

27 201



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Facultad de Quimica

PROPUESTAS PARA DISMINUIR EL PORCENTAJE DE RE-CHAZO EN UNA PIEZA DE HIERRO GRIS, PRODUCIDA MEDIANTE MOLDEO VERTICAL.

Trabajo Escrito que presenta ENRIQUE ARTURO VIZCAYA AGUILLON

Para obtener el Titulo de INGENIERO QUIMICO METALURGICO

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

México, D. F., 1990



EXAMENES PROFESIONALES FAC. DE QUIMICA



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

INDICE

	PAGINA
INTRODUCCION.	1
CAPITULO I.	3
I.1. El proceso de producción de piezas fundidas de Hierro Gris mediante moldeado vertical.	3
I.2. Características de la pieza objeto de este estudio.	13
CAPITULO II. IDENTIFICACION DE DEFECTOS.	17
CAPITULO III. FINALIDAD DEL EMPLEO DE TECNICAS ESTADISTICAS EN LA SOLUCION DE PROBLEMAS INDUSTRIALES.	27
III.1. Aplicación del Control Estadístico del Proceso.	27
III.2. Posición del problema y determinación de variables hipótéticas mediante diagramas de Ishikawa.	35
CAPITULO IV. DISEÑO DE EXPERIMENTOS.	40
CONCLUSIONES.	62
BIBLIOGRAFIA.	64

INTRODUCCION.

Para obtener el nivel de calidad y la productividad requerida por el mercado internacional de piezas fundidas, es necesario emplear una metodología que -- contemple el uso de herramientas estadísticas y la aplicación de criterios metalúrgicos.

La industria automotriz consume grandes cantidades de piezas fundidas de -- Hierro Gris y Hierro Nodular, y los niveles de calidad exigidos han aumentado -- drásticamente en la última década.

Esto ha provocado en los Fundidores, la necesidad de implementar medidas -- sistemáticas, para mantener la competitividad de sus productos. Dentro de este -- marco, la necesidad de incrementar la productividad se ha reflejado en el empleo, cada vez más generalizado, de sistemas automatizados de moldeo, gran parte de -- los cuales operan con moldeo vertical.

El objetivo de este trabajo consiste en proponer, partiendo de un análisis -- estadístico-metalúrgico, la solución a un problema particular que se presenta en piezas fundidas de Hierro Gris, producidas mediante moldeo vertical.

En el Capítulo I se presentan los conceptos generales del proceso de Fundición mediante moldeo vertical, así como las características particulares de la -- pieza objeto de este estudio.

En el Capítulo II se presenta la caracterización de las diferentes causas - de rechazo, así como el seguimiento estadístico del efecto de cada una de ellas sobre la productividad, incluyéndose la jerarquización de las mismas mediante el uso de diagramas de Pareto.

En el Capítulo III se establece la posición del problema que en particular será tratado, así como la aplicación del diagrama de Ischikawa para establecer las relaciones causa-efecto, que permiten definir las variables hipotéticas que originan el problema.

En el Capítulo IV se procede a diseñar experimentos con el fin de encontrar las variables significativas. Una vez logrando este objetivo se propone la aplicación del Control Estadístico de Procesos y se comprueba en planta los resultados obtenidos.

CAPITULO 1.

1.1. El proceso de producción de piezas fundidas de Hierro Gris mediante moldeo vertical.

El proceso de Fundición puede ser explicado tomando en cuenta que, esencialmente, la producción de una pieza fundida parte de la disponibilidad de dos elementos básicos:

- 1.- El metal fundido.
- 2.- El molde.

Las características (Temperatura, Composición, Tratamiento) del metal fundido obedecen a criterios de tipo metalúrgico y a especificaciones impuestas por el cliente. Por ejemplo el establecer la temperatura del metal en el momento de la operación de vaciado va a depender de diferentes factores como pueden ser: espesor crítico de la pieza (se debe asegurar el llenado completo de la impresión en el molde), consideraciones referentes a contracción (conforme el sobrecalentamiento es mayor, la contracción aumenta, se debe evitar la presencia de "puntos calientes" y asegurar las condiciones que permitan la autoalimentación), estabilidad térmica del sistema de moldeo, el decaimiento de la inoculación, etc.

Las características del molde pueden resumirse en los siguientes aspectos:

- 1.- Propiedades mecánicas del material de moldeo.
- 2.- Diseño de los sistemas de colada y alimentación.

3.- Ubicación de la impresión de la pieza en el moldeo.

La arena de moldeo en verde esta compuesta esencialmente de arena sílica -- con una cierta granulometría, agua y Bentonita como aglutinante. El buen desempeño del material de moldeo (estabilidad mecánica del molde) depende del correcto control de los contenidos de humedad y aglutinante así como de la distribución granulométrica de la arena sílica.

El sistema de alimentación tiene como objetivo el suplir a la pieza metal líquida para compensar la contracción sufrida por esta durante su enfriamiento y solidificación. El sistema de colada tiene por objetivo el permitir el paso de metal líquido de la olla de vaciado a la impresión de la pieza en el molde.

El Hierro Gris y el Hierro Nodular presentan un comportamiento de contracción diferente al de la mayoría de las aleaciones, originado por la precipitación de grafito laminar y esferoidal respectivamente. Debido a la relativamente baja densidad del grafito, se presenta una expansión durante la solidificación. Si el sobrecalentamiento es reducido, es posible prescindir del sistema de alimentación en cuyo caso se dice que las piezas son "autoalimentables".

La ubicación de la impresión de la pieza en el molde depende de diferentes factores como, por ejemplo las limitaciones impuestas por el proceso de moldeo (línea de partición, necesidad de corazones, etc.).

Una vez mencionados los aspectos más generales de los elementos básicos -- que requiere el proceso de Fundición, este puede ser representado como la inte-

gración de las operaciones que permitan obtener dichos elementos.

Particularmente en la producción de piezas de Hierro Gris por moldeo vertical, estas operaciones se resumen en los diagramas de bloque de las figuras 1 y 2.

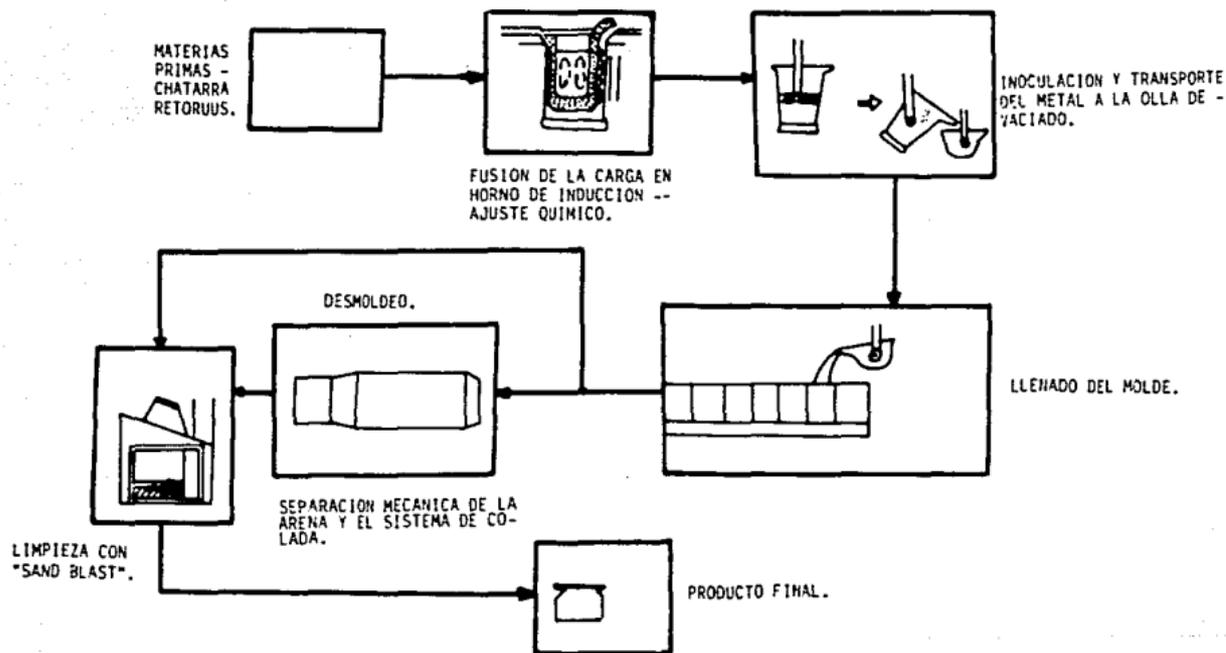


FIGURA NO. 1. DIAGRAMA DE BLOQUES, DEL SISTEMA DE PRODUCCION DE PIEZAS DE HIERRO GRIS POR MOLDEO EN POSICION VERTICAL.

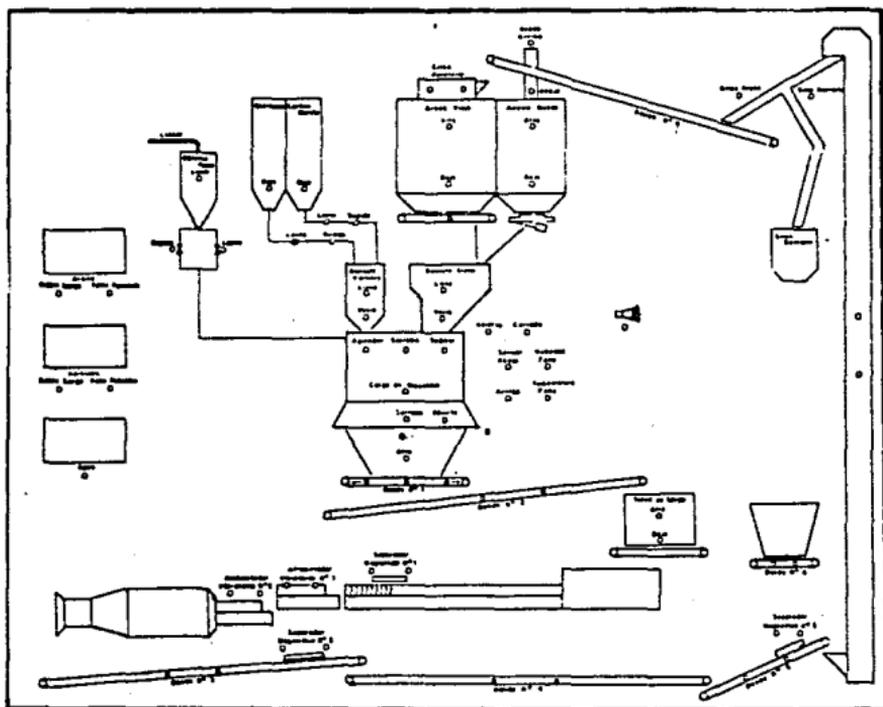


FIGURA No. 2.- DIAGRAMA DE BLOQUE, DEL SISTEMA DE PRODUCCION DE MOLDES POR MOLDEO EN POSICION VERTICAL.

Obtención del metal Líquido listo para el vaciado.- Se parte de chatarra_ de Hierro Gris (paca de acero, metal sorel, retornos, etc.) los cuales son fundidos en un Horno de Inducción, realizándose el ajuste de composición mediante la adición de ferroaleaciones: Fe-Si, Fe-Mn, Fe-C, en función de los análisis_ obtenidos por espectrometría de emisión y del determinador de Carbón y Azufre. Una vez que se tiene la composición deseada se procede a realizar el tratamien_ to de Inoculación.

La Inoculación tiene como objetivo el obtener una distribución lo más regular y fina posible de grafito tipo A.

En la planta donde se realiza este estudio se cuenta con un equipo de fusión (Horno de Inducción Sin Núcleo) con capacidad de 12 toneladas, el cual es cargado con paca de acero de primera, lingotes de metal Sorel y chatarra de re_ tornos. Después de conocer la composición química del baño metálico, se obtie_ ne la composición deseada mediante la adición de ferroaleaciones. El vaciado_ se realiza con cucharas de capacidad de 500 Kg.

Obtención del Molde en la máquina de Moldeo Vertical Disamatic.- Como ma_ terias primas se tiene arena recirculada, arena nueva, Bentonita Sódica, Carbón Marino y agua. La operación de mezclado, se realiza en un molino mezclador in_ corporado a la máquina de moldeo Disamatic. Este molino cuenta con cuatro tol_ vas y un dosificador de agua.

1.- Tolva de Arena Recirculada.	30 Ton.
2.- Tolva de Arena Nueva.	20 Ton.
3.- Tolva de Bentonita Sódica.	11 Ton.
4.- Tolva de Carbón Marino.	11 Ton.

La cantidad de Arena Nueva que se incorpora a la mezcla es establecida partiendo el % de Finos en la Arena, la cantidad de Bentonita agregada se establece partiendo de % de Bentonita Activa, el % de Húmedad es ajustado después de realizar la medición de la misma mediante el método del CaC_2 (Bomba Speedy).

Las propiedades mecánicas del material de moldeo son controladas realizando los ensayos que se enlistan a continuación.

ENSAYOS	RANGO DE ESPECIFICACION.
Resistencia a la comprensión en verde.	24 - 30 lb./in ² .
Permeabilidad.	40 - 75 %
Compactabilidad.	25 - 45 %
% de Húmedad.	3 - 4 %

La frecuencia de verificación de estas propiedades es de cada 30 minutos.

Una vez que el material de moldeo cumple con las características requeridas se procede a realizar el moldeo en la máquina Disamatic, la figura No. 3 muestra esquemáticamente el principio de funcionamiento de esta máquina moldeadora.

Para la fabricación del molde de esta pieza en la máquina moldeadora Disamatic, se requiere utilizar un corazón, el cual se introduce en la cavidad del molde al efectuar el moldeo. Este corazón tiene un peso que va de 58.0 Kg. a 62.0 Kg. y se elabora mediante el proceso Shell. Esta operación se realiza en una máquina Shalco y la cual efectúa las siguientes operaciones: Soplado, Invertido, - Oscilación, Curado y recargue de Arena.

El corazón es insertado en el molde, fijándolo en soportes posicionados expresamente, llamados "Máscaras Corazoneras". El corazón es inspeccionado y posteriormente introducido en el molde, cuidando que este bien alineado para no causar arrastre o rotura del molde por mal alineamiento con respecto a la copa de colada. Una vez que la cavidad del molde es llenada con el metal líquido se desmoldea con un vibrador mecánico, después de un cierto tiempo de enfriamiento, el cual garantiza que la pieza ha solidificado por completo. El sistema de colada y la arena son separadas de la pieza por la máquina desmoldeadora. La pieza en bruto es sometida a limpieza con proyecciones de arena (Sand Blast) y, finalmente es esmerilada hasta cumplir con la especificación. El producto así obtenido es enviado a la zona de maquinado en donde se le darán los acabados finales.

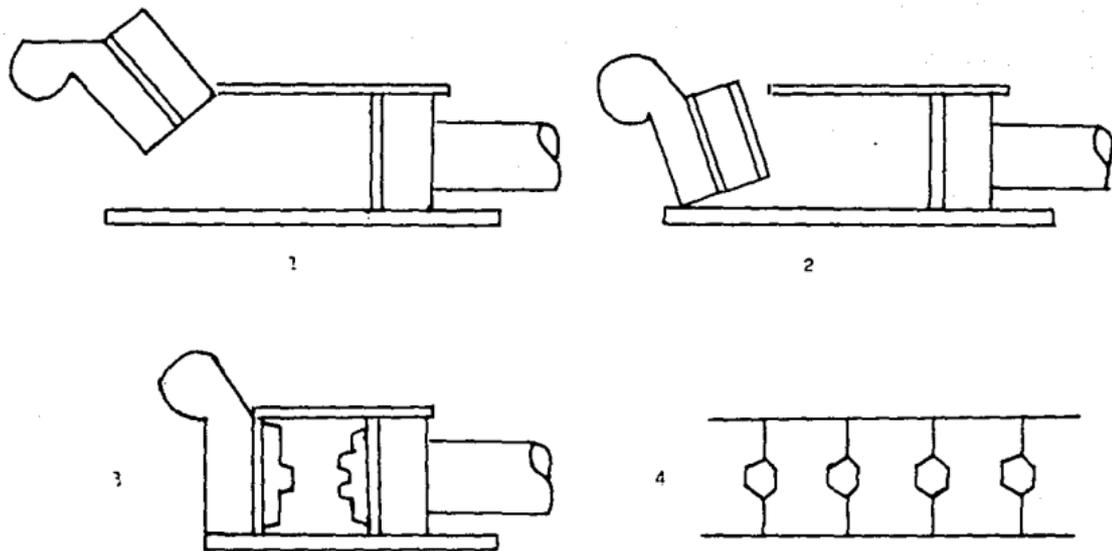


FIGURA No. 3.- REPRESENTACIÓN ESQUEMATICA PARA LA MAQUINA MOLDEADORA DISAMATIC.

- 1).- La placa modelo de presión levantada, para que por la parte lateral se deposite el corazón en la placa modelo de contra-presión.
- 2).- Efectuando el movimiento hacia abajo, una vez que se deposite el corazón.
- 3).- Llenado de arena, para efectuar el prensado.
- 4).- Formación de los moldes en posición vertical.

El molde así obtenido está listo para ser llenado, para lo cual la olla de -
vaciado se traslada hasta la línea de transporte de moldes y se realiza el vacía-
do a una cadencia impuesta por la velocidad de producción de moldes.

El molde lleno es desplazado por los moldes antecedentes hasta la zona de --
desmoldeo en donde se separa a la pieza de la arena y del sistema de colada. La_
pieza es transportada hacia la zona de esmerilado en donde se obtiene el producto
final.

1.2. Características de la pieza objeto de este estudio.

La pieza objeto de este estudio es CAJA DE VELOCIDADES 12-14, que es utilizada en la transmisión de transportes pesados, es una pieza de Hierro Gris de composición química especificada por el cliente con la Norma SAE G-3000. Algunas características importantes se enlistan a continuación:

Las figuras 4, 5 y 6 muestran a la pieza y sus dimensiones.

NUMERO DE PARTE: C-97-152B-4
NORMA DANA 90-I: SIMILAR A SAE G-3000.

<u>ANALISIS QUIMICO:</u>	CARBON	3.60 - 3.70
	SILICIO	2.05 - 2.20
	MANGANESO	0.60 - 0.80
	FOSFORO	0.20 máx.
	AZUFRE	0.12 máx.

<u>ANALISIS METALOGRAFICO:</u>	GRAFITO TIPO A	50 % mfn.
	GRAFITO TIPO B	
	GRAFITO TIPO C	50 % máx.
	PERLITA	Matriz perlítica.
	FERRITA	20 % máx.
	CARBUROS	----

ENSAYOS FISICOS:

DUREZA BID (mm.)	4.5 - 4.0
DUREZA BHN (Rb.)	179 - 228
RESISTENCIA A LA TENSION	32,000 Psi. mín.
% ELONGACION	2,200 lb.

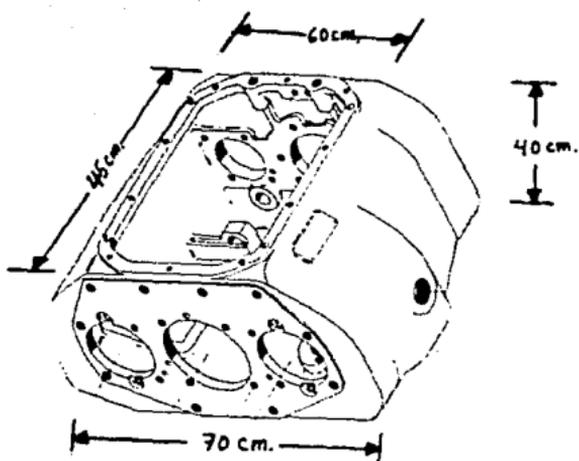


FIGURA No. 4. DIBUJO ALZADO DE LA PIEZA CAJA DE VELOCIDADES 12.-14.



FIGURA No. 5. FOTOGRAFIA QUE MUESTRA LA ZONA DE MAQUINADO DE LA PARTE TRASERA.

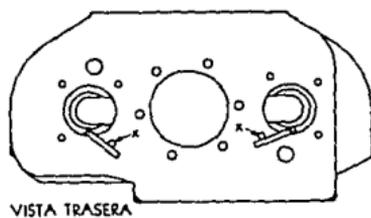
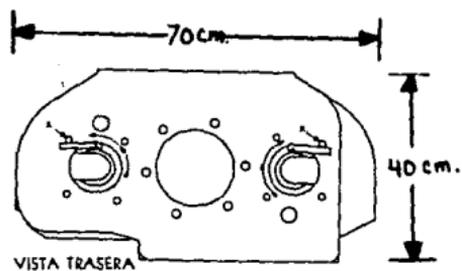
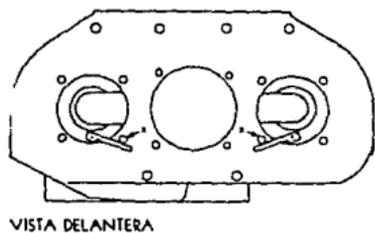
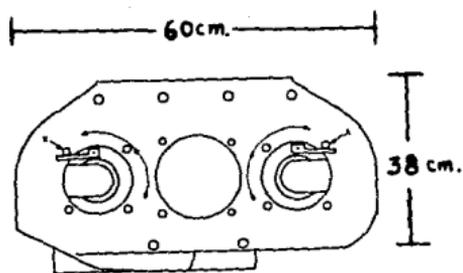


FIGURA No. 6. DIBUJO QUE MUESTRA LAS ZONAS DE MAQUINADO Y SUS DIMENSIONES.

CAPITULO 11. IDENTIFICACION DE DEFECTOS.

El primer paso para la resolución de un problema consiste en definir y caracterizar al mismo, a continuación se resumen las características más importantes de los defectos que provocan el rechazo de la pieza en cuestión, así como su jerarquización mediante un seguimiento estadístico realizado durante más de dos años.

Al momento de hacer la evaluación de las alternativas de solución, los defectos que en particular presenta esta pieza pueden ser clasificados en cinco categorías, de acuerdo con la tipificación de la American Foundryman Society.

- 1.- INCOMPLETOS.
- 2.- FISURAS.
- 3.- INCLUSION DE ARENA.
- 4.- INCLUSION DE ESCORIAS.
- 5.- RECHUPE.

Esta clasificación obedece a los criterios utilizados por la A.F.S. y el C.T.I.F.

A continuación se presenta un resumen de las características de cada uno de ellos, mencionando las posibles causas y soluciones.

1.- INCOMPLETOS.

La característica que define este tipo de defecto consiste en la existencia de una o varias zonas de la impresión que no fueron llenadas por el metal líquido. Adicionalmente en las zonas donde esto se presenta se aprecian bordes redondeados. A continuación se desglosan las posibles causas que pueden originar este defecto con respecto a los diferentes aspectos involucrados en el proceso de manufactura por fundición.

1.1. Diseño de la pieza de fundición y del modelo.

La presencia de piezas incompletas puede deberse al hecho de que la pieza de fundición presenta secciones no uniformes y muy delgadas que dan como resultado una interrupción en el flujo de metal. Algunos diseños son imposibles de alimentar adecuadamente porque algunas secciones delgadas se encuentran a veces en formas inaccesibles. Si el diseñador no puede variar el diseño original de la pieza problema, la medida a tomar es incrementar la temperatura de vaciado o modificar la composición química para una mejor fluidez.

La presencia de uniones frías puede provocarse por modelos o cajas de corazón desgastados, este desgaste se debe al continuo contacto con arena, un material muy abrasivo, por lo que los modelos deben verificarse continuamente.

Las secciones demasiado delgadas pueden provocarse también por modelos no fabricados de acuerdo a los planos, por dibujos no precisos o ilegibles, y por la falta de precisión en la lectura del plano.

El mal alineamiento del modelo o equipo para los corazones puede constituir también una causa latente.

1.2. Diseño del sistema de colada.

El tiempo de colada puede ser demasiado largo para las condiciones impuestas por la geometría de la pieza y la fluidez del metal. Si el área de estrangulamiento es demasiado reducida, el tiempo de llenado de la pieza aumenta, incrementando la posibilidad de llenado incompleto. La solución a esta situación consiste en agrandar esta área hasta el tamaño adecuado a las condiciones de llenado de cada pieza en particular.

1.3. Arena de moldeo.

Húmedad excesiva, causando una ebullición en el metal y baja fluidez.

Arena con materias volátiles muy altas que hacen que la cavidad del molde se llene de gas antes de que el metal tenga una oportunidad de llenar la forma que se desea apropiadamente.

Baja permeabilidad de la arena, deficiencia en el venteo.

Con los insertos para corazones se crea un efecto de enfriamiento sobre el metal, retardando el flujo normal y reduciendo la fluidez del metal.

1.4. Práctica de fusión.

Las adiciones de carga o aleantes en el baño metálico tienen un efecto directo en la reducción de temperatura, un control adecuado de la temperatura de vaciado evitará estos problemas.

Temperatura de vaciado baja.

Vaciado interrumpido que produce un desigual llenado y permite películas de óxido.

En el caso del uso de ollas de transferencia, el precalentamiento inadecuado de la olla.

2.- FISURAS.

La presencia de fisuras o grietas en piezas coladas es provocada por tensiones internas, generadas durante la solidificación y el enfriamiento de la pieza; en el primer caso se da lugar a la formación de fisuras en caliente, provocadas por un enfriamiento irregular de la pieza; en el segundo caso se provocan fisuras en frío cuando el material de moldeo y de corazoneo no permite la libre contracción de la pieza sólida. Las posibles causas que pueden originar este defecto -- con respecto a los diferentes aspectos involucrados en el proceso de fundición -- son las siguientes:

2.1. Diseño de la pieza y del modelo.

Una pieza que presenta secciones gruesas en contacto con secciones muy delgadas es susceptible de presentar fisuras en las zonas de unión de estas secciones, debido a las tensiones internas que se generan por el enfriamiento irregular de las mismas. Un adecuado diseño toma medidas preventivas como radios de curvatura, refuerzos, etc., para evitar la presencia de fisuras.

En el caso de fisuras presentes en las zonas adyacentes a ataques y alimentadores, el problema reside en la ausencia de ranuras de separación que permitan el desprendimiento fácil mediante golpeteo del sistema de colada y de los alimentadores.

2.2. Propiedades mecánicas del material de moldeo y corazono.

Colapsibilidad baja del material de moldeo el cual posee una excesiva resistencia en seco, provocada por un control inadecuado del contenido y tipo de bentonita, de la humedad, del contenido de finos, etc. En fin de todos los factores que afectan a las propiedades mecánicas del material de moldeo. En este caso el molde se opone a la libre contracción de la pieza durante su enfriamiento.

Refractariedad inadecuada del material del moldeo que provoca la presencia de capas sinterizadas de elevada rigidez que impiden la libre contracción de la pieza durante su enfriamiento.

La presencia de armaduras o refuerzos excesivos en el corazón pueden interferir con la colapsibilidad normal del mismo, provocando esfuerzos internos dentro de la pieza.

3.- INCLUSION DE ARENA.

La presencia de arena incluida puede ser causada por diferentes factores entre los que se encuentran:

3.1. Diseño de la pieza y del modelo.

Un ángulo de salida insuficiente aunado a una verificación inadecuada de la ausencia de arena en la impresión del molde previo al cierre del mismo.

3.2. Defectos por expansión del material de moldeo.

Aquí el aspecto a considerar es la resistencia del molde a las erosiones de origen mecánico y térmico que se producen durante el llenado. Las erosiones de origen mecánico están asociadas a la presencia de filos o esquinas en la impresión por lo que proporcionando una cierta curvatura se resolverá en gran medida este problema. Por otra parte cuando una parte del molde falla no es a causa de una presión metalostática elevada sino bajo el efecto de una exposición prolongada a la radiación de la aleación que no esta en contacto con ella. La solución ideal sería evitar la exposición a esa radiación por medio de un llenado instantáneo con el fin de aplicar simultáneamente sobre todas las paredes la presión metalostática y de esta manera mantener en su posición a las capas superficiales de arena. Esto no es posible ni necesario para asegurar que no se produzca una degradación del molde.

Si hay que elegir entre dos tiempos de colada, elegir el más corto; ubicación de los ataques de modo tal que los puntos inferiores de la impresión sean llenados rápida y simultáneamente; evitar que en el transcurso de la colada el nivel de metal permanezca demasiado tiempo estacionario.

4.- INCLUSION DE ESCORIAS.

Las inclusiones de escorias son partículas de material extraño embebidas dentro del metal. Existen dos fuentes posibles de escoria.

4.1. Escorias formadas durante el proceso de fusión, que no son eliminadas satisfactoriamente durante el desescoriado previo a la operación de llenado.

En este caso, una práctica adecuada de desescoriado mediante el uso de agentes escorificantes y el herramental del diseño requerido por esta operación minimizarán este problema.

Por otra parte se puede incluir en el sistema de colada, trampas para escoria, las cuales en muchos casos han mostrado su utilidad.

4.2. Escorias que se forman durante el llenado debido a reacciones molde-metal.

En este caso el origen del problema puede deberse a una excesiva temperatura de colada aunado esto a una baja refractariedad del material de moldeo.

5.- RECHUPE.

En este caso el defecto se caracteriza por un problema de alimentación que provoca una mala evolución con el curso de la solidificación de hierro gris. En este caso el tiempo de contracción propiamente dicho en que se produce la contracción o rechupado es más corto que el tiempo de solidificación total.

Transcurrido el tiempo de contracción que termina con el enfriamiento de la temperatura eutéctica, una parte del carbono precipita en forma de grafito eutéctico y adquiere por tanto, un volúmen mayor que cuando estaba disuelto en el baño. Esto provoca un aumento del volúmen de la masa pastosa formada por líquido y cristales durante la solidificación eutéctica. Cuanto mayor sea la cantidad de grafito eutéctico, tanto mayor será el aumento de volúmen que podrá equilibrar el rechupe habido, bien en parte o, en ciertas circunstancias, hasta su totalidad.

La relación entre la composición química de la fundición y la cantidad de grafito eutéctico es conocida; sin embargo, este último es además fuertemente influido por la velocidad de enfriamiento.

Con una velocidad de enfriamiento muy elevada, por ejemplo en nervios o --placas delgadas, hasta un hierro rico en carbono y silicio solidificará con estructura blanca; es decir, no habrá precipitación de grafito eutéctico alguno. La fundición blanca, como es sabido, rechupa más intensamente que la gris. Cuanto más gruesas sean las placas tanto mayor será la cantidad de grafito eutéctico.

Debido al tiempo relativamente corto que la fundición gris tarda en contraerse, con un tiempo de colada más largo se podrá compensar en una parte importante la contracción producida con el metal que constantemente fluye.

Tratándose de piezas de paredes más delgadas, que solidifican en menos tiempo y, por tanto, tardan menos en contraerse, esta autoalimentación es particularmente acusada.

CAPITULO III. FINALIDAD DEL EMPLEO DE TECNICAS ESTADISTICAS Y SU IMPORTANCIA EN LA SOLUCION DE PROBLEMAS INDUSTRIALES.

III.1. APLICACION DEL CONTROL ESTADISTICO DEL PROCESO.

El Control Estadístico del Proceso (C.E.P.) es un conjunto de herramientas estadísticas y metodológicas que permiten profundizar el conocimiento acerca de un proceso dado. Esto posibilita la toma de decisiones con respecto al control y estandarización del mismo, para obtener sistemáticamente productos de la calidad requerida.

Las herramientas estadísticas y metodológicas comunmente empleadas en el control estadístico del proceso (C.E.P.) son:

DIAGRAMAS DE PARETO.

Es la representación gráfica de la frecuencia con la que acontece un hecho o un evento. Su utilidad en C.E.P., reside en que permite jerarquizar la importancia de un evento con respecto a los eventos restantes, específicamente permite establecer la importancia de un defecto de producción con respecto a la eficiencia en la misma.

DIAGRAMAS DE ISCHIKAWA O DE COLA DE PESCADO.

La finalidad básica de este diagrama es establecer la relación que existe entre un evento (efecto) y sus posibles causas, diferenciando estas últimas en cinco rubros diferentes:

- 1.- Maquinaria o equipo.
- 2.- Mano de obra.
- 3.- Materia prima.
- 4.- Métodos o proceso.
- 5.- Mediciones.

Aplicando durante una sesión del personal involucrado en el proceso, la técnica de lluvia de ideas, se establecen las causas relacionadas con el evento analizado, en cada uno de estos aspectos, con lo cual se obtiene una lista con las posibles variables significativas.

DISEÑO DE EXPERIMENTOS (DOE).

Es una metodología que permite planear y estructurar eficientemente un programa de investigación, muchos de estos diseños se aplican frecuentemente en ingeniería.

Un diseño de experimentos implica por lo tanto obtener la mayor información posible acerca de estas variables con el mínimo número de experimentos, se planean estos de tal forma que se varían deliberadamente las fuentes conocidas de variabilidad en un rango tan amplio como sea necesario; aún más, deben ser variadas en tal forma que su variabilidad quede eliminada en la estimación de la variación aleatoria.

Una forma de conseguir esto, es repetir el experimento en varios bloques, manteniendo fijas en cada bloque determinadas fuentes de variabilidad (esto es, variables extrañas), pero variandolas de bloque a bloque.

El bloqueo es la distribución de las unidades experimentales en bloques para que dentro del bloque estas sean homogéneas, la unidad experimental es la unidad a la cual se le aplica un sólo tratamiento, al modo especial de formar las combinaciones de tratamientos se nombrará como factorial. Al tratar con más de una variable independiente y con los cambios que ocurren en la variable dependiente, la variable independiente se conoce como un factor.

El número de observaciones para cada nivel del tratamiento o factor será determinado tomando en cuenta consideraciones de costos y del poder de la prueba - el modelo es el que sigue EC. (3.1.).

$$X_{ij} = \mu + \tau_i + \epsilon_{ij} \dots\dots\dots(EC. 3.1.).$$

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$$

Las unidades experimentales se repiten completamente al azar en los tratamientos.

A	B	C	
X_{11}	X_{21}	X_{31}	
X_{12}	X_{22}	X_{32}	
X_{13}	X_{23}	X_{33}	
.	.	.	
.	.	.	
.	.	.	
$\underline{X_{1n_1}}$	$\underline{X_{2n_2}}$	$\underline{X_{3n_3}}$	
T_{1+}	T_{2+}	T_{3+}	T_{++}
$\bar{X}_{1.}$	$\bar{X}_{2.}$	$\bar{X}_{3.}$	$\bar{X}_{..}$

- 1.- Considerando todas las observaciones (varianza dentro), como se indica en la Ecuación 3.2.

$$S_p^2 = \frac{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} x_{ij}^2 - \sum_{i=1}^k \frac{T_i^2}{n_i}}{N-K} \dots \text{EC. 3.2.}$$

Donde: $i = 1, 2, 3, \dots, k$ (tratamientos)

$S_p^2 =$ varianza ponderada.

- 2.- Considerando todas las medias (varianza entre), como se indica en la Ecuación 3.3.

$$S_M^2 = \frac{\sum_{i=1}^k \frac{T_i^2}{n_i} - \frac{T_{++}^2}{N}}{k-1} \dots \text{EC. 3.3.}$$

Donde: $S_M^2 =$ varianza de las medias.

El análisis de varianza se indica en tabla III.1.

FUENTE DE VARIACION	GRADOS DE LIBERTAD.	SUMA DE CUADRADOS.	CUADRADOS MEDIOS	PRUEBA F
ENTRE TRATAMIENTOS.	$K - 1$	$\sum_{i=1}^k \frac{T_i^2}{n_i} - \frac{T_{++}^2}{N}$	S_M^2	$F_D = \frac{S_M^2}{S_p^2}$
DENTRO DE TRATAMIENTOS.	$N - k$	$\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} X_{ij}^2 - \sum_{i=1}^k \frac{T_i^2}{n_i}$	S_p^2	
TOTAL.	$N - 1$			

TABLA III.1. ANALISIS DE VARIANZA, PARA UN DISEÑO COMPLETAMENTE AL AZAR.

2.- Modelo para bloques completos al azar de la EC. 3.4.

$$x_{ij} = \mu + \zeta_i + \beta_j + \epsilon_{ij} \dots\dots\dots \text{EC. 3.4.}$$

El análisis de varianza para bloques completos al azar se indica en la tabla

III.2.

FUENTE DE VARIACION	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS.	CUADRADOS MEDIOS	PRUEBA F
TRATAMIENTOS.	$t - 1$	$\frac{1}{b} \sum_{i=1}^t T_i^2 - \frac{T_{++}^2}{tb}$	$\frac{SC_T}{t - 1}$	$\frac{CM_T}{CM_E} = F_T$
BLOQUES.	$b - 1$	$\frac{1}{t} \sum_{j=1}^b T_{+j}^2 - \frac{T_{++}^2}{tb}$	$\frac{SC_B}{b - 1}$	$\frac{CM_B}{CM_E} = F_B$
ERROR	$(t-1)(b-1)$	$SC_E = SC_{tot.} - SC_T - SC_B$	$\frac{SC_E}{(t-1)(b-1)}$	
TOTAL.	$(tb) - 1$	$\sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^b x_{ij}^2 - \frac{T_{ij}^2}{tb}$		

SC_T = Suma de cuadrados tratamientos.

SC_B = Suma de cuadrados bloques.

TABLA III.2. ANALISIS DE VARIANZA, PARA BLOQUES COMPLETOS AL AZAR.

3.- Modelo para factorial anidado, en el que el factor B se anida en el factor A, se indica en la EC. 3.5.

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_{j(i)} + \xi_{k(ij)} \dots\dots\dots \text{EC. 3.5.}$$

$i = 1, 2, \dots, a \quad j = 1, 2, \dots, b \quad k = 1, 2, \dots, n$

El análisis de varianza para factorial anidado se indica en la tabla III.3.

FUENTE DE VARIACION	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS
A_i	$a - 1$	$\sum_{i=1}^a T_i^2 \dots /nb - T^2 \dots /nab$
$B_{j(i)}$	$a(b - 1)$	$\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b T_{ij}^2 \dots /n - T^2 \dots /nb$
ERROR	$ab(n - 1)$	$SSE = SST - SSA - SSB$
TOTAL	$abn - 1$	$\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n Y_{ijk}^2 - T^2 \dots /nab$

TABLA III.3. ANALISIS DE VARIANZA PARA FACTORIAL ANIDADO.

Este tipo de diseño se utiliza frecuentemente para identificar los factores que más contribuyen a la variabilidad de la característica de calidad en este caso el siguiente paso para continuar el análisis, se indica en la tabla III.4.

FUENTE	EMS
A_i	$\sigma_2^2 + 4\sigma_B^2 + 8\sigma_A^2$
$B_{j(i)}$	$\sigma_E^2 + 4\sigma_B^2$
ERROR	σ_E^2

TABLA III.4. ANALISIS PARA IDENTIFICAR LOS FACTORES Y SU VARIABILIDAD.

GRAFICOS DE CONTROL DE SHEWHART (\bar{X} - R).

Permiten determinar la variación, con respecto a una media, o valor promedio, de un evento medido, con el fin de establecer si este se ubica dentro de unos límites de control (rango) previamente establecidos. El uso de estos diagramas para realizar el seguimiento de las variables de proceso permite, prevenir y corregir cualquier desviación que pueda ser causa de problemas operativos.

III.2. POSICION DEL PROBLEMA Y DETERMINACION DE VARIABLES HIPOTETICAS MEDIANTE -- DIAGRAMAS DE ISCHIKAWA.

En el momento que se realizó este trabajo (junio 1989), el problema más relevante era la presencia de fisuras en el cuerpo de la pieza (ver figs. 7 y 8).

La existencia de este defecto implica el rechazo de la pieza, sin posibilidad de reparación con soldadura, de acuerdo con lo pactado con el cliente. De hecho - cada pieza es sujeta a una prueba hidrostática para garantizar la ausencia de fugas de aceite durante el desempeño normal.

Por lo anterior este es el problema objeto del análisis que se presenta a continuación.

La primera etapa de este análisis consiste en establecer el diagrama causa--efecto de este problema. En este diagrama el problema se representa con efecto final, indicando en líneas diagonales las posibles causas que lo provocan. En un -- proceso industrial los problemas son causados por situaciones o eventos que pueden ser analizados en cualquiera de las áreas mencionadas por Ischikawa, encontrándose que las causales, en problemas más complejos, pueden ser desglosadas en sub-causas.

El diagrama causa-efecto que corresponde al defecto de fisuras se muestra en la figura 9 y fue obtenido durante una sesión con el personal de la planta aplicando la técnica de lluvia de ideas.

III.2. POSICION DEL PROBLEMA Y DETERMINACION DE VARIABLES HIPOTETICAS MEDIANTE -- DIAGRAMAS DE ISCHIKAWA.

En el momento que se realizó este trabajo (junio 1989), el problema más relevante era la presencia de fisuras en el cuerpo de la pieza (ver figs. 7 y 8).

La existencia de este defecto implica el rechazo de la pieza, sin posibilidad de reparación con soldadura, de acuerdo con lo pactado con el cliente. De hecho - cada pieza es sujeta a una prueba hidrostática para garantizar la ausencia de fugas de aceite durante el desempeño normal.

Por lo anterior este es el problema objeto del análisis que se presenta a continuación.

La primera etapa de este análisis consiste en establecer el diagrama causa--efecto de este problema. En este diagrama el problema se representa con efecto final, indicando en líneas diagonales las posibles causas que lo provocan. En un -- proceso industrial los problemas son causados por situaciones o eventos que pueden ser analizados en cualquiera de las áreas mencionadas por Ischikawa, encontrándose que las causales, en problemas más complejos, pueden ser desglosadas en sub-causas.

El diagrama causa-efecto que corresponde al defecto de fisuras se muestra en la figura 9 y fue obtenido durante una sesión con el personal de la planta aplicando la técnica de lluvia de ideas.

FIGURA No. 7.- DESECHO INTERNO DE CAJA DE VELOCIDADES 12-14
 LINEA DE MOLDEO VERTICAL DISAMATIC
 ESTUDIO POR DEFECTOS

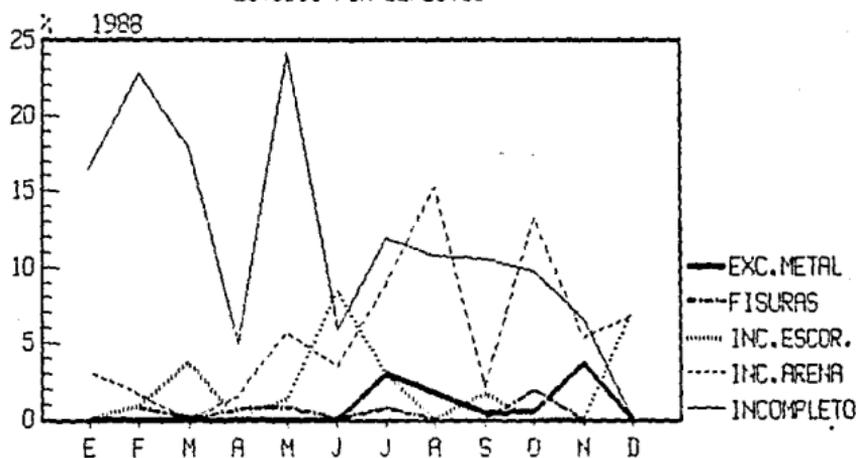
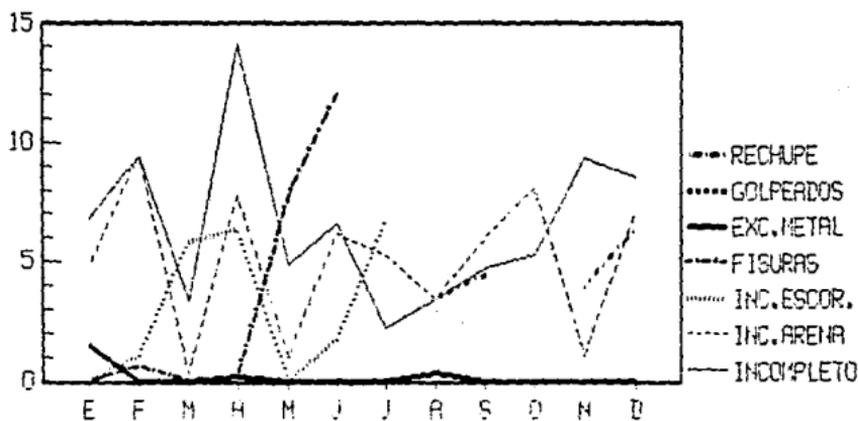


FIGURA No. 8.- DESECHO INTERNO DE CAJA DE VELOCIDADES 12-14
 LINEA DE MOLDEO VERTICAL DISAMATIC
 ESTUDIO POR DEFECTOS

% 1989



Durante la sesión se estableció que la causa más viable estaba relacionada con las propiedades mecánicas del corazón, ya que si este no poseía la colapsibilidad (capacidad para fracturarse durante la contracción de la pieza sólida) requerida esto provocaría tensiones internas y fisuramiento de la pieza. Como las propiedades mecánicas del corazón son establecidas por el método y las materias primas utilizados en su manufactura se procedió a analizar con más detalle la producción de corazones.

El proceso de producción de corazones "Shell" consiste en alimentar a un dado metálico, calentado a una cierta temperatura, una mezcla de arena, resina y catalizador termofraguante, y dar un tiempo de permanencia (tiempo de curado) para provocar la sinterización del material. La lista de variables propuestas durante la sesión fue:

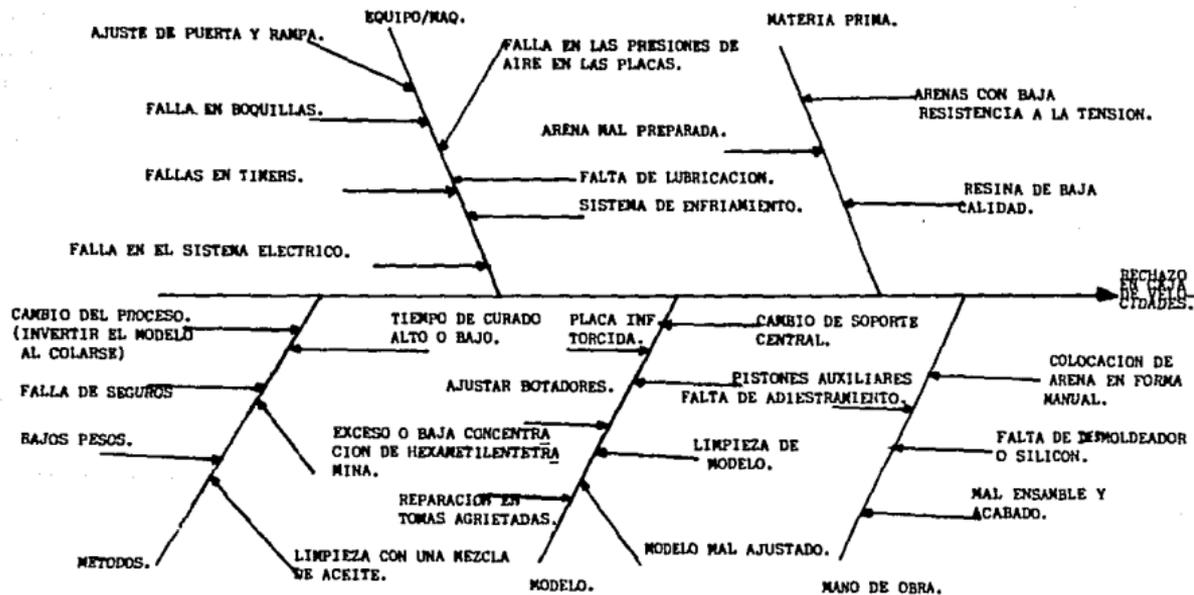
Variables relacionadas con el método de producción de corazones.

- 1.- Peso del corazón (una función relacionada con el tiempo de curado).
- 2.- Concentración de Hexametilentetramina.
- 3.- Arenas usadas, preparación de arenas empleadas.

Variables relacionadas con las materias primas.

- 1.- Arena con baja resistencia, tipo de grano en la arena base empleada.
- 2.- Calidad de la resina.

FIGURA No. 9 DIAGRAMA DE ISHIKAWA



Una vez que fueron establecidas las variables que hipoteticamente afectan a la colapsibilidad del corazón, se procedió al diseño de experimentos con modelos de análisis de varianza para definir las variables significativas. Este aspecto es contemplado en el capítulo IV.

CAPITULO IV. DISEÑO DE EXPERIMENTOS.

Antes de aplicar la técnica estadística de diseño de experimentos, como se explicó antes, se hizo el seguimiento al problema de fisuras, el cual se presentó durante los meses de Mayo y Junio de 1989; mediante una sesión de tormenta de ideas, se procedió a establecer la lista de las variables que supuestamente afectan las propiedades mecánicas del corazón.

La experimentación se realizó por etapas y el efecto de las variables fue de finido por la ausencia o presencia de fisuras en la pieza física. La primera de esta etapa consistió en analizar el efecto de las variables relacionadas con el método de manufactura del corazón. Estas variables son:

- 1.- OPERADOR.
- 2.- PESO DEL CORAZON.
- 3.- TEMPERATURA DE CURADO.

Para el análisis del efecto de estas variables se consideró en el caso del peso del corazón y de la temperatura de curado se tomaron los valores límite del intervalo de operación que habían mostrado ser consistentes en la producción de corazones de las características requeridas de la pieza. Para el caso de la variable operador, al existir producción únicamente en dos turnos durante el día se diferenciaron dos operarios.

FACTORES.

1.- OPERADOR	}	DIEGO	:		0 NIVEL BAJO
		VICTOR	:		1 NIVEL ALTO
2.- PESO DEL CORAZON	}	LIC	=	53 kg	- 0 NIVEL BAJO
		LSC	=	63 kg	- 1 NIVEL ALTO
3.- TEMPERATURA	}	LIC	=	220°C	- 0 NIVEL BAJO
		LSC	=	290°C	- 1 NIVEL ALTO

LIC = Límite inferior de control.

LSC = Límite superior de control.

Como se mencionó en el Capítulo III el uso de los gráficos de control de --- Shewhart (\bar{X} -R) como una técnica estadística en la cual su práctica se encuentra muy difundida en los procesos industriales en nuestro caso que nos ocupa durante el proceso se usó con el fin de establecer si el proceso se ubica dentro de unos límites de control.

Estos límites de control, representan los límites de variación esperada en los promedios de las muestras, tanto en las medias (\bar{X}) como los rangos (R), son 3 variaciones estandar arriba y abajo de los promedios.

El calculo de los límites de control se simplifica utilizando formulas y -- constantes especiales que nos permiten evitar los calculos de la desviación es-- tandar (σ).

Las formulas para establecer los límites de control en una gráfica \bar{X} son -- las siguientes ecuaciones 4.1 y 4.2.

$$LSC_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_2 * \bar{R} \dots\dots\dots EC. 4.1.$$

$$LIC_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - A_2 * \bar{R} \dots\dots\dots EC. 4.2.$$

Donde: A_2 es un factor que depende de cuantos valores existen en cada mues-- tra (subgrupo) así para una muestra de 5 entonces $A_2 = 0.577$.

\bar{R} = Rango promedio.

$\bar{\bar{X}}$ = Media de promedios.

Las formulas para los límites de control en una gráfica de rangos se indican en las formulas 4.3 y 4.4.

$$LSC_R = D_4 * \bar{R} \dots\dots\dots EC. 4.3.$$

$$LIC_R = D_3 * \bar{R} \dots\dots\dots EC. 4.4.$$

Donde: D_4 y D_3 son factores que como A_2 dependen del tamaño de la muestra, -
para un tamaño de muestra 5 entonces $D_4 = 2.114$ y $D_3 = 0$.

Los valores para otros tamaños de muestra se localizan en tablas ya elaboradas exprofeso.

Así prácticamente todos los puntos de una distribución normal están dentro de los límites $\bar{x} \pm 3\sigma$; es decir, para efectos prácticos, el campo de variación de la distribución se reduce a 6σ . Mientras tanto al suponer que el campo de variación del proceso se limita a 6σ proporciona una referencia aproximada para poder dictaminar los límites de control del proceso.

Se procedió a recolectar datos durante una semana de operación y aplicando el método estadístico de el TEST KRUSKAL-WALLIS.

Se hizo uso de este método no paramétrico a causa de que los datos no son cuantitativos, ni los niveles tampoco son cuantitativos.

En el caso de que si los factores fueran cuantitativos, se utilizaría un modelo estadístico 2^k , en el cual es justamente cada factor en 2 niveles, estos niveles pueden ser los extremos de una variación. La combinación de estos tratamientos completos al azar serían (1), a, b, ab, c, ac, bc y abc con lo cual se tendrían $8 = 2^3$ observaciones u 8 replicaciones.

Se compararon los rechazos obtenidos durante cada turno de los dos operadores que están asignados en cada turno, se pretende saber si alguno de ellos tiene tendencia a producir un mayor número de rechazos por lo que la hipótesis nula es:

H_0 : Los dos operadores no influyen o afectan el proceso en los intervalos de operación.

H_1 : Los dos operadores influyen o afectan al proceso en los intervalos de operación.

Se encontraron los resultados mostrados en las tablas IV.1 y IV.2.

EFECTOS	FACTOR A	FACTOR B	FACTOR C	RECHAZOS		# RECHAZOS
				1 ^a	2 ^a	
A	0	220°C	53.0 kg	1	6	7
B	1	290°C	53.0 kg	7	2	9
C	0	220°C	63.0 kg	6	3	9
D	1	290°C	63.0 kg	1	2	3
E	0	290°C	53.0 kg	7	2	9
F	1	220°C	53.0 kg	2	2	4
G	0	290°C	63.0 kg	3	4	7
H	1	220°C	63.0 kg	2	3	5

TABLA NUMERO IV.1. DONDE SE ANOTAN LOS EFECTOS, PARA HACER EL ANALISIS ESTADISTICO DE EL TEST DE KRUSKAL-WALLIS

REGISTRO	OPERADOR		t _i	R _i	R _i ²	t _i R _i ²
	1	2				
A	1	6	7	4	16	112
B	7	2	9	12	144	1296
C	6	3	9	21	441	3969
D	1	2	3	27	729	2187
E	7	2	9	33	1089	9801
F	2	2	4	39.5	1560.25	6241
G	3	4	7	45	2025	14175
H	2	3	5	51	2601	13005

TABLA IV.2. DATOS OBTENIDOS DEL NUMERO DE PIEZAS RECHAZADAS PARA CADA EFECTO EN EL TEST KRUSKAL-WALLIS.

t_i = RENGLON TOTALES

R_i = RANGOS PROMEDIOS

$$R_i = \sum_{i=1}^{c-1} t_i + (T_c + 1)/2 \dots\dots\dots \text{EC. 4.5.}$$

De la EC. 4.6.

$$R_j = \sum_{i=1}^c O_{ij} \bar{R}_i \dots\dots\dots \text{EC. 4.6.}$$

R1	R2
4	24
84	24
126	63
27	54
231	66
79	79
135	180
<u>102</u>	<u>153</u>
<u>788</u>	<u>643</u>

De la EC. 4.7.

$$s^2 = \frac{1}{N-1} \left\{ \sum_{i=1}^c t_i \bar{R}_i^2 - N \frac{(N+1)^2}{4} \right\} \dots\dots\dots \text{EC. 4.7.}$$

$$s^2 = \frac{1}{53-1} \left\{ 50786 - \frac{53 (53+1)^2}{4} \right\}$$

$$s^2 = 233.63$$

Sustituyendo en la EC. 4.8.

$$T = \frac{1}{5^2} \left\{ \sum_{i=1}^k \frac{R_i^2}{n_i} - \frac{N(N+1)^2}{4} \right\} \dots\dots\dots \text{EC. 4.8.}$$

$$T = \frac{1}{233.63} \left\{ \left(\frac{788^2}{29} + \frac{643^2}{24} \right) - \frac{53(53+1)^2}{4} \right\}$$

$$T = 0.008$$

De la tabla CHI - Cuadrada para un nivel de significancia 0.05 para 1 grado de libertad.

$$\chi^2_{0.05} = 1 = 3.81$$

Por lo tanto como:

$$T = 0.008 < \chi^2_{0.05} = 3.841 \quad \text{Entonces } H_0 : \text{ SE ACEPTA.}$$

CONCLUSION: La hipótesis es claramente no rechazada y las muestras provienen de poblaciones idénticas, y así ninguno de los operadores afecta al proceso de manufactura de corazones.

Una vez encontrado este resultado se procedió a verificar el efecto de las variables inherentes a la preparación de las materias primas para la manufactura de corazones: En este caso se decidió definir un parámetro medible que permitiera extraer más información que el juicio cualitativo de presencia o ausencia de fisuras (NUMERO DE RECHAZOS), anteriormente tratado.

APLICANDO UN MODELO ESTADISTICO DE BLOQUES COMPLETOS 3 X 3.

Para tal efecto se eligió el porcentaje de contracción de la pieza con respecto a la distancia estandarizada en el eje principal de la cavidad de la caja de velocidades. Un corazón de baja colapsibilidad provoca que la distancia medida sea mayor a la estandarizada, ya que se opone a la libre contracción de la pieza en el estado sólido, durante el enfriamiento posterior a la solidificación.

En este caso se usaron las siguientes variables para el análisis respectivo.:

1.- Arena recubierta:

A GRANO SUBANGULAR IT-50
B GRANO REDONDO OKLAHOMA
C ARENA CON FeO ME-50 - HB.

2.- Concentración del % de Hexametilentetramina 17% DE HEXA.
18% DE HEXA.
20% DE HEXA.

En el caso que para eliminar más de 2 y 3 fuentes extrañas de variación se tienen dos diseños equilibrados más generales, el diseño de cuadrado latino y el diseño de cuadrado grecolatino.

Para introducir el diseño de cuadrado latino; supongamos que se desean comparar tres tratamientos A, B y C, en la presencia de otras dos fuentes de variabilidad.

El cuadrado grecolatino es una estructura de $k \times k$ que permite estudiar k -- tratamientos simultáneamente con tres variables diferentes de bloques. Para formar un cuadrado grecolatino del tipo 3×3 se superponen los dos diseños aleatorios, utilizando letras griegas para el segundo cuadrado latino.

Se procedió a recolectar datos durante dos semanas de operación, utilizando los tres tipos de Arena recubierta con tres concentraciones diferentes del % de HEXA. Aplicando el modelo 3×3 se encontraron los resultados mostrados en las tablas IV.3 y IV.4.

Ho : Que la arena recubierta de diferente tipo no afecta al proceso.

Ho : Que la concentración del % de Hexa no afecta al proceso.

% CONTRACCION.

	I	II	III	TOTAL
17%H	1.68	1.54	2.05	5.27
18%H	1.83	1.58	2.01	5.42
20%H	2.14	1.93	2.01	6.08
	5.65	5.05	6.07	16.77

TABLA IV.3. DONDE SE ANOTAN LOS EFECTOS DEL % DE CONTRACCION DE UN -
EXPERIMENTO DE BLOQUES COMPLETOS 3 x 3 .

CALCULOS:

$$SdC_R = \frac{5.65^2 + 5.05^2 + 6.08^2}{3} - \frac{16.77^2}{9} = 0.2157$$

$$SdC_C = \frac{5.27^2 + 5.42^2 + 6.08^2}{3} - \frac{16.77^2}{9} = 0.1238$$

$$\begin{aligned} SdC_T &= 1.68^2 + 1.54^2 + \dots + 1.93^2 + 2.01^2 - \frac{16.77^2}{9} \\ &= 0.3784 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} SdC_{ERROR} &= SdC_T - SdC_R - SdC_C \\ &= 0.3784 - 0.2157 - 0.1238 = 0.0389 \end{aligned}$$

FUENTES DE VARIACION	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADOS MEDIOS	F CALCULADO	F TABLAS 0.05, 2, 4
TIPO ARENA	2	0.2157	0.1078	11.08	6.94
%CONCENTRACION	2	0.1238	0.0619	6.36	
ERROR.	4	0.0389	0.0097		
TOTAL.	8	0.3784			

TABLA NUMERO IV.4. ANOVA PARA EL EXPERIMENTO DE BLOQUES COMPLETOS AL AZAR 3 x 3.

CONCLUSION.- EN EL CASO DE LA CONCENTRACION DEL % DE HEXA SE ACEPTA LA H_0 , POR LO TANTO NO AFECTA EN FORMA SIGNIFICATIVA AL PROCESO.

EN EL EFECTO DEL TIPO DE ARENA SE RECHAZA LA H_0 , ES SIGNIFICATIVA A UN NIVEL DE 0.05, POR LO QUE SE CONCLUYE QUE EL TIPO DE ARENA SI AFECTA AL PROCESO DE MANUFACTURA DEL CORAZON.

Tomando en cuenta que las variables relacionadas con las materias primas empleadas para la manufactura de corazones tienen un efecto significativo, de acuerdo al resultado obtenido al efectuar el análisis en la preparación de la arena se procedió a efectuar el seguimiento a los proveedores de la resina usada.

Para tal efecto se eligió realizar pruebas a tres tipos diferentes de resinas y nuevamente se tomó el parámetro de medición % de contracción de la pieza -- con respecto a la distancia estandarizada en el eje principal de la cavidad de la caja de velocidades.

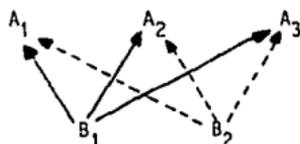
SE UTILIZO UN MODELO ESTADISTICO FACTORIAL ANIDADO.

Estos experimentos se efectúan debido a por lo menos dos razones:

- 1.- Puede ser difícil o imposible cruzar dos factores.
- 2.- Dado que la interacción no está presente entre los factores A y B, son los experimentos indicados cuando se desea identificar las fuentes de variabilidad a fin de poder reducirla.

Para entender estas dos razones considere una situación en la cual se está interesado en analizar el efecto que sobre la densidad de un producto tienen dos factores, máquina y cabezales. En este proceso cada una de tres máquinas tiene dos cabezales, a primera vista este experimento parece ser factorial con dos fac-

tores, máquina (factor A) y cabezal (factor B), sin embargo, esto es cierto si - los dos cabezales usados en cada máquina son los mismos dos cabezales tal y como se muestra:



Esto es cada cabezal es usado con cada máquina.

Otro caso es cuando cada máquina usa sus propios dos cabezales, tal y como - se muestra:



En este caso se dice que el factor B está anidado en el factor A. Observe - que B₁ en la máquina A₁ no es el mismo cabezal que el B₁ en la máquina A₃, aún - cuando estén en la misma posición correspondiente en cada máquina. El experimen - to es aún de dos factores, sin embargo estos no se "cruzan" si no que se anidan.

Aplicando este modelo se tomaron cuatro muestras de un lote de cada proveedor y se efectuaron dos análisis a cada muestra. Los resultados encontrados se muestran en las tablas IV.5 y IV.6.

Las hipótesis nulas que se plantean son:

H_0 : El proveedor no afecta a la característica de calidad % de contracción.

H_0 : Las muestras realizadas del lote, no afecta.

MUESTRA	PROVEEDOR A	PROVEEDOR B	PROVEEDOR C
1	2 3 5	4 4 8	6 7 13
2	4 4 8	4 5 9	5 6 11
3	2 2 4	3 3 6	4 6 10
4	2 4 6	3 5 8	5 7 12
Tl ..	23	31	46

T...100

TABLA NUMERO IV.5. DONDE SE ANOTAN LOS EFECTOS DEL % DE CONTRACCION, DE UN --
EXPERIMENTO FACTORIAL ANIDADO.

CALCULOS:

$$a = 3$$

$$b = 4$$

$$n = 2$$

$$N = 24$$

$$SST = 2^2 + 3^2 + \dots + 5^2 + 7^2 - \frac{100^2}{24} = 53.33$$

$$SSA = \frac{23^2}{8} + \frac{31^2}{8} + \frac{45^2}{8} - \frac{100^2}{24} = 34.083$$

PARA CADA PROVEEDOR SE TIENE:

PROVEEDOR A.

$$SSB_A = \frac{5^2}{2} + \frac{8^2}{2} + \frac{4^2}{2} + \frac{6^2}{2} - \frac{23^2}{8} = 4.375$$

PROVEEDOR B.

$$SSB_B = \frac{8^2}{2} + \frac{9^2}{2} + \frac{6^2}{2} + \frac{8^2}{2} - \frac{31^2}{8} = 2.375$$

PROVEEDOR C.

$$SSB_C = \frac{13^2}{2} + \frac{11^2}{2} + \frac{10^2}{2} + \frac{12^2}{2} - \frac{46^2}{8} = 2.500$$

$$SSB = 4.375 + 2.375 + 2.500 = 9.250$$

$$SSE = 53.33 - 34.08 - 9.250 = 10.0$$

FUENTES DE VARIACION.	GRADOS DE LIBERTAD.	SUMA DE CUADRADOS.	CUADRADOS MEDIOS.	EMS
PROVEEDOR	2	34.083	17.044	$8\sigma_A^2 - 2\sigma_B^2 + \sigma^2$
MUESTRA	9	9.250	1.028	$2\sigma_B^2 + \sigma^2$
ANALISIS	12	10.000	0.833	σ^2
TOTAL	23	53.33		

TABLA NUMERO IV.6. ANOVA PARA EL EXPERIMENTO FACTORIAL ANIDADO.

ESTA TERCERA NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

Por lo tanto se tiene de la tabla Anova:

$$\sigma_E^2 = 0.833$$

$$\sigma_B^2 = (1.028 - 0.833) / 2 = 0.0975$$

$$\sigma_A^2 = (17.044 - 1.028) / 8 = 2.002$$

Se tiene la tabla siguiente:

FUENTE	S^2	% S^2
PROVEEDOR	2.002	68.3
MUESTRA	0.097	3.3
ERROR	0.833	28.4
	2.932	100

Lo que indica que la mayor fuente de variación es el proveedor.

Se realizaron pruebas adicionales para determinar cual era la resina más adecuada para la manufactura de corazones. Se estableció que la resina proporcionada por el proveedor B, y al 17% de Hexa, permitía la producción de corazones con colapsibilidad adecuada.

El proceso Shell se modificó de acuerdo a las pruebas realizadas, con respecto al tipo de resina y el % de Hexa. Las nuevas condiciones de operación son:

	ANTES.	MODIFICADO.
% Resina (Proveedor A).	2.0%	-----
% Resina (Proveedor B).	-----	2.5%
% Hexa.	20%	17.0%
% H ₂ O	40 base/Hexa	40 base/Hexa
Temperatura de arena.	130°C - 140°C	130°C - 140°C
Tiempo de premezclado.	30 seg.	30 seg.

Con estas condiciones de operación se procedió a realizar la producción de los corazones para las cajas de velocidades, el resultado se reflejó en los índices de rechazo de los meses subsiguientes a los que se presentó el defecto por fisuras. Ver figuras número 7 y 8 desde agosto a diciembre de 1989.

CONCLUSIONES.

El presente trabajo demostró que la aplicación de técnicas estadísticas a la resolución de problemas industriales es un elemento básico en cualquier empresa que pretenda optimizar sus procesos de manufactura.

En este caso particular la aplicación de dichas técnicas permitió eliminar un defecto que provocaba en su momento más críticas pérdidas económicas muy considerables.

Una de las medidas sistemáticas que se tomaron, fue el establecer un control estadístico del proceso (C.E.P.) en forma más efectiva, en todas las características medibles por medio de Gráficas \bar{X} -R de las variables que afectan a los procesos de fundición de hierro gris en la línea Disamatic de la planta industrial donde se desarrolló este trabajo.

El haber efectuado un análisis metalúrgico de los defectos en el sistema de moldeo en posición vertical, se encontró que de acuerdo al tipo de defectos presentes en la pieza, es posible efectuar acciones preventivas trabajando con un sistema organizado como es el uso del Control Estadístico de Calidad.

La aplicación de diseño de experimentos con análisis de varianza en el proceso Shell ayudo a que se identificara el problema ya no en forma superficial, ya que realmente se hizo una modificación en el proceso y se tuvo que desarrollar a otro proveedor para obtener materia prima con mayor calidad, el resultado se dio en los meses siguientes ya que el problema por fisuramiento en la pieza

caja de velocidades se eliminó, con lo cual se alcanzó el objetivo al lograr la disminución del rechazo.

Es importante señalar que al haber modificado el proceso con una mejor calidad de la materia prima, otros defectos inherentes ya no se presentan en forma consistente en el porcentaje acumulado de rechazo, con lo que se disminuye el mismo al tener menos problemas en el proceso.

Es claro que al haber aplicado las técnicas estadísticas se logra un resultado aceptable, pero no en todas las ocasiones resulta así ya que se debe tener muy en cuenta que este tipo de análisis debe desarrollarlo una persona que cuente con la experiencia probada en el proceso donde se va a realizar un diseño de experimentos y estar muy familiarizado con análisis de varianza para poder usar estos en forma adecuada, y no obtener pérdidas económicas en los procesos en donde se utilicen estas técnicas.

BIBLIOGRAFIA.

- 1.- American Foundryman Society
CASTING DEFECTS.
2a. Impresión/1982.
- 2.- Box George E.P.; Hunter William G.; Hunter J. Stuart.
ESTADISTICA PARA INVESTIGADORES
Editorial Reverté, S.A. 1988/Pag. 255.
- 3.- Conover W.J.
PRACTICAL NONPARAMETRIC STATISTICS.
John Wiley & Sons/Second Edition 1980.
- 4.- Gran Eugene L.; Leavenworth Richard S.
CONTROL ESTADISTICO DE CALIDAD.
McGraw-Hill Book Company/8a. Impresión 1987.
- 5.- Hicks Charles R.
FUNDAMENTAL CONCEPTS IN THE DESIGN OF EXPERIMENTS.
CBS College Publishing/3a. Edition 1982.
- 6.- Miller Irwin; Freund John E.
PROBABILIDAD Y ESTADISTICA PARA INGENIEROS
Editorial Reverté Mexicana, S.A.
Octubre de 1984 Pag. 313-339.

- 7.- Allen Larry G.; Quality Engineer, Storage Tek Corp.,
A MEASURE OF SPC
Louisville, CO. QUALITY / June 1987. Pag. 62-63.

- 8.- Dr. Bajaria Hans J.
SPC TRAINING. IS YOUR INVESTMENT PAYING OFF?
QUALITY / March 1987. Pag. 27-30.

- 9.- Krohn Barbara R.
SPC RAISE LEVEL OF CONFIDENCE IN CASTING QUALITY
MODERN CASTING / September 1985. Pag. 25-29.

- 10.- Enright Thomas P.; Ford Motor Co./Casting Div. Dearborn
STATISTICAL METHODS REDUCE CASTING DEFECTS AT FORD
MODERN CASTING / November 1988. Pag. 51-52.

- 11.- Mann Arthur K.;
SPC SUCCESS STORIES FOR A SMALL FOUNDRY
Donsco, Inc. Wrihtsville, P.A.
MODERN CASTING - / October 1985. Pag. 33-37.

- 12.- Patterson Vernon H.
UNDERSTANDING THE FACTORS AFFECTIN TEMPERATURE LOSS
MAKES IT EASIER TO AUDID METAL HANDLING PROBLEMS.
Manager Foundry Technical Services
FOOTE FOUNDRY FACTS - No. 20 / 1970 Pag. 1-4

13.- Rowley M.T.

IN SEARCH OF QUALITY

AFS V.P. Technology, RETired Roselle, IL

AFS Transactions Preprint, 1986-75/Pag. 1-6.

14.- Sullivan L.P.

REDUCING VARIABILITY: A NEW APPROACH TO QUALITY

QUALITY PROGRESS / July 1984. Pag. 15-21