

CENTRO POLITÉCNICO SUPERIOR
UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA

**PROYECTO FIN DE CARRERA
INGENIERIA INDUSTRIAL**

**ANÁLISIS DE LA ESTRATEGIA DE
INTEGRACIÓN DE SIGMA EN KNORR-BREMSE
OPORTUNIDAD DE IMPLEMENTACION DE
CASOS REALES DE BENCHMARKING**



KNORR-BREMSE

**AUTOR: JORGE MARTIN GISTAU
DIRECTOR: CARLOS VAZQUEZ UBAGO
PONENTE: LUIS NAVARRO ELOLA**

Junio de 2011

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar quiero agradecer a la empresa Knorr-Bremse la oportunidad de realizar este Proyecto Fin de Carrera y por toda la formación que he recibido durante el desarrollo del mismo. Especialmente a Carlos Vazquez Ubago por su dedicación y confianza, siendo mi director de proyecto y jefe del equipo de integración de Knorr-Bremse en Australia.

Así mismo quiero agradecer a Dr. Assmann y Herr Schober los conocimientos transmitidos durante mi etapa en Knorr-Bremse Múnich durante la cual compartí muy buenos momentos con los compañeros de trabajo Jaime, Christian y Natalia. También quiero agradecer a Javier García su soporte durante el proceso de desarrollo del AMFE de diseño y a Ben Lammers por transmitirme sus conocimientos en el sistema de producción de Knorr-Bremse.

Quiero agradecer a Luis Navarro Elola su colaboración en el desarrollo de este proyecto como representante del Centro Politécnico Superior de Zaragoza. De modo más amplio quiero dar mi agradecimiento a la Universidad de Zaragoza por la formación universitaria recibida que me ha permitido ser parte de este proyecto. También quiero agradecer a la Technische Universität München la oportunidad de haber realizado el último curso de Ingeniería Industrial en varios de sus departamentos, permitiéndome conocer mejor la cultura y forma de trabajo alemana.

También quiero dar mi agradecimiento a mis amigos por acompañarme durante la realización de este proyecto aunque fuese en la distancia.

Finalmente quiero agradecer a mi familia su apoyo incondicional que me ha ayudado a afrontar las diferentes situaciones tanto personales como profesionales haciendo posible la realización de este proyecto. A mis tíos por su ayuda durante mi estancia en Madrid y a Jose Julián por sus recomendaciones siempre enriquecedoras.

A todos ellos, gracias

Jorge

ANÁLISIS DE LA ESTRATEGIA DE INTEGRACIÓN DE SIGMA EN KNORR-BREMSE

OPORTUNIDAD DE IMPLEMENTACIÓN DE CASOS REALES DE BENCHMARKING

RESUMEN

El desarrollo de este Proyecto Fin de Carrera se ha llevado a cabo en la empresa alemana Knorr-Bremse, iniciándose en sus oficinas centrales situadas en Múnich y finalizándose en Sídney como integrante del equipo de integración de su filial australiana Sigma en el grupo Knorr-Bremse. Tiene como objetivo analizar la posibilidad de Benchmarking que surge en el proceso de compra de una empresa por parte de un grupo internacional y que se integra plenamente en el mismo. Más específicamente y como ejemplo de oportunidad de implantación real en la empresa se analizan tres casos prácticos de benchmarking estratégico, benchmarking funcional y benchmarking operacional.

La razón por la que se realiza este proyecto surge de la compra en septiembre 2010 por parte de Knorr-Bremse de la empresa australiana Sigma, la cual desarrolla equipos de aire acondicionado para vehículos ferroviarios, unidades de minería y defensa. En ese momento se inicia el proceso de integración de la nueva filial en los estándares del grupo y así mismo se comienzan a definir las posibles sinergias entre ambas partes. Este no es un proceso nuevo para Knorr-Bremse, ya que en 2005 realizó la integración de la empresa española de aire acondicionado Merak y por lo tanto es conocedora de las ventajas que ofrece la posibilidad de realizar benchmarking con una empresa de reciente adquisición.

Este estudio se inició en Octubre 2010 en las oficinas centrales de Knorr-Bremse en Múnich coincidiendo con la compra de la empresa australiana Sigma y con el objetivo de conocer el funcionamiento de la empresa alemana y del proceso de compra e integración de la nueva filial desde su comienzo.

La segunda parte del proyecto se llevó a cabo en el centro de desarrollo tecnológico e instalaciones productivas de Merak en Madrid con el objetivo principal de adquirir unos conocimientos básicos sobre los equipos de aire acondicionado. Esta filial de Knorr-Bremse era la única que desarrollaba equipos de HVAC en el grupo hasta la compra de la filial australiana.

Finalmente y como parte principal del proyecto, se aplicaron de forma práctica en las instalaciones de Sigma en Sídney los conocimientos adquiridos anteriormente. Primero se analizó la posibilidad de realizar un benchmarking estratégico en el departamento de ventas de Múnich para la preparación de ofertas conjuntas de diferentes productos. Después como miembro del equipo de integración y siendo parte del proceso real de desarrollo de sinergias, se estudió la posibilidad de adaptación de una herramienta de diseño (AMFE de Diseño) para su uso común por parte de Merak y Sigma. Finalmente se comenzó a implementar el sistema productivo Knorr-Bremse en la producción de Sigma, planteándose de este modo un benchmarking operacional.

La posibilidad de desarrollar benchmarking entre dos empresas que hasta ese momento eran competidoras, resultaría en una beneficio seguro para la empresa matriz Knorr-Bremse y para sus dos filiales en particular. Se creó un grupo de desarrollo para aprovechar estas sinergias, en el cual se pusieron en práctica los estudios planteados en este Proyecto Fin de Carrera.

Tabla de contenidos

1	INTRODUCCIÓN	1
1	ANÁLISIS KNORR-BREMSE.....	3
2.1	Descripción general de Knorr-Bremse AG en 2011	3
2.2	Knorr-Bremse objetivos y resultados.....	4
2.2.1	Objetivos de Knorr-Bremse.....	4
2.2.2	Resultados Financieros Knorr-Bremse	4
2.2.3	Divisiones Comerciales Knorr-Bremse	5
2.2.4	Divisiones geográficas Knorr-Bremse	6
2.2.5	Producto Knorr-Bremse	6
2.2.6	Rail Service / Servicio Post-venta.....	7
3	SISTEMAS DE FRENO KNORR-BREMSE	8
3.1	Importancia del Sistema de Freno	8
3.2	Clasificación Sistemas de Freno	8
4	SISTEMAS DE AIRE ACONDICIONADO (HVAC).....	9
4.1	Importancia del Sistema de Aire Acondicionado	9
4.2	Descripción Técnica de los Equipos Aire Acondicionado.....	9
5	PROCESO DE COMPRA E INTEGRACIÓN DE SIGMA.....	10
5.1	Objetivo de Knorr-Bremse	10
5.2	Integración de Sigma en los estándares de Knorr-Bremse	10
5.3	Benchmarking	11
6	EJEMPLO DE BENCHMARKING ESTRATÉGICO: COORDINACIÓN DE OFERTAS.....	12
6.1	Departamento internacional de ventas de locomotoras R/LSO	12
6.2	Proyecto Madhepura	12
6.2.1	Knorr-Bremse en la India – Oportunidades	12
6.2.2	Oferta de Knorr-Bremse para el proyecto Madhepura	13
6.3	Oportunidad de Benchmarking estratégico.....	14
6.3.1	Nueva etapa en el departamento RLSO (Departamento Ventas Locomotoras).....	14
6.3.2	Creación de un nuevo departamento de ofertas conjuntas	15
6.3.3	Adaptación del actual departamento de ventas RLSO	17
7	EJEMPLO DE BENCHMARKING FUNCIONAL: AMFE-D	18
7.1	Descripción del AMFE (Análisis de Modos de Fallo y Efectos).....	18
7.2	Proceso de cálculo del AMFE	19

7.3	AMFE de Diseño: Benchmarking Merak-Sigma	20
7.3.1	Ventajas de un AMFE de Diseño común	20
7.3.2	AMFE de Diseño de Knorr-Bremse.....	21
7.3.3	AMFE de Diseño de Merak.....	21
7.3.4	AMFE de Diseño de Sigma	22
7.4	Proceso de adaptación del AMFE de Diseño	23
7.4.1	Metodología.....	23
7.4.2	Adaptación de las tablas de valoraciones	27
7.4.3	Estructura del AMFE de Diseño.....	30
8	BENCHMARMING OPERACIONAL: SISTEMA DE PRODUCCIÓN KNORR-BREMSE	31
8.1	Sistema de producción Sigma	31
8.2	Nuevo sistema de producción integrado en Knorr-Bremse	31
8.3	Calculo recursos necesarios para la actualización de documentación	33
8.3.1	Análisis de la documentación actual.....	33
8.3.2	Calculo de la carga total de trabajo	34
9	VALORACIÓN DE LOS RESULTADOS	35
10	CONTINUACION DEL PROYECTO	37
ANEXOS	38	
	ANEXO I Principales hitos en la historia de Knorr-Bremse	39
	ANEXO II. Participación Consolidada de Knorr-Bremse en empresas afiliadas	40
	ANEXO III. Portafolio de Knorr-Bremse para Vehículos Ferroviarios.....	43
	ANEXO IV. Portafolio de Knorr-Bremse para Vehículos Comerciales	45
	ANEXO V. Regulación UIC – Union Internationale des Chemins de fer	47
	ANEXO VI. Regulación AAR – Associateon of American Railroads.....	50
	ANEXO VII. Noticia del diario alemán Spiegel.....	51
	ANEXO VIII. Descripción técnica equipos de aire acondicionado	53
	ANEXO IX. Descripción y principales hitos en la historia de Merak.....	58
	ANEXO X. Nota de prensa de Knorr-Bremse sobre adquisición de Sigma	59
	ANEXO XI. Benchmarking	61
	ANEXO XII. Principales hitos en el desarrollo del AMFE	67
	ANEXO XIII. Tablas de valoración del AMFE de Diseño de Knorr-Bremse	68
XIII.1	Tabla de Severidad Knorr-Bremse para el AMFE de Diseño	68
XIII.2	Tabla de ocurrencia de Knorr-Bremse para el AMFE de Diseño.....	69
XIII.3	Tabla de detección de Knorr-Bremse para el AMFE de Diseño	70

Tabla de contenidos

ANEXO XIV. Tabla de modos de fallo del AMFE de Diseño de Merak	71
ANEXO XV. Tablas de valoración del AMFE de Diseño de Sigma.....	77
XV.1 Tabla de severidad de Sigma para el AMFE de Diseño	77
XV.2 Tabla de ocurrencia de Sigma para el AMFE de Diseño.....	78
XV.3 Tabla de detección de Sigma para el AMFE de Diseño	79
ANEXO XVI. Proceso de verificación de un proyecto en Sigma	80
ANEXO XVII. Tabla de modos de fallo del AMFE de Diseño de Sigma	81
ANEXO XVIII. Planificación de la adaptación del AMFE de Diseño Merak-Sigma	85
ANEXO XIX. Principales herramientas del Knorr-Bremse Production System (KPS).....	86
ANEXO XX. Análisis de la documentación de producción de Sigma	87
ANEXO XXI. Planificación del proceso de adaptación de la documentación	88
REFERENCIAS DE CONSULTA.....	89
ÍNDICE DE FIGURAS.....	91
ÍNDICE DE TABLAS.....	92

MEMORIA

1 INTRODUCCIÓN

El contexto en el que se ha desarrollado este Proyecto Fin de Carrera resume el espíritu internacional de Knorr-Bremse, dando la posibilidad al proyectante de trabajar en distintas localizaciones de la empresa, de demostrar sus conocimientos técnicos y descubrir nuevos y diferentes ambientes profesionales, culturales y sociales. Así mismo la empresa se beneficia del trabajo desarrollado en este proyecto, ya que su aplicación práctica está siendo implementada.

En septiembre de 2010, Knorr-Bremse compra la empresa australiana Sigma y con ello surge la necesidad de diseñar un proceso de adaptación de la misma a los estándares del grupo. De este modo se genera un tema de proyecto idóneo que permite transmitir ideas nuevas basadas en la reciente formación universitaria del autor. El tema principal que se plantea es cómo obtener el máximo beneficio de la oportunidad de benchmarking entre Merak, Sigma y la empresa matriz Knorr-Bremse.

Durante la primera etapa del proyecto se conoce el significado de empresa y los principales objetivos de Knorr-Bremse. Para ello se analiza información sobre los resultados económicos de la empresa, sus principales hitos y sus objetivos tanto a medio como largo plazo. Así mismo al iniciarse este proyecto en el momento de compra de la empresa australiana Sigma, se estudia toda la documentación referente al proceso de compra y a los objetivos fijados para su completa integración en el grupo.

La necesidad de un conocimiento básico del producto es resuelta mediante una formación técnica en las instalaciones productivas de Knorr-Bremse en España (Merak). El producto desarrollado por la empresa australiana Sigma son equipos de aire acondicionado para ferrocarriles, minería y defensa y por ello se realiza esta formación técnica en la que hasta el momento de la compra, era el único centro de competencia del grupo para este tipo de equipos.

Después de recibir los conocimientos básicos necesarios se comienza a analizar y aplicar diferentes tipos de benchmarking. El primero de ellos consiste en la evaluación de las posibles mejoras que se podrían implementar en la estructura de ofertas de Knorr-Bremse basándose en la nueva situación creada por la compra de una empresa externa (Sigma). Un departamento, el de ventas internacionales de locomotoras de Múnich, necesita adaptarse a una nueva metodología para preparar las ofertas ya que nuevos productos son añadidos a su cartera de negocio. El proyectante prepara su propuesta para que sea analizada por parte de la dirección del departamento. El principal resultado de esta etapa es la propuesta de un Benchmarking estratégico basado en la experiencia previa y en la forma de trabajo de la competencia. Esta etapa se continúa desarrollando a lo largo de todo el proyecto, dando soporte a los departamentos de ventas de Knorr-Bremse en Múnich y Sigma en Sídney.

Desde enero de 2011 se analiza la posibilidad de realizar benchmarking funcional entre Merak y Sigma. Para ello se elabora un proceso de adaptación de una herramienta de diseño (AMFE de Diseño). El conocimiento del producto se convierte en un punto clave para poder entender el funcionamiento de la herramienta y poder discutir en los foros que se crean. Aunque el liderazgo de esta herramienta no precisa de altos niveles de formación técnica del producto (por ello es un tema apropiado para un proyectante), sí que es necesario un conocimiento básico de la materia.

Finalmente se estudia la posibilidad de desarrollo de benchmarking operacional mediante la implementación de los sistemas productivos de Knorr-Bremse (KPS). Esto implica una nueva estructura productiva que permita un mayor control de la producción, un incremento de la eficiencia y una mejora de la calidad.

A continuación se muestra resumido el proceso de realización de este Proyecto Fin de Carrera:

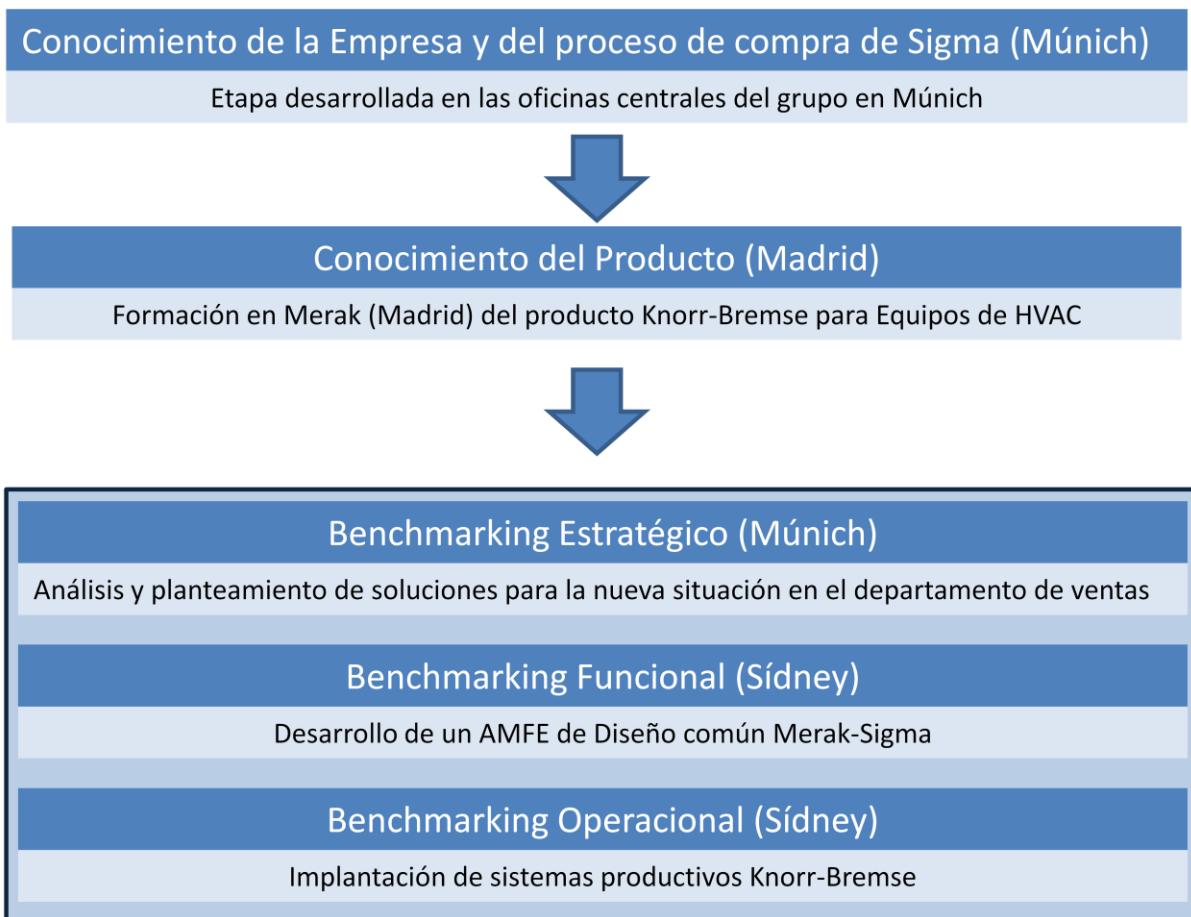


Figura 1 Etapas del Proyecto Fin de Carrera

La realización de este Proyecto Final de Carrera se ha realizado formando parte del equipo designado por la empresa matriz Knorr-Bremse para conseguir una integración plena de la empresa de reciente adquisición Sigma y el cual está liderado por el ingeniero industrial Carlos Vazquez, antiguo estudiante del Centro Politécnico Superior de Zaragoza que se graduó en el año 1999.

1 ANÁLISIS KNORR-BREMSE

2.1 Descripción general de Knorr-Bremse AG en 2011¹

Accionista mayoritario	Knorr-Bremse AG es propiedad de Herr Heinz Hermann Thiele
Sede social	Múnich, Alemania
Fundada	1905 en Berlín por Herr Georg Knorr (véase principales hitos en la historia de Knorr-Bremse en el anexo I)
Presidente	El presidente del consejo de administración de Knorr-Bremse es Dr. Raimund Klikner
Consejo de administración	Compuesto por cinco miembros, incluido el accionista mayoritario de la empresa, el presidente del consejo de administración y los directores de las divisiones de operaciones
Consejo de supervisión	Compuesto por doce miembros, incluido el accionista mayoritario y seis miembros elegidos por los trabajadores
Cifra de ventas 2010	3.712 millones de euros
Beneficio Neto 2010	239 millones de euros
Inversiones 2010	113 millones de euros (no incluye inmovilizaciones financieras)
Inversiones I+D 2010	175,3 millones de euros
Plantilla	16.277 a 31 de diciembre de 2010
Auditoría independiente	Un auditor independiente realiza una auditoria de los estados financieros consolidados de acuerdo con § 317 HBG (Código Comercial Alemán) y con estándares alemanes generalmente aceptados por la auditoria de estados financieros promulgada por "Institut der Wirtschaftsprüfer" (IDW)
Competidores	Sus máximos competidores son Faiveley (grupo francés) y Wabtec (empresa americana)
Valoración	Knorr-Bremse ha sido tasada por la agencia externa de valoración de crédito Standard&Poor's y Moody's desde el año 2000, aunque no cotiza en bolsa. Esta valoración mejora la confianza de los clientes y proveedores en la estabilidad del estado financiero del grupo Knorr-Bremse. Standard&Poor's han aumentado la valoración de knorr-Bremse desde el nivel BBB+ (perspectiva positivo) a A- (perspectiva estable). Para Moody's, la perspectiva de la empresa ha mejorado de estable a positiva.
Colaboraciones	Knorr-Bremse colabora activamente con DLR-Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (Centro Alemán para aviación y astronáutica), Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen (Universidad Técnica de Aachen), Universidad de Mannheim, Universidad Técnica de Berlín, Universidad Técnica de Múnich y Müegyetem 1782 (Universidad Técnica de Budapest)

¹ Knorr-Bremse (2011). *Annual Report 2010*. Munich.

2.2 Knorr-Bremse objetivos y resultados

2.2.1 Objetivos de Knorr-Bremse

“Más de mil millones de personas en todo el mundo confían diariamente en los sistemas Knorr-Bremse”²

Debido a esta responsabilidad civil, el grupo ofrece altos niveles de calidad, estándares de seguridad y compatibilidad ambiental. Durante el ejercicio 2010, Knorr-Bremse invirtió un 4,7% de las ventas consolidadas (un total de 175,3 millones de euros) en Investigación y Desarrollo.

Así mismo, otro objetivo de Knorr-Bremse es el convertirse en líder mundial en todos aquellos campos en los cuales tiene participación. Knorr-Bremse es actualmente líder mundial en desarrollo de sistemas de freno y climatización para vehículos ferroviarios e industriales. La principal consecuencia de esta política internacional es la presencia en más de 60 localizaciones en 25 países, de manera que el grupo ofrece una organización descentralizada. En el anexo II puede consultarse la participación consolidada de Knorr-Bremse en empresas afiliadas.

La filosofía del grupo Knorr-Bremse respecto a sus empleados viene dada por una fuerte identificación de los empleados con la empresa³. Como consecuencia de la complejidad técnica del producto ofertado, Knorr-Bremse tiene una gran demanda de personal cualificado.

2.2.2 Resultados Financieros Knorr-Bremse

Desde su fundación, Knorr-Bremse ha tenido un crecimiento uniforme. Sin embargo durante el año 2009 la situación económica global repercutió en los resultados y las ventas disminuyeron a 2761 millones de euros. Durante el año 2010 éstas volvieron a incrementarse hasta alcanzar máximos históricos con una cifra de ventas de 3710 millones de euros (esto supone un incremento del volumen de negocio del 34.5%).⁴

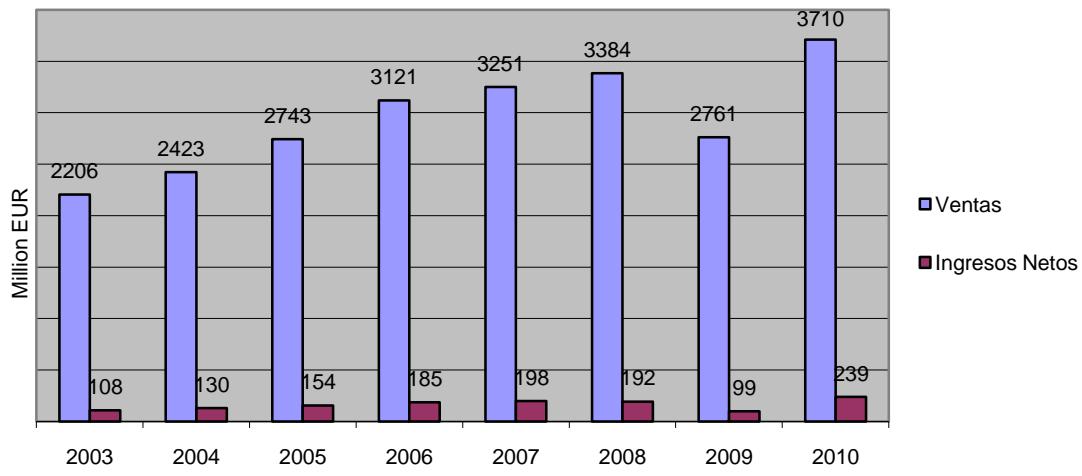


Figura 2 Ventas e ingresos netos de Knorr-Bremse durante el periodo 2003 – 2010

² Knorr-Bremse website. http://www.knorr-bremse.de/en/group/group_introduction_group.jsp

³ Knorr-Bremse (2011). *Policy Handbook*. Munich.

⁴ Knorr-Bremse. (2003 – 2011). *Annual Report*. Munich

Es importante destacar la rápida recuperación que ha tenido Knorr-Bremse después de la crisis a nivel mundial. Durante 2007 y 2008 hubo una pequeña desaceleración del crecimiento y en 2009 se volvió a cifras de ventas del año 2005. Sin embargo, en 2010 su crecimiento se ha visto otra vez recuperado alcanzando cifras máximas de ventas en la historia del grupo.

2.2.3 Divisiones Comerciales Knorr-Bremse

Knorr-Bremse AG contiene dos divisiones de negocio llamadas “Vehículos Ferroviarios” y “Vehículos Industriales”. La primera de ellas produce sistemas para trenes de alta velocidad, locomotoras, trenes automotores, metros, tranvías y vagones de mercancías. En esta división trabajan 9.523 empleados (a 31 de diciembre de 2010)⁵ y generó en 2010 una cifra de ventas de 2.000 millones de euros⁵. La división de vehículos industriales desarrolla sistemas para camiones y autobuses. Esta división tiene 6.950 empleados (a 31 de diciembre de 2010)⁵ y generó en 2010 una cifra de ventas de 1700 millones de euros⁵. Esta distribución de ventas (mayor para ferrocarril que para vehículos comerciales) se experimentó por primera vez en 2009 (véase figura 2).

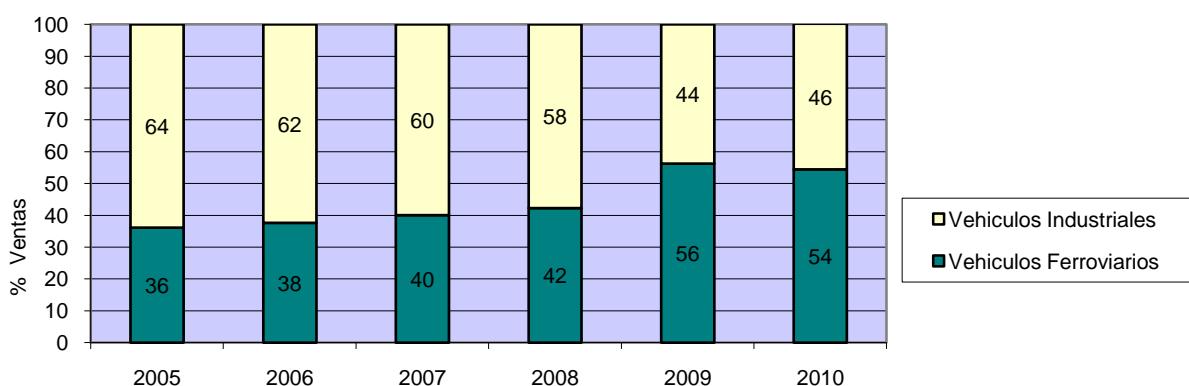


Figura 3 Distribución ventas KB por división de negocio

No es casualidad que la cifra de ventas de Vehículos Ferroviarios haya superado la cifra de ventas de Vehículos Comerciales en época de crisis. Cada división comercializa sus productos en mercados diferentes, para el caso de la industria del ferrocarril los contratos son promovidos por administraciones públicas de los distintos países y se realizan para períodos de tiempo más largos que en el caso de la industria de vehículos comerciales, en la cual las empresas privadas capitalizan esta demanda y por lo tanto la planificación de proyectos se realiza en períodos de tiempo menores.

⁵ Knorr-Bremse (2011). *Annual Report 2010*. Munich.

2.2.4 Divisiones geográficas Knorr-Bremse⁶

Las tres divisiones a nivel global de Knorr-Bremse (Europa, Norteamérica/Sudamérica y Asia/Australia) permiten analizar los comportamientos de los diferentes mercados de una manera independiente.

En el mercado europeo el impacto de la crisis económica fue extremadamente fuerte en 2009. Durante el año 2010 el volumen de negocio se recuperó pasando de 1.840mio de euros a 2.290mio de euros. El área de Sistemas para Vehículos Ferroviarios registró en 2010 un desarrollo positivo del 14%. El área de Vehículos Industriales aumentó su volumen de negocio en un 41%.

En el mercado norteamericano hubo un descenso en la producción de locomotoras de 22.000 unidades en 2009 a 15.000 unidades en 2010 (la menor cifra de producción desde 1987). Ambas divisiones aumentaron significativamente en Sudamérica con un crecimiento en el volumen de negocio de vehículos industriales del 62%.

El principal motor de la recuperación del grupo Knorr-Bremse fue la región Asia/Australia en la cual, el grupo Knorr-Bremse aumentó su volumen de negocio en 2010 un 90%. La mayor demanda provino de China, India y Japón. El sector que más se desarrolló fue el de trenes de alta velocidad.

La distribución de ventas de Knorr-Bremse en el año 2010 fue del 51% en Europa, 27% en Asia/Australia y 22% en la región Norteamérica/Sudamérica.

2.2.5 Producto Knorr-Bremse

Knorr-Bremse desarrolla un amplio rango de productos tanto para Vehículos Ferroviarios como Vehículos Industriales.

Los productos ofertados para Vehículos Ferroviarios comprenden sistemas hidráulicos, control de freno, suministro de aire, equipo de bogie, mando de freno, sistemas de información al pasajero, sistemas de aire acondicionado, sistemas de limpieza y lavaparabrisas, puertas, componentes de control, detector de descarrilamiento y diagnóstico de bogie. En el anexo III puede consultarse el portafolio de productos de Knorr-Bremse para vehículos ferroviarios.

Además de la marca principal Knorr-Bremse, esta división oferta las siguientes marcas: IFE-Innovations for Entrance Systems, Westinghouse-Platform Screen Doors, Microelectrica Scientifica, Zelisko, Rail Service, New York Air Brake, Merak y Sigma.

Los productos ofertados para Vehículos Industriales incluyen sistemas de freno, amortiguadores, compresores, suministro de aire, sistemas electrónicos, válvulas, frenos de disco, frenos de tambor, accionadores y diagnosis. En el anexo IV puede consultarse el portafolio ofertado por Knorr-Bremse para vehículos comerciales.

Vehículos Industriales oferta además de la marca principal Knorr-Bremse, otras marcas: Bendix, Hasse&Wrede, Bendix Spicer Foundation Brake LLC y Active Service.

⁶ Knorr-Bremse. (2011). *Annual Report 2010*. Munich

2.2.6 Rail Service / Servicio Post-venta

Un punto clave en la política de Knorr-Bremse es el servicio post-venta. Para ello dispone de un departamento especializado que ofrece soporte al cliente durante todo el ciclo de vida del producto en el cual Knorr-Bremse es responsable.

Los objetivos más importantes de este departamento son:

- Obtener una calidad de producto entregado mayor del 95%
- Reducción de tiempos de suministro a cliente
- Mejoras en la logística de productos considerados post-venta
- Alto disponibilidad geográfica de piezas de repuesto
- Mejora en fase de embalaje
- Regulación de productos obsoletos

3 SISTEMAS DE FRENO KNORR-BREMSE

3.1 Importancia del Sistema de Freno

El sistema de freno es uno de los componentes más importantes de los trenes ya que es usado para decelerar, controlar la aceleración (bajando pendientes) y mantener el tren parado cuando está aparcado. Diferentes regulaciones son aplicadas dependiendo del país:

UIC	Regulación aplicada en Europa, África y parte de los países persas (véase anexo V)
AAR	Regulación aplicada en USA, Canadá, South América y Australia (véase anexo VI)
GOST	Regulación de aplicación en Rusia, Kazajstán y otros ex países soviéticos

Desde sus inicios, Knorr-Bremse ha basado su desarrollo en la producción de sistemas de freno. Patentes suyas son el freno “Kunze-Knorr brake” (desarrollado por Karl Kunze y Georg Knorr en 1932). En 1967 Knorr-Bremse desarrolló un sistema electrónico de control de freno tipo zapata. En 1996 Knorr-Bremse desarrolló el freno compacto denominado caliper y la unidad compacta hidráulica. Así mismo Knorr-Bremse diseñó un sistema de freno para trenes de alta velocidad en el año 1997. En 1998 desarrolló un sistema de detección de descarrilamiento y durante los primeros años de este siglo presentó nuevos sistemas compactos de freno denominados MBS (“Modular Brake System”).

3.2 Clasificación Sistemas de Freno

Basándose en aspectos técnicos, los frenos de tren pueden clasificarse del siguiente modo:⁷

- **Freno Neumático:** utiliza aire comprimido para producir la fuerza de frenada en un freno cilíndrico. Dependiendo de la acción pueden clasificarse en directos o indirectos.
 - **Indirecto (Freno automático):** la disminución en la presión del aire comprimido se traduce en incrementos proporcionales de la fuerza de frenada. Por lo tanto es un sistema que previene ante problema de fugas de aire comprimido ya que en ese caso aplicaría fuerza de frenado. Son utilizados en los países con regulación UIC.
 - **Directo (Freno no automático):** incrementos en la presión del aire comprimido resultan en incrementos proporcionales de la fuerza de frenado.
- **Freno de vacío controlado por aire comprimido:** el sistema de pre-control del freno de vacío se lleva a cabo con aire comprimido
- **Freno de inducción magnética:** crea un campo magnético entre la vía y el tren para obtener la fuerza de frenado.

⁷ Knorr-Bremse. (1990). *Handbook. Brake Engineering Terms and Data. Rail Vehicle brakes*. Munich.

4 SISTEMAS DE AIRE ACONDICIONADO (HVAC)

4.1 Importancia del Sistema de Aire Acondicionado

Las condiciones de viaje ofertadas por las empresas de transporte público deben garantizar un ambiente confortable y saludable para los pasajeros. Los equipos de aire acondicionado son elementos clave para alcanzar este objetivo ya que controlan los siguientes parámetros:

- El flujo de aire fresco necesario para una persona en actividad normal (eliminando contaminantes, olores corporales).
- Control de la humedad interior que debe ser menor del 60%.
- Limitación del ruido en el interior.
- Protección frente a ondas de presión que se producen en los túneles.
- Proporcionar calefacción durante el invierno y refrigeración en verano.

Es importante destacar que un fallo en el funcionamiento del aire acondicionado de un tren puede obligar a la empresa que lo explota comercialmente a enviar dichos trenes a mantenimiento y por lo tanto disminuir su flota. Esto ocurrió en el verano de 2010 en Alemania, cuando 50 trenes ICE de alta velocidad sufrieron la inutilización de sus equipos de aire acondicionado debido a las altas temperaturas (véase anexo VII).⁸

4.2 Descripción Técnica de los Equipos Aire Acondicionado

Los principales componentes de un equipo de aire acondicionado son:

- *Compresor*: es un elemento clave que limita la potencia del ciclo completo.
- *Batería condensadora*: se obtiene líquido a alta presión al producirse transición de fase del gas a alta presión proveniente del compresor.
- *Válvula de expansión*: el líquido a alta presión proveniente de la batería condensadora se expande.
- *Batería evaporadora*: el aire fresco pasa a través de esta batería de modo que es enfriado antes de ser introducido en el habitáculo.

Otros componentes importantes que también están presentes en los equipos de aire acondicionado son los sensores de temperatura, sistemas de seguridad (trabajando en modo calefacción así como en modo refrigeración) y sistemas de control, filtros, protectores anti-vibración, válvulas bypass y los sistemas de protección frente a ondas de presión (mediante dampers).

Para el diseño de estos equipos es necesario tener en cuenta también los conductos que conectan la unidad de aire acondicionado con el resto del habitáculo. Pueden distinguirse 4 tipos diferentes de conductos: conductos de aire caliente, conductos de aire frío, conductos de aire de retorno y conductos de aire de salida.

Véase el anexo VIII para obtener más información técnica sobre equipos de aire acondicionado. En el anexo IX puede verse una descripción de Merak, así como sus principales hitos.

⁸ <http://www.spiegel.de/international/germany/0,1518,706889,00.html>

5 PROCESO DE COMPRA E INTEGRACIÓN DE SIGMA

5.1 Objetivo de Knorr-Bremse

“Para Knorr-Bremse, la adquisición de Sigma Coachair Group es el paso lógico en su expansión mundial en el Mercado de los sistemas de Aire Acondicionado”⁹

El 29 de Septiembre de 2010, se hizo efectiva la compra de Sigma Coachair Group por parte de Knorr-Bremse Asia Pacific (Holding miembro de Knorr-Bremse Group). Su nota de prensa aquel día afirmaba uno de los puntos comentados anteriormente sobre Knorr-Bremse, su objetivo de ser líder mundial en aquellos mercados en los que interviene ya que a partir de ese momento, Knorr-Bremse se convirtió en líder mundial en desarrollo de sistemas de aire acondicionado para vehículos ferroviarios (véase anexo X):

En adelante y debido a que Knorr-Bremse solo compró la parte de vehículos ferroviarios, minería y defensa, la empresa empieza a llamarse Sigma (dejando atrás su nombre referente a la industria de vehículos comerciales “Coachair”).

Después de la adquisición de Sigma por parte del grupo Knorr-Bremse, la división de aire acondicionado está compuesta por “Merak. Sistemas de Calefacción, Ventilación y Aire Acondicionado S.A.” y “Sigma”. La diferencia esencial entre ambas compañías era a 29 de septiembre de 2010, que Merak ya estaba trabajando según los estándares de Knorr-Bremse y Sigma tenía su propia política de empresa y estándares de calidad.

5.2 Integración de Sigma en los estándares de Knorr-Bremse

Una vez ejecutada la compra de Sigma se inició el proceso de integración de la empresa bajo los estándares Knorr-Bremse. Para ello diferentes delegaciones del grupo están presentes en el proceso como miembros activos y otros como organismos de control. Estos son Knorr-Bremse Múnich, Knorr-Bremse Asia Pacifico, Knorr-Bremse Australia, Merak España y Sigma Australia. También se creó un equipo permanente (Post-Merger Integration Team) para la consecución de una integración viable y exitosa. Los objetivos más importantes de la integración son:

- Conseguir una transición suave a los estándares de Knorr-Bremse
- Análisis de las mejores prácticas por parte de Merak y Sigma
- Implementación todas las posibles sinergias entre Merak y Sigma
- Iniciar la comunicación directa entre ambas empresas
- Favorecer el intercambio de know-how entre Merak y Sigma
- Obtener una distribución de clientes que evite competencias entre empresas del mismo grupo

Es importante destacar, que Sigma Coachair tenía unos buenos resultados financieros en el momento de su compra y por lo tanto todas las modificaciones introducidas durante su integración tienen que evitar cualquier cambio de tendencia a este respecto. La integración se convierte por tanto en una gran oportunidad de desarrollar benchmarking.

⁹ Knorr-Bremse Press Release. (Semptember 2010). Munich.

5.3 Benchmarking

“Un proceso sistemático y continuo para evaluar los productos, servicios y procesos de trabajo de las organizaciones que son reconocidas como representantes de las mejores prácticas, con el propósito de realizar mejoras organizacionales”¹⁰

Benchmarking es un proceso continuo de evaluación de productos, servicios y técnicas desarrollados por competidores o compañías reconocidas como líderes. Más ampliamente, benchmarking puede aplicarse a cualquier área en la cual se produce una comparación con el objetivo de aprender rompiendo de este modo el paradigma de no poder aprender de otros.

La principal ventaja que una empresa obtiene si realiza un benchmarking apropiado es la ganancia de superioridad que incluso le puede convertir en el nuevo benchmarking a seguir. Los diferentes benchmarking que pueden realizarse son (más información en el anexo XI):

- **Benchmarking de proceso:** El objetivo es la mejora en términos de costes y la eficiencia.
- **Benchmarking financiero:** Se centra en mejoras de competitividad y productividad.
- **Benchmarking de producto:** Busca las virtudes y defectos en productos de los competidores. Incluye la “ingeniería inversa”.
- **Benchmarking de resultados:** Permite a empresas nuevas comparar productos y servicios de forma que se fijan sólidos objetivos.
- **Benchmarking estratégico:** Se observa como otras empresas compiten y cuáles son las oportunidades que existen.
- **Benchmarking funcional:** La empresa centra su benchmarking en una única función concreta con el objetivo de mejorarla.
- **Benchmarking operacional:** Incluye tanto personal y productividad como flujos de oficina y resultados de procesos de análisis.
- **Benchmarking de energía:** El objetivo es la reducción del consumo de energía estudiando modelos de consumo de energía de otros edificios.
- **Benchmarking interno:** Consiste en la comparación de operaciones similares dentro de una misma empresa.

Varios de estos Benchmarking pueden llevarse a cabo en el proceso de integración de Sigma. Este estudio se centra en los Benchmarking estratégico, funcional y operacional que se están llevando a cabo entre Sigma, Merak y Knorr-Bremse.

¹⁰ Michael J. Speldoni. (1999). *The Benchmarking Book*. New York. Amacom

6 EJEMPLO DE BENCHMARKING ESTRATÉGICO: COORDINACIÓN DE OFERTAS

6.1 Departamento internacional de ventas de locomotoras R/LSO

La primera parte de este proyecto se realizó en el departamento internacional de ventas de locomotoras de Knorr-Bremse situado en Múnich. La mayoría de las locomotoras en América, Europa y muchas en Asia/Australia están equipadas con sistemas de freno de Knorr-Bremse y sus ofertas son desarrolladas desde este departamento.

Los principales productos ofertados por Knorr-Bremse para locomotoras son:

- Control de frenada mediante microprocesadores o módulos integrados de frenada
- Suministro de aire mediante compresores
- Unidades de bloqueo de frenada
- Discos de freno
- Sistemas de aire acondicionado
- Programas de simulación

A continuación se estudia el caso real de la preparación de una oferta de Knorr-Bremse para un proyecto en la India.

6.2 Proyecto Madhepura

6.2.1 Knorr-Bremse en la India – Oportunidades

La India es el séptimo país más extenso del mundo y el segundo con mayor población 1200 millones de habitantes según el censo oficial de la India.¹⁰ La India es una potencia económica emergente y posee el segundo crecimiento económico más rápido del mundo, lo que corresponde a un crecimiento anual del 8%¹¹. Todo ello repercute positivamente en el desarrollo de sus infraestructuras y por lo tanto de las oportunidades para la industria del ferrocarril.

Desde 1995 Knorr-Bremse posee oficinas en la India para sus dos divisiones comerciales (vehículos ferroviarios y comerciales). Las principales ventajas de su presencia física en el país son las siguientes:

- Mejor retroalimentación de la información proveniente del cliente y del mercado.
- Posibilidad de controlar el proceso de forma directa.
- Mayor control sobre los proveedores locales.
- Disminución de los precios debido a la posibilidad de localización.
- Conocimiento sobre la cultura del país y la legislación vigente.

¹¹ <http://www.censusindia.gov.in/>

¹² OECD. (2007). *Economic Survey of India*.

Los principales competidores de Knorr-Bremse en la India son Faiveley, Stone India, Escorts y Elgi.

En el año 2007 Indian Railways sacó a concurso el proyecto Madhepura y cuatro empresas fabricantes de trenes realizaron sus ofertas. Estas fueron Bombardier, General Electric, Alstom y Siemens. Inicialmente los requisitos del proyecto fueron la fabricación de 800 locomotoras dobles en un periodo fijado por Indian Railways de 50 años. Sin embargo, después de discusiones internas, Indian Railways redujo el periodo del proyecto a 10 años¹³. Durante esta fase de definición del proyecto, Bombardier pidió oferta a Knorr-Bremse.

6.2.2 Oferta de Knorr-Bremse para el proyecto Madhepura

En el caso del proyecto Madhepura, la oferta de Knorr-Bremse está compuesta por tres diferentes líneas de producto:

- Sistema de freno → oferta suministrada desde Knorr-Bremse Múnich
- Sistema de Aire Acondicionado → oferta dirigida por Sigma Australia
- Equipo de simulación → oferta preparada por Sydac Australia

Como puede verse en la figura 4, la oferta de Knorr-Bremse es liderada por dos responsables de negocio (Business Responsible), uno situado en el departamento de R/LS y otro en Knorr-Bremse India, los cuales son encargados de la comunicación directa con el cliente. Dos directores de proyecto (Project Management) son los encargados de controlar el cumplimiento de las especificaciones técnicas. Cada una de las líneas de producto comentadas anteriormente es responsabilidad de un área distinta (Knorr-Bremse Múnich, Sigma Australia y Sydac Australia). Finalmente se ofrece un servicio postventa englobado en los estándares de Knorr-Bremse.

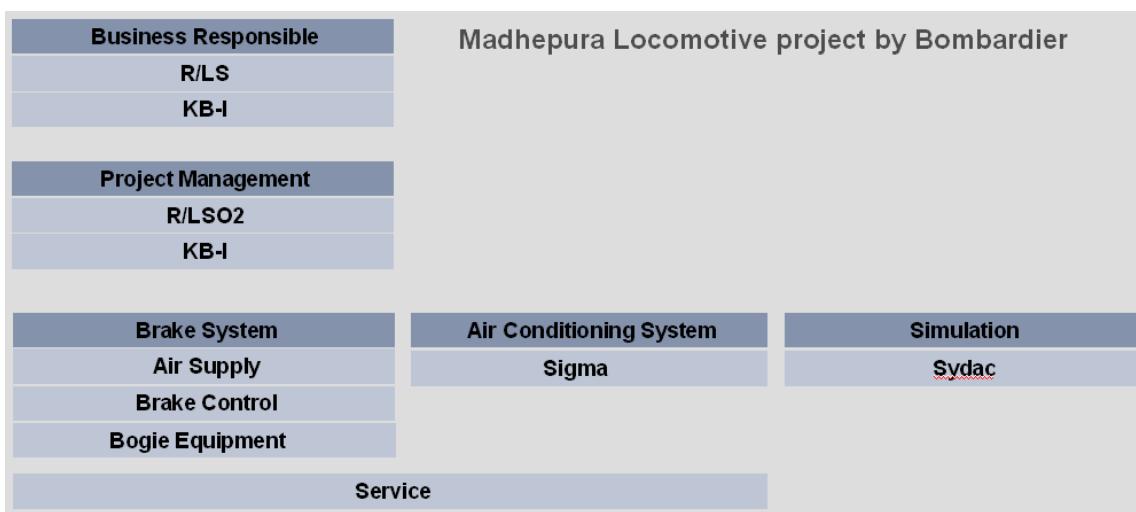


Figura 4 Estructura Knorr-Bremse para el Proyecto Madhepura

¹³ <http://www.allbusiness.com/company-activities-management/contracts-bids/15391574-1.html>

6.3 Oportunidad de Benchmarking estratégico

6.3.1 Nueva etapa en el departamento RLSO (Departamento Ventas Locomotoras)

Actualmente los clientes requieren ofertas conjuntas que hagan disminuir el precio de los equipos comprados a sus proveedores. Por lo tanto nace la necesidad de preparación de ofertas conjuntas para distintos productos. Para el departamento RLSO de Knorr-Bremse, el proyecto Madhepura es el primero en el cual se prepara una oferta no solo para equipos de freno sino también para aire acondicionado y simulación. Tras la compra de Sigma y Sydac en 2010 por parte de Knorr-Bremse, se ampliaba el rango de componentes ofertados (ya que por ejemplo Merak no ha preparado ofertas de aire acondicionado para locomotoras en los últimos años).

La oferta final para las tres líneas de negocio fue presentada al cliente por parte del departamento de ventas de locomotoras (RLSO) de Múnich. Sin embargo para el desarrollo técnico de esta oferta, el cliente tuvo que comunicarse para cada uno de los productos directamente con la empresa responsable, como puede observarse en la figura 5. Por ejemplo en el caso de la oferta de aire acondicionado, Bombardier se puso en contacto directo con Sigma para la obtención de una oferta basándose en sus especificaciones técnicas. Lo mismo ocurrió con la simulación en el caso de Sydac y con los equipos de freno con Knorr-Bremse. Se trata de un proceso no optimizado ya que Knorr-Bremse no puede tener el control total sobre la información que está recibiendo y facilitando a su cliente y esto puede repercutir en una pérdida de competitividad frente a sus rivales.

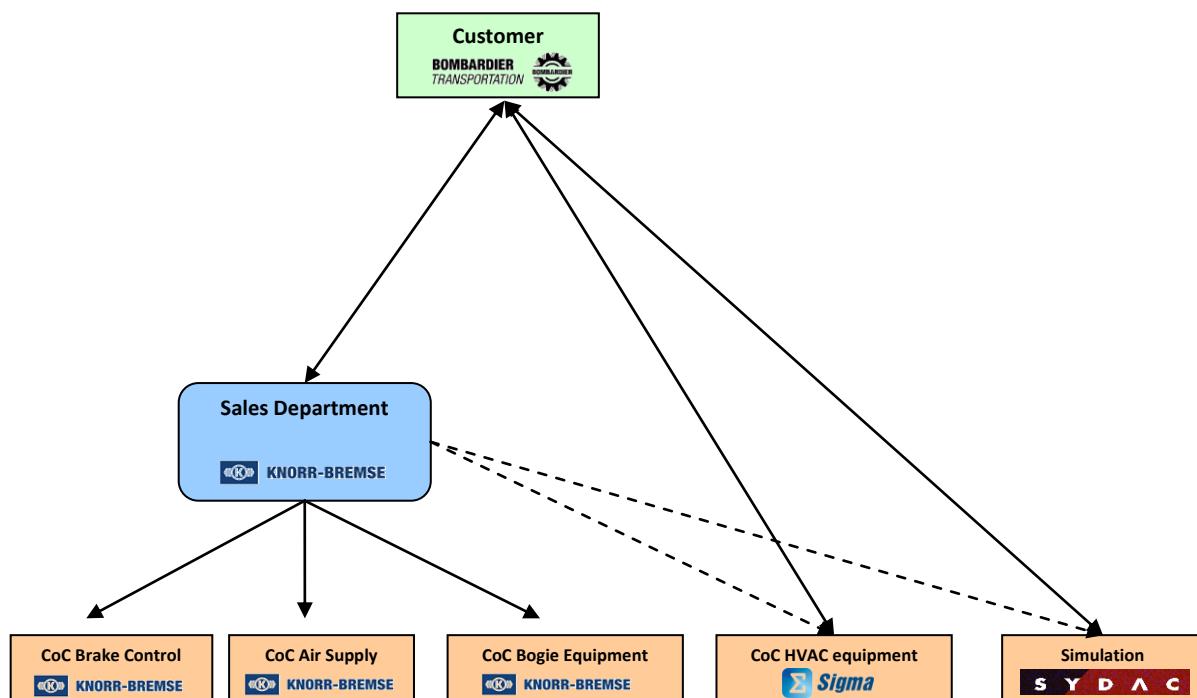


Figura 5 Proceso de oferta para el proyecto Madhepura

Por lo tanto surgió la necesidad de estudiar cómo podrían desarrollarse estas ofertas en el futuro. Mediante un benchmarking estratégico es posible analizar la posibilidad de mejora, ya que los competidores de Knorr-Bremse desarrollan actualmente ofertas conjuntas para todos sus componentes. Así mismo es posible utilizar la experiencia que Knorr-Bremse tiene para otros productos, realizando un benchmarking interno.

Basándose en la actual estructura de desarrollo de ofertas por parte del departamento RLSO para equipos de freno es posible extrapolar la idea a un concepto más general y amplio que englobe más componentes y sistemas. Utilizando este departamento como benchmarking se plantean las siguientes dos soluciones para el desarrollo de ofertas conjuntas.

6.3.2 Creación de un nuevo departamento de ofertas conjuntas

La primera de las propuestas consiste en la creación de un nuevo departamento de ventas responsable de la coordinación de ofertas conjuntas para clientes. En este caso, el actual departamento RLSO se mantendría como responsable solo de los sistemas de freno ofertados para locomotoras reportando directamente a este nuevo departamento. En la siguiente figura es posible observar el nuevo flujo que surgiría de la aplicación de esta propuesta. El nuevo departamento de coordinación de ofertas estaría en contacto directo con el departamento de ventas de componentes de freno, el centro de competencia para aire acondicionado, centro de competencia para equipos auxiliares y servicio postventa.

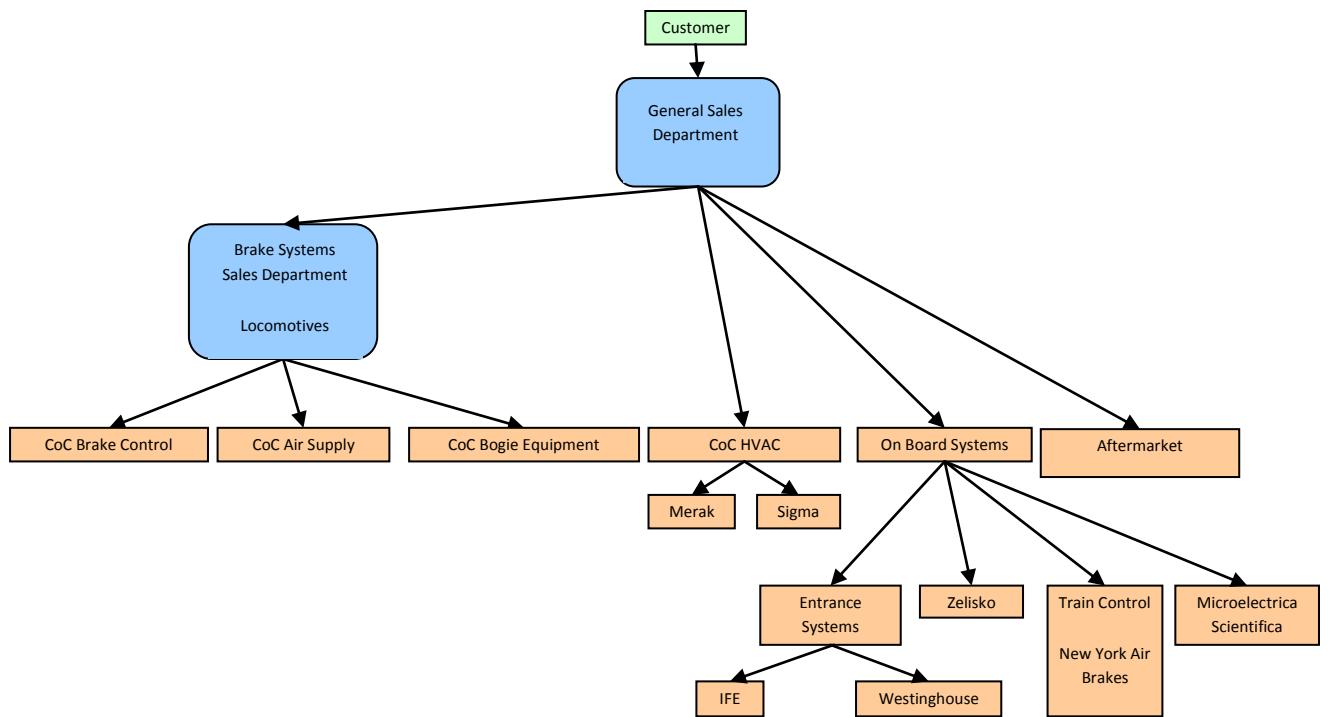


Figura 6 Estructura con nuevo departamento de ventas

Las responsabilidades del nuevo departamento serían:

- Contacto directo con el cliente para satisfacer sus especificaciones y requerimientos.
- Contacto directo con el departamento de ofertas RLSO para sistemas de freno (incluyendo los centros de competencia de control de freno, suministro de aire y equipos bogie).
- Coordinación de Merak y Sigma para ofertas relacionadas con equipos de aire acondicionado.
- Contacto directo con Sydac para proveer sistemas de simulación.
- Coordinación de las empresas IFE y Westinghouse para los sistemas de entrada.
- Contacto directo con New York Air Brake para equipos de control.
- Contacto directo con Zelisko para ofertas de sistemas de dirección de tráfico, señales e instrumentos de transformación.
- Contacto con Microelectrónica Scientifica para ofertas de componentes electromecánicos y electrónicos.
- Coordinación del servicio postventa durante el ciclo de vida del producto a través del propio departamento postventa de Knorr-Bremse.

Este nuevo departamento controlaría empresas y marcas situadas en todo el mundo. Sin embargo sería recomendable que su localización fuese en Múnich, ya que la imagen corporativa del grupo está basada en su sede social de Alemania. En este caso, deberían estudiarse los siguientes puntos para poder evaluar los recursos necesarios:

- Personal cualificado proveniente de las diferentes marcas de Knorr-Bremse deberían pertenecer a este departamento para poder dar una respuesta rápida y correcta al cliente. Para ello sería necesario estudiar los incentivos necesarios para captar personal cualificado que actualmente están trabajando para Knorr-Bremse en otros países de forma que estuviesen suficientemente motivados para cambiar su localización.
- Adaptación de las oficinas para albergar a los nuevos componentes del departamento. En este caso sería posible utilizar espacio disponible actualmente en las oficinas del grupo en Múnich.
- Formación de nuevos empleados para evitar disminución de recursos en las empresas de las cuales se captarían trabajadores.

6.3.3 Adaptación del actual departamento de ventas RLSO

La segunda propuesta consiste en la adaptación del actual departamento de ventas RLSO de modo que pueda coordinar ofertas conjuntas de todos los productos ofrecidos por Knorr-Bremse para locomotoras. La estructura resultante en este caso es la siguiente:

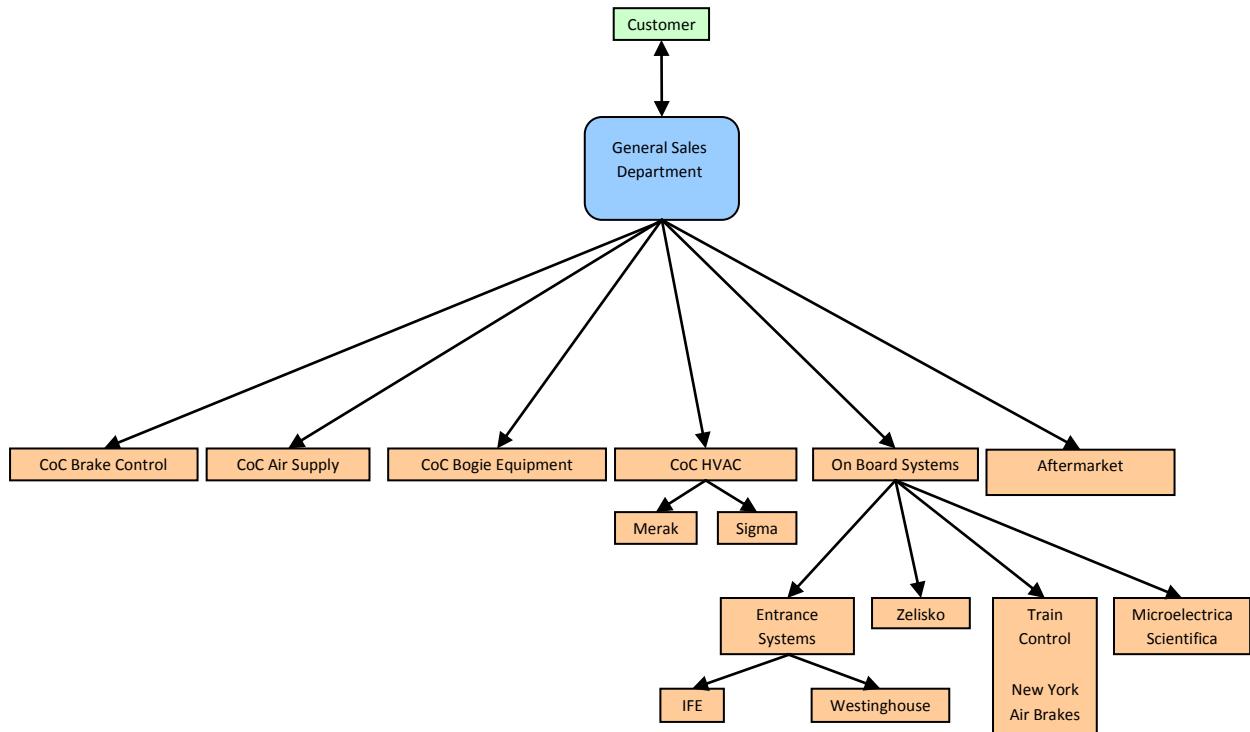


Figura 7 Estructura mediante la adaptación del departamento de ofertas conjuntas

El actual departamento encargado de las ofertas, tiene suficiente capacidad para absorber el nuevo flujo de trabajo. El problema de esta solución radica en la falta de personal especializado en productos no relacionados con los sistemas de freno. Por lo tanto el mayor esfuerzo a realizar sería la formación de personal clave para la coordinación de los nuevos productos. Del mismo modo sería interesante potenciar el intercambio de personal con las empresas responsables del desarrollo del producto, de modo que personal cualificado pudiera trabajar temporalmente en este departamento de Múnich e intercambiar sus conocimientos.

Los recursos necesarios en este caso son menores respecto al caso propuesto anteriormente. Su principal desventaja es que su implementación no es inmediata, ya que es necesario formar al personal (esta desventaja podría ser menor si se favorecen los intercambios internos de la empresa).

7 EJEMPLO DE BENCHMARKING FUNCIONAL: AMFE-D

7.1 Descripción del AMFE (Análisis de Modos de Fallo y Efectos)

Actualmente las empresas desarrollan procesos de diseño y producción cuyo principal objetivo es detectar los errores en fases iniciales del ciclo de vida del producto. Como puede apreciarse en la figura de la izquierda, la mayoría de los modos de fallo (75% de ellos) se desarrollan en las primeras fases (oferta y diseño) pero estos son detectados mayormente en fases más tardías como son producción o cliente (80% de los fallos son eliminados en estas fases). Esta distribución de formación-detección de fallos incrementa los costes para la empresa con una tendencia exponencial (figura derecha). Basándose en la regla del 10, la eliminación de un fallo en etapa de planificación y diseño supone un coste de 0.10€, durante la etapa de proveedores y producción se eleva a 1-10€ y si el fallo es detectado en fase de pruebas o cliente este coste alcanza los 100€.

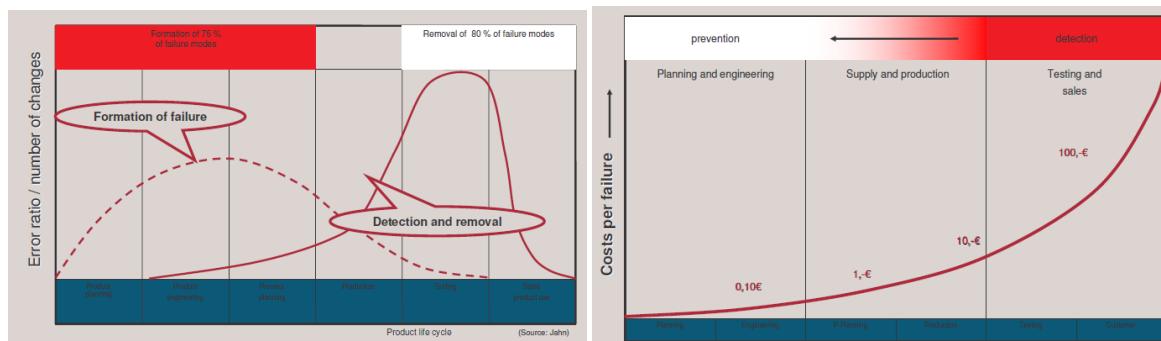


Figura 8 Fallos vs. Costes durante ciclo de vida del producto

El AMFE es una herramienta que mediante un proceso estructurado analiza actividades de diseño y producción con el objetivo de detectar modos potenciales de fallo y sus posibles efectos. Su input consiste en la experiencia pasada con productos o procesos similares y su resultado es una base de datos que ayuda a los diseñadores a evitar fallos de diseño ya conocidos cuando desarrollan nuevos proyectos con el mínimo esfuerzo y utilización de recursos. Esta herramienta se desarrolló por primera vez en 1940 por el ejército de Estados Unidos y se ha desarrollado notablemente en los últimos años (véase anexo XII).

Basándose en la guía de AMFE de Ford, pueden distinguirse los siguientes AMFE¹⁴:

- **AMFE de concepto** se realiza en fases de diseño y proceso. Incluye AMFE-C de sistemas, AMFE-C de subsistemas y AMFE-C de componentes.
- **AMFE de diseño** análisis de productos antes de producción. Este incluye AMFE-D de sistema, AMFE-D de subsistemas y AMFE-D de componentes.
- **AMFE de proceso** análisis de procesos de producción y ensamblaje. Incluye AMFE-P de sistema, AMFE-P de subsistema y AMFE-P de componentes.

¹⁴ Ford Design Institute. (2004). *Failure Mode and Effect Analysis: FMEA handbook (with Robustness Linkages)*. Ford Motor Company. Dearborn, MI.

- **AMFE de maquinaria** consiste en una aplicación del AMFE de diseño a los equipos de trabajo.

Los tres casos en los cuales según el manual de Ford es necesario desarrollar un AMFE son:

- Nuevos diseños, nueva tecnología o nuevos procesos → El AMFE está focalizado en el diseño completo, tecnología o proceso.
- Modificaciones de diseños o procesos existentes → El AMFE se centra en las modificaciones de diseño o proceso.
- Uso de un diseño o proceso existente en un nuevo ambiente, localización o aplicación → El AMFE estudia el impacto de las nuevas variables en el diseño o proceso.

7.2 Proceso de cálculo del AMFE

El AMFE debe mostrar los problemas más importantes para la empresa y no analizar todos los riesgos teóricos que pudieran aparecer. Por ello en el proceso de cálculo del AMFE se evalúa el nivel de riesgo mediante el Número de Prioridad de Riesgo (RPN) que se calcula en base a tres diferentes indicadores:

$$\text{Número de prioridad de Riesgo (RPN)} = \text{Severidad (S)} * \text{Ocurrencia(O)} * \text{Detección(D)}$$

Severidad evalúa las consecuencias de un modo de fallo determinado por el grado de lesión, daño del sistema o propiedad, pérdida de tiempo que pudieran ocurrir. Para cada efecto de un fallo, debe existir una severidad específica.

Ocurrencia muestra la probabilidad de que un fallo específico ocurra durante la vida del producto basándose en la experiencia de la empresa y registros históricos. Para cada causa potencial debe fijarse una ocurrencia distinta.

Detección valora el grado de detección de la causa/mecanismo de fallo tanto por métodos analíticos como físicos. Para cada control de diseño debe asignarse un grado de detección diferente.

El AMFE es un documento vivo que debe ser actualizado periódicamente ya que los fallos detectados en la empresa deben ser incluidos en esta herramienta lo antes posible. Dependiendo de las condiciones impuestas por la empresa para definir un valor de RPN como crítico, se obtendrá una relación de los campos más críticos en el diseño, los cuales serán analizados en profundidad.

Así mismo debe tenerse en cuenta que la multiplicación de severidad, ocurrencia y detección puede provocar situaciones en las cuales modos de fallo menos severos reciban valoraciones de riesgo mayores que ciertos modos más severos. La razón de que ocurra esto es que se están multiplicando números ordinales que describen orden.

El AMFE tiene como entradas:

- Requerimientos: Corporativos, regulatorios, calidad, etc.
- Información histórica de resultados
- Datos de Benchmarking
- Diagramas-P: diagramas de proceso con funciones ideales, estados de error y factores de control.
- Matriz de interfaz o diagramas de condiciones límite.

El resultado del AMFE es utilizado como entrada en:

- Plan de Verificación de Diseño
- Lista de chequeo de robustez
- Características críticas y significantes
- Especificaciones de sistema, subsistema y componentes
- Criterio de validación
- Plan de control

7.3 AMFE de Diseño: Benchmarking Merak-Sigma

7.3.1 Ventajas de un AMFE de Diseño común

Aunque el desarrollo del AMFE es importante a todos los niveles (desde el diseño al proceso), este estudio se ha realizado solo para la fase de diseño. La situación inicial en Septiembre 2010 consistía en la existencia de diferentes AMFE-D entre Merak y Sigma. Desde el año 2005 Sigma había desarrollado su propio AMFE de diseño y en el caso de Merak había iniciado el suyo en 2010 siguiendo los estándares de Knorr-Bremse. Por lo tanto el desarrollo de un AMFE de diseño común representaba una oportunidad de implementar Benchmarking dentro de Knorr-Bremse.

La principal ventaja de desarrollar un AMFE de diseño común para las dos empresas es la posibilidad de intercambiar el know-how de ambas de un modo directo. Los fallos detectados en una empresa pueden ser analizados por los equipos de diseño de ambas empresas y obtener soluciones y acciones preventivas comunes. Desde el punto de vista global de Knorr-Bremse, la utilización de un AMFE-D común siguiendo los estándares del grupo, repercute positivamente en la posibilidad de analizar modos de fallos críticos en los sistemas de aire acondicionado en comparación con otros equipos. Es decir, cualquier empleado de Knorr-Bremse en cualquier localización del grupo, podría entender el AMFE-D de aire acondicionado y podría compararlo con el producto que él está desarrollando.

7.3.2 AMFE de Diseño de Knorr-Bremse

El AMFE es considerado por Knorr-Bremse un proceso robusto de mejora. La política de empresa potencia la existencia de unos estándares comunes entre todas las marcas del grupo y por lo tanto de un AMFE común para todos sus equipos de freno, puertas, sistemas de aire acondicionado, etc.

La severidad de los modos de fallo para Knorr-Bremse se valora desde 1 para muy bajos efectos en la funcionalidad de los equipos que solo puede ser detectada por personal cualificado, hasta 10 en los cuales existe un riesgo de seguridad importante y no es posible cumplir con las regulaciones (véase anexo XIII.1)

La ocurrencia es valorada de una forma objetiva por parte de Knorr-Bremse definiendo un rango de 1 a 10 que se corresponde a una escala de partes por millón (por lo tanto no expresa dimensiones y puede ser utilizada en todos los rangos de producción). La ocurrencia es una valoración que muestra estándares de calidad y en el caso de Knorr-Bremse se incrementa rápidamente su valor, esto significa que su política de calidad no acepta un nivel alto de fallos iguales (véase anexo XIII.2)

La detección también está valorada de 1 a 10, siendo 1 la garantía de detectar un fallo en el 100% de los casos hasta 10 (es improbable detectar el fallo). Esta tabla puede consultarse en el anexo XIII.3.

7.3.3 AMFE de Diseño de Merak

En 2010 Merak inició el desarrollo de su propio AMFE-D basado en los estándares de Knorr-Bremse. Aunque la estructura fue la misma, los modos de fallos, sus causas y efectos fueron adaptados al producto sobre el que se realizaba el estudio. Al comienzo de este estudio, Merak se encontraba en la primera fase de desarrollo del AMFE-D y había definido los principales modos de fallo (véase anexo XIV)

Un equipo permanente formado por 6 expertos y un moderador, se reúnen semanalmente en Merak para desarrollar esta herramienta de diseño. Este equipo consta de los siguientes miembros:

- 1 Moderador – líder
- 1 Responsable de diseño eléctrico
- 1 Responsable de diseño mecánico
- 1 Responsable de RAMS/LCC
- 1 Responsable de innovación
- 1 Especialista en desarrollo de paneles eléctricos
- 1 Técnico de prototipos mecánicos

Las tablas de valoración de severidad, ocurrencia y detección fueron tomadas del AMFE de Diseño estándar de Knorr-Bremse. En el caso de la severidad, y teniendo en cuenta la definición de sus valores, el máximo valor posible era el 6, correspondiente a equipos de confort (en este caso calefacción, ventilación y aire acondicionado).

La estructura de los modos de fallo en el AMFE de Diseño de Merak estaba basada en los componentes del equipo, distinguiéndose los siguientes grupos:

- Batería condensadora
- Batería evaporadora
- Panel eléctrico
- Conectores entre diferentes módulos
- Estudio de ruido
- Estudio de corrosión

Las entradas que se tuvieron en cuenta para su definición fueron:

- Especificaciones completas de producto
- Guías de diseño
- Regulaciones
- Resultados de calidad obtenidos de proyectos previos
- Resultados de pruebas realizadas en proyectos precedentes
- Informes o reclamaciones de clientes

7.3.4 AMFE de Diseño de Sigma

Sigma ha elaborado un AMFE de Diseño propio desde 2005 y por lo tanto su nivel de desarrollo al comienzo de este estudio era elevado. Como guía se utilizó el manual de Ford para AMFE de Diseño, habiendo introducido modificaciones que lo adaptasen al producto de aire acondicionado.

La valoración de la severidad comprende desde un diseño que cumple con todos los requerimientos técnicos hasta modos de fallo en los cuales su severidad es máxima ya que se generan situaciones no seguras sin aparición de indicadores previos (véase anexo XV.1).

En el caso de la valoración de la ocurrencia, ésta fluctúa desde un valor inferior a 0.5% de diseños con la misma falta en una serie hasta valores superiores al 60% de ocurrencia (véase anexo XV.2).

Finalmente la evaluación del coeficiente de detección puede variar desde 1 para aquellos casos en los cuales el fallo es detectado en fase de diseño o proceso de validación. Su máximo se expresa en los casos en los cuales no se dispone de un sistema de detección suficientemente sensible para controlar ese tipo de fallo y por lo tanto es absolutamente incierto su detección (véase anexo XV.3).

El AMFE de Diseño de Sigma es chequeado en diferentes etapas del diseño. Según el manual de aplicación de AMFE-D de Sigma, su primer chequeo se realiza en la fase de oferta. Una vez obtenido el proyecto y habiendo analizado los riesgos del mismo se analiza por segunda vez. En el anexo XVI puede verse el proceso de verificación de un proyecto en fase de diseño en Sigma y por lo tanto los hitos en los cuales el AMFE-D es chequeado.

El equipo encargado del desarrollo del AMFE de Diseño en Sigma está compuesto por:

- 1 ingeniero de diseño
- 1 director del proyecto
- 1 ingeniero mecánico
- 1 Ingeniero eléctrico
- 1 Diseñador CAD
- 1 Representante de servicio técnico
- 1 Ingeniero responsable de la revisión técnica (no participante del proyecto)
- 1 Representante del departamento de calidad

Así mismo Sigma tenía su propia tabla de modos de fallo, elaborada basándose en su experiencia y siguiendo las recomendaciones del manual FMEA de Ford. En el anexo XVII puede consultarse esta base de datos de modos de fallo.

7.4 Proceso de adaptación del AMFE de Diseño

7.4.1 Metodología

La adaptación del AMFE de Diseño se está realizando desde tres localizaciones diferentes (Múnich, Madrid y Sídney). Por ello la coordinación y la comunicación son aspectos muy relevantes en este proceso cuya organización es la siguiente:

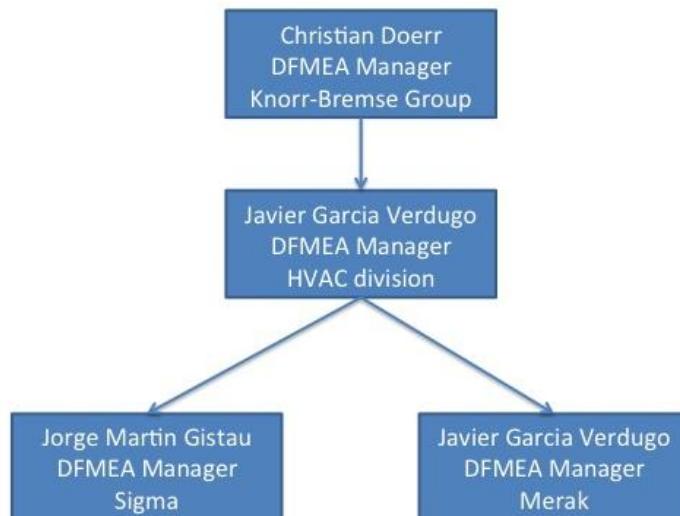


Figura 9 Organización AMFE de Diseño en Knorr-Bremse

Los responsables del AMFE de Diseño tanto en Merak como en Sigma lideran sus equipos de desarrollo comentados anteriormente. Mediante reuniones semanales estos dos moderadores intercambian información y avanzan en el proceso de adaptación siguiendo un planning previamente acordado. Ambos moderadores reportan al responsable del AMFE de Diseño para la división de aire acondicionado el cual a su vez está en contacto directo con el director de desarrollo de AMFE a nivel mundial del grupo (situado en Múnich).

La metodología utilizada se inició con una evaluación de cada AMFE de Diseño por parte de cada equipo de desarrollo en la empresa complementaria. De este modo se obtuvo una valoración de la situación de partida y se conocieron los puntos favorables y desfavorables de cada AMFE-D permitiendo fijar los campos en lo que aplicar benchmarking. En esta etapa se realizaron una serie de entrevistas en Sigma para conocer la opinión de aquellos empleados que estaban en contacto directo con esta herramienta.

Fue entrevistado el personal clave de la empresa que estaba implicado de una forma directa o indirecta en el funcionamiento del AMFE de Diseño. Las personas consultadas pertenecían a diferentes áreas de la empresa, de modo que se podía conocer características claves del AMFE desde enfoques diferentes. Las áreas consultadas fueron:

- Jefe de Ingeniería
- 2 Project managers
- 3 Ingenieros de sistemas
- Jefe de ingeniería mecánica
- Jefe de ingeniería eléctrica
- 1 responsable de pruebas – mock-ups

Mediante una entrevista personal con cada uno de ellos se plantearon los siguientes puntos:

- ¿Actualmente usa el AMFE-D como herramienta de diseño cuando se enfrenta al diseño de un nuevo producto?
- ¿Lo considera útil o más bien como un cuestionario?
- ¿Tiene el AMFE-D toda la información necesaria?
- ¿Tiene el AMFE-D información no relevante?
- ¿Se reúne el equipo de proyecto al completo para realizar la evaluación del AMFE-D?
- ¿Cree que actualmente el AMFE-D está correctamente conectado con las herramientas prácticas?

- ¿Qué formación ha recibido por parte de Sigma para la utilización del AMFE-D?
- Por favor valore de 1 a 10 los siguientes puntos:
 - a/ Tiene el AMFE-D los puntos más importantes?
 - b/ Están debidamente conectadas las herramientas prácticas al AMFE-D?
 - c/ Son los valores de severidad-ocurrencia-detección correctos?
 - d/ Es el AMFE-D útil actualmente?
- Sugerencias

El resultado de estas entrevistas ofreció comentarios muy interesantes y pudo conocerse más en detalle que campos debían mejorarse. Respecto a la última valoración, el resultado fue el siguiente:

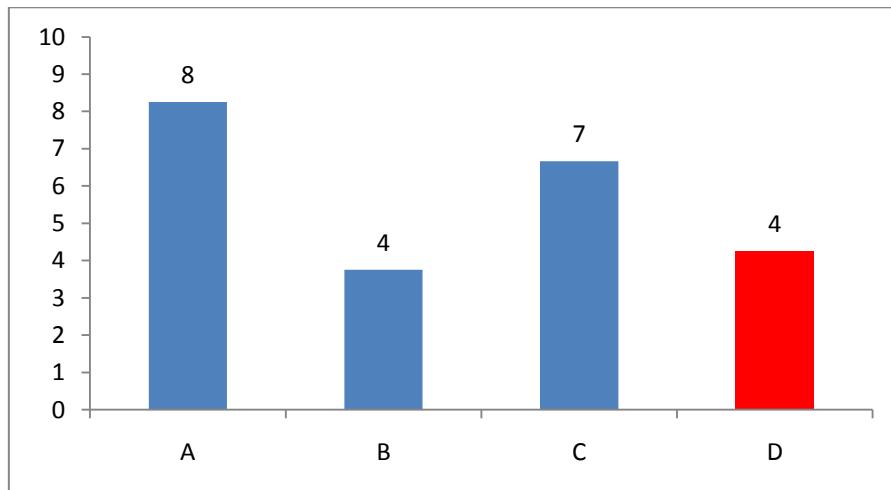


Figura 10 Resultado de las entrevistas sobre AMFE de Diseño en Sigma

Claramente el AMFE-D de Sigma no era considerado una herramienta útil y esto se veía representado con un valor de 4 sobre 10 en el caso de la pregunta D.

Después de este análisis, teniendo detectadas todas las oportunidades de mejora posibles, se elaboró la planificación que puede consultarse en el anexo XVIII. Este plan fue consensuado por los dos responsables del AMFE-D tanto en Merak como en Sigma y supervisado por el responsable de AMFE-D a nivel global.

El planning de adaptación del AMFE de Diseño se desarrolla en 10 etapas. Mediante la asignación de responsables y fechas, se consigue controlar el proceso y conocer su estado actual. A continuación se describen brevemente estas etapas:

1. **Definición de un AMFE-D común Merak-Sigma:** Durante esta primera etapa los equipos de desarrollo son definidos en ambas empresas y se toman importantes decisiones que afectan al proyecto completo como es la estructura de los modos potenciales de fallo.
2. **Revisión de los AMFE de Diseño actualmente en uso:** A través de esta etapa se realizan acciones de carácter más práctico como son la traducción del AMFE-D de Merak a inglés, introducción de la herramienta de los 5 Por qués en el AMFE-D de Sigma o la revisión de responsables para las acciones previamente introducidas en el AMFE-D de Sigma. Pero también se estudia la estandarización de las valoraciones de severidad-ocurrencia-detección según los parámetros recomendados por Knorr-Bremse.
3. **Base de datos común para modos de fallo:** Una vez obtenido un consenso sobre la estructura del AMFE-D es necesario disponer de una base de datos común para las dos empresas. Estas serán introducidas en el formato propio de Knorr-Bremse.
4. **Base de datos común para efectos de fallo:** Los efectos de cada fallo y su severidad deben ser incluidos en el AMFE-D común para la base de datos desarrollada en la fase anterior.
5. **Base de datos común para causas:** Introducción de las causas y sus ocurrencias en el AMFE de Diseño común.
6. **Sistemas de control comunes:** Introducción de sistemas de control y valores de detección comunes en el nuevo AMFE de Diseño.
7. **Calculo valores de RPN:** Chequear si el resultado de la implementación de los puntos anteriores se encuentra dentro de unos límites realistas.
8. **Preparación de un Plan de Acción para minimizar RPN:** Después de validar los RPN en el punto anterior, se discutirá sobre las acciones preventivas que pueden implementarse en la empresa para disminuir aquellos RPNs con un valor más alto.
9. **Implementación del Plan de Acciones:** Se aplicará el plan de acciones propuesto en el punto anterior.
10. **Monitorización del Plan de Acción:** Mediante reuniones mensuales se controlará la aplicación del Plan de Acción y se incluirán nuevas acciones requeridas. Del mismo modo se volverá a calcular los nuevos Números de Prioridad de Riesgo resultado de las acciones preventivas desarrolladas.

A continuación se comentan en detalle los principales puntos desarrollados hasta el momento.

7.4.2 Adaptación de las tablas de valoraciones

Cada una de las tablas de valoración (severidad, ocurrencia y detección) debe estudiarse en detalle y de forma específica ya que el comportamiento de estas para ambas empresas era diferente.

Severidad

Numerosos debates surgieron para la adaptación de este indicador. Knorr-Bremse fijaba un valor máximo de severidad para los equipos de aire acondicionado inferior al que aplicaba para otros equipos considerados críticos, como son los frenos. De acuerdo con esta asignación de valores, los equipos de aire acondicionado no podían superar valores de severidad mayores de 6. Sin embargo Sigma había estado considerando una escala de valores comprendida entre 1 y 10 para los equipos de aire acondicionado.

La imposibilidad de alcanzar valores de severidad mayores de 6 implicaba la perdida de casos considerados críticos ya que era más difícil alcanzar RPNs mayores de 100. Se realizó un estudio para conocer exactamente la cantidad de tipos de casos que se estaban dejando de considerar como críticos y las conclusiones fueron las siguientes.

Occurrence/Detection	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60	1
		24		48	60	72	84	96	108	120	2
			54	72	90	108	126	144	162	180	3
				96	120	144	168	192	216	240	4
					150	180	210	240	270	300	5
						216	252	288	324	360	6
							294	336	378	420	7
								384	432	480	8
									486	540	9
										600	10
											Detection/Occurrence

Figura 11 Casos considerados críticos con severidad máxima 10

Occurrence/Detection	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	1
		40	60	80	100	120	140	160	180	200	2
			90	120	150	180	210	240	270	300	3
				160	200	240	280	320	360	400	4
					250	300	350	400	450	500	5
						360	420	480	540	600	6
							490	560	630	700	7
								640	720	800	8
									810	900	9
										1000	10
											Detection/Occurrence

Figura 12 Casos considerados críticos con severidad máxima 6

La posibilidad de alcanzar severidades de valor 10 (figura 10) reportaba un 9% más de tipos de casos considerados críticos que en el caso de limitar este valor a 6 (figura 11). Este valor no indica directamente que se consideren un 9% más fallos al analizar el AMFE de Diseño, sino que los tipos de casos que se consideran críticos varía en esta magnitud.

Desde Sigma se detectó esta pérdida de información y se presentaron dos propuestas:

1. Los equipos de aire acondicionado pueden alcanzar severidades 10. Ejemplos de ello serían cortocircuitos de componentes eléctricos, desarrollo de fuego por incorrecto funcionamiento de una componente, perdida de partes estructurales que pudieran afectar a personas en el exterior del tren, etc.
2. Los equipos de aire acondicionado solo pueden alcanzar severidades de hasta 6, pero en este caso las condiciones para clasificar un fallo como crítico deberían modificarse. Una posible solución sería utilizar la condición:

RPN>80 y Ocurrencia>3 y Severidad>3 en lugar de

RPN>100 y Ocurrencia>3 y Severidad >3

Con esta segunda solución, la perdida de casos considerados críticos respecto al caso inicial se reduce al 3%.

Finalmente se decidió implementar la primera de las propuestas de modo que el AMFE de Diseño de Sigma continuaría utilizando unas tablas de severidad muy similares a las anteriores y Merak debería adaptar su percepción de severidad a esta nueva situación.

Ocurrencia

Como se ha comentado anteriormente la ocurrencia refleja estándares de calidad. La figura 13 muestra la tendencia de la valoración de ocurrencia para ambas empresas. En el caso de Sigma, la gráfica aumenta rápidamente sus valores alcanzando el máximo de 100% de las unidades con el mismo tipo de fallo. En el caso de Merak, el crecimiento de esta línea es más lento y además alcanza un valor máximo para ocurrencias del mismo tipo de fallo en el caso de que el 50% de las unidades tengan el mismo tipo de fallo. Desde un punto de vista de calidad del producto, se puede afirmar que el estándar de calidad de Merak (Knorr-Bremse) es mucho más estricto que el aplicado en Sigma ya que para los mismos valores de ocurrencia, los fallos del mismo tipo aceptados por la valoración de Sigma son considerablemente superiores a los de Merak.

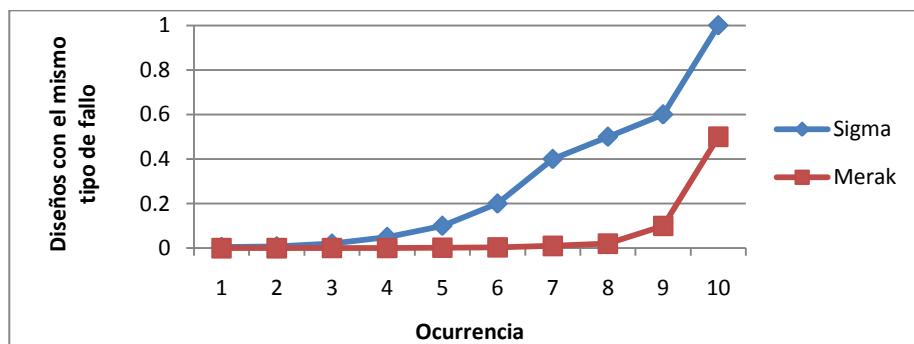


Figura 13 Comparación valoración ocurrencia Merak-Sigma

La compra de Sigma por parte de Knorr-Bremse, implica la aceptación de su política de calidad y por lo tanto el uso de sus tablas de ocurrencia en la aplicación del AMFE-D. La adaptación de la ocurrencia de los puntos ya introducidos en el AMFE-D de Sigma se realizó del siguiente modo:

Sigma Ocurrencia		0.5%	1%	2%	5%	10%	20%	40%	50%	60%	100%
Merak Ocurrencia	Anterior	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Nuevo	6	7	8	8	9	9	10	10	10	10
Merak Ocurrencia	0.001%	0.01%	0.02%	0.1%	0.2%	0.3%	1%	2%	10%	50%	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	

Tabla 1 Adaptación de la tabla de Ocurrencia

Debido a que se había comprobado que Sigma no disponía de un registro en el que obtener estos valores de ocurrencia, sino que se basaba en la experiencia personal de los componentes del equipo, se decidió aplicar esta tabla de conversión en la cual se incrementaban los valores de ocurrencia notablemente. De este modo se sobrevaloran la mayoría de los casos pero se tomaba una decisión que aseguraba no infravalorar problemas reales. Además al ser el AMFE de Diseño un documento vivo, estos valores se ajustarían en un futuro de forma automática.

Detección

Finalmente también fue analizado en detalle la adaptación de las tablas de detección. Ambas empresas estaban utilizando tablas con valores similares. Pero sin embargo los métodos de detección de los que disponía Merak eran diferentes a los de Sigma (y continúa siéndolo en la actualidad). Esta diferencia estaba provocada por los diferentes requerimientos del cliente pero también por los métodos de simulación en las etapas de diseño. Esta diferencia puede apreciarse por ejemplo en la utilización por parte de Sigma de mock-ups en lugar de simulaciones por ordenador realizadas por Merak.

Por lo tanto se asumió la utilización de la tabla de detección de Knorr-Bremse puntuizando que en etapas posteriores sería necesario distinguir para un mismo modo de fallo la posibilidad de registrar valores de detección diferentes para cada empresa.

7.4.3 Estructura del AMFE de Diseño

La estructura del AMFE de Diseño hace referencia al modo de introducir los fallos en la herramienta, pero también al sistema de análisis de la misma ya que están directamente relacionados. La situación inicial era:

- Merak desarrollaba su AMFE-D basándose en componentes. Por ejemplo batería condensadora, batería evaporadora, sistema eléctrico, etc.
- Sigma había desarrollado su AMFE-D por operaciones de trabajo. Por ejemplo ventilación, refrigeración, calefacción, etc.

La decisión había sido tomada en Merak por el equipo de desarrollo que actualmente estaba trabajando en el AMFE-D mientras que en Sigma era una decisión anterior a la mayoría de los integrantes del equipo (se creó un nuevo equipo de desarrollo con algunos antiguos miembros pero también nuevos). Por ello se realizaron una serie de entrevistas entre personal de Sigma considerado clave para el proceso así como entre el propio equipo de desarrollo. La mayoría de las opiniones apuntaron a que un cambio en la estructura del AMFE-D de operaciones a componentes sería beneficioso para su implementación.

Sin embargo también era necesario analizar las posibles desventajas de este cambio. Las revisiones de proyecto en Sigma se realizaban basándose en operaciones y no en componentes. Por lo tanto si la revisión del proyecto se realizaba de un modo, era difícil cambiar la mentalidad de los asistentes a otros métodos. Así mismo otro punto desfavorable de realizar este cambio era la cantidad de recursos necesarios en Sigma para poder completar la tarea (era necesario revisar y discutir punto por punto un AMFE-D iniciado en 2005). El AMFE-D de Merak se encontraba en fase de desarrollo y era mucho más fácil introducir modificaciones.

La oportunidad que surgió de comparar dos estructuras mostró que la cantidad de modos de fallos recogidos en la herramienta de Merak era superior al de Sigma. Esto se debía a dos motivos principalmente:

- Duplicidad de modos de fallo en diferentes componentes
- Mayor facilidad para identificar modos de fallo debido a la estructura

Por último también fueron analizados los diferentes outputs que podían obtenerse dependiendo de la estructura. Una de las herramientas que resultan directamente del AMFE de Diseño son las guías de diseño. En el proceso de benchmarking entre las dos empresas también se iba a realizar la adaptación de las mismas y para ello se había tomado la decisión de desarrollarlas basándose en componentes.

Por lo tanto ambas opciones ofrecían ventajas y desventajas pero era necesario tomar una decisión de modo que el proceso de adaptación continuase. A pesar de los recursos necesarios para ello y de la complejidad de adaptar puntos ya desarrollados, se eligió adaptar todos los modos del fallo según la estructura de Merak. Sin embargo, se añadió una columna en el AMFE de Diseño para incluir la referencia al modo de operación (definido por Sigma).

8 BENCHMARKING OPERACIONAL: SISTEMA DE PRODUCCIÓN KNORR-BREMSE

8.1 Sistema de producción Sigma

Actualmente la estructura de Sigma está focalizada en el diseño y logística de equipos. La producción de sus equipos en Australia la tiene subcontratada a terceras empresas para equipos de nueva producción OEM (“Original Equipment Manufacturing”). Por lo tanto el centro de competencia de ingeniería diseña un equipo basándose en la información recibida por el cliente y Sigma provee del material necesario a sus subcontratadas, las cuales realizan el ensamblaje de los componentes. Esta estructura es resultado de una política de externalización y fue llevada a cabo por la empresa en base a valoraciones económicas.

Los principales centros productivos que subcontrata Sigma en Australia para equipos de nueva fabricación OEM son Custom Group Australia (CGA) y SMC. En CGA se produce la mayoría de los equipos nuevos de Sigma (tanto para vehículos ferroviarios como equipos de minería y defensa), SMC se centra en equipos de minería que no pueden ser absorbidos por la capacidad productiva de CGA.

La producción de Sigma fuera de Australia también está subcontratada en países como Taiwan (a la empresa Teco) o posee partnership como sucede en India con Lloyd o en América con Dessert Aire. Las únicas instalaciones productivas propias de Sigma están en China en la localidad de Changzhou.

8.2 Nuevo sistema de producción integrado en Knorr-Bremse

Después de la compra de Sigma por parte de Knorr-Bremse se decidió que la estructura productiva debía ser diferente ya que con el sistema actual de producción de Sigma se observan los siguientes problemas:

- No existe un control de la calidad del producto por parte de Sigma
- No es posible tener una trazabilidad del producto
- La preparación del prototipo también es externa y por lo tanto la documentación que debería ser preparada en esta fase (instrucciones de trabajo, procedimientos, etc) es incompleta o inexistente en el registro de Sigma, lo que permite a la subcontrata poseer una posición preferente en la negociación de contratos.
- Al encontrarse físicamente separados el centro de competencia y el centro productivo se dificulta la comunicación entre ingeniería y producción. Del mismo modo se incrementan el coste del producto debido a movilidad de los trabajadores y el transporte de material.

La política de Knorr-Bremse tiene como objetivo el control total de la producción de modo que todo proceso quede registrado y exista trazabilidad. Por lo tanto un cambio es necesario para poder adaptar esta estructura a los estándares del grupo

El proceso que se lleva a cabo para la consecución de la transferencia de producción de empresas subcontratadas a unas instalaciones internas es un proceso largo y complejo. Para ello se han planificado una serie de acciones que deberán ser realizadas en un periodo de tiempo de 18 meses y las cuales son claros ejemplos de benchmarking operacional ya que la nueva estructura productiva está basada en el esquema que actualmente tiene el grupo Knorr-Bremse en Merak Madrid. Para ello, experto en sistema de producción Knorr-Bremse (Knorr-Bremse Production System KPS) forma parte del equipo de integración. La experiencia profesional en diferentes plantas productivas de Merak fue el punto de partida para el planteamiento de la nueva situación. La estructura del Knorr-Bremse Production System (KPS) puede verse en el anexo XIX.

Según la planificación vigente, en enero de 2013, Knorr-Bremse Australia dará soporte productivo a Sigma e integrará en su planta la producción de equipos de aire acondicionado (manteniendo su producción de frenos para vehículos ferroviarios, puertas y componentes para vehículos comerciales). Una experiencia similar puede encontrarse en Madrid donde el grupo Knorr-Bremse combina la producción de frenos para vehículos ferroviarios y equipos de aire acondicionado en una misma planta (Frenos y Merak). Por ello la referencia en este caso también es Merak Madrid y se ha diseñado la nueva fábrica siguiendo los estándares de Merak y Knorr-Bremse. Es decir se ha hecho un benchmarking operacional con una empresa que recientemente ha pasado de ser competidora a filial del grupo.

Los puntos analizados han sido:

- Comparación de los requisitos técnicos de los equipos diseñados por Merak y Sigma para comprobar la posibilidad de uso de los estándares de Merak.
- Análisis de la documentación existente en Sigma y su proceso de estandarización con el formato de documentación de Merak.
- Análisis de la posible implementación de una línea piloto en Custom Group Australia antes de la mudanza a la nueva fábrica. Con la aplicación de la herramienta 5S.
- Análisis de las capacidades productivas actuales de todas las plantas de Sigma para planificar el tamaño de las nuevas instalaciones, pero también para calcular la carga de trabajo de las existentes instalaciones fuera de Australia.

Aunque durante la realización de este proyecto se ha participado en todas estas actividades, este estudio se centra en el cálculo de los recursos necesarios para garantizar una mudanza a la nueva fábrica con toda la documentación actualizada y según los estándares del grupo.

8.3 Calculo recursos necesarios para la actualización de documentación

La documentación utilizada en la producción de equipos por parte de Custom Group Australia es actualmente imprecisa e incompleta. El éxito en el ensamblaje de unidades se basa en la experiencia de sus trabajadores. Este es un punto que preocupa especialmente a Knorr-Bremse ya que cuando se realice la mudanza a finales de 2012 no está garantizado que los operarios continúen trabajando para Sigma y por lo tanto se podría sufrir una merma sustancial en la capacidad productiva. La decisión tomada por Knorr-Bremse fue la de captar la mayor cantidad de información posible mientras se continua produciendo en CGA. Por ello se preparó el siguiente estudio en el cual se evalúan los recursos necesarios para conseguir este objetivo.

8.3.1 Análisis de la documentación actual

En primer lugar se realizó un análisis de la documentación existente en Sigma. Comparando esta información con el tipo de documentación existente en Merak (y el cual es el objetivo final), se podía comparar el estado actual de las instrucciones de trabajo, planos de ensamblaje, listas de chequeo y test.

Sin embargo también fue necesario analizar esta documentación en CGA ya que los operarios habían incluido comentarios y modificaciones en muchos planos e instrucciones de Sigma. De este modo se creó la tabla que puede verse en el anexo XX y en la cual se muestran todos los proyectos con prioridad alta (es decir que están en producción o han estado pero que es previsible que vuelvan a producirse en el futuro) tanto para vehículos ferroviarios, minería y defensa. La clasificación utilizada en el desarrollo de esta tabla es la siguiente:

Ok	El documento es similar a un documento Merak y además no tiene ninguna modificación por parte de CGA
C	El documento posee cualquier modificación respecto a su versión original de Sigma
U	El documento no es lo suficientemente claro siguiendo los estándares del grupo y en particular comparándolo con Merak
NC	El documento no es lo suficientemente completo en comparación con la documentación existente en Merak
N	No se ha encontrado documentación referente a esta parte específica del producto o CGA está utilizando sus propios documentos
NA	No se aplica esta documentación a este proyecto. Por ejemplo en el caso de que sea un componente comprado directamente a proveedor
NF	No se ha encontrado ese documento en CGA pero existe en Sigma

8.3.2 Calculo de la carga total de trabajo

Una vez conocido este mapa global del estado de los documentos, se podía determinar la carga total de trabajo necesaria para actualizarlos. Para ello se asumieron las siguientes suposiciones:

- Para la realización de las instrucciones de trabajo se necesita aplicar un coeficiente 2 respecto a la duración total de la producción de una unidad (basándose en la experiencia de Merak)
- Los diferentes proyectos pueden ser abordados de forma consecutiva por el equipo sin establecer tiempos no productivos entre ellos
- Un nuevo empleado trabaja en este proyecto desde julio de 2011 hasta agosto de 2012, aunque no comienza a ser contado su valor añadido hasta agosto de 2011 debido a la formación necesaria para desempeñar su trabajo

Los departamentos implicados en la actualización de estos documentos son:

- Ingeniería de fabricación
- Ingeniería eléctrica
- Diseñadores de CAD
- Compras
- Calidad

Según puede apreciarse en la siguiente figura, la documentación estaría totalmente adaptada en noviembre de 2012, dos meses antes de la mudanza a la nueva fábrica (véase anexo XXI para conocer la hoja de ruta detallada del proceso).

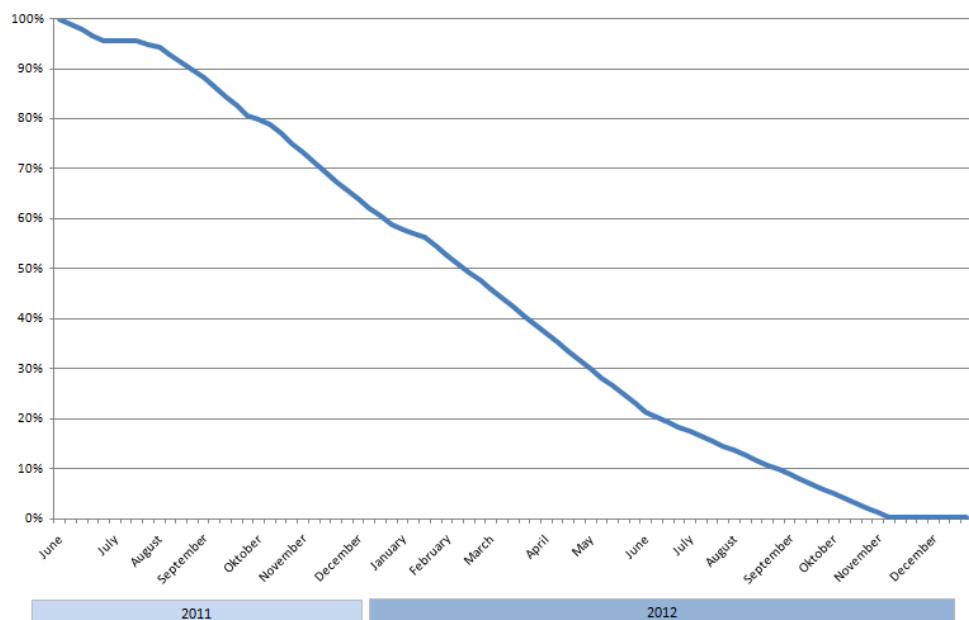


Figura 14 Adaptación de la documentación de producción de Sigma

9 VALORACIÓN DE LOS RESULTADOS

Para poder hacer una valoración real de los resultados obtenidos es necesario conocer claramente las necesidades que tenía la empresa, la situación que había producido la creación de una nueva necesidad y el modo en que este proyecto fue definido por Knorr-Bremse para poder ser útil tanto para la empresa como para el autor.

Con la adquisición de una nueva empresa por parte del grupo Knorr-Bremse se crea la necesidad de analizar las posibles sinergias que pueden desarrollarse como resultado del proceso de adaptación. Para ello se forma un equipo especializado, con personal proveniente de diferentes localizaciones internacionales que complete al máximo los requisitos de esta nueva situación. Aprovechar al máximo las posibilidades de practicar benchmarking es el objetivo principal de este equipo y por lo tanto de este Proyecto Fin de Carrera.

A continuación se comentan los puntos que quedan debidamente cubiertos con la realización de este Proyecto Fin de Carrera:

- Mediante este documento se conoce de forma general el funcionamiento de la empresa Knorr-Bremse y de algunos campos en particular. De esta forma se permite al proyectante una experiencia laboral real y se le inicia en el conocimiento de la empresa.
- Queda analizada la necesidad de un cambio estructural en el departamento de Ventas Estratégicas Internacional para Locomotoras en Múnich. Se plantean dos soluciones posibles de modo que puedan prepararse las próximas ofertas con una estrategia más optimizada.
- El proceso de adaptación del AMFE de Diseño queda definido en su totalidad. Después de un proceso largo de análisis, es posible conocer cuando se producirán las diferentes etapas de adaptación y en qué momento Merak y Sigma podrán utilizar un AMFE de Diseño de forma conjunta.
- Se inicia y lidera este proceso de adaptación del AMFE de Diseño dentro del grupo de desarrollo de Sigma. Del mismo modo se establece la comunicación con los responsables en Merak (Madrid) y Knorr-Bremse (Múnich). También es resultado de este proyecto, la definición del grupo de desarrollo del AMFE de Diseño en Sigma mediante el análisis de los recursos existentes en la empresa y de los requisitos fijados en el planning.
- Se analiza la documentación productiva existente actualmente en la empresa y se calculan los recursos necesarios para adaptarla a los estándares de Knorr-Bremse. También se planifica el desarrollo de este proceso de modo que esté finalizado antes del traslado a la nueva fábrica.

Los beneficios obtenidos por el autor durante la realización de este proyecto son expuestos a continuación:

- Adquisición de conocimientos profesionales en la industria del ferrocarril
- Desarrollo práctico de diferentes casos de Benchmarking
- Presencia activa en un proceso tan complejo como la integración de dos empresas
- Profundización en la utilización de una herramienta de diseño como es el AMFE de diseño
- Formación en el sistema productivo de Knorr-Bremse denominado KPS
- Aplicación de los conocimientos teóricos adquiridos en la universidad
- Experiencia laboral internacional que continua después de la finalización de este Proyecto Fin de Carrera
- Posibilidad de mejorar las destrezas lingüísticas en países con diferentes lenguas maternas (Alemania y Australia)
- Experiencia en la preparación de presentaciones ante un público de carácter técnico y en diferentes idiomas
- Desarrollo personal y profesional en diferentes sociedades profesionales y culturales

10 CONTINUACIÓN DEL PROYECTO

El trabajo presentado en este Proyecto Fin de Carrera muestra diferentes casos de desarrollo de Benchmarking. El Benchmarking estratégico propuesto se encuentra actualmente en fase de análisis y por lo tanto no se ha iniciado todavía su aplicación real. Los próximos hitos deberían ser el cálculo detallado del coste de ambas opciones y la posible repercusión que tendrían ambas opciones sobre el cliente. Además debería hacerse un estudio sobre la probabilidad de que cierto personal clave estuviese dispuesto a cambiar su localización y cuál sería su coste (tanto económico como de recursos humanos).

En el caso del benchmarking funcional consistente en la adaptación del AMFE de Diseño sí que es un proceso activo actualmente. Las diferentes fases propuestas en el planning, están siendo ejecutadas por el autor del proyecto y están siendo evaluadas por la empresa. Por lo tanto se trata de un proyecto práctico real, que permite al autor conocer de primera mano, la repercusión de su estudio.

En este caso, una vez finalizada la adaptación del AMFE de Diseño, se debería plantear la siguiente etapa, consistente en la adaptación de los AMFE de Proceso desarrollados por ambas empresas. Este proceso debería ser más simple que el llevado a cabo para el AMFE de Diseño ya que ciertos campos serían de directa aplicación (por ejemplo el uso de tablas estándares para todo el grupo). Sin embargo otros puntos deberían ser tratados en detalle, como por ejemplo las diferentes técnicas de producción utilizadas. Aunque en este caso, también se plantea una homogeneización de procesos a corto plazo entre ambas empresas.

El tercer Benchmarking analizado (operacional) se encuentra ya en fase de aplicación. Se ha comenzado a adaptar la documentación según los estándares del grupo siguiendo la hoja de ruta propuesta en este Proyecto Fin de Carrera. Así mismo se ha empezado a implantar sistemas productivos que permiten mejorar la productividad y la calidad final del producto.

En conclusión se trata de un proyecto que propone diferentes oportunidades de practicar Benchmarking y que se encuentra en diferente grado de desarrollo para cada uno de ellos. También se pueden derivar otras mejoras siempre encaminadas a la obtención del mejor Benchmarking posible entre dos empresas que se han conocido como rivales, han desarrollado sus propios sistemas para ser mejor que su competencia y que ahora disponen de la oportunidad perfecta para sumar sus esfuerzos y hacerse fuertes juntas.