

Análisis económicos para elegir el número de cavidades óptimo - Parte 1

Análisis 1: FACTIBILIDAD COMERCIAL

Determinación de NC del molde para que el proceso resulte rentable

En este análisis comenzaremos calculando cual será la **mínima cantidad de piezas** que se deben fabricar en un determinado período de tiempo para que la producción de la misma sea rentable y luego determinaremos cual es el mínimo número de cavidades que debe tener el molde que se usará, para poder cumplir con esa producción. La cantidad de piezas mínimas que se obtiene con este cálculo es la que fija el llamado **punto de equilibrio** del proceso (y por extensión, de la pieza misma), que fija el límite de rentabilidad ya que con producciones por debajo de esa cantidad mínima se trabaja "con pérdidas" y por encima "con ganancias".

Hipótesis o supuestos para el análisis:

Es importante hacer notar que este estudio requiere hacer ciertas aclaraciones y fijar algunas pautas para su correcto desarrollo:

- » Puede hacerse para una máquina, un sector, un proceso, o incluso toda una fábrica.
- » Requiere datos de tipo económico que pueden conseguirse fácilmente en la empresa.
- » Los datos deben cubrir un **intervalo de tiempo definido**: un año, o un mes, o una semana, etc.
- » El período que se elija constituirá **la unidad** a que se referirán los valores y resultados - Ej: pzas/sem

Definiciones y conceptos previos:

¿A qué llamamos costo? ¿Cómo los clasificamos?

Llamamos costo de un producto a la **suma de todos los gastos que se originan para fabricarlo**.

A los efectos de este análisis los clasificaremos y separaremos en:

» **Gastos fijos**: Son los que tiene una empresa "**siempre**" y son completamente independientes de la cantidad de productos elaborados. Es más, existen aun cuando no se fabriquen piezas, por ejemplo: impuestos (permisos municipales, inmobiliario, etc.), servicios (tasas municipales, teléfono, iluminación, calefacción, vigilancia, correo, etc.), alquileres, seguros, movilidad, sueldos y jornales (porque aunque no tenga trabajo debo pagar a los empleados), cargas sociales, etc.

» **Gastos variables**: Son los que se producen "**únicamente**" si se fabrican piezas, por ejemplo: materia prima, energía consumida por el equipo, otros insumos (lubricantes, herramientas, materiales accesorios, etc.), embalajes, fletes y acarreos, etc.

Para nuestro análisis vamos a considerar estas dos categorías de gastos (o costos, o costes), pero para que quede claro el concepto que pretendemos incorporar haremos simplificaciones que evitarán complicaciones matemáticas inútiles, sin cambiar el sentido del estudio.

Simplificaciones para el análisis del Punto de Equilibrio:

- » Tomamos como unidad de tiempo de referencia una semana (podría haber sido cualquier otra).
- » Suponemos una máquina que recibe material y entrega piezas terminadas (es decir un único proceso).
- » Sólo se produce un modelo de pieza (lo que significa que todas las piezas son similares).
- » Todos los gastos se expresan siempre en \$ (podría usarse cualquier otra unidad monetaria).

Datos para el análisis:

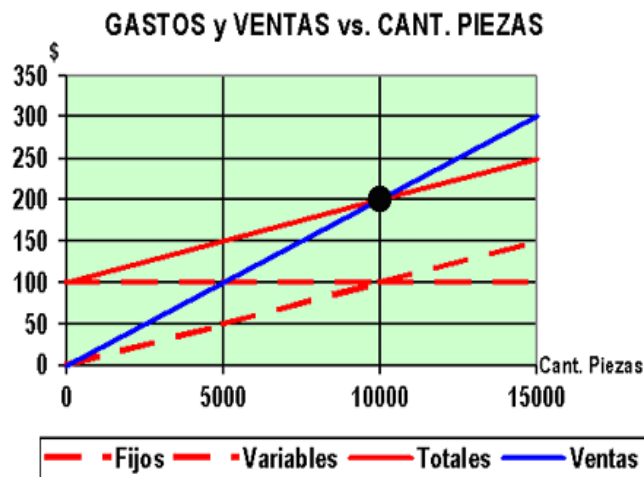
De los registros contables de la empresa pueden obtenerse los datos para este estudio. Suponemos que de tal modo se han obtenido los siguientes valores concretos:

DATO	CONCEPTO - RUBRO CONTABLE	VALOR EN \$	UNIDAD DE CÁLCULO
1	Gastos Fijos	100	\$/semana
2	Gastos Variables	10	\$/1000 piezas producidas
3	Precio de venta del producto	20	\$/1000 piezas vendidas

Estos valores deben considerarse como promedios después de haberse controlado y analizado largos períodos

Planteo del problema:

Podemos representar en un par de ejes cartesianos ortogonales, la variación del dinero (eje "\$") que entra por ventas y sale por gastos en función de la cantidad de piezas (eje "cantidad de piezas"). Es fácil ver que los 3 elementos (datos 1, 2 y 3) tienen una **variación lineal** con el número de piezas y por lo tanto gráficamente quedan representados como rectas.



De tal forma han quedado dibujadas cuatro líneas:

- » La línea de trazos roja, horizontal, representa los **gastos fijos**, constantes para toda cant. de piezas.
- » La línea de trazos roja, ascendente, que parte de cero representa los **gastos variables** y es creciente.
- » La línea llena roja, ascendente a partir de 100 representa los **gastos totales** y es la suma de los gastos fijos más los variables (los gastos totales arrancan en el valor de gastos fijos para cero piezas producidas y crecen con la misma inclinación o pendiente que los gastos variables a partir de allí).
- » La línea llena azul, ascendente a partir de cero, representa los **ingresos por ventas** de la pieza (los ingresos por ventas crecen linealmente a partir de cero con una pendiente que depende del mayor o menor precio que se haya asignado a las piezas).

Concepto de PUNTO DE EQUILIBRIO:

Para que la pieza **tenga interés comercial**, la recta de ventas debe resultar "necesariamente" más empinada (tener mayor pendiente) que la de gastos totales, de manera que la "corte" en algún punto del campo real.

La intersección de la recta de gastos totales con la de ventas (punto negro en la figura) define el llamado **PUNTO DE EQUILIBRIO (PE)** del proceso.

El PUNTO DE EQUILIBRIO establece la posición en que se igualan los ingresos por ventas del producto, con los gastos realizados para producirlos. De tal forma, define la "cantidad" (de piezas) a partir de la cual el producto comienza a dar ganancias crecientes. Como se ve en la misma figura...

... para menos piezas producidas, es decir hacia la izquierda del PE, tendremos pérdidas (mayores cuanto más nos alejemos del PE) ya que los ingresos por ventas no alcanzan a cubrir el total de gastos.

... para más piezas producidas, es decir hacia la derecha del PE, tendremos ganancias (cada vez mayores cuanto más nos alejemos del PE) ya que los ingresos por ventas superan al total de gastos.

Para los datos de nuestro problema resulta que el PE = 10000 piezas/semana.

Por otro lado, usando el mismo gráfico, podemos hacer un sencillo análisis para determinar de que manera se puede mejorar el punto de equilibrio (mejorar la rentabilidad). Tenemos tres opciones:

» **Disminuir los gastos fijos**, para llegar al PE con menos piezas vendidas y por lo tanto comenzar a tener ganancias antes. Esta propuesta es la que primero debería instrumentarse en una empresa porque siempre es en esta parte de los costos donde se pueden lograr grandes mejoras con simples cambios en la gestión para hacer más eficiente el desempeño.

» **Disminuir los gastos variables**, para bajar la pendiente de la línea de gastos variables (y correspondientemente de gastos totales) con lo que también llegamos al PE con menos piezas vendidas. Esta opción es menos sencilla de instrumentar porque debería buscarse la reducción de gastos actuando sobre parámetros de producción (tiempos de ciclo, fórmulas, aceleraciones, temperaturas, etc.) y/o sobre los insumos empleados (tipo, marca y precio de materiales, tipo y precio de energía, etc.).

» **Incrementar el precio de la pieza**, para subir la pendiente de la recta de ingreso por ventas y también llegar al PE con menos cantidad de piezas. Esta idea generalmente es impracticable si pensamos que el consumidor y la presencia de competidores son los que fijan el precio de la pieza sin quedar prácticamente ningún margen para actuar en este sentido.

En definitiva, para nuestro caso, si tenemos una producción inferior a las 10000 piezas semanales (que es el PE del proceso), deberíamos trabajar con las tres alternativas consignadas en forma individual o conjunta, para llegar a una producción rentable.

Determinación del NC mínimo del molde, para asegurar la rentabilidad del producto:

Con un ejemplo vamos a ver de que modo con el PE del proceso, tenemos una primera aproximación para definir el NC mínimo necesario en el molde.

Supongamos tener los siguientes datos de producción (algunos pueden ser calculados y otros estimados)

» PE = 10000 piezas/semana (es el "punto de equilibrio del producto", calculado según lo visto antes).

» TM = 100 horas/semana (es el "tiempo disponible de máquina", estimado o calculado).

» CT = 6 min/matrizada (es el "tiempo de ciclo total", estimado de experiencias con piezas similares).

Además si llamamos "matrizada" a cada ciclo completo de fabricación (en que se obtendrán tantas piezas como cavidades tenga el molde), podemos calcular la "producción total horaria" (PT) que se deberá obtener con nuestro proceso:

$$PT = 60 \text{ min/hora} \div CT = 60 \text{ min/hora} \div 6 \text{ min/matrizada} = 10 \text{ matrizadas/hora}$$

Entonces, con estos datos, podemos calcular la "producción máxima por semana" que será:

$$PT_{\max} = PT \times TM = 10 \text{ matrizadas/hora} \times 100 \text{ horas/semana} = 1000 \text{ matrizadas/semana.}$$

El "número de cavidades mínimo" que deberá tener el molde para que el producto sea rentable resulta:

$$NC_{\min} = PE \div PT_{\max} = 10000 \text{ piezas/semana} \div 1000 \text{ matrizadas/semana} = 10 \text{ piezas/matrizada}$$

Es decir que **COMERCIALMENTE**, el molde **deberá tener** un número de cavidades mayor que 10.

NC_{min} > 10 CAVIDADES

Conclusiones:

En primer lugar vemos que en nuestro ejemplo, con 10 cavidades (o huellas, o improntas, o matrices) tendremos un producto que no genera ganancias y con menos de 10, directamente provoca pérdidas; y en ambos casos no tiene interés comercial. Concretamente, si no tenemos una máquina con capacidad adecuada para soportar al menos este "tamaño de molde mínimo" (11 cavidades o más) no debemos fabricar la pieza.

Ahora bien, si el tamaño y la capacidad de la máquina nos permite colocar 20 ó 30 cavidades, en lugar de las 11 calculadas, en la producción tendremos las siguientes ventajas:

- » Una mejor utilidad sin tocar el precio de la pieza, o los insumos, o los parámetros de proceso.
- » Excelentes posibilidades de bajar el precio del producto si fuera necesario competir.
- » Eventualmente, tendríamos tiempo de máquina libre para poder fabricar otras piezas.

Pero frente a las buenas perspectivas comerciales que propone un "molde rentable" que duplica o triplica el NC mínimo calculado, se contraponen **el mayor costo de fabricación del molde** por tener el doble o triple de cavidades. Entonces nos interesa buscar un NC tal que represente la mejor opción económica entre inversión en fabricación del herramental y beneficio producido por la venta de la pieza (relación costo-beneficio). Este es el análisis que se desarrolla en la 2da. parte de este trabajo.

Análisis económicos para elegir el número de cavidades óptimo - Parte 2

Análisis 2: ÓPTIMO TÉCNICO-ECONÓMICO (Mejor relación costo-beneficio) Determinación de NC a partir del costo de la pieza y el costo del molde

En esta segunda parte nos interesa buscar un NC tal que represente la mejor opción económica entre la inversión que se hace en la fabricación del herramental y el beneficio producido por la venta de la pieza (relación costo-beneficio). Técnicamente nos proponemos determinar el NC que resulta **óptimo técnico-económico** entre molde y pieza.

Para lograrlo, en nuestro análisis plantearemos una forma de cálculo del NC en la que haremos participar la "amortización del molde" como una parte integrante del costo de ella. Por lo tanto, este sería el NC para el cual obtendríamos la pieza de menor costo, teniendo en cuenta el costo del herramental (a través de su amortización) en el cálculo. Nuevamente utilizaremos un ejemplo y haremos consideraciones iniciales.

Hipótesis o supuestos para el análisis:

En primer lugar, llamaremos "N" al número de cavidades a determinar y "\$" será la unidad monetaria adoptada.

También haremos algunas consideraciones sobre el costo del molde y vamos a dividir el costo total de fabricación del molde en dos partes:

» **Costo de fabricación de la estructura (CE):** Diremos que el CE es independiente del número de cavidades. Se trata del costo que tenemos al construir (o comprar), armar y ajustar elementos del molde como bebedero, posicionadores, guías, casquillos, etc. que son necesarios sea cual fuera el número de cavidades (podría haber una pequeña variación marcada por el "tamaño" de los elementos que será creciente con el número de cavidades, pero despreciaremos esa variación y lo consideraremos "constante").

» **Costos de fabricación, montaje y ajuste de cada cavidad (CC):** El CC solo tiene en cuenta el precio que deberemos pagar por la fabricación de cada cavidad (su variación es lineal con el número de cavidades) y el gasto que implica realizar el montaje y ajuste de las mismas a la estructura (su variación no tiene por que resultar lineal con el número de cavidades, pero tampoco aquí cometeremos gran error si consideramos sólo la variación lineal).

Definiciones y conceptos previos:

¿Qué es la amortización? ¿Cómo incide en el costo de la pieza?

Para nuestro caso, conceptualmente la amortización es la recuperación del dinero invertido en la fabricación del molde en un tiempo determinado, o lo que es lo mismo, luego de fabricar una determinada cantidad de piezas.

Por lo tanto, para tener en cuenta la amortización, debemos introducir una nueva variable. Definimos:

» Z = Número de piezas en que se desea amortizar el molde. Este es un valor que puede estimarse o elegirse con alguna consideración que resulte lógica con referencia a la demanda y la vida útil que se dará al molde.

Datos para el análisis:

Como en la parte 1, daremos valores concretos a los datos que usaremos en el cálculo.

DATO	CONCEPTO	VALOR	UNIDAD DE CÁLCULO
CE	Costo de la Estructura	2000	\$/molde
CC	Costo de cada Cavidad	500	\$/cavidad
Z	Cantidad de Pzas. para Amortizar	50000	piezas (fabricadas)

Generalmente estos valores son aproximados porque surgen de consultas

Los valores CE y CC pueden presupuestarse con cierta precisión al tener la solución ideológica al diseño del molde (dimensiones de la pieza, planos de cierre, cinemática, etc.).

Para decidir el valor de Z podemos pensar que mediante un estudio de mercado (o por indicaciones "serias" del cliente), hemos llegado a determinar que se van a requerir "con seguridad" 2500 piezas por mes durante los próximos 20 meses, salvo imprevistos o fuerza mayor. Parece lógico pensar en tomar ese número de piezas para amortizar el molde y entonces resulta que $Z = 2500 \times 20 = 50000$ PIEZAS.

Además, haremos algunas consideraciones sobre el costo de la pieza, para ello también definiremos parámetros y les daremos valores supuestos. Consideraremos que estamos analizando un molde para piezas de caucho (si fuera plástico, el análisis es similar, pero los valores supuestos deberían ser sustancialmente distintos) y adoptaremos:

DATO	CONCEPTO	VALOR SUPUESTO	UNIDAD DE CÁLCULO
G	Peso unitario de la pieza incluidos desperdicios	50	gramos/pieza
PMP	Precio de la materia prima empleada	3	\$/kg de material
PHH	Precio de la hora-hombre del sector o proceso usado	20	\$/hh (#)
M	Número de matrizadas por hora estimadas en producción	10	matrizadas/hh (##)
FGG	Incidencia de los gastos generales a cargar en la pieza	15	% (###)
Q	Producción de piezas por hora a obtener por el proceso	10 N	piezas/hora (####)

(#) Valor supuesto que incluye jornal de operadores, cargas sociales, incidencia de gastos indirectos, prorrateo de otros gastos de fabricación del sector.

(##) Estimación de producción para piezas de caucho.

(###) Valor propio de la empresa relativo a su tamaño, estructura y eficiencia de gestión.

(####) Función de N que sale de hacer $Q = M \times N$ (recordar que N es el NC → es decir piezas/matrizada).

Planteo del problema:

Con las definiciones y consideraciones hechas, tomando los valores numéricos consignados, podemos expresar el "costo total del molde" por la siguiente función matemática de N (que es nuestra variable):

$$CT = CE + CC \times N = 2000 + 500 N \rightarrow [CT] = [$/molde]$$

Función que nos da distintos valores en "\$" para distintos valores de N.

Por otro lado, debemos determinar el "valor a cargar" en el costo a cada pieza, para recuperar la inversión hecha en la construcción del molde, en las "Z" piezas previstas. A este valor lo llamamos "costo total en la pieza por amortización del molde", lo indicamos con CTamort y para nuestro ejemplo resulta:

$$CT_{amort} = (CE + CC \times N) \div Z = (2000 + 500 N) \div 50000 = 0.04 + 0.01 N \rightarrow f(N)$$

$$CT_{amort} = 0.04 + 0.01 N$$

Con las simplificaciones hechas, CTamort es una función continua que representada en ejes cartesianos "\$ /pieza" vs. "N" resulta ser una recta que no pasa por el origen.

Ahora vamos a considerar el "costo primario" de la pieza:

El costo de la pieza debido a la materia prima es CMP y para nuestro caso resulta

$$CMP = G \times PMP = 0.05 \times 3.00 = 0.15 \rightarrow [CMP] = \$/pieza$$

El costo de la pieza debido a la "mano de obra directa" resulta ahora

$$CMOD = PHH / Q = 20.00 \div (10 N) = 2.00 / N \rightarrow f(N); [CMOD] = \$/pieza$$

Por lo tanto, teniendo en cuenta todas las proposiciones anteriores, el "costo total de producción de la pieza" puede expresarse como:

$$CT_{pza} = (CMP + CMOD) \times (1 + FGG / 100) = (0.15 + (2.00 / N)) \times 1.15 = 0.1725 + 2.3 / N \rightarrow f(N)$$

$$CT_{pza} = 0.1725 + 2.3 / N \rightarrow f(N); [CT_{pza}] = \$/pieza$$

$$CT_{pza} = 0.1725 + 2.3 / N$$

Con las simplificaciones hechas, CTpieza es una función continua para todo N distinto de cero, que representada en ejes cartesianos "\$ / pieza" vs. "N" resulta ser una hipérbola.

Finalmente podemos determinar el "costo total real de la pieza" (afectado de la incidencia de la amortización) que será la suma de las expresiones recuadradas. Es decir que:

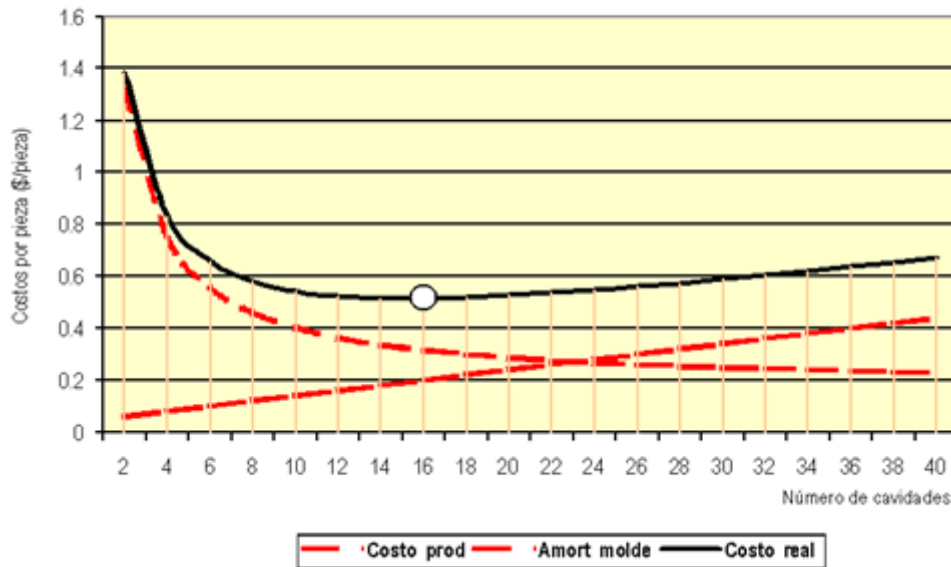
$$CT_{real} = CT_{amort} + CT_{pza} = (0.04 + 0.01 N) + (0.1725 + 2.3 / N) \rightarrow f(N); [CT_{real}] = \$/pieza$$

$$CT_{real} = (0.04 + 0.01 N) + (0.1725 + 2.3 / N)$$

CTreal es una nueva función continua para todo valor de N distinto de cero, que representada en ejes cartesianos "\$ / pieza" vs. "N", en el campo de los N positivos (condición necesaria del número de cavidades) resulta ser una curva que presenta un mínimo para algún valor numérico de la variable.

Haciendo la representación gráfica de las tres funciones tendremos algo parecido a lo siguiente:

Número óptimo técnico-económico de cavidades



Determinación del NC que resulta ser óptimo técnico-económico para la dupla pieza-molde:

En el gráfico, se ve claramente que el **número de cavidades óptimo**, será aquel para el que obtenemos el menor valor de "costo total real de la pieza" (curva en negro).

En la figura, vemos que para el caso analizado y con los valores dados, está alrededor de las 16 cavidades (punto blanco marcado).

Pero también podemos determinarlo matemáticamente, calculando la derivada primera de la función, igualando a cero y despejando el valor de N en esa ecuación. Esto es:

$$CT'_{REAL} = d CT_{REAL} / d N = d (0.2125 + 0.01 N + 2.3 / N) / d N = 0.01 - (2.3 / N^2)$$

Igualando a cero la derivada primera, nos queda la ecuación: $0.01 - (2.3 / N^2) = 0$

de donde podemos despejar $N = 15.2$ cavidades

No tiene sentido hablar de 15.2 cavidades, por lo tanto podemos decir que para este ejemplo, NC = 16 resulta ser el **NÚMERO DE CAVIDADES ÓPTIMO TÉCNICO-ECONÓMICO** para este molde (resultado que corrobora el obtenido gráficamente).

Además, la lectura del gráfico nos lleva a razonar lo siguiente: las 16 cavidades marcan el punto a partir del cual empieza a tener más influencia en el costo de la pieza la componente debida a la amortización del molde, que el costo de producción propiamente dicho.

Es interesante observar que si optamos por construir un molde de 32 cavidades (por ejemplo), estaríamos incrementando en un 15 % aproximadamente el costo de la pieza para recuperar el valor del molde en la cantidad de piezas elegidas (50000). Sólo tiene sentido optar por esta solución, si el precio de mercado soporta este costo mayor, o la frecuencia de entrega exigida por el cliente requiere una fabricación más rápida, o se libera tiempo de máquina para producir otra pieza.

Otro asunto interesante es observar que si la pendiente de la recta costo de amortización disminuye, el número de cavidades óptimo es mayor (para lograr una pendiente mayor, necesitaríamos pensar en un mayor número de piezas para amortizar el molde o un menor costo de éste).

Por último, vemos que también subiría el número de cavidades óptimo, si la hipérbola costo de producción se desplaza hacia arriba (lo que significa mayor influencia sobre el costo total del costo de materia prima) o si la curva decrece más suavemente (por ejemplo cuando el número de matrizadas por hora es menor).

Conclusiones:

Con este análisis queda perfectamente claro que la elección del número de cavidades de un molde **siempre** requiere optar por una solución que técnicamente llamamos "**de compromiso**" entre la inversión que plantea la fabricación del molde (y su amortización en un período razonable de tiempo) y el precio de la pieza a producir. El método expuesto puede ayudar a tomar esa decisión con fundamentos de cálculo válidos.

Este asunto es muy importante cuando hablamos de producciones de piezas que requieren:

- » Moldes de diseño complejo y construcción costosa.
- » Productos con bajas demandas o con bajas expectativas de permanencia en el mercado.
- » Piezas que exigen ciclos de producción muy largos.

Estas tres situaciones pueden darse en el proyecto de un molde dado, individualmente (de a una), o simultáneamente (todas juntas). Ejemplos reales de demandas que presentan moldes complejos, bajas demandas y ciclos de producción largos lo constituyen algunas piezas de caucho y plástico específicas para: máquinas viales, grandes camiones, tractores, maquinaria agrícola, grandes motores, industria minera, industria naviera, industria petroquímica, etc.

Comentario:

Los análisis económicos desarrollados, son los que determinan
... el número de cavidades mínimo que debería tener un molde para asegurar que se obtendrá un producto rentable (factibilidad comercial del proyecto pieza-proceso-molde);
... el número de cavidades que resulta ser óptimo técnico-económico del proyecto (mejor situación entre inversión y beneficio).

Ambas situaciones son importantes desde el punto de vista comercial, económico y financiero del proyecto de diseño y desarrollo de pieza y molde, pero son sólo el comienzo del análisis mediante el cual se decidirá en definitiva cual será el número de cavidades que se tomará para diseñar el molde.

En efecto, en el desarrollo de este trabajo hemos hablado de la necesidad de "contar con una máquina de capacidad adecuada para soportar el tamaño del molde". Esto significa que se deberá calcular cual es el número de cavidades máximo compatible con las características de la máquina para asegurar un correcto funcionamiento del molde. Este análisis deriva en una serie de cálculos que son los que aseguran la "factibilidad tecnológica" del proyecto al menos en los elementos pieza-molde-máquina.

En estos cálculos se involucran:

- » Las características físicas de la pieza:
Geometría (forma), dimensiones, volumen, áreas de cavidad expuestas a presiones, etc.
- » Las características que definen la capacidad del equipo:
Máximo volumen (inyectoras), máxima fuerza de cierre, superficies útiles de platos, etc.

» Las características pensadas para el molde en la solución ideológica del diseño:
Superficies de cierre de la matriz, cinemática del molde, técnica de desmolde, aceros, etc.

Sólo después de realizar estos cálculos, podrá elegirse con precisión el número de cavidades con que se trabajará en el diseño definitivo del molde.