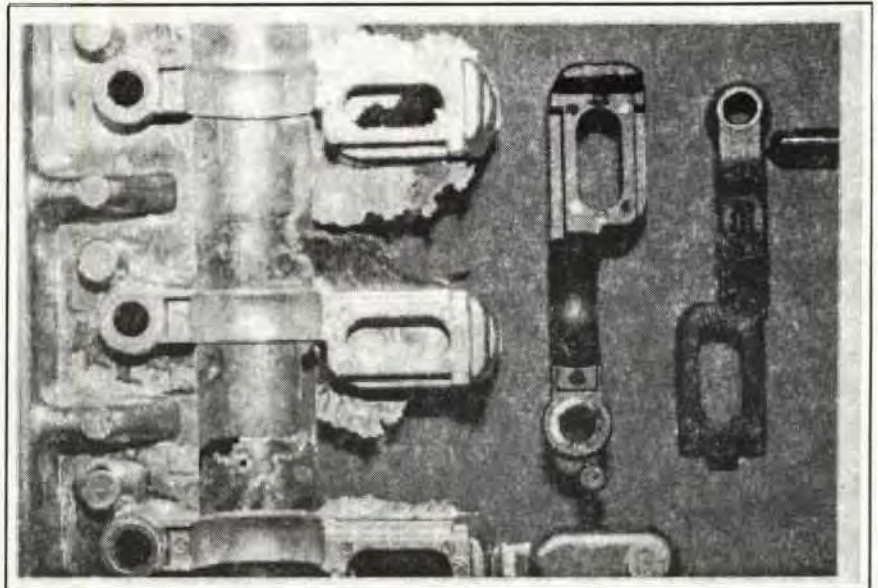


## SUSTITUIR MATERIALES SIGNIFICA MODIFICAR LA PIEZA:

### *Análisis de las piezas moldeadas al sustituir aleaciones metálicas de fundición a presión por polímeros de altas prestaciones reforzados con fibra*

Por: Robert Olz, Milan Cavic y Thomas Schulz

*Los cálculos de simulación son de gran ayuda en el diseño de piezas técnicas y en las decisiones requeridas para la sustitución de materiales de fabricación. Dichas simulaciones se hacen indispensables, donde se busca un diseño que se adapte al polímero y a la vez a condiciones de elevados esfuerzos mecánicos y altas exigencias de seguridad funcional. Además una comparación de los costos de producción demuestra la conveniencia de sustituir aleaciones de fundición a presión por polímeros de altas prestaciones.*



*Figura 1. El alojamiento del cilindro del freno elaborado en función de aluminio (izquierda) requiere de un mayor trabajo de acabado que la misma pieza moldeada en plástico (derecha)*  
Fuente: Magura GmbH

La creciente presión que ejercen los costos sobre la fabricación de piezas técnicas obliga a desarrollar procesos más económicos para la producción de piezas de compleja geometría. En la fabricación de piezas metálicas son ante todo los procesos de tratamiento posterior y acabado los que aumentan el costo. Se supone

entonces, que el moldeo por inyección de piezas plásticas, listas para el montaje, podría encerrar un considerable potencial para reducir los costos de producción.

Ante esta situación surge la pregunta, cuáles serían las modificaciones necesarias en la pieza y en el molde, para sustituir los materiales metálicos

por polímeros, en un proceso similar.

#### **OBJETIVOS DEL PROYECTO**

El objeto de la investigación es un elemento de dos partes para el alojamiento de un cilindro de freno, que está integrado en un freno

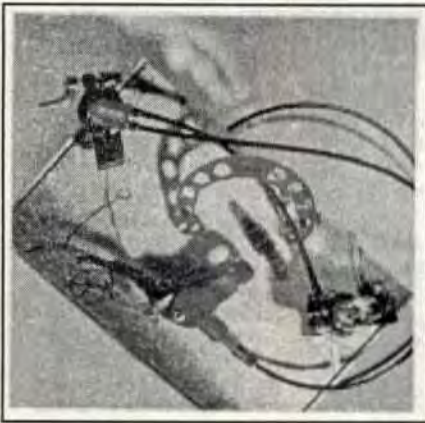


Figura 2. La pieza objeto de sustitución es un componente de un freno hidráulico para bicicletas .  
Fuente: Magura GmbH

hidráulico para bicicletas (figuras 2 y 3). Actualmente, estos elementos de seguridad son fabricados por moldeo a presión de una aleación de aluminio, lo cual requiere dispendiosos trabajos de acabado posterior.

La condición indispensable para el uso de polímeros de altas prestaciones es que cumplan con buenas propiedades mecánicas, constantes a largo plazo, y alta resistencia a los químicos. Para ello se eligieron aleaciones poliméricas con base en poliamidas, que vienen cargadas con fibra corta y presentan una serie de ventajas frente a poliamidas reforzadas corrientes como la PA 6-GF y la PA 66-GF. Particularmente ventajosa es la poca sensibilidad de las propiedades mecánicas a la humedad y la temperatura (\*1). En nuestro caso se trata de una poliarilamida cargada de fibra de vidrio corta PA-MXD6 (Productor: Solvey) y una poliamida semi-aromática PA 66+6I/6T (Productor: Ems-Chemie).

Para ajustar el diseño de la pieza al material polimérico, su geometría sólo puede ser modificada hasta tal punto que aun sea posible integrarla al conjunto de componentes existentes, sin mayor necesidad de otras

adaptaciones y garantizando su plena funcionalidad.

### SIMULACIÓN COMO APOYO

Con el fin de obtener bases válidas para un diseño de la pieza que corresponda al material, al molde y al proceso, se examina mediante simulación FEM, si el molde de colada a presión existente es apto para la fabricación de prototipos.

Para el análisis del proceso de formación de la pieza y de la distribución de tensiones se utilizó el paquete de programas C-Mold de la CAD-FEM GmbH, Grafing, usando elementos bidimensionales. Con base en la geometría existente de la pieza, se

construyó la geometría de red y se realizó el cálculo simulando el proceso de formación de la pieza con las dos poliamidas (\*2). Con ayuda de la simulación del llenado del molde, a un flujo volumétrico constante, se analizó la influencia de la posición del bebedero sobre los frentes de flujo y el efecto de la post-presión. Se eligió aquella posición para el bebedero que genera la post-presión más uniforme y la ubicación más favorable de las líneas de unión. Los resultados de la simulación muestran para los dos polímeros que el punto de inyección en el arco cerca del cono produce cordón, como era de esperar, y que el área del cono no es sometida a esfuerzos excesivos por la post-presión (figura 3).

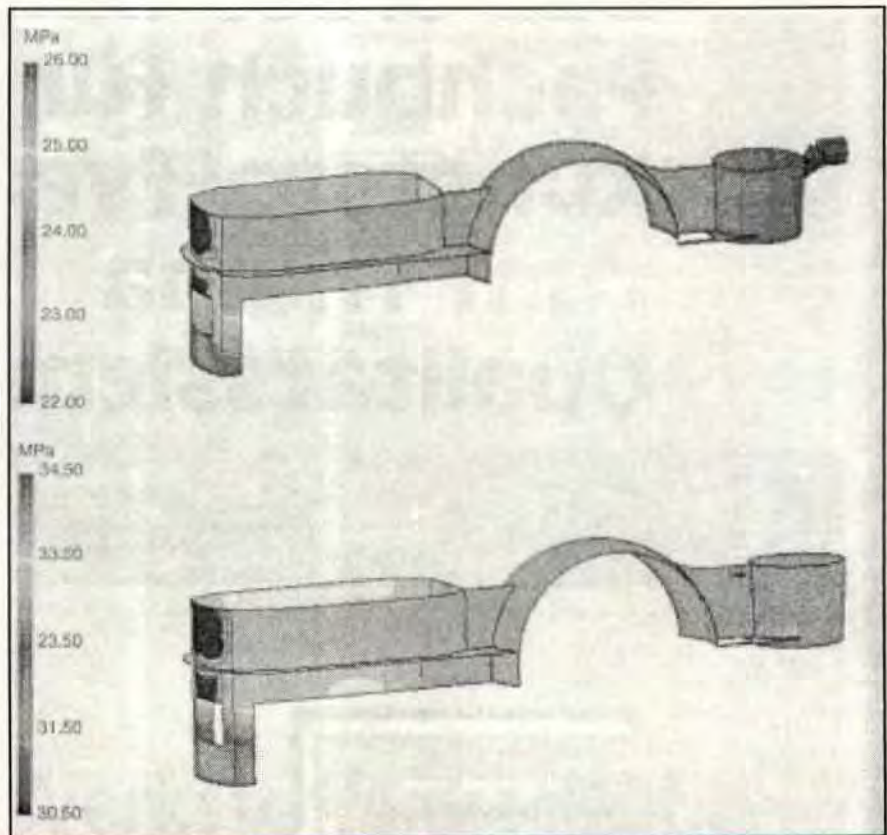


Figura 3. Distribución de la postpresión, con posición desfavorable (arriba) y favorable (abajo) del punto de inyección. Material: PA

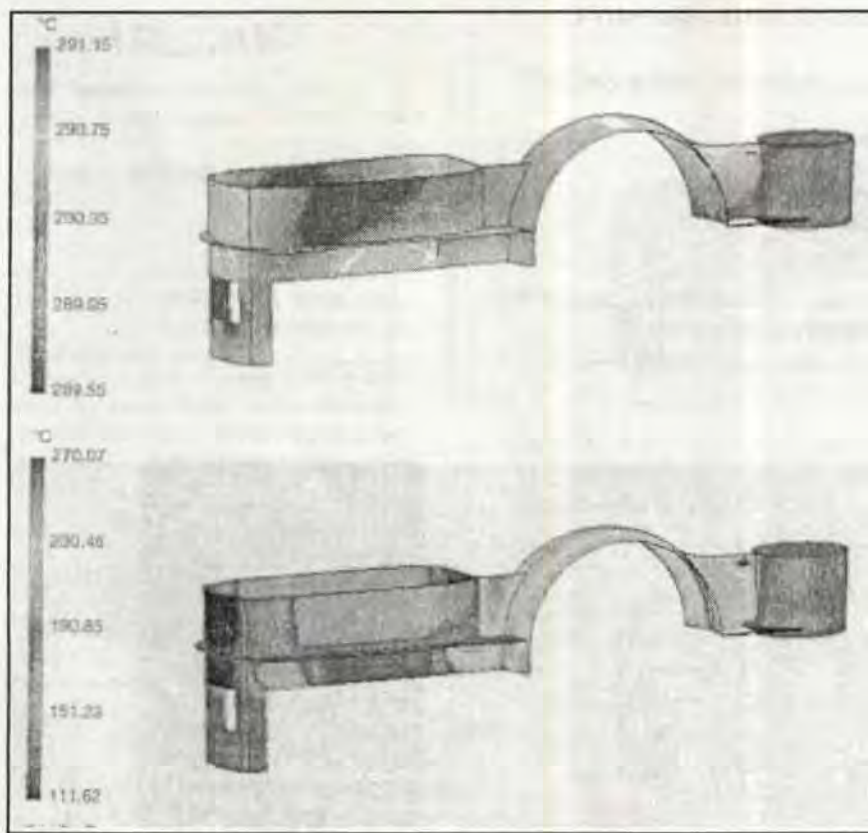


Figura 4. Distribución de la temperatura al cabo de un enfriamiento corto (arriba) y prolongado (abajo) - Material: PA

Debido a los grandes espesores de pared del prototipo, se presenta una considerable contracción del volumen en las partes gruesas del arco y de las uniones, lo cual conduce a largos tiempos de enfriamiento (figura 4) y, posiblemente, a rechupes y poros. Cuando se usan poliamidas de diferentes tipos, el comportamiento de contracción es diferente, lo cual es más pronunciado en las áreas gruesas. De esta manera, las computaciones de simulación pueden orientar al proyectista desde la selección del material.

### ÁREA CRÍTICA DE LA PIEZA

La unión no positiva, relevante para un funcionamiento seguro de la pieza, es sobrepuesta en la zona del cono, por fuerzas periféricas y axiales (figura 5).

Para esta zona se determinó, bajo el supuesto de un comportamiento elástico lineal de tensión: elongación, en primer lugar la tensión comparativa según von Mises y Henky. La carga superficial mediante unión no positiva se efectuó, induciendo esfuerzos en puntos a lo largo de la circunferencia del cono. De este cálculo resultaron tensiones comparativas en el área del cono de  $\approx 55$  MPa, que se encuentran muy por debajo de la resistencia a la tracción de 250 MPa.

Hay principalmente dos factores que podrían disminuir la resistencia en esta zona: la línea de unión y tensiones inducidas por la post-presión. Puesto que no existen valores característicos para la resistencia de la línea, hay que obtenerlos empíricamente mediante estudios en el prototipo.

### LOS PROTOTIPOS COMO BASE

Una vez modificado el sistema de bebederos y cerrado el rebosadero del molde existente para colada a presión de metales, se insertó la cavidad para el moldeo por inyección de los prototipos. Para la fabricación de estas piezas inyectadas, se usó no sólo las poliamidas con carga de fibra corta, como en la simulación, sino también PA 66 reforzada con 40% al 60% de fibra larga (productor: Ticona y LNP) para su comparación.

Con el fin de confrontar los resultados de la simulación con el proceso de moldeo real, se hicieron estudios de llenado con el molde modificado y se analizó la conformación de los cordones. En las piezas reales se observó poca contracción y poca deformación. Por tanto, sería fácil adaptar los demás componentes del conjunto que ya existen, y lograr su integración al freno, sin mayor problema. Al montar el cilindro del freno y apretar los tornillos, inicialmente se mostraron fallas en el cordón de soldadura en el área del cono, tal como se había previsto. Fue posible mejorar la unión de flujos, instalando un rebosadero al final del recorrido del flujo, en la zona del cordón. Así el momento máximo de apriete aumentó de 1,5 a 5 Nm, sin provocar fallas en el cordón.

Aplicando carga alternante en el cilindro de freno montado, y con los tornillos apretados, se presentó rotura por elongación excesiva en la zona de atornillado, después de determinado tiempo. Esta falla de la pieza pudo observarse también en la pieza metálica, por la misma razón. Además, el área del cono en la pieza polimérica es demasiado elástica y/o tiende a la fluencia, de manera que se ensancha. Para reducir la deformación por flexión se hace necesario una modificación, acorde con el polímero,

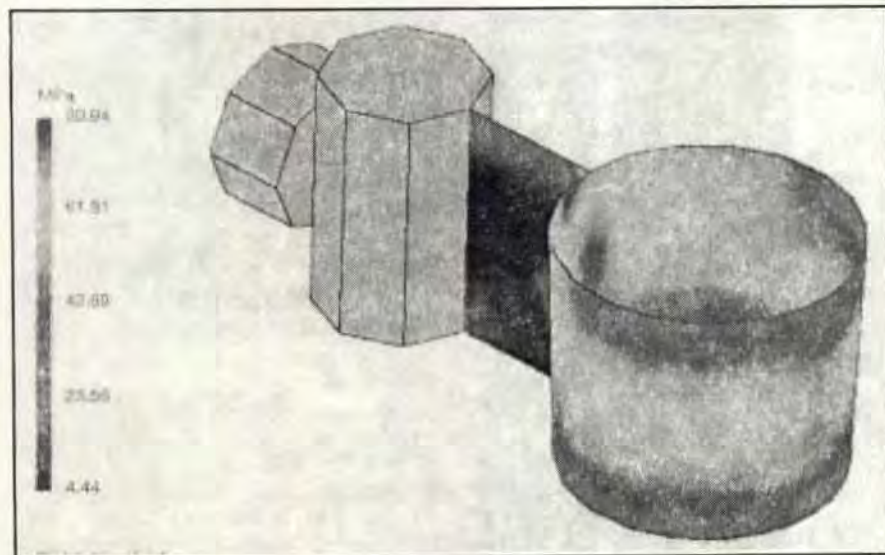


Figura 5. Distribución de la tensión normal en el área del cono - (material: PA semi-aromática)

mediante nervios de refuerzo, o un diseño completamente nuevo de la unión, por ejemplo mediante dentado.

Actualmente, los ensayos de laboratorio son complementados por pruebas de funcionamiento en la bicicleta. Según los primeros resultados, la PA 66 reforzada con fibra larga de vidrio parece ser el material más apto para la sustitución de la aleación de aluminio, ante todo por sus propiedades mecánicas. Esta apreciación, sin embargo, aun debe ser corroborada por su estabilidad a temperaturas y humedad y su comportamiento a largo plazo.

### BALANCE DE COSTOS

Para una evaluación económica de la sustitución de piezas de fundición a presión por piezas plásticas, se toman como referencia los costos de fabricación y mecanizado posterior de las piezas de aluminio moldeadas por colada a presión. La base del cálculo es el cálculo estático de inversión, puesto que el volumen de inversión esperado no es significativo

y no se generan grandes variaciones de costos y beneficios durante la vida útil del producto.

En comparación con el molde de colada a presión, el molde de inyección tiene una vida útil por lo menos tres veces mayor.

De la evaluación económica resulta una reducción de costos de un 50% y un tiempo de amortización de tan solo tres meses, en el caso de comprar los moldes de inyección (\*3). Este enorme potencial de ahorro se debe a que no se necesitan procesos de tratamiento posterior, como por ejemplo el rebabado, el arenado y el barnizado. Además se hacen obsoletas las etapas intermedias de logística y aseguramiento de la calidad.

### ALTO POTENCIAL DE SUSTITUCIÓN

Los avances en las tecnologías de la medición y del molde abren un gran potencial para la sustitución de metales por polímeros en la fabricación de componentes de la

mecánica de alta precisión. Así surge un vasto campo nuevo de aplicación técnica para los materiales plásticos, que merece un estudio más profundo en un futuro.

### BIBLIOGRAFÍA:

1. Schreiber, M.-- Konkurrenz für Metalldruckgusslegierungen = Competencia para las aleaciones de fundición a presión En: *Plastverarbeiter* Vol. 48, No. 8, 1997, p. 66-67.
2. Schulz, T.-- Unveröffentlichte Diplomarbeit = Tesis de grado sin publicar. Institut für Kunststofftechnologie, Universität Stuttgart 1997.
3. Dworschak, A.-- Unveröffentlichte Projektarbeit an der Deutschen Angestellten Akademie in Zusammenarbeit mit der Magura GmbH, Stuttgart = Proyecto no publicado de la Academia Alemana de Empleados, en cooperación con la Magura GmbH Stuttgart.

*Traducción realizada para el INFORMADOR TÉCNICO por: Ilse Koenig de Laverde, Instructora CDT-ASTIN, SENA-Regional Valle del Cauca.*

Tomado de: OLZ, Robert; CAVIC, Milan; SCHULZ, Thomas. -- *Werkstoffsubstitution erfordert Formteilmodifikation. - Analyse zur Substitution von Metalldruckgusslegierungen durch faserverstärkte Hochleistungskunststoffe.* -- En: *Kunststoffe*, Vol. 88 No. 5 mayo 1998, páginas 642, 644, 646-647.

