característica de fiabilidad de un producto antes de decidir su fabricación o su adquisición;

2º) Proporcionar elementos de juicio objetivos y hechos comprobados que permitan, o faciliten, la búsqueda de soluciones para mejorar la fiabilidad, si fuere necesario.

3º) Comprobar la eficacia de las acciones de mejora de la fiabilidad.

Las tareas de Ingeniería de Fiabilidad a realizar durante el diseño y desarrollo de un sistema electrónico son:

- *Reparto de fiabilidad entre los subsistemas*
- *Identificación de las condiciones de entorno*
- *Análisis de fiabilidad (AMFE, árbol de fallo, etc.)*
- *Análisis de fallos por derivas y degradación de los componentes*
- *Estudios de tolerancia a fallos*
- *Especificación y selección de componentes*

- *Predicciones de fiabilidad en función de los componentes*
- *Diseño de ensayos de características de fiabilidad*
- *Ensayos de fiabilidad de prototipos*
- *Medida de la fiabilidad*
- *Acciones de mejora y comprobación de su eficacia*
- *Análisis crítico del proyecto.*

El tratamiento de la fiabilidad durante la explotación de un sistema técnico tiene por objeto recoger información de su comportamiento funcional a lo largo de toda su vida, en lo relativo a los tiempos entre averías, tiempos de reparación e inactividad, modos, causas y mecanismos de los fallos. El análisis de esta información y su tratamiento estadístico permitirá demostrar si se han alcanzado los objetivos de fiabilidad y proponer modificaciones de diseño, fabricación u operación tendentes a la mejora de la disponibilidad del sistema. Las tareas de Ingeniería de Fiabilidad durante la explotación de sistemas electrónicos son:

- *Organización de la recogida de datos sobre averías de los servicios de asistencia técnica*
- *Tratamiento estadístico de los tiempos entre averías y los tiempos de reparación*
- *Demostración de la fiabilidad del sistema en explotación*
- *Análisis de mecanismos, causas y efectos de los fallos*
- *Búsqueda de acciones para reducir la probabilidad de fallo del sistema*
- *Elaboración de informes de fiabilidad para los departamentos de I+D*

La metodología docente empleada va encaminada hacia el aprendizaje práctico de las técnicas propias del tratamiento de la fiabilidad, de manera que los alumnos desarrollen las tareas de fiabilidad mencionadas en unos *trabajos de curso* realizados en equipos de 2 a 4 alumnos y con la colaboración de alguna empresa industrial o de servicios.

3.- PROGRAMA

1. INTRODUCCIÓN A LA INGENIERÍA DE LA FIABILIDAD

- 1.1. La fiabilidad como característica de un sistema
- 1.2. Áreas de actividades de la fiabilidad
- 1.3. La fiabilidad en el contexto de la calidad
- 1.4. Nociones fundamentales y terminología

2. MODELOS MATEMÁTICOS

- 2.1. Bases estadísticas para el tratamiento matemático de la fiabilidad
- 2.2. Modelos matemáticos de la fiabilidad y mantenibilidad
- 2.3. Gráficos de probabilidad de fallo
- 2.4. Intervalos de confianza y pruebas de hipótesis

3. ANÁLISIS DE LA FIABILIDAD DE SISTEMAS ELECTRÓNICOS

- 3.1. Recogida y análisis de datos de fiabilidad

- 3.2. Análisis de la fiabilidad de un sistema mediante descomposición en subsistemas
- 3.3. Análisis de modos de fallo, sus efectos y criticidad (AMFEC)
- 3.4. Método de análisis mediante "árbol de fallo"
4. TRATAMIENTO DE LA FIABILIDAD DE SISTEMAS ELECTRÓNICOS EN I+D
 - 4.1. Tareas de fiabilidad a realizar durante el diseño
 - 4.2. Predicción de la fiabilidad de un sistema a partir de sus componentes
 - 4.3. Predicción de los fallos por deriva en circuitos electrónicos
5. FIABILIDAD DE COMPONENTES Y MICROCIRCUITOS
 - 5.1. Especificación, control y selección de componentes electrónicos
 - 5.2. Degradación de componentes pasivos, dispositivos y microcircuitos
 - 5.3. Influencia de las condiciones de aplicación sobre la fiabilidad
 - 5.4. Problemas derivados de las descargas electrostáticas
6. ENSAYOS DE FIABILIDAD
 - 6.1. Clasificación de los ensayos
 - 6.2. Ensayos acelerados
 - 6.3. Dependencia de la tasa de fallo con la temperatura: Modelo de Arrhenius
7. DEMOSTRACIÓN Y MEJORA DE LA FIABILIDAD
 - 7.1. Objeto de la demostración
 - 7.2. Procedimientos de decisión en ensayos secuenciales
 - 7.3. Planes de prueba de fiabilidad de equipos electrónicos
 - 7.4. Programación de la mejora de la fiabilidad: Método de Duane
8. FIABILIDAD DE SISTEMAS INFORMÁTICOS
 - 8.1. Fiabilidad en el contexto informático
 - 8.2. Configuraciones de fiabilidad. Sistemas simples y redundantes
 - 8.3. Modelos de fiabilidad de sistemas informáticos
 - 8.4. Fiabilidad del *software*. Modelos de probabilidad de error
9. CUALIDADES Y TÉCNICAS ASOCIADAS A LA FIABILIDAD
 - 9.1. *Confiabilidad* de sistemas electrónicos
 - 9.2. Mantenibilidad y mantenimiento

9.3. Disponibilidad de sistemas y servicios

10. GESTIÓN DE LA FIABILIDAD

10.1. Generalidades sobre gestión de la fiabilidad

10.2. Programas de tratamiento y mejora de la fiabilidad en I + D

10.3. Incidencia de la fiabilidad en los costos del *ciclo de vida* de un sistema

10.4. Influencia del factor humano en la fiabilidad

4. RESULTADOS

La asignatura *Fiabilidad de Sistemas Electrónicos* ha sido impartida como optativa en las titulaciones de Ingeniería de Telecomunicación (desde el año 1990) e Ingeniería Electrónica (desde el año 1995) de la Universidad Politécnica de Cataluña, con los siguientes resultados:

Alumnos de Ingeniería de Telecomunicación que han cursado esta asignatura:

Curso 1990/91	105 alumnos	Trabajos de curso	10
Curso 1991/92	101 alumnos	Trabajos de curso	22
Curso 1992/93	104 alumnos	Trabajos de curso	24
Curso 1993/94	84 alumnos	Trabajos de curso	19
Curso 1994/95	85 alumnos	Trabajos de curso	19
Curso 1995/96	40 alumnos	Trabajos de curso	10

Alumnos de Ingeniería Electrónica que han cursado esta asignatura:

Curso 1994/95	20 alumnos	Trabajos de curso	5
Curso 1995/96	18 alumnos	Trabajos de curso	4

Proyectos de Fin de Carrera en materia de Fiabilidad recientemente leídos:

"Tratamiento de la fiabilidad en equipos de pesaje electrónico". M.M. Viñas. Año 1994. Sobresaliente (10)

"Estudio de la fiabilidad del proceso de fabricación de un equipo eléctrico de automoción". J. Fontanilles. Año 1994. Matrícula de honor.

"Metodologías para la predicción de fiabilidad de sistemas electrónicos. Análisis de las causas de error". L. Luaces. Año 1995. Matrícula de honor.

"Técnicas de experimentación de Taguchi en ingeniería de fiabilidad. Aplicación

al campo de la tecnología de montaje superficial". S. Barquero. Año 1995.
Matrícula de honor.

5. BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA

O'Connor, P. "Practical Reliability Engineering". Ed. Wiley, 1991.

Fuqua, N.B. "Reliability Engineering for Electronic Design". Ed. Marcel Dekker, 1987.

Navarro, E. "Fiabilidad de sistemas electrónicos: Fichas de ayuda para el desarrollo del programa docente. UPC, 1996.

Gómez, G. y Canela, M.A. "Fiabilitat industrial". Edicions UPC. 1994.

Nelson, W. "Accelerated Testing Statistical Models, Test Plans and data Analysis". Ed. Wiley, 1990.

Amerasekera, E.A. y Campbell, D.S. "Failure Mechanisms in Semiconductor Devices". Ed. Wiley, 1987.

MIL-HDBK-217F, "Reliability Prediction of Electronic Equipment"

MIL-HDBK-338, "Electronic Reliability Design Handbook"

MIL-S-19500, "General Specification for Semiconductor Devices"

MIL-M- 38510, "General Specification for Microcircuits"

Normas UNE sobre Confiabilidad (Fiabilidad, Mantenibilidad y Disponibilidad)