

## Condiciones preferibles del mecanizado para elaborar probetas de ensayo Charpy, según análisis multifactorial

### Preferable conditions of the automated one to elaborate rehearsal test Charpy, according to multifactor analysis

Suárez\*, Roberto; Sarache, Luis y Chacón, Rubén  
Escuela de Ingeniería Mecánica, Dpto. de Tecnología y Diseño  
Universidad de Los Andes. Mérida. Venezuela  
\*jsuarez@ula.ve

Recibido: 20-05-2004

Revisado: 12-02-2007

#### Resumen

*En el presente trabajo se averiguan las condiciones del mecanizado preferible para elaborar probetas de ensayo Charpy con entalla en V, en acero SAE 1045. El objetivo es conseguir probetas con las cuales, en los resultados del ensayo de impacto, se atenúe la influencia de las características dejadas por el mecanizado de la entalla y se destaque la influencia de la naturaleza del material. Se consideraron las siguientes variables: a) velocidad del avance de la mesa de la fresadora en los niveles de 56 y 140 mm/min, b) profundidad del corte en nivel de dos pasadas sucesivas de 1,7 y 0,3 mm y en nivel de una sola pasada de 2,0 mm, y c) aplicación y no aplicación de fluido de corte. Partiendo del postulado de que las entallas preferibles son aquellas que en el ensayo de impacto generan alto consumo de energía, se ejecutaron mecanizados acordes con un experimento multifactorial 2<sup>3</sup>. Se ejecutaron ocho tratamientos con diez probetas cada uno, y luego éstas fueron sometidas a impacto para determinar la energía absorbida. El análisis multifactorial aplicado a los resultados indica que el efecto significativo lo posee la aplicación del fluido de corte.*

**Palabras claves:** Probeta Charpy, mecanizado, análisis multifactorial.

#### Abstract

*Present work deals with the preferable conditions of the automated one to elaborate test of rehearsal of Charpy with it fits in V in SAE 1045 steel. The object it is to get test tubes with those which, in the results of the impact rehearsal, attenuate the influence of the characteristics left by the automated one to it fits her and stand out the influence of the nature of the material. The following variables were considered: a) the speed of the advance of the table of the milling machine in the levels of 56 and 140 mm/min, b) the depth of the cut in level of two successive passings of 1,7 and 0,3 mm and in level of a single passing 2,0 mm, and c) the application and not application of court fluid. Leaving of the postulate that you fit them preferable they are those that generate high energy consumption in the impact rehearsal, the automated ones they were executed chord with a multifactor experiment 2<sup>3</sup>. Eight treatments were executed with ten test tubes each one, and then these were subjected to impact to determine the absorbed energy. The analysis Multifactorial applied to the results indicates that the significant effect possesses it the application of the court fluid.*

**Key words:** Charpy specimen, mechanized, multifactor analysis.

## 1 Introducción

Las entallas elaboradas en probetas del ensayo de impacto de Charpy, son concentradores de esfuerzos cuyas características (forma, dimensiones y acabado superficial) influyen en el valor del resultado de energía absorbida obtenido del ensayo. Esto ha constituido siempre - como en trabajos actuales del Laboratorio de Ensayos Mecánicos de la escuela de Ingeniería Mecánica - ULA - una dificultad en la caracterización de los materiales metálicos según sus resistencias al impacto, pues la influencia de las características superficiales dejadas en la entalla por el mecanizado, no puede ser separada de la influencia de la sola naturaleza del material. Puesto que la primera de esas dos influencias es una interferencia inevitable, resulta necesario por lo menos atenuarla. Mediante el diseño y análisis multifactorial, este proyecto se orienta a conseguir una satisfactoria combinación de variables del mecanizado y los efectos individuales y/o de interacción de esas variables, de modo tal que el mecanizado de las entallas produzca una máxima revelación del comportamiento mecánico de la naturaleza del material al ser sometido en forma de probetas al ensayo de Charpy.

## 2 Fase pre-experimental.

Considerando el universo de variables del mecanizado en la técnica del grupo nominal, con personal calificado en las áreas de materiales y de procesos de fabricación por

arranque de viruta, así como bibliografía sobre el tema: Barbashov (1981), Alting (1996), fueron determinadas, por efecto de ponderación, tres variables que se consideran significativas dentro del proceso. Dos de ellas son de carácter cuantitativo y una es cualitativa. Las cuantitativas son la velocidad del avance de la mesa de la fresadora y la profundidad del corte, en tanto que la cualitativa es el fluido de corte en el sentido de su aplicación o no aplicación. Para las tres variables fueron establecidos los niveles indicados en la Tabla 1.

Por definición de Montgomery (1991), el análisis multifactorial es una metodología para cuya aplicación se inducen cambios deliberados en las variables de entrada de un proceso, con la finalidad de observar e identificar los cambios en la respuesta de salida y sus causas. Entre sus objetivos se encuentran el determinar las variables que tienen mayor influencia en la respuesta de salida, el rango de variables que minimizan el error y los efectos de otras variables, para mejorar el rendimiento de un producto o proceso de manufactura. Si en un experimento son considerados dos o más factores (variables) de entrada, el diseño experimental factorial puede ser aplicado mediante alguno de los siguientes modelos: modelo factorial  $L^k$  o modelo factorial fraccionado  $L^{k-p}$ ; donde  $L$  es el número de niveles de cada variable,  $k$  es el número de variables de entrada consideradas y  $p$  es el número de generadores. En este caso ha sido utilizado un modelo factorial  $2^3$ .

Tabla 1. Variables de estudio en el diseño experimental factorial  $2^3$  aplicado al proceso de elaboración de las probetas del ensayo Charpy.

Variable seleccionada	Notación	Carácter de la variable	Nivel de la variable	
			Bajo (-).	Alto (+).
Velocidad del avance de la mesa de la fresadora	$V_f$	Cuantitativa	56 mm/min.	140 mm/min.
Profundidad del corte	$a_e$	Cuantitativa	(1,07 + 0,3) mm	2 mm
Aplicación de fluido de corte	L	Cualitativa	No	Sí

## 3 Postulado

El presente trabajo fue concebido como una averiguación, sin hipótesis, de las influencias de las variables seleccionadas sobre la atenuación de la influencia de las características de las entallas en los resultados del impacto y, con lo mismo, ausencia de hipótesis acerca de las condiciones del maquinado que mejor podrían revelar el comportamiento mecánico de la naturaleza del material ante tal carga. No obstante, fue erigido el siguiente postulado: *mejor revelación del comportamiento mecánico de la naturaleza de un material metálico ante cargas de impacto, se logra cuando - usando probetas (entalladas) de un determinado tipo -*

*mayores son en el impacto los resultados de absorción de energía.* Con esto se admite la conocida influencia de las entallas en el sentido de provocar en el impacto menor consumo de energía por efecto de la concentración de esfuerzos, factor éste extraño a la naturaleza del material. Concentradores de esfuerzos pueden ser también rugosidades en el fondo de la entalla.

## 4 Fase experimental.

Las probetas fueron elaboradas acorde con la norma ASTM24-8891 (Figs. 1 y 2).

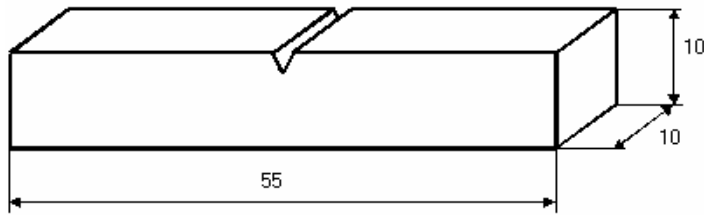


Fig. 1 Forma y dimensiones (mm) de las probetas

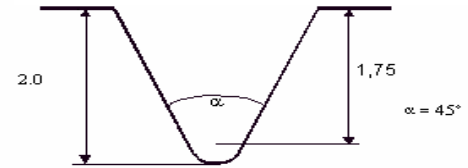


Fig. 2 Características de la entalla

El material utilizado (acero venezolano SAE 1045, con dureza de 252 unidades Vickers) fue adquirido en forma de una barra de sección cuadrada de  $\frac{1}{2}$ " x  $\frac{1}{2}$ ", con perfil no calibrado. El haber seleccionado para la elaboración de las entallas tres variables del mecanizado, cada una en dos niveles, implica diseño experimental con modelo factorial  $2^3$ , es decir, ocho diferentes tratamientos (diferentes combinaciones de las tres variables del mecanizado seleccionadas). En la Tabla 2 se pueden observar las combinaciones correspondientes a cada uno de los tratamientos. En cada tratamiento fueron empleadas diez probetas. Antes de hacerles las entallas todas las probetas fueron sometidas a recocido de regeneración para aliviarles tensiones y uniformizar la micro estructura. La dureza después del tratamiento térmico quedó en 170 unidades Vickers. Las dimensiones de las probetas, aún sin entallas, se consiguieron usando una fresa marca Sandvik de plaquitas intercambiables, recomendada para este tipo de operación. Por exigencias de precisión geométrica y dimensional, para hacer las entallas fue empleada una fresa completamente nueva de acero super-rápido (HSS), bicónica con un ángulo de  $45^\circ$  y 30 dientes. Para elaborarles las entallas las probetas fueron tomadas aleatoriamente del orden en que habían sido extraídas de la barra inicial. Finalmente las pruebas de impacto fueron ejecutadas usando un martillo de Charpy marca Tinius Olsen. Este martillo genera una energía cinética igual a 36,5 kgf-m, con velocidad del péndulo igual a 5,144 m/seg en el momento del impacto contra la probeta. También fue aleatorio

el orden en que las probetas fueron sometidas al ensayo de impacto. La Tabla 3 contiene los resultados de energía absorbida por las probetas.

### 5 Fase post-experimental

El diseño experimental aplicado puede ser representado gráficamente mediante un cubo (Fig. 3). Cada vértice del cubo representa un tratamiento y en cada tratamiento se indica el valor promedio de la energía absorbida. El efecto de cada variable y los efectos de sus interacciones fueron calculados mediante las ecuaciones descritas por Box y Hunter (1978) y contenidas en el programa SEMPRO, elaborado por Torres (1997). La tabla 4 contiene los resultados de los cálculos arrojados por SEMPRO considerando los datos presentados en la Fig.3. La tabla 4, aparte de los valores de los efectos principales y de interacción, contiene también los valores de la desviación  $s$  y sus múltiplos  $2s$  y  $3s$  y los valores del cociente del efecto entre las desviaciones. Considerando los valores contenidos en las tres últimas columnas de la tabla 4, se observa que sólo en el caso de la variable individual  $L$  el efecto  $E_f$  es mayor que una vez la desviación  $s$ , siendo el cociente  $E_f/s = 1,27$ . Esto indica que en los tratamientos aplicados el único efecto significativo es el efecto principal  $E_f = 0,1540$  correspondiente a la variable  $L$  (lubricación). Por consiguiente se prescinde de analizar los efectos de las interacciones entre dos y las tres variables.

Tabla 2. Tratamientos aplicados en la elaboración de las entallas

Tratamientos aplicados			
Ordinal	Velocidad del avance de la mesa de la fresadora $V_f$	Profundidad del corte $a_c$	Lubricación $L$
1°	-	-	-
2°	+	-	-
3°	-	+	-
4°	+	+	-
5°	-	-	+
6°	+	-	+
7°	-	+	+
8°	+	+	+

Tabla 3 Resultados de las pruebas de impacto en cada uno de los tratamientos aplicados

Tratamientos				Réplicas R (resultados de la energía absorbida) obtenidas en cada uno de los ocho tratamientos (kgf-m)									
Ordinal	Velocidad del avance $V_f$	Profundidad del corte $a_e$	Lubricación L	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10
1°	-	-	-	3,00	3,15	3,00	3,35	3,15	2,55	3,70	3,55	4,50	3,95
2°	+	-	-	3,40	3,25	3,35	4,25	3,25	3,55	3,05	2,90	2,80	3,65
3°	-	+	-	2,90	3,65	3,25	3,40	3,55	3,40	3,45	3,75	4,55	2,75
4°	+	+	-	3,25	3,40	3,65	3,80	3,55	3,25	3,55	3,85	3,05	3,35
5°	-	-	+	3,45	3,75	3,70	3,85	3,65	3,15	3,55	3,75	4,15	3,00
6°	+	-	+	3,15	3,65	3,10	4,55	3,75	3,15	3,15	4,30	2,95	3,95
7°	-	+	+	3,35	3,55	3,55	3,35	3,25	3,15	4,55	4,10	2,65	4,30
8°	+	+	+	2,75	3,70	3,90	3,70	4,00	3,55	4,45	3,00	2,85	3,45

Tabla 4 Resultados de la aplicación del programa SEMPRO

Variables	Valor del efecto $E_f$	s	2s	3s	$\frac{E_f}{s}$	$\frac{E_f}{2s}$	$\frac{E_f}{3s}$
$V_f$	-0,0290				0,24	0,12	0,08
$a_e$	0,0360				0,30	0,15	0,10
L	0,1540				1,27	0,64	0,42
$V_f \otimes a_e$	0,0090	0,1210	0,2420	0,3631	0,07	0,04	0,02
$V_f \otimes L$	-0,0090				0,07	0,04	0,02
$a_e \otimes L$	-0,0660				0,55	0,27	0,18
$V_f \otimes a_e \otimes L$	-0,0150				0,12	0,06	0,04

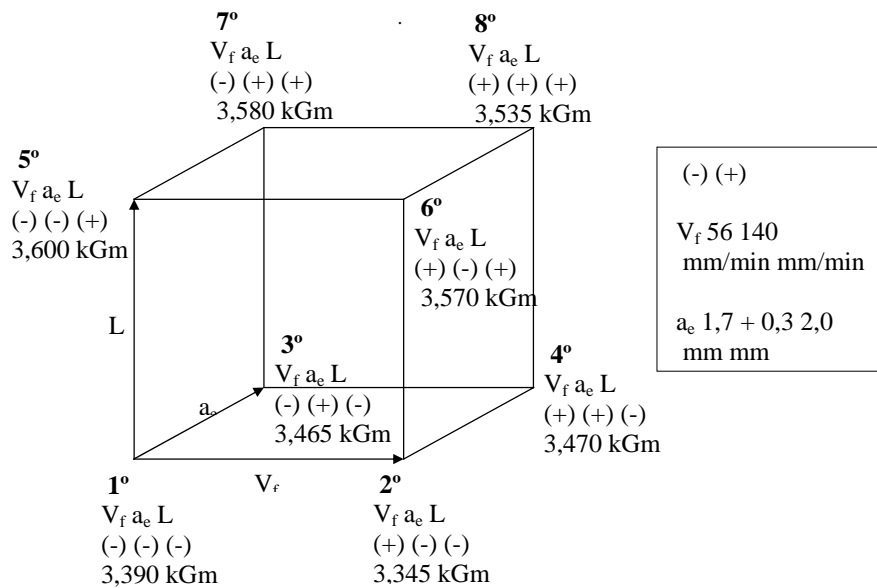


Fig. 3 Representación gráfica del diseño experimental 2<sup>3</sup> y promedios de energía en cada tratamiento

## 6 Discusión

El análisis multifactorial ha revelado que la lubricación es la única variable de efecto significativo entre las que fueron seleccionadas para realizar los tratamientos. A la vez, en la Fig. 3 se observa que los mayores valores de energía absorbida corresponden a los tratamientos en los cuales se aplicó lubricación. El fenómeno del efecto positivo de la lubricación en el aumento de la energía absorbida, puede ser explicado con base en el hecho ampliamente difundido en revistas especializadas y textos, por ejemplo Doyle (1998), de que la lubricación propicia y produce mejores acabados superficiales. Una entalla con mejor acabado superficial, principalmente en su fondo, es una entalla con atenuada capacidad de concentrar esfuerzos y, en consecuencia, en ella es dificultada la iniciación de la grieta de rotura debida al impacto. En tal circunstancia la naturaleza propia del material manifiesta en mayor grado su oposición a la rotura ante la carga de impacto. Estas razones conducen a admitir que el postulado erigido en el inicio de este trabajo, halla apoyo en los resultados encontrados.

## 7 Conclusiones

El análisis multifactorial aplicado al proceso de elaboración de entallas en probetas de impacto, considerando como variables del mecanizado la velocidad del avance de la mesa de la fresadora en dos niveles (56 y 140 mm/min), la profundidad del corte en dos niveles (dos pasadas sucesivas de 1.7 y 0.3 mm cada una, y una sola pasada de 2,0 mm) y el fluido de corte en dos niveles (aplicación y no aplicación), indica que sólo la aplicación del fluido de corte (lubricación) ejerce efecto significativo en el incremento de la energía absorbida por dichas probetas al ser sometidas a impacto.

Puesto que la influencia (efecto significativo) de la aplicación del fluido de corte (lubricación) incide positivamente en la calidad del acabado superficial de las entallas, se infiere que es el mejor acabado superficial el factor que incrementa los valores de la energía absorbida por las probetas en el impacto.

Un mejor acabado superficial de las entallas, particularmente en sus fondos, debe causar dificultad a la iniciación de la grieta producida por el impacto y, en tal circunstancia, es muy probable que el proceso de la iniciación de la grieta pase a depender sensiblemente de la resistencia que le oponga la naturaleza del material.

Puesto que los más deseados resultados de un ensayo de impacto son aquéllos en los cuales la influencia de la naturaleza del material es más acentuada, de este trabajo se infiere la conveniencia de aplicar siempre fluido de corte durante la elaboración de las entallas.

## Referencias

- Althing L, 1996, Proceso para ingeniería de manufactura, Alfaomega grupo Editor S.A., México.
- Barbashov F, 1981, Manual del fresador, segunda edición, Editorial MIR, Moscú.
- Box GE, Hunter WS. y. Hunter JS, 1978, Statistics for experiments, Wiley & Sons, New York.
- Doyle L, 1998, Procesos y materiales de manufactura para ingenieros, Pretice-Hall Hispanoamericana, México.
- Montgomery C, 1993, Diseño de experimentos para ingeniería, McGraw Hill, México.
- Torres A, 1997, Sistema para la evaluación multifactorial de procesos u organizaciones (SEMPRO), Tesis de maestría; Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela.