

## Integración de los planes de verificación del diseño y los ensayos en la gestión de cambios en la configuración y en PDM

Javier Conde Collado<sup>1</sup>, Ángel Enríquez de Salamanca Müller<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Área de Organización de Empresas. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales. Universidad Nacional de Educación a Distancia. Apartado de correos 60.149, 28080 Madrid. [jconde@ind.uned.es](mailto:jconde@ind.uned.es)

<sup>2</sup> Dpto. de Organización de Empresas. I-Alpe, Bahía de Santander 75, 28040 Madrid. [aenriquez@i-alpe.com](mailto:aenriquez@i-alpe.com)

### Resumen

*La tecnología de datos del producto incluye todos los aspectos de la definición y el procesamiento de la información relativos a un producto, a través de todo su ciclo de vida, incluyendo el proceso de su desarrollo. Aporta una perspectiva unificada, una estrategia de integración y una ayuda para la reingeniería del proceso de negocio relativos al ciclo de vida del producto, al objeto de conseguir reducciones del LCC y del plazo de lanzamiento del producto al mercado. Estos procesos están soportados por estándares internacionales de definición de datos del producto (ISO 10303-STEP) y por tecnologías de la información (PDML; UML, etc.).*

*La gestión de datos del producto (PDM) y de la Configuración (características físicas y funcionales del producto), se revela como sustancial cuando se trata de productos de cierta complejidad técnica. Especialmente, la gestión de los cambios que se producen en la configuración del producto, como consecuencia de las fases de puesta en marcha y pruebas y en la operativa, requieren protocolos suficientemente formalizados y rigurosos que garanticen que dichos cambios que afectan a la estructura del producto, y por tanto al negocio, no condicionen su sostenibilidad.*

*La presente comunicación tiene como objetivo la confección de un esquema de integración de los procesos de verificación del diseño y los consiguientes ensayos relativos al proyecto de desarrollo de un producto, en la gestión de datos del producto (PDM) y en la gestión de cambios en la configuración.*

**Palabras clave:** Planes de verificación del diseño, ensayos, gestión de la configuración, gestión de cambios, gestión de datos del producto

### 1. Introducción

Uno de los objetivos fundamentales durante el desarrollo de un producto es detectar cualquier problema que impida que dicho producto cumpla con la configuración objetivo. Para ello, los sectores con gran actividad y experiencia de desarrollo, tales como las industrias aeronáutica, espacial y del automóvil han diseñado unos protocolos sistematizados, basados en las normativas ISO, que ayudan a los equipos de proyecto en esta labor. Uno de estos protocolos de amplia utilización es la sistemática APQP (Advanced Product Quality Planning) [1] de la normativa QS9000. Esta sistemática divide el desarrollo de un proyecto en cuatro fases:

1. Definición del Producto
2. Diseño y Desarrollo del Producto
3. Diseño y Desarrollo del Proceso
4. Validación del Producto y del Proceso

Para cada una de ellas, se definen qué Salidas deben generarse; éstas serán las Entradas de la fase siguiente o de las fases de feedback y Mejora Continua para la última.

Dentro de la citada normativa, además, se definen una serie de herramientas que colaboran al buen desarrollo del proyecto, formando con el APQP un esquema integrado. Como herramientas más relevantes cabe destacar:

1. QFD (Quality Function Deployment).
2.  $6\sigma$  (Seis Sigma)
3. 8D (8 Disciplinas), ASI (2002b)
4. DOE (Design of Experiments)
5. CAD, CAE.
6. AMFE (Análisis Modal de Fallos y sus Efectos), Chrysler Corporation (1995).
7. DVP & R (Design Verification Plan and Report), Chrysler Corporation (1995).

Existen múltiples soluciones de software que permiten el mantenimiento de la información y su adecuado manejo. No obstante, dada la relevancia y tamaño de los desarrollos que se llevan a cabo en los sectores antes citados, estas herramientas suelen ser de gran complejidad lo que las hace de difícil utilización en la pequeña y mediana empresa innovadora.

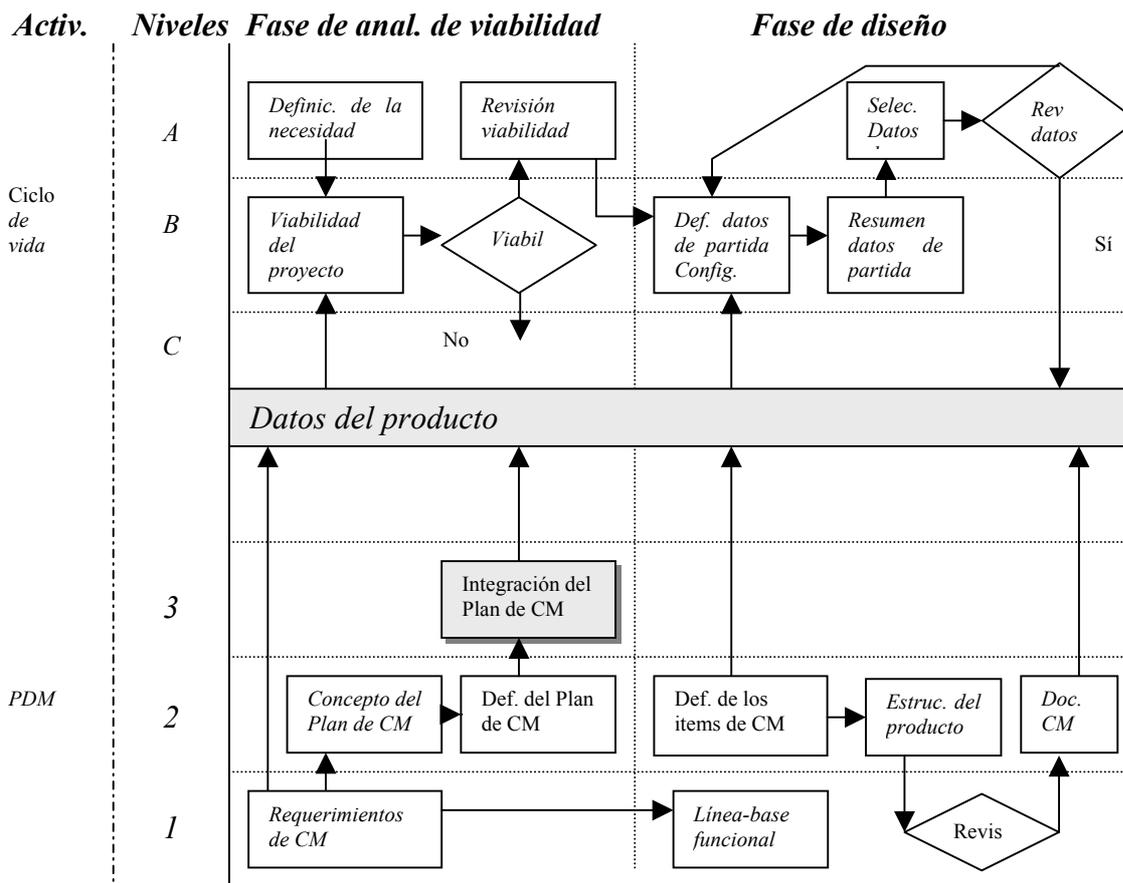
La presente comunicación tiene como objetivo definir un esquema de integración, adaptado a la PYME, de los DVP&R con los AMFE y la Gestión de la configuración, aportando un protocolo de integración del DVP&R en la Gestión de la Configuración (Configuration Management-CM).

## **2. Gestión de la Configuración y Gestión de datos de producto**

En las grandes plantas industriales, un problema al que deben enfrentarse los diseñadores, fabricantes, propietarios y operadores, tanto durante el proyecto, como durante la operación, es el de mantener el diseño y los supuestos básicos con los que se concibió el proyecto, de forma consistente con la realidad física y la funcional. Esta necesidad se extiende a los documentos que describen la instalación y a los procedimientos de operación y mantenimiento.

En la planta industrial se producen cuantiosas modificaciones originadas por necesidad de operación, de optimización o mejora y de mantenimiento. Es habitual, por tanto, la modificación de la realidad física y, en consecuencia, documental de las instalaciones y equipos. Así, por tanto, se hace fundamental contar con un sistema de gestión de cambios de la configuración eficiente, ligero, consistente, riguroso y ágil.

El sistema experto que se propuso en Conde *et al* (2000), parte de un esquema en el que aparecen relacionados, a partir de tres niveles de decisión, las actividades de Gestión de Datos de producto (PDM), con las actividades vinculadas al ciclo de vida de la planta. La figura 1 contiene un esquema de las relaciones que pueden establecerse entre todas esas actividades para las fases de análisis de la viabilidad del proyecto y de diseño, y la figura 2, las correspondientes a la fase de desarrollo del proyecto de la planta industrial.



**Figura 1.** Esquema de las actividades de las fases de análisis de viabilidad y de diseño

Las actividades de tecnología de datos del producto (PDT) están estructuradas en tres niveles conforme al grado de ejecución de las funciones. Así, el nivel 1 corresponde a las actividades de: definición de requerimientos de gestión de datos (PDM), políticas de PDM, propuestas para la selección de elementos de configuración, establecimiento de la línea-base funcional, tareas de consultoría, revisión y aprobación de tareas, guías para la composición de procedimientos y líneas-base, etc.

El nivel 2 corresponde a los trabajos de PDM relativos a la definición y composición del Plan de PDT, realización de procedimientos, definición de los ítems (componente, elemento, subsistema o sistema) de configuración, establecimiento de la estructura del producto y la documentación de todas las actividades relativas al PDM.

En el nivel 3 tienen lugar las actividades relativas a la integración del sistema de CM con otras fases del proyecto. Es en esta fase donde tiene lugar la conexión del sistema de CM con el DVP&R y con los AMFE (figura 1). El esquema de integración se presenta con posterioridad.

Las actividades relativas al ciclo de vida de la planta en las fases de análisis de la viabilidad y de diseño son: definición de la necesidad, viabilidad del proyecto, definición de los datos de partida de la configuración de diseño, resumen, selección y revisión de esos datos.

En relación con las actividades de PDM en estas fases, se ha de señalar que, una vez que los requerimientos son seleccionados y su incidencia estudiada, se presentará, junto con el

proyecto de viabilidad, una propuesta de Plan de PDM y una representación de la implantación del Plan a lo largo del ciclo de vida de la Planta. El Plan de PDT es el documento que establece la organización, políticas y procedimientos para llevar a cabo una apropiada PDT en el proyecto. Una vez que el Plan de PDM es aprobado, se convierte en el documento de referencia de las actividades de PDM/PDT en el proyecto. En esta fase se define también la línea-base, que es la documentación de la configuración designada formalmente al comienzo de la Definición del proyecto prescribiendo:

- ✓ Todas las características funcionales necesarias.
- ✓ Los requerimientos de pruebas
- ✓ Las características de interfase necesarias con los elementos de configuración asociados.
- ✓ Los elementos de configuración del nivel clave más bajo
- ✓ Las limitaciones del diseño

Las características funcionales son expresadas en términos de parámetros de rendimiento cuantitativo tales como rango, velocidad, letalidad, fiabilidad, mantenibilidad, seguridad, operatividad y parámetros logísticos y sus respectivas tolerancias. Comenzando por los elementos de configuración seleccionados, se define la estructura del producto, documentándose todos los resultados y actividades de CM y manteniéndose en uso como referencia histórica para el resto de las fases del proyecto.

En la fase de desarrollo (figura 2), se llevan a cabo varias actividades relevantes: las actividades de ciclo de vida relativas a cálculos de diseño, documentación de la planta, análisis de costes, análisis del valor, desarrollo de programas de mantenimiento, producción y control de los componentes de la planta y el montaje final de la configuración. El control sirve para soportar la estandarización del material, provee procedimientos para la implementación uniforme de la gestión de cambios, e impide la existencia de problemas de interoperabilidad y soportabilidad resultantes de los cambios descoordinados en la ingeniería, causados por las acciones individuales e independientes de los departamentos participantes, etc. El control de la Configuración básicamente consiste en:

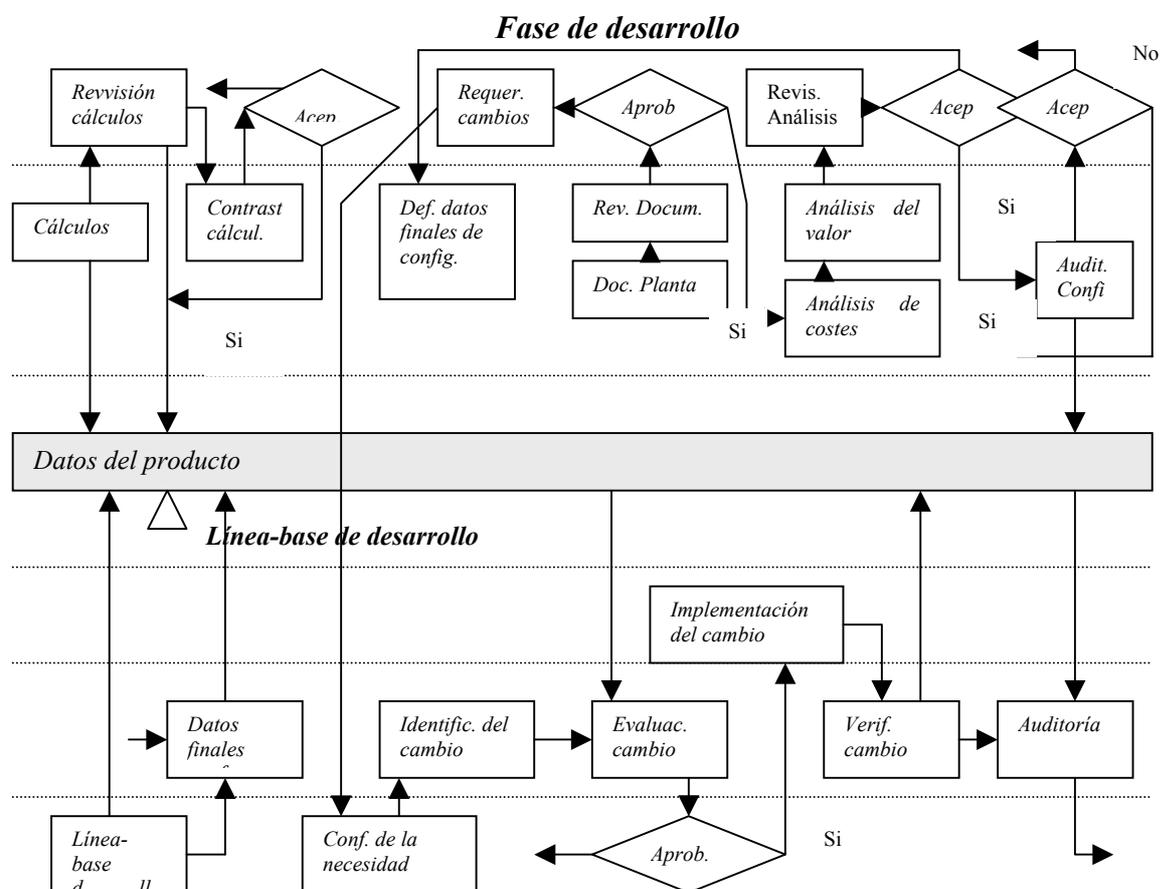
- ✓ Identificación y documentación de la necesidad de efectuar cambios.
- ✓ Evaluación de los cambios.
- ✓ Aprobación de los cambios.
- ✓ Implementación y verificación del cambio.

Como paso final de la fase de diseño y con anterioridad a la definición de la línea-base de operación, se lleva a cabo la auditoría de la configuración física y funcional. Su objetivo es comprobar o verificar que el rendimiento de los elementos de configuración cumple con la documentación de la configuración. La auditoría de la configuración física incluye una auditoría detallada de los dibujos y planos de ingeniería, especificaciones, datos técnicos, reportes de aseguramiento de la calidad y pruebas utilizadas en la producción de los elementos de configuración. Una vez pasada la auditoría con éxito, se supone que la configuración de la planta es correcta y que la planta está trabajando en su estado ideal.

El sistema aporta, de cada ítem de la Configuración, la siguiente información:

- ✓ *Denominación:* código, nombre, marca, modelo, tipo, código del fabricante y número de clasificación.

- ✓ *Localización*: planta, isla, edificio, nivel cubículo, dibujo digitalizado del área, imagen digitalizada.
- ✓ *Documentación de diseño*: documentación básica, documentación de los sistemas, planos físicos, cálculos, reportes y estudios, documentación del equipo y sus componentes, listas de componentes.
- ✓ *Documentación de operación*: documentación relativa a la operación de la planta, su mantenimiento, entrenamiento de operarios, relativa a sistemas de emergencia y seguridad.
- ✓ *Características físicas y Características funcionales*
- ✓ *Modificaciones*: Requerimientos de cambio, revisión del gestor de área, revisión del gestor de la configuración, revisión de la ingeniería, pruebas y aceptación, rechazos, etc.
- ✓ *Auditorías*: Requerimiento de auditoría, ejecución de la auditoría, informe de auditoría, archivo histórico, etc.



**Figura 2.** Esquema de actividades de la fase de desarrollo.

### 3. Estructura de las Bases de Datos y esquema de integración

A efectos de la integración del DVP&R, el AMFE y la CM, objeto de esta comunicación, y teniendo en cuenta que se hace referencia a los llamados Data Items, como mínimo, debemos tener en cuenta 5 bases de datos (Figura 3): Configuraciones, Modificaciones, AMFE, DVP&R y la de Ensayos. De todas ellas, sólo la base de datos (BD) de Ensayos, y en menor medida la de AMFE, serán corporativas, ya que el resto son específicas de cada proyecto.

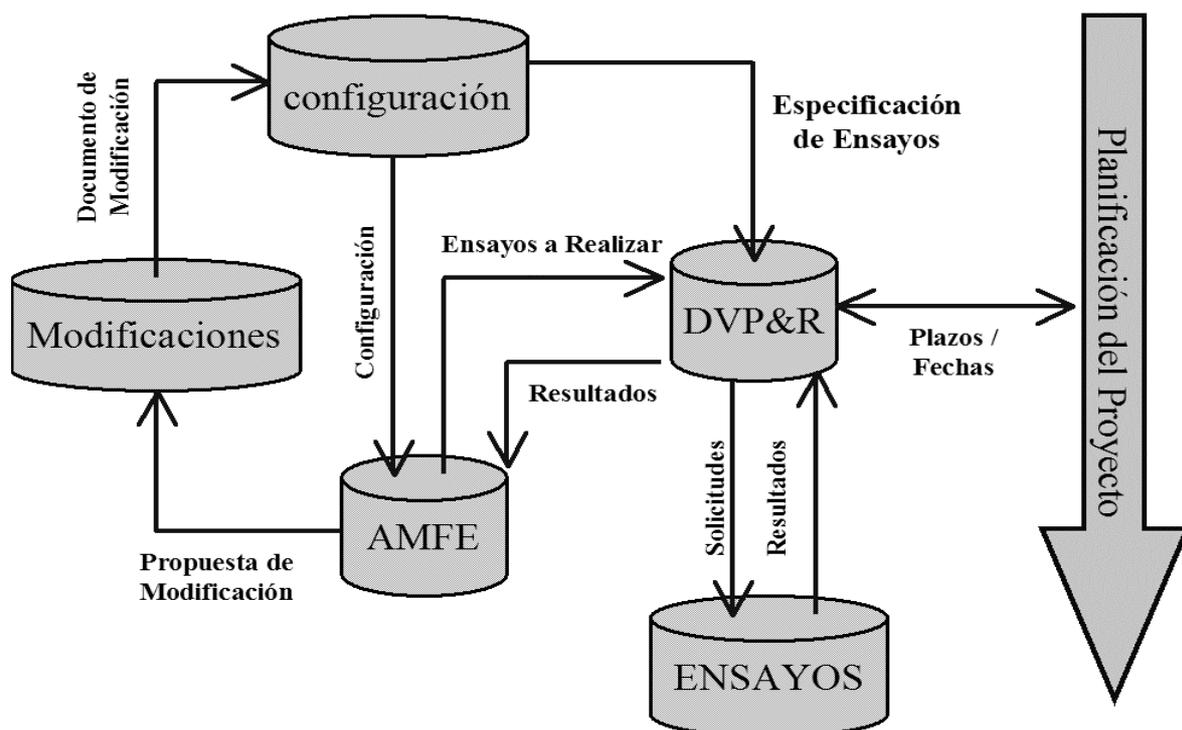
La BD AMFE puede ser específica pero, al ser conceptualmente un resumen estructurado y razonado de las experiencias de la compañía, debe volcarse de forma selectiva en cada proyecto y, de forma recíproca, las experiencias de un proyecto dado deben alimentar y enriquecer el AMFE de la compañía. Los resultados de esta política son de gran relevancia a medio y largo plazo. Los campos básicos de cada una de ellas se resumen en las Tablas 1 a 5 y Figuras 4 y 5.

Los campos clave de la BD de la Configuración serán los que la identifiquen; es decir, la *Referencia*, numérica o alfanumérica; la *Edición*, bien como unos caracteres más, o bien como una fecha; la *Denominación*, y finalmente el *Estado*, entendiendo por tal la situación de esta Configuración en concreto dentro del flujo de trabajo definido.

**Tabla 1.** Campos Básicos de la BD Configuración

CAMPO	DESCRIPCIÓN
Identificación de la Configuración	Referencia, Edición, Denominación, Estado
Identificación de la Modificación	Identificador de la Modificación con la que se lanzó esta configuración
B.O.M.	Referencia, Edición, Estado del BOM
Lista de Especificaciones	Referencia de la Lista de especificaciones donde se identifican todas las especificaciones (Materiales, Funcionales, Ensayos, Legales, de Cliente, ...) con su edición y estado.
Lista de Planos	Referencia de la Lista de planos

La identificación de la modificación enlaza esta BD con la de modificaciones a través de la referencia de la Change Order, también llamadas ECR (Engineering Change Release), ECO (Engineering Change Order), NA (Notas de Alteración), etc. El resto de los campos permiten realizar los enlaces con el resto de BBDD del proyecto (figura 3).



**Figura 3.** Esquema simplificado de las BBDD de un proyecto

La Tabla 2 contiene los campos básicos de la base de datos de Modificaciones y su descripción. Se recomienda la utilización del ECO/ECR, con todos sus datos (como mínimo: Referencia, Edición, Denominación, Estado) para identificar las modificaciones, evitando así duplicar identificadores. Para poder enlazar con las otras BBDD (AMFE, en concreto) es necesario incluir el campo *Identificador de la Solicitud*; es decir, aquel documento que, generado en el AMFE pide a Ingeniería un cambio de configuración. Se recomienda utilizar las Ordenes de Trabajo para este menester.

**Tabla 2.** Campos Básicos de la BD Modificaciones

CAMPO	DESCRIPCIÓN
Identificación de la Modificación	Referencia, Edición, Denominación, Estado
Identificador de la Solicitud	Identificador de la Solicitud que dio lugar a esta Modificación

Los campos básicos de la base de datos del AMFE de Diseño se representan en la Tabla 3. Debe precisarse que en el presente trabajo se hace referencia en exclusiva al AMFE de Diseño, pero que cabría extender estas consideraciones a los AMFES de Proceso, Equipos, Medio Ambiente, y por extensión a las Evaluaciones de Riesgo. En cuanto a las *Acciones*, la mayoría de los programas en uso, utilizan la codificación aquí propuesta de Funcion-Fallo-Efecto-Causa-Acción.

Los campos obligatorios de *identificación del AMFE* están definidos en las Normas (ISO9000, QS, ..). La figura 4 contiene un ejemplo.

**Tabla 3.** Campos Básicos de la BD AMFE de Diseño

CAMPO	DESCRIPCIÓN
Datos Componente	Referencia del Componente (normalmente el Plano con su edición), Denominación
Datos AMFE	Referencia, Fecha comienzo, Última revisión, Fecha compromiso, Jefe de Proyecto, Responsable AMFE
Acción	Se identifica cada acción según el esquema: Función – Fallo – Efecto – Causa – Acción

 <b>DATOS DEL AMFE DE DISEÑO</b>			
<b>Cliente:</b>	XXXX	<b>Proveedor / Código</b>	i-ALPE / CX2378
<b>Referencia Sistema</b>	89FB3522AD	<b>Denominación Sistema</b>	Suspensión
<b>Referencia Componente</b>	89FB3522AD-G	<b>Denominación Componente</b>	Barra Estabilizadora
<b>Plano</b>	89FB3522AD-G	<b>Edición Plano</b>	-G
<b>Proyecto</b>	XM03	<b>Año Modelo</b>	MY02
<b>Referencia del AMFE</b>	02/04/1999	<b>Fecha de Comienzo AMFE</b>	2-abr-99
<b>Última Revisión del AMFE</b>	5-ene-02	<b>Fecha Compromiso AMFE</b>	12-mar-02
<b>Jefe de Proyecto</b>	L. Sánchez	<b>Responsable AMFE</b>	J. Pérez
EQUIPO			
Nombre	Responsabilidad	e-mail	Tfno
L.Sánchez	Jefe de Proyecto		
	SQI - Cliente		
	Procesos		
	SQI - Neumáticos		

**Figura 4.** Ejemplo de Carátula de AMFE. Datos de Identificación del AMFE

La figura 5, muestra un ejemplo de tabla de seguimiento de las acciones resultantes de un FMEA de Diseño. Nótese que en este ejemplo, la codificación de las Acciones se ha separado en la columna ‘Causa #’ y en la columna ‘Acción #’.



RECOMMENDED ACTIONS  
(Summary Report)

Date: 09/06/2004  
Page 1 of 1

Action #	Action	Due Date	Person Responsible	Action Taken	Completion Date	Action Category	Action Priority	Item #	Item Name	Cause #	Cause
1	Action that can be performed to reduce the likelihood of occurrence for the potential cause of failure.	24/03/2003		Indication of whether the action has been completed or a description of the action that was performed.	17/03/2003	Design	Safety	1.1.2.3.4	Component A.1.1.1	1.1.1.1	Description of the cause that could result in failure.
2	Implement warning label	23/06/2003	SupH	Conduct DOE		Documentation	High	1.1.2.3.4	Component A.1.1.1	1.1.1.1	Description of the cause that could result in failure.
3	Revise design geometry	24/03/2003	SupH	Redesign	17/03/2003	Manufacturing	Medium	1.1.2.3.4	Component A.1.1.1	1.1.1.1	Description of the cause that could result in failure.
4	Revise design tolerances	24/03/2003	SupG	Revise design geometry		Quality Assurance	Low	1.1.2.3.4	Component A.1.1.1	1.1.1.2	Abusive operation
5	Revise test plan	24/03/2003	JF	Conduct DOE	23/06/2003	Testing	Safety	1.1.2.3.4	Component A.1.1.1	1.1.1.2	Abusive operation

Figura 5. Ejemplo de control de las acciones de un AMFE de Diseño.

La Tabla 4 contiene los campos de la base de datos del DVP&R. El objeto básico del DVP&R es contener, de forma resumida y concentrada en una BD, la información, o los enlaces, que permitan revisar todos los ensayos que se efectúen durante la realización de un proyecto para la verificación del diseño. En consecuencia, la identificación del DVP&R, que se realiza mediante los datos habituales: Referencia, Edición, y Estado, tendrá referencias directas al proyecto y/o producto en desarrollo (ejemplo de la figura 6). El DVP&R es el nexo de unión entre las BBDD del proyecto y las BBDD de Calidad y en concreto de la BD de los informes (Tabla 5)

Tabla 4. Campos básicos de la BD DVP & R

CAMPO	DESCRIPCIÓN
Datos DVP&R	Referencia, Edición, Estado
Ensayo	Número correlativo de cada ensayo que se planifique. Se recomienda utilizar una codificación del tipo nn.eee donde nn es un número que identifica a la norma o estándar y eee es un numero correlativo de los ensayos. Así se podrá saber que de la norma nn (ej: vida en banco) se han hecho los ensayos 001, 002, 003, ...
Informe	Para cada ensayo nn.eee existirá una referencia de Informe dada por Laboratorio (ver Tabla 5)

Por último, la Figura 7, resume de forma gráfica las relaciones descritas y que pueden resumirse en:

- ✓ Enlace de la BD Configuración y la BD AMFE mediante las especificaciones para poder formular la lista de *Funciones* del AMFE. Téngase presente que estas funciones son una de las fases iniciales para la realización del AMFE, pero están condicionadas por las especificaciones contenidas en la Configuración.
- ✓ El enlace entre la BD AMFE y la BD DVP&R se realiza a través de las *Acciones* que se generan durante el análisis del AMFE. Estas Acciones (una parte de ellas) son las que generan las necesidades de ensayos de verificación que contiene el DVP&R. A su vez, el

DVP&R está enlazado también con la BD Configuración ya que tiene que contener la información (identificación) de las normas a utilizar para la realización de los ensayos.

- ✓ La conexión con Calidad se realiza mediante el enlace con su BD de Ensayos. El DVP&R contiene la identificación (normalmente referencia) de los informes que ha emitido Calidad como consecuencia/petición del equipo de proyecto y que se encuentran en el DVP&R

Sistema	1 - Automovil	DESIGN VERIFICATION PLAN AND REPORT				Página 1 de 1	
Subsistema	2 - Carroceria - Puertas						
X Componente	3 - Puerta Delantera LHD						
DVP&R Numero	Edición	Responsable	Teléfono	Fecha(Orig.)	Fecha (Rev.)		
DVPR-12	Ed01	xxxx	+34 952 0000	02/02/2004	16/02/2004		
Referencia Pieza	Ultimo Cambio	Proveedor	Código Proveedor	Aprobado Jefe Proyecto	Fecha		
DRAFT	Rev1			yy.yyy	20/02/2004		
Descripción / Nombre		Plano	Model Year/Programa	Aprobado D. Calidad	Fecha		
3 - Puerta Delantera LHD		DN333555		ww.www	23/02/2004		
Equipo de Proyecto				Aprobado	Fecha		

PLAN VALIDACION								INFORMES								
Test#	Nombre Ensayo	Metodo Ensayo	Criterio Aceptación	Lugar Ensayo	Tamaño Muestra	Comienzo	Fin	Resp.	Informe	Situación	Comienzo	Fin	Tamaño Muestra	Resultados Ensayos	Realizado Por	Notas Resultados
1	Corrosion Acelerada	S/ Norma 00000	Menor que yyy en %	UCLM ETSII	3	06/02/2004	13/02/2004	00000	Ref		06/02/2004	09/02/2004	1			
									Ref		10/02/2004	13/02/2004	1			

Figura 6. Ejemplo de DVP&R

Tabla 5. Ensayos

CAMPO	DESCRIPCIÓN
Referencia	Todo informe emitido por el laboratorio tendrá una referencia biunívoca.

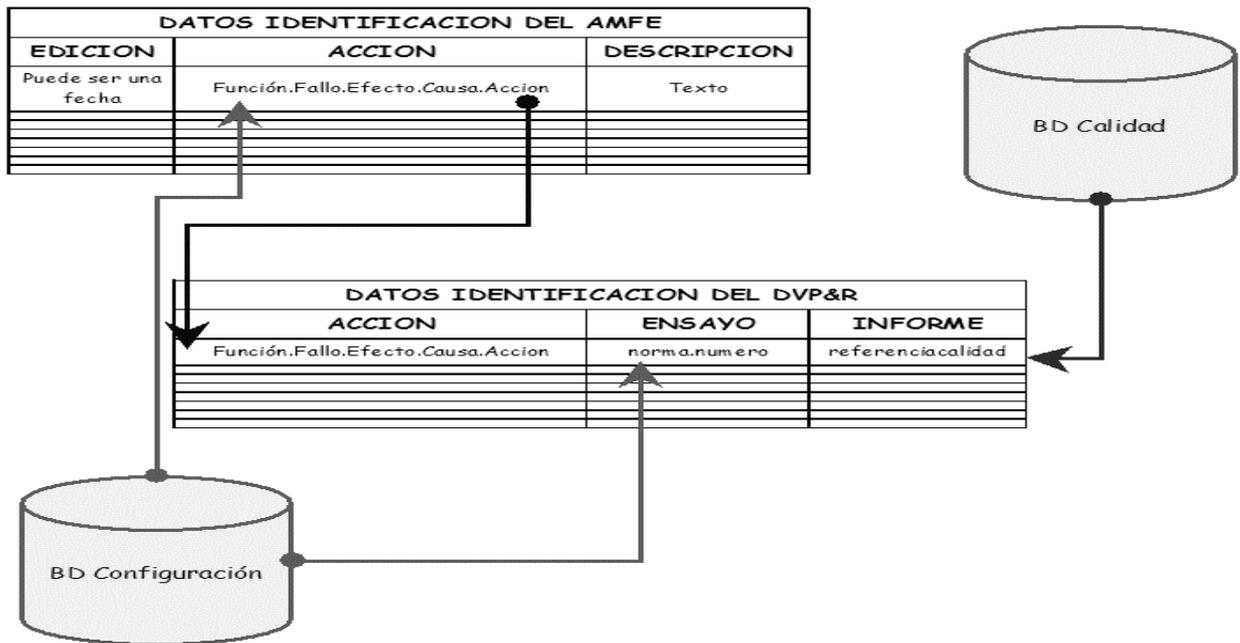


Figura 7. Propuesta de Relación AMFE – DVP&R

#### 4. Conclusiones

Basándose en lo anteriormente expuesto, se puede concluir que las bases de datos que como mínimo es recomendable utilizar en un proyecto de desarrollo de un producto industrial son: Configuración, AMFE, DVP&R y Ensayos. Es recomendable, no obstante, mantener también una base de datos de Modificaciones. Los campos que en cada BBDD deben mantenerse han quedado reflejados en los apartados anteriores. Las relaciones aquí expuestas, son las mínimas recomendables, pero deben ser objeto de un análisis futuro.

Se ha realizado también una propuesta de desarrollo de la actividad de integración (reflejada en el nivel 3 de la figura 1), presentando un esquema estructurado que liga AMFE y Configuración (a través de la *Función* del componente), AMFE y DVP&R (a través de la *Acción* a tomar), Configuración y DVP&R (con la identificación de la *norma*) y, por último, DVP&R con calidad (a través de la referencia de los *informes finales* de los ensayos)

Se sugiere el desarrollo de una propuesta de norma o guía técnica que, en base a lo aquí expuesto, ayude a la PYME a crear un sistema propio de gestión de la configuración que soporte sus esfuerzos en I+D.

#### Referencias

- American Supplier Institute, (2002). Planificación Avanzada de la Calidad del Producto. Madrid 2002.
- American Supplier Institute, (2002). Las 8 Disciplinas para la Solución de problemas. Madrid 2002.
- Conde, J. et al. (2000). Product Data Technology Expert System: Implementation in Industrial Electrical Generation Plants. PDT Europe 2K, European Commission, DG XIII, ISBN 1 901782 04 2, pp. 179-188.
- Chrysler Corporation, (1995) Ford Motor Company and General Motors Corporation, Advance Product Quality Planning and Control Plan.
- ISO 9001. (1994). Quality systems. Assurance Model for Design, Development, Production, Instalation and Service capability.
- ISO 10007:1995. Quality Management. Guidelines for Configuration Management
- ISO 12220-2. Procesos integrales del ciclo de vida. Parte 2: Gestión de la configuración del soporte lógico.
- Karcher, A., Glander, M., (2000). Distributed Engineering Processes: Bridging the Paradigm Gap.. Institute of Information Technology in Mechanical Engineering. PDT Europe 2K, pp. 197-204.
- MIL-STD-480: Configuration Control Engineering Changes, Desviation and Waivers.
- MIL-STD-483: Configuration Management Practices for Systems, Equipment and Computer Software.
- STANAG 4159:91. Nato material configuration management policy and procedures for multinational joint projects.
- STEP ISO-10303. Product Data Representation and Exchange.