

10.1.- INTRODUCCIÓN

El Análisis Modal de Fallos y Efectos (A.M.F.E) o Potential Failure Mode and Effects (FMEA) es una técnica de análisis sistemática y exhaustiva que se puede aplicar durante el diseño y antes de la fabricación del utillaje, en el proceso o cambios de diseño del producto y durante el desarrollo de los requisitos de manejo de materiales y transporte.

Se puede definir como un grupo sistemático de actividades con la intención de reconocer y evaluar el fallo potencial de un producto/proceso y sus efectos, identificar acciones con las que poder eliminar o reducir la probabilidad de ocurrencia de un fallo potencial y documentar el proceso. Es complementario al diseño del proceso ayudando a determinar realmente qué diseño debe satisfacer al cliente.

Aunque los ingenieros siempre han trabajado con unos tipos de análisis parecidos al A.M.F.E, en sus diseños y procesos, la primera aplicación formal de esta disciplina fue una innovación de la industria aeroespacial a mediados de los años 60. A causa del compromiso de las empresas para mejorar continuamente sus productos siempre que sea posible, la necesidad de usar un A.M.F.E como disciplina técnica para identificar y ayudar a eliminar los peligros potenciales es cada vez más importante.

Es esencial para el proceso de mejora continua pretendido, el apoyo de la dirección que debe adoptar una actitud positiva, fomentar la implicación entre departamentos y en caso de fallo culpar al proceso y no al operario.

El A.M.F.E requiere datos de todas las áreas: Diseño, Procesos, Producción, Mantenimiento y Calidad. Aunque la responsabilidad de la preparación del A.M.F.E debe ser asignada a un único individuo, su desarrollo debe ser un esfuerzo de equipo. Para ello debe crearse un grupo de trabajo de cuatro a seis personas experimentadas en el producto, proceso o productos análogos.

Uno de los factores más importantes para la implantación con éxito de un programa A.M.F.E es realizar la acción antes del suceso, no después de haber ocurrido. Para lograr un mayor valor, el A.M.F.E debe ser hecho antes de que un modo de fallo de diseño o proceso, haya sido diseñado sin saberlo en el producto. Un A.M.F.E puede reducir o eliminar la posibilidad de implementar un cambio correctivo que podría producir un problema mayor. Apropiadamente aplicado, es un proceso interactivo que nunca finaliza.

El desarrollo del A.M.F.E se puede estructurar en varias etapas:

- Descomposición funcional del producto/proceso.
 - Representación esquemática del producto/proceso mediante sus elementos y las interrelaciones entre ellos.
 - Definición de los elementos funcionales.
 - Para cada elemento preguntarse cuál puede ser el riesgo de fallo y como podría fallar.
- Valoración de los fallos potenciales.
 - Para cada función deben definirse los modos de fallos potenciales y determinar los efectos y las causas de cada fallo.
 - Para cada causa se debe valorar la gravedad (G) del efecto del fallo, la probabilidad de ocurrencia (O) de la causa del fallo y la probabilidad de detección (O) de la causa/modo de fallo. Con estos parámetros se calcula el Número de Prioridad de Riesgo (NPR)
 - Los posibles fallos detectados se jerarquizan en función del NPR para priorizar la aplicación de acciones correctoras
- Acciones correctoras, con el fin de asegurar un producto satisfactorio, eliminar los fallos críticos y obtener índices. Las acciones pueden ser de modificaciones de material, medios, diseño, proceso, etc. o adición de indicadores de fallo y elementos de advertencia. Las acciones correctoras propuestas deben planificarse y llevar a cabo un seguimiento de las mismas. Una vez implantadas se calculará de nuevo el NPR, hasta conseguir un producto satisfactorio. [15].

En la siguiente figura se muestra el esquema general de la aplicación de la técnica A.M.F.E.:

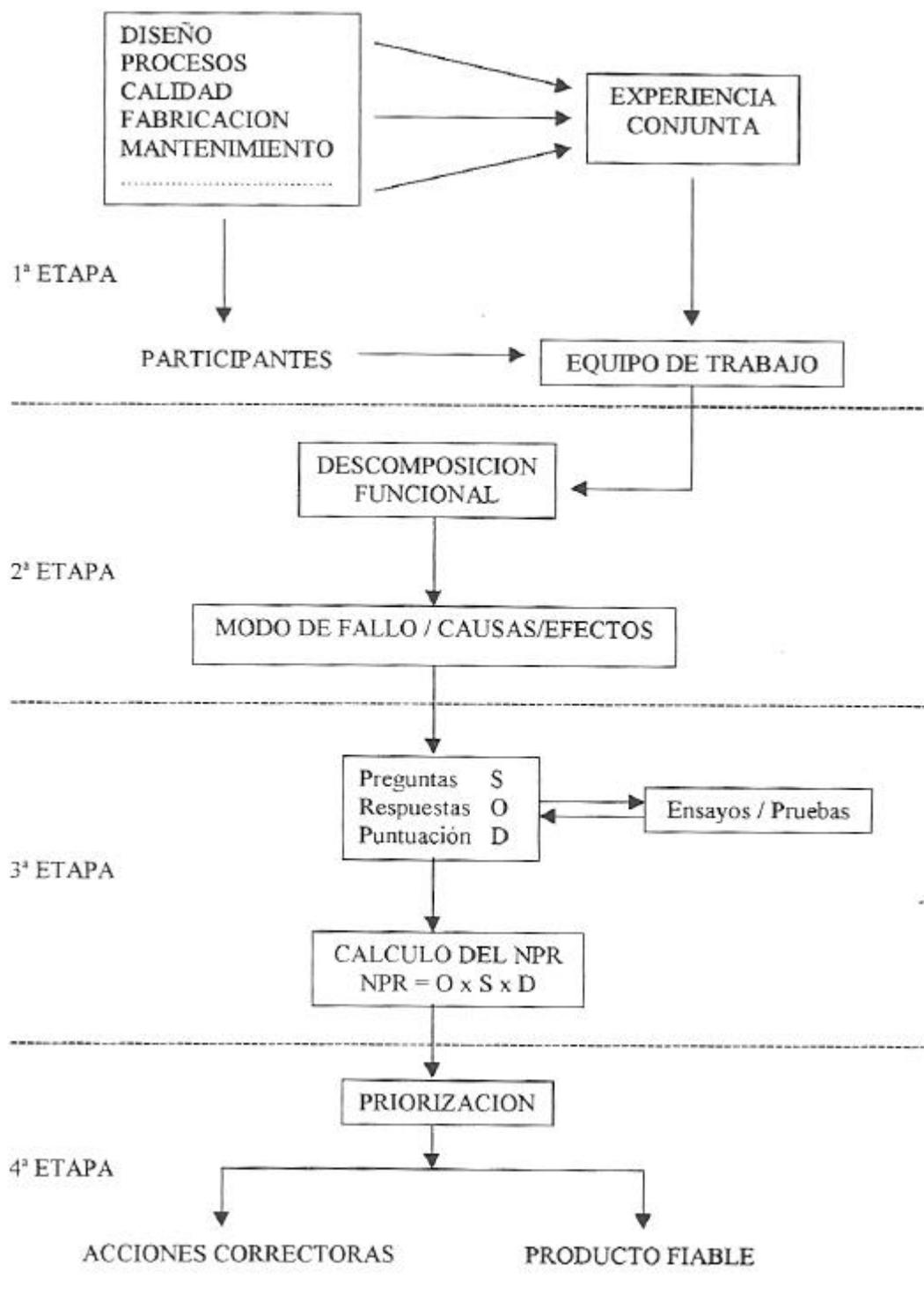


Figura 10.1: Esquema General del AMFE

10.2.- TIPOS DE AMFE

Aunque la técnica aplicada es la misma en todos los casos, se pueden distinguir dos tipos de A.M.F.E en función de la etapa de la vida del producto en que sea aplicado:

- A.M.F.E de Diseño
- A.M.F.E de Proceso

El A.M.F.E de Diseño y Proceso sigue uno al otro en una secuencia lógica.

Mientras que el A.M.F.E de Diseño puede haber identificado una deficiencia de proceso, como la causa de fallo para un modo de fallo particular de un componente o conjunto, esta deficiencia de proceso es recogida como un modo de fallo del proceso en el A.M.F.E de Proceso siendo analizada más detenidamente con el fin de hallar por qué ha fallado el proceso.

10.2.1.- A.M.F.E. DE DISEÑO

Un A.M.F.E. de Diseño es una técnica analítica usada por el equipo responsable del diseño como medio para asegurar que siempre que sea posible, los modos de fallo potencial y sus causas o mecanismos asociados han sido considerados y reconducidos. De forma rigurosa un A.M.F.E es un sumario de pensamientos del equipo de diseño, incluido un análisis de artículos que podrían estar mal en base a la experiencia y problemas pasados, sobre el componente, subsistema o sistema que está siendo diseñado.

El A.M.F.E. de Diseño llevado a cabo en el proceso de diseño reduce el riesgo de fallos a través de:

- Añadiendo una evaluación objetiva de los requisitos del diseño y diseñando alternativas.
- Añadiendo en el diseño inicial requisitos para la fabricación y ensamblaje.
- Incrementando la probabilidad de que los modos de fallo potencial y sus efectos en el sistema hayan sido considerados en el proceso de diseño y desarrollo.

- Suministrando información adicional para ayudar en la planificación de los ensayos de acabado y de eficiencia del diseño, así como de los programas de desarrollo.
- Desarrollando una lista de modos de fallo potenciales, clasificados de acuerdo con sus efectos en el "cliente", y estableciendo así un sistema de prioridades para mejoras en el diseño.
- Proporcionar un formato de salida abierto para rastrear acciones de reducción de riesgo.
- Suministrar una referencia futura a tener en cuenta, evaluando cambios en el diseño y desarrollando diseños avanzados.

El proceso comienza desarrollando una lista sobre lo que se espera que haga y que no haga el diseño, es decir un propósito de diseño. Lo que el cliente quiere y necesita, puede ser determinado a través de fuentes tales como el Despliegue de la Función de Calidad. Lo mejor es definir las características deseadas e identificar los modos de fallo potencial para tomar acciones correctivas.

Es conveniente realizar un diagrama de bloques para el sistema, subsistema o componentes que son analizados. El objeto es comprender las entradas al bloque, la función desarrollada en él y las salidas del mismo.

El responsable de diseño debe asegurarse que todas las acciones recomendadas han sido implantadas o adecuadamente tratadas.

La definición de "cliente" en un AMFE de diseño no comprende sólo al usuario final, sino también a los ingenieros/equipos responsables del diseño del producto o submontajes mayores, y/o los ingenieros responsables de proceso de manufacturación.

Durante la fase inicial de un AMFE diseño, el ingeniero responsable debe comprometer ante los representantes de las áreas afectadas. El AMFE diseño se basa en una labor de equipo, donde el propio AMFE es el catalizador que estimula el intercambio de ideas.

10.2.2.- A.M.F.E. DE PROCESO

Un A.M.F.E. de Proceso es una técnica analítica utilizada por el equipo responsable de fabricación como medio para asegurar que, siempre que sea posible, los modos de fallo potenciales y sus causas o mecanismos asociados han sido considerados. De forma rigurosa, el A.M.F.E. resume las impresiones del responsable del proceso (incluso el análisis de cada elemento que puede fallar, en base a la experiencia y problemas pasados) sobre el desarrollo de un proceso.

El A.M.F.E. de Proceso:

- Identifica los modos de fallo del proceso en relación a los productos.
- Evalúa los efectos y los fallos potenciales desde el punto de vista del cliente.
- Identifica las causas potenciales de fabricación, e identifica las variables del proceso sobre las cuales se concentrarán los controles para una reducción de la ocurrencia o detectar las condiciones de fallo.
- Desarrolla una lista de rangos de modos de fallo potenciales, estableciendo un sistema de prioridades para considerar las acciones correctoras.
- Documenta los resultados del proceso de fabricación.

Al inicio de un A.M.F.E. de Proceso, el responsable debe contar con los representantes de todas las áreas afectadas para implicarlos directa y activamente. El A.M.F.E. de Proceso es un documento vivo y debe iniciarse antes o durante la etapa de viabilidad, previo a la fabricación de utillajes para producción y teniendo en cuenta todas las operaciones de fabricación desde los componentes individuales hasta los ensamblajes.

Se deben revisar y analizar los nuevos procesos así como los procesos modificados, procurando anticiparse, resolviendo o controlando los problemas potenciales del proceso durante la etapa de planificación de producción.

El A.M.F.E. de Proceso asume que el producto, tal como ha sido diseñado, cumplirá con el propósito de diseño. Los fallos potenciales que pueden ocurrir debidos a una debilidad del diseño pueden incluirse, pero no necesariamente, en un A.M.F.E. de Proceso, ya que el A.M.F.E. de Diseño suprime esta necesidad. El A.M.F.E. de Proceso no confía en las modificaciones del diseño para superar la debilidad del proceso, pero tiene en consideración las características del diseño del producto relativas a la planificación del proceso, de tal forma que se asegure lo máximo posible que el producto resultante cumple con las necesidades y expectativas del cliente.

Un A.M.F.E. de Proceso comienza por un Diagrama de Flujo/Evaluación de Riesgos del proceso, que identifique las características del producto/proceso asociadas con cada operación. La identificación de algunas funciones del producto, corresponderán al A.M.F.E. de Diseño y podrán ser incluidas si se considera necesario.

El A.M.F.E. es un documento vivo y siempre deberá reflejar el último nivel de diseño, así como las últimas acciones relevantes, incluyendo aquellas que tenga lugar después de iniciada la producción.

La definición de “cliente” en el contexto de un AMFE proceso debería normalmente ser considerada como “usuario final”. Sin embargo, “cliente” también puede ser una operación de fabricación o montaje aguas abajo, así como una operación de servicio.

El formato original de un AMFE proceso se encuentra incluido en la siguiente figura:

10.3.- IMPLANTACION DE LA TECNICA A.M.F.E. EN bct

El primer paso efectuado en la aplicación de esta técnica es la creación de un procedimiento (BCT-PC-37: Análisis modal de fallos y efectos), el cual está en fase de elaboración, y no existe todavía un primer borrador.

Este procedimiento tiene por objeto describir un proceso sistemático para considerar los modos de fallo potenciales y sus causas asociadas, durante la planificación de un proceso de fabricación. El desarrollo de este procedimiento se está haciendo en base al manual de referencia "Análisis de Modos de Fallos Potenciales y Efectos (AMFE)" editado por Chrysler, Ford y General Motors.

Antes de preparar un A.M.F.E. es recomendable realizar un diagrama de flujo del proceso para identificar todas las operaciones así como los elementos internos y externos que influyen en el proceso: condiciones de trabajo, ambientales, etc.

En bct el diagrama de flujo suele sustituirse por la orden de producción, donde se establece la sucesión de operaciones a realizar y las máquinas o equipos empleados en la fabricación.

El A.M.F.E se desarrolla en la etapa de preparación de muestras que es donde se valida el proceso. En la preparación intervienen los responsables de Calidad, Fabricación e Ingeniería, aunque la responsabilidad de su preparación es de esta última y de su revisión Calidad.

El desarrollo de los A.M.F.E.'s está soportado por el formato AMFE DE PROCESO que aparece en las últimas páginas del presente capítulo.

Cada uno de los campos de este documento coincide con una etapa del proceso de construcción de un AMFE.

La descripción de los campos incluidos en las Figuras 10.8 a 10.10 son las siguientes:

* **Función/Requisitos del Proceso:** Identificar el proceso que está estudiando. Cuando el proceso involucre numerosas operaciones con diferentes modos de fallo potenciales, es recomendable listar todos los procesos separadamente.

* **Modos de Fallo Potenciales:** es la forma en que un proceso podría potencialmente fallar, es decir la descripción de las posibles no conformidades de una operación específica.

Puede ser una causa asociada con un modo de fallo potencial en una operación siguiente o estar asociada con un fallo potencial en una operación anterior. Para cada operación puede haber varios modos de fallo.

El equipo debe plantearse para cada operación como podría fallar en cuanto al cumplimiento de especificaciones o dejando a un lado las especificaciones qué aspecto podría considerar el cliente no aceptable. Puede resultar de gran ayuda la comparación con procesos similares o la revisión de las reclamaciones de clientes.

Algunos modos de fallo típicos que se tienen en cuenta en la preparación de los A.M.F.E son los siguientes:

Doblado	Ligado
Trabado	Quebradizo
Rebabas	Desalineado
Daños manuales	Aspero
Agrietado	Corroído
Deformado	Alabeado
Suciedad	Mal montado
Sistema inapropiado	Apretado
Atascado	Poroso
Circuito abierto	Torcido
Corto circuito	Descolorido
Util desgastado	Con fugas

- Inapropiado par de apriete.
- Inadecuada soldadura: intensidad, voltaje, tiempo, presión.
- Calibres sin exactitud.
- Inapropiado tratamiento térmico: tiempo, temperatura.
- Inadecuado acceso/purgado.
- Sin lubricar.
- Pieza perdida o no localizable.
- Velocidades, avances incorrectos.
- Fallo de materiales.
- Sujeción inadecuada.
- Lubricación insuficiente o nula.
- Utillaje incorrecto, dañado o gastado.

CRITERIOS	CLASIFICACION
1	Irrazonable sería esperar que la escasa importancia de este fallo pudiera causar un efecto perceptible sobre el rendimiento del producto. El cliente probablemente no podrá detectar el fallo
2 3	Baja clasificación de severidad debido a la escasa importancia del fallo, que ocasiona sólo un pequeño disgusto al cliente, que probablemente note sólo una pequeña degradación en el rendimiento del producto..
4 5 6	Moderado es el fallo que causa cierto disgusto al cliente, que se siente incomodado o enojado por el fallo. El cliente notará cierta degradación en el rendimiento del producto
7 8	Alto grado de insatisfacción del cliente debido a la naturaleza del fallo o bien fallos que degradan el producto en áreas gobernadas por requisitos legales: no afecta la seguridad ni quebranta la ley
9 10	Muy Alta clasificación de severidad, cuando un modo de fallo crea posibles problemas de seguridad y/o quebranta las leyes. En general, los componentes regulados con clasificación de Severidad 9 ó 10 y clasificación de Ocurrencia y Detección mayor de 1, será designado Artículo de Control por el responsable de diseño del producto

Figura 10.4: Criterios de Severidad

* **Ocurrencia (O):** es la frecuencia o probabilidad de que una causa ocurra. Se mide en una escala del 1 al 10. Para su determinación pueden utilizarse datos estadísticos de procesos similares o datos históricos, consultando la Tabla que aparece a continuación en la figura 10.5:

Probabilidad de Fallo	Proporción de Posibilidad de Fallo	Rango
Muy Alta: el fallo es casi inevitable	≥1 en 2	10
	1 en 3	9
Alta: Generalmente asociada con procesos similares al proceso previo y con fallos repetidos	1 en 8	8
	1 en 20	7
Moderada: Generalmente asociada con procesos similares al proceso previo que han experimentado fallos ocasionales, pero no en gran proporción	1 en 80	6
	1 en 400	5
	1 en 2.000	4
Baja: Fallos aislados asociados con procesos similares	1 en 15.000	3
Muy Baja: Sólo fallos aislados asociados con procesos casi idénticos	1 en 150.000	2
Remota: El fallo es improbable. No se han asociado fallos con procesos casi idénticos	1 en 1.500.000	1

Figura 10.5: Probabilidad de ocurrencia

* **Controles de Proceso Actuales:** son aquellos controles actuales del proceso destinados a impedir que sucedan las causas de fallo o destinados a detectar la causa de fallo o el modo de fallo resultante. Estos controles deben ir enfocados a la prevención y no a la corrección.

* **Detección (D)**: es una valoración de la capacidad de los procesos de control para detectar una causa, o la probabilidad de que el fallo se detecte antes de terminar la operación. Se utiliza una escala del 1 la 10 según los criterios recogidos en la Tabla de la figura 10.6:

DETECCION	CRITERIOS	RANGO
Casi Imposible	No se conocen controles capaces para detectar el modo de fallos.	10
Muy Remota	Muy remota posibilidad de que el control actual detecte un modo de fallo	9
Remota	Remota posibilidad de que el control actual detecte un modo de fallo	8
Muy Baja	Muy baja posibilidad de que el control actual detecte un modo de fallo	7
Baja	Baja posibilidad de que el control actual detecte un modo de fallo	6
Moderada	Moderada posibilidad de que el control actual detecte un modo de fallo	5
Moderadamente Alta	Moderadamente alta posibilidad de que el control actual detecte un modo de fallo	4
Alta	Alta posibilidad de que el control actual detecte un modo de fallo	3
Muy Alta	Muy alta posibilidad de que el control actual detecte una causa o mecanismo potencial y el subsiguiente modo de fallo	2
Casi Cierta	Casi cierta la posibilidad de que el control actual detecte un modo de fallo. Son conocidos en procesos similares controles de detección fiable	1

Figura 10.6: Probabilidad de Detección

Nota: Todas las tablas incluidas en este capítulo, Criterios de Severidad, Probabilidad de Ocurrencia y Probabilidad de Detección, han sido tomadas de las referencias bibliográficas [10] y [14], que aparecen al final.

* **Número de Prioridad de Riesgo (NPR):** es el producto de los índices de severidad (S) , ocurrencia (O) y detección (D):

$$\text{NPR} = \text{S} \times \text{O} \times \text{D}$$

El NPR, puede estar entre 1 y 1000. Aquellas operaciones con mayor NPR e índice de Ocurrencia (O), deberán ser objeto de las primeras acciones correctoras y control estadístico de proceso mediante gráficos.

* **Acciones recomendadas:** son las acciones correctoras que deben tomarse cuando el índice de riesgo es alto, empezando por las de mayor NPR. Estas acciones deben ser concretas y con beneficios cuantificables, por lo que ha de realizarse un seguimiento.

El objetivo es la reducción de los parámetros de ocurrencia, severidad o detección.

Para reducir la severidad de los modos de fallo es necesario tomar medidas en el diseño, por lo que en principio estas variaciones deben partir del cliente. Para reducir la probabilidad de ocurrencia se necesitan revisiones del proceso o diseño. Debe ponerse en práctica el estudio estadístico del proceso dirigido a las operaciones pertinentes para la mejora continua y la prevención de defectos. En cuanto a aumentar la probabilidad de detección, se debe revisar el proceso. Sin embargo, dedicar recursos al perfeccionamiento de los controles para detectar defectos, como medida para mejorar la calidad resulta costoso e ineficaz. El aumento de frecuencia de la inspección para control de calidad sólo se utilizará como último recurso. Se dará prioridad a la prevención de defectos frente a la detección.

* **Responsabilidad:** se debe reflejar el/los responsable/s de la acción correctora y la fecha objetivo para su consecución.

* **Acciones tomadas:** acciones que se han implantado realmente y su fecha de implantación.

* **NPR resultante:** con las acciones implantadas se vuelven a calcular los índices de severidad, ocurrencia y detección y con ellos el nuevo NPR.

* **Seguimiento de las acciones correctoras implantadas:** El responsable del proceso, Ingeniería debe asegurarse que las acciones recomendadas han sido adoptadas e implantadas.

Debe incluir siempre las últimas acciones tomadas, aunque tengan lugar después de comenzar la producción.

Los A.M.F.E. de Proceso deben ser revisados continuamente, incluso durante la etapa de fabricación, para incluir todas las incidencias y consideraciones del proceso que surgen durante la producción en serie y que no se han tenido en cuenta en la etapa previa: nuevos modos de fallos, efectos o causas de fallo.

10.4.- APLICACIÓN PRACTICA

En las siguientes páginas se incluye un ejemplo de aplicación de la técnica del A.M.F.E., en bct.

Se trata de un conjunto formado por dos componentes, tal y como se observa en la Figura 10.7:

El "Conjunto Zócalo", está constituido por una "Placa Base", identificado con el ítem 1, y una "Cantonera" identificada con el ítem nº 2.

El A.M.F.E. incluye el análisis de todas las fases de fabricación de cada uno de los componentes y de soldadura del conjunto.

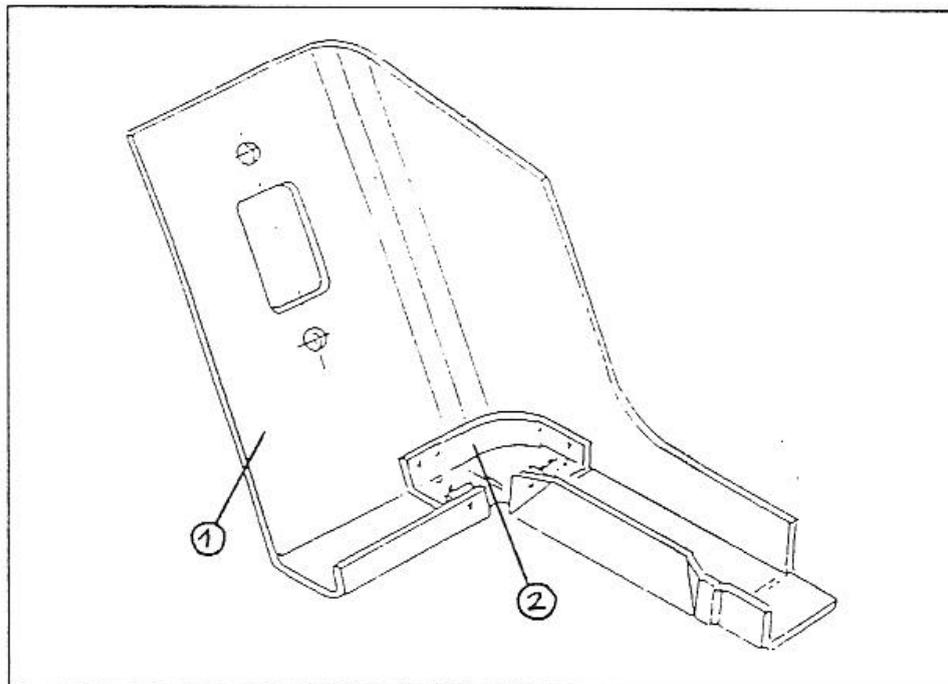


Figura 10.7: Conjunto Zócalo



AMFE DE PROCESO

REFERENCIA: XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
PREPARADO POR/FECHA: Juan Carlos Melendez / 01-Junio-2002

DENOMINACIÓN: PLACA BASE
REVISADO POR/FECHA: Juan Carlos M

FUNCIÓN DEL PROCESO	MODO DE FALLO	EFEECTO DEL FALLO	S	CAUSA DEL FALLO	O	CONTROLES DE PROCESO ACT.	D	NPR
Cortar desarrollo y punzonar	Rebabas	Asperezas	5	Desgaste de herramienta	2	Autocontrol visual 100%	1	10
	Falta de punzonados	Inoperactividad	2	Rotura de herramienta	1	Autocontrol visual 100%	1	2
Doblar faldilla	Gripajes y/o arrastres	Arrastres y/o grietas	2	Desgaste de herramienta	2	Autocontrol visual 100%	1	4
	Cotas fuera de tolerancia	Inoperactividad y/o deformación	2	Regulación de máquina	1	SPC	1	2
	Gripajes y/o arrastres	Arrastres y/o grietas	2	Desgaste de herramienta	2	Autocontrol visual 100%	1	4
Doblar ala	Cotas fuera de tolerancia	Inoperactividad y/o deformación	2	Regulación de máquina	1	SPC	1	2
	Posicion	Deformación	2	Mal posicionamiento	2	Autocontrol visual 100%	1	4
Doblar a 90°	Cotas fuera de tolerancia	Inoperactividad y/o deformación	2	Regulación de máquina	1	SPC	1	2
								0
								0

Figura 10.8: AMFE de chapa base



AMFE DE PROCESO

REFERENCIA: XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
PREPARADO POR/FECHA: Juan Carlos Melendez / 01-Junio-2002

DENOMINACIÓN: CANTONERA
REVISADO POR/FECHA: Juan Carlos Melendez / 01-Junio-2002

FUNCIÓN DEL PROCESO	MODO DE FALLO	EFEECTO DEL FALLO	S	CAUSA DEL FALLO	O	CONTROLES DE PROCESO ACT.	D	NPR
Cortar desarrollo	Rebabas	Asperezas	5	Desgaste de herramienta	2	Autocontrol visual 100%	1	10
Doblar	Gripajes y/o arrastres	Arrastres y/o grietas	2	Desgaste de herramienta	2	Autocontrol visual 100%	1	4
	Posicion	Deformación	5	Mal posicionamiento	2	Autocontrol visual 100%	1	10
								0
								0
								0
								0
								0
								0
								0
								0

Figura 10.9: AMFE de cantonera



AMFE DE PROCESO

REFERENCIA: XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
PREPARADO POR/FECHA: Juan Carlos Melendez / 01-Junio-2002

DENOMINACIÓN: CONJUNTO ZÓCALO
REVISADO POR/FECHA: Juan Carlos M

FUNCIÓN DEL PROCESO	MODO DE FALLO	EFFECTO DEL FALLO	S	CAUSA DEL FALLO	O	CONTROLES DE PROCESO ACT.	D	NPR
Soldar cantonera a chapa base por 8 puntos	Posición puntos	Operación errónea	6	Mal posicionamiento	2	Autocontrol visual 100%	1	12
	Arranque soldadura	Operación errónea	7	Inadecuados parámetros de soldadura	4	Autocontrol visual y ensayo	1	28
Soldar cantonera por 2 puntos	Posición puntos	Operación errónea	6	Mal posicionamiento	2	Autocontrol visual 100%	1	12
	Arranque soldadura	Operación errónea	7	Inadecuados parámetros de soldadura	4	Autocontrol visual y ensayo	1	28
Conforma ala	Posicion	Marcas y/o deformaciones	3	Mal posicionamiento	2	Autocontrol visual 100%	1	6
								0
								0
								0
								0
								0

Figura 10.10: AMFE de conjunto zócalo