

T  
CAÑe

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECANICA

"ESTUDIO DE PROBLEMAS RELATIVOS A LA MECANIZACION  
POR RECTIFICADO"

TESIS DE GRADO

PREVIA A LA OBTENCION DEL TITULO DE:

INGENIERO MECANICO

PRESENTADA POR:

LUIS ALEJANDRO L CAÑOTE FIGUEROA

GUAYAQUIL - ECUADOR

1983

# AGRADECIMIENTO



AL ING. MANUEL HELGUERO G.  
DIRECTOR DE TESIS, POR SU  
AYUDA Y COLABORACION PARA LA  
REALIZACION DE ESTE TRABAJO.



# DEDICATORIA

- A MIS PADRES

- A MIS HERMANOS

*Manuel Helguero G.*

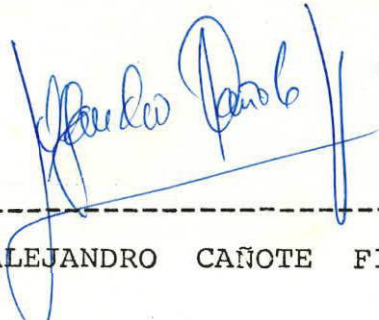
-----  
ING. MANUEL HELGUERO G.

DIRECTOR DE TESIS

## DECLARACION EXPRESA

"LA RESPONSABILIDAD POR LOS HECHOS, IDEAS Y DOCTRINAS EXPUESTOS EN ESTA TESIS, ME CORRESPONDEN EXCLUSIVAMENTE; Y, EL PATRIMONIO INTELECTUAL DE LA MISMA, A LA ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL".

(REGLAMENTO DE EXAMENES Y TITULOS PROFESIONALES DE LA ESPOL).



LUIS ALEJANDRO CAÑOTE FIGUEROA

## RESUMEN

El rectificado es una operación cuyo objetivo es darle a una pieza que ha sido desbastada previamente, su forma y dimensión dentro de límites de tolerancia muy pequeños. Esto hace que haya la necesidad de ceñirse estrictamente a las normas que lo rigen para evitar que se presenten los problemas que son materia de nuestro estudio.

El Capítulo I, expone los principios del rectificado, haciendo énfasis sobre la importancia de la herramienta de corte, factor decisivo en el resultado de la operación.

El Capítulo II, trata sobre los problemas más comunes que se presentan.

El Capítulo III, relata el procedimiento a seguirse presentando las piezas que tomaron parte en nuestra investigación: unos dados de troquel que se partían al ser rectificados y unas cuchillas que se partían estando ya en uso y otras que se quemaban al momento de rectificarlas. Así mismo expli

ca el mecanismo seguido para establecer la influencia que ejercen los parámetros de corte sobre el proceso.

El Capítulo IV, analiza los resultados llegando a concluir que la rotura de los dados se debía a que la muela no era rectificada correctamente y que, lo que sucedía con las cuchillas era que el temple de las mismas no era eficiente. Las quemaduras se debían al embotamiento de la muela por incremento del avance.

Además, se llegó a establecer una relación entre los principales parámetros de corte y los costos mínimos para lograr un buen rendimiento de la muela y un aceptable acabado superficial.



## INDICE GENERAL

---

	<u>PAGS.</u>
RESUMEN -----	VI
INDICE GENERAL -----	VIII
INDICE DE FIGURAS -----	XII
INDICE DE TABLAS -----	XV
INTRODUCCION -----	18
CAPITULO I	
PRINCIPIOS Y PRACTICA DEL RECTIFICADO -----	20
1.1. EL PROCESO DE RECTIFICADO -----	21
1.2. TIPOS DE RECTIFICADO MAS USUALES -----	25
1.3. MUELAS ABRASIVAS -----	39
1.3.1. Tipos -----	40
1.3.2. Abrasivos -----	45
1.3.3. Aglomerantes -----	50
1.4. PROPIEDADES DE UNA MUELA -----	52
1.4.1. Tamaño de grano -----	52
1.4.2. Grado o dureza -----	53

1.4.3. Estructura -----	54
1.5. PARAMETROS A CONSIDERAR EN EL RECTIFICADO	58
1.5.1. Velocidad de la muela -----	58
1.5.2. Velocidad de la pieza -----	59
1.5.3. Avance de la mesa -----	60
1.5.4. Profundidad de corte -----	61

## CAPITULO II

## PROBLEMAS MAS COMUNES EN EL PROCESO DE RECTIFI

CADO -----	63
2.1. ACABADO SUPERFICIAL -----	64
2.1.1. Marcas de rechinado -----	65
2.1.2. Rayaduras -----	68
2.1.3. Efectos de la vibración -----	70
2.2. REFRIGERACION INADECUADA -----	73
2.2.1. Embotamiento de la muela -----	73
2.2.2. Quemaduras -----	76
2.2.3. Esfuerzos residuales -----	77

## CAPITULO III

## MODALIDAD DE PRUEBA

3.1. MATERIALES A MECANIZARSE -----	79
3.1.1. Contenido de Carbono -----	79
3.1.2. Tratamiento térmico -----	81

3.2. SELECCION DE LAS MUELAS ABRASIVAS -----	82
3.2.1. Factores constantes -----	82
3.2.2. Factores variables -----	84
3.3. SELECCION DE PARAMETROS DE CORTE -----	87
3.4. TECNICA EXPERIMENTAL -----	89
3.4.1. Determinación de la razón de rec tificado -----	91
3.4.2. Determinación de la rugosidad ---	96
3.4.3. Determinación de la velocidad de arranque de viruta -----	99
3.4.4. Determinación de los costos de mecanización -----	103
CAPITULO IV	
ANALISIS DE RESULTADOS -----	107
4.1. RELACION ENTRE LA RAZON DE RECTIFICADO Y LA VELOCIDAD DE LA PIEZA -----	123
4.2. RELACION ENTRE LA RUGOSIDAD Y LA VELOCI- DAD DE LA PIEZA -----	129
4.3. RELACION ENTRE LA RAZON DE RECTIFICADO , LA RUGOSIDAD Y LA VELOCIDAD DE ARRANQUE DE VIRUTA -----	134
4.4. RELACION DE LOS COSTOS CON LA RUGOSIDAD Y EL RENDIMIENTO DEL PROCESO -----	135

PAGS.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES -----	151
BIBLIOGRAFIA -----	154

# INDICE DE FIGURAS

<u>Nº</u>		<u>PAGS.</u>
1	CONTACTO ENTRE MUELA Y PIEZA -----	22
2	RECTIFICADO CILINDRICO LONGITUDINAL -----	27
3	MUELA DISPUESTA OBLICUAMENTE -----	29
4	RECTIFICADO CILINDRICO PENETRANTE -----	31
5	RECTIFICADO CILINDRICO INTERIOR -----	32
6	RECTIFICADO CILINDRICO INTERIOR CON PIEZA - DE GRAN MAGNITUD -----	33
7	RECTIFICADO CILINDRICO SIN PUNTAS -----	35
8	RECTIFICADO DE SUPERFICIES PLANAS -----	37
9	MUELA PLANA -----	41
10	MUELA PLANA VACIADA EN UN FLANCO -----	41
11	MUELA PLANA VACIADA EN AMBOS FLANCOS -----	41
12	MUELA CILINDRICA -----	43
13	MUELA BICONICA -----	43
14	MUELA DE VASO RECTO -----	43
15	MUELA DE VASO ENSANCHADO -----	44
16	MUELA DE PLATO -----	44
17	MUELA DE PLATILLO -----	44
18	TIPOS DE CARA DE MUELA -----	46
19	MUELAS MONTADAS -----	47



<u>Nº</u>		<u>PAG</u>
20	FORMA DE ELIMINACION DE LA CARGA DE LA MUELA--	51
21	ESTRUCTURA DE LA MUELA -----	55
22	SISTEMA DE MARCADO DE LAS MUELAS -----	57
23	VARIOS TIPOS DE MUELAS -----	62
24	RECTIFICADO DE LA MUELA CON DIAMANTE -----	66
25	PIEZA QUE PRESENTA EL FENOMENO DE "COLA DE PEZ"	71
26	FORMA DE ACTUAR DEL LIQUIDO REFRIGERANTE-----	74
27	GRANULOMETRIA DE LA MUELA SECCIONADA -----	86
28	MAQUINA RECTIFICADORA PARA SUPERFICIES PLANAS DONDE SE LLEVARON A CABO LAS PRUEBAS ----	88
29	PIEZAS ROTAS. LA SUPERIOR PRESENTA ADEMAS - UNA RAJADURA -----	110
30	MICROESTRUCTURA DE UNA CUCHILLA BIEN RECTIFICA DA 150X.-----	111
31	MICROESTRUCTURA DE UNA CUCHILLA ROTA LUEGO DE RECTIFICAR, 200X -----	112
32	PIEZA CON QUEMADURAS SUPERFICIALES -----	114
33	MICROESTRUCTURA DE UNA CUCHILLA QUEMADA(ZO NA BLANCA), 750 X -----	115
34	PIEZA ALABEADA -----	119
35	MICROESTRUCTURA DE UNA CUCHILLA QUEMADA Y ALA BEADA, 750 X -----	120
36	MICROFOTOGRAFIA QUE MUESTRA LOS RELIEVES DEJA DOS EN LA SUPERFICIE DE UNA CUCHILLA RECTIFI- CADA CON EXCESIVA PENETRACION DE CORTE, 50X ---	122

<u>Nº</u>		<u>PAG.</u>
37	RAZON DE RECTIFICADO K Vs. VELOCIDAD PERIFERI CA DE LA PIEZA $V_p$ . (CUCHILLAS)-----	126
38	RAZON DE RECTIFICADO K Vs. VELOCIDAD PERIFERI CA DE LA PIEZA $V_p$ . (DADOS)-----	128
39	RUGOSIDAD R Vs. VELOCIDAD PERIFERICA DE LA PIEZA $V_p$ . (CUCHILLAS)-----	131
40	RUGOSIDAD R Vs. VELOCIDAD PERIFERICA DE LA PIE ZA $V_p$ (DADOS)-----	133
41	RAZON DE RECTIFICADO K Y RUGOSIDAD R Vs. VELO CIDAD DE ARRANQUE DE VIRUTA Z (CUCHILLAS)----	137
42	RAZON DE RECTIFICADO K Y RUGOSIDAD R Vs. VELO CIDAD DE ARRANQUE DE VIRUTA Z (DADOS)-----	139
43	COSTOS C Vs. VELOCIDAD PERIFERICA DE LA PIEZA - $V_p$ (CUCHILLAS )-----	142
44	COSTOS C Vs. VELOCIDAD PERIFERICA DE LA PIEZA - $V_p$ . (DADOS)-----	144
45	RAZON DE RECTIFICADO K, RUGOSIDAD R Y COSTOS C Vs. VELOCIDAD DE ARRANQUE DE VIRUTA Z (CUCHI LLAS)-----	147
46	RAZON DE RECTIFICADO K, RUGOSIDAD R Y COSTOS C Vs. VELOCIDAD DE ARRANQUE DE VIRUTA Z. (DADOS)-	149

# INDICE DE TABLAS

<u>Nº</u>		<u>PAGS</u>
I	DETERMINACION DEL AVANCE POR CARRERA DE CORTE Y LA VELOCIDAD PERIFERICA - DE LA PIEZA (CUCHILLAS)-----	92
II	DETERMINACION DEL AVANCE POR CARRERA DE CORTE Y LA VELOCIDAD PERIFERICA - DE LA PIEZA (DADOS)-----	93
III	DETERMINACION DE LA RAZON DE RECTIFI CADO (CUCHILLAS)-----	97
IV	DETERMINACION DE LA RAZON DE RECTIFI CADO (DADOS)-----	98
V	DETERMINACION DE LA VELOCIDAD DE ARRANQUE DE VIRUTA (CUCHILLAS)-----	101
VI	DETERMINACION DE LA VELOCIDAD DE ARRANQUE DE VIRUTA (DADOS)-----	102
VII	DETERMINACION DE LOS COSTOS DE MECA NIZACION (CUCHILLAS)-----	106
VIII	DETERMINACION DE LOS COSTOS DE MECA NIZACION (DADOS) -----	107
IX	VALORES QUE RELACIONAN LA RAZON DE RECTIFICADO CON LA VELOCIDAD DE LA PIEZA (CUCHILLAS)-----	125

X	VALORES QUE RELACIONAN LA RAZON DE - RECTIFICADO CON LA VELOCIDAD DE LA PIEZA (DADOS) -----	127
XI	VALORES QUE RELACIONAN LA RUGOSIDAD CON LA VELOCIDAD DE LA PIEZA (CUCHI- LLAS) -----	130
XII	VALORES QUE RELACIONAN LA RUGOSIDAD CON LA VELOCIDAD DE LA PIEZA (DADOS) -	132
XIII	VALORES QUE RELACIONAN LA RAZON DE RECTIFICADO Y LA RUGOSIDAD CON LA VE- LOCIDAD DE ARRANQUE DE VIRUTA (CU- CHILLAS ) -----	136
XIV	VALORES QUE RELACIONAN LA RAZON DE RECTIFICADO Y LA RUGOSIDAD CON LA VE- LOCIDAD DE ARRANQUE DE VIRUTA (DADOS)	138
XV	VALORES QUE RELACIONAN LOS COSTOS - CON LA VELOCIDAD DE LA PIEZA (CUCHI - LLAS) -----	141
XVI	VALORES QUE RELACIONAN LOS COSTOS CON LA VELOCIDAD DE LA PIEZA (DADOS) -----	143
XVII	VALORES QUE RELACIONAN LA RAZON DE RECTIFICADO, LA RUGOSIDAD Y LOS COS- TOS CON LA VELOCIDAD DE ARRANQUE DE VIRUTA (CUCHILLAS) -----	146

XVIII VALORES QUE RELACIONAN LA RAZON  
DE RECTIFICADO, LA RUGOSIDAD Y  
LOS COSTOS CON LA VELOCIDAD DE  
ARRANQUE DE VIRUTA (DADOS) -----

148



## INTRODUCCION

El presente trabajo expone los resultados de una investigación experimental con el objeto de encontrar las causas y proponer soluciones a problemas reales relacionados con la mecanización por rectificado y que tienen que ver con herramientas de uso industrial; además, tomando como probetas las mismas herramientas, se efectúan una serie de pruebas encaminadas a valorar la influencia de los parámetros de corte sobre el rendimiento de la operación, el acabado superficial y los costos de mecanización para rectificado sobre superficies planas.

Es importante destacar el hecho de que en la mayoría de los casos prácticos en la industria, la operación de rectificado no es llevada a cabo correctamente, ya que no se seleccionan en forma adecuada los parámetros de corte y esto influye definitivamente en el resultado de la mecanización, sobretodo si la muela abrasiva es mal escogida, puesto que el rectificado es quizás la única operación cuya efica

cia depende primordialmente de la buena o mala selección de la herramienta de corte.

Esto era lo que sucedía con dos tipos de piezas como son unos dados de troquel para la confección de azulejos de cerámica que se partían al rectificar y unas cuchillas para el corte de pañales que, así mismo, presentaban problemas de rotura y quemaduras en su superficie, debido a que las condiciones de mecanizado no eran las correctas.

El mecanismo para lograr nuestros objetivos se detalla en el desarrollo del trabajo y está precedido por un resumen de los principios que rigen el rectificado y una breve exposición sobre los problemas más comunes que se presentan en la práctica del mismo.

## CAPITULO I

### PRINCIPIOS Y PRACTICA DEL RECTIFICADO

El rectificado es el proceso de remoción de mate rial en forma de pequeñas virutas por medio de la acción mecánica de partículas abrasivas dispuestas irregularmente en lo que se denomina muela abrasi va. En general, es un mecanizado fino de piezas - de gran precisión para producir acabados superfi ciales lisos con pequeñas tolerancias. Para lograrlo es necesario que la máquina se encuentre en excelentes condiciones de trabajo, su manejo sea el adecuado y, principalmente, la muela utilizada sea la apropiada para el material que se está me canizando.

La pieza a rectificar puede ser de cualquier di mensión o forma, de acuerdo a la capacidad de la máquina, así como también de cualquier clase de material, duro o blando. En la mayoría de los ca sos las piezas han sido desbastadas previamente en otra máquina. La función de la rectificadora es fa

cilitar la obtención de la precisión del producto, es decir, que las piezas acabadas pueden - ser producidas de un modo más rápido, mejor y más económico que si fueran mecanizadas por otra máquina - herramienta a su dimensión exacta.

Este Capítulo, presenta el proceso de rectificado en sí y sus tipos más usuales, trata con - principal atención sobre las muelas abrasivas y sus propiedades, y detalla en forma breve los parámetros considerados dentro del proceso.

### 1.1. EL PROCESO DE RECTIFICADO

Cuando una muela en rotación se pone en contacto con la pieza de trabajo, cada grano - que sobresale de la superficie de la misma - le arranca una diminuta viruta. A medida - que la muela avanza sobre la superficie de trabajo, la profundidad de corte se incrementa gradualmente hasta un máximo en algún lugar a lo largo del arco de contacto de la muela con la pieza (figura N<sup>o</sup> 1). Cuanto mayor es el diámetro de la pieza mayor es el arco de contacto para una muela dada y la





viruta que corta también es más larga. Si se desea en un tiempo determinado quitar la misma cantidad de material produciendo una viruta más larga, significa que la viruta será a la vez, más fina. Esto requiere menos presión de corte que si quitáramos la misma cantidad de material con una viruta más corta y más gruesa. El tener una presión de corte menor hace que la muela referida actúe más duramente con respecto a la pieza de trabajo logrando un menor desgaste de la muela y por consiguiente, una vida más larga. Es esta la razón por la cual se emplean muelas más blandas mientras mayores sean los diámetros de las piezas, más blandas aún si el rectificado es sobre superficies planas, y todavía más blandas para el rectificado de interiores.

El mismo concepto se utiliza al tratar sobre las variaciones en el área de contacto. Mientras mayor sea el área de contacto entre la muela y la pieza, más blanda debe ser la muela a usarse.

Paralelamente, si el área de contacto es más ex tensa, el espacio para las virutas debe ser incrementado para evitar un calentamiento exce sivo de la pieza; esto se logra usando una muela de grano más vasto, o estructura más abierta.

Otros factores que deben ser tomados en cuen ta en toda operación de rectificado son la velocidad periférica de la muela, la velocidad de la pieza, el avance de la mesa y la - profundidad de corte. Cuando todos estos fac tores son los correctos la mejor de las mue las actuará del mejor modo ya que están re lacionados entre sí y si alguno de ellos su fre variación, la acción de la muela cambia rá y su rendimiento será inferior al espe rado.

De todo lo dicho se desprende que la efica cia de una operación de rectificado depende primordialmente de la selección de la muela abrasiva. Esto se hace en base a la clase de material a rectificar, el arco o área de contacto y el acabado superficial que se de

see obtener. Una correcta selección de la - muela producirá excelentes resultados tanto en el acabado superficial cuanto en la eco nomía de la mecanización, además de la extrema da precisión que se logra en lo que se refiere a su geometría.

Más adelante se hablará con detalle sobre - las muelas abrasivas, sus tipos, componentes y propiedades.

#### 1.2. TIPOS DE RECTIFICADO MAS USUALES

Una de las características que distingue a las máquinas rectificadoras de los demás ti pos de máquinas - herramientas es la alta re lación que existe entre el peso y dimensiones de la máquina y el peso y dimensiones de las piezas mecanizadas. Es por esto que para obtener una gran precisión geométrica de las mismas la máquina debe mantenerse exenta de vibraciones. Otra característica de ellas es la presencia de órganos cuya alta velo cidad exige el mantenimiento de determinadas temperaturas.

Para alcanzar un alto grado de docilidad y sensibilidad a los mandos, características indispensables en este tipo de máquinas, es necesario darle mayor inercia a las vibraciones y mayor equilibrio e indeformabilidad a los órganos giratorios.

Las operaciones que se realizan en una máquina rectificadora pueden ser agrupadas en tres tipos principales:

- a. Rectificado cilíndrico exterior,
- b. Rectificado cilíndrico interior,
- c. Rectificado de superficies planas.

Además de esto, existen el rectificado de herramientas, el rectificado de roscas, el recrectificado por generación de flancos de dientes, el rectificado de forma y algunos procedimientos especiales tales como el rectificado de bolas, el destalonado, el rectificado no circular, el rectificado de eje de levas y cigueñales, etc.

En el rectificado cilíndrico exterior, una -

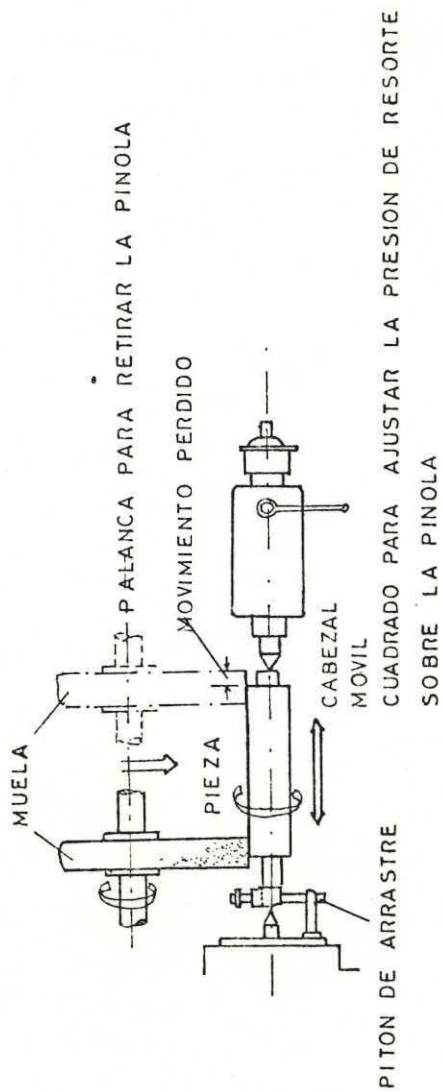


FIGURA Nº 2. - RECTIFICADO CILINDRICO LONGITUDINAL



de las características de las máquinas usadas con este propósito es que el cabezal portamuelas se encuentra en la parte trasera de la bancada y es el encargado de graduar la profundidad de arranque de viruta.

El cabezal fijo de la pieza y el cabezal móvil están sujetos sobre una mesa que se desplaza en dirección longitudinal. Las piezas se sujetan ya sea en voladizo o entre puntas.

En el rectificado cilíndrico exterior se dan dos casos: el rectificado longitudinal y el rectificado penetrante o en profundidad.

En el rectificado longitudinal (figura N° 2), generalmente es la pieza la que realiza el movimiento de giro y el longitudinal, excepto - cuando se trata de grandes máquinas. En este caso es el cabezal portamuelas el que realiza el movimiento longitudinal.

Existen cabezales portamuelas giratorios los cuales permiten la colocación de la muela en - forma oblicua (figura N° 3), haciendo posible rec

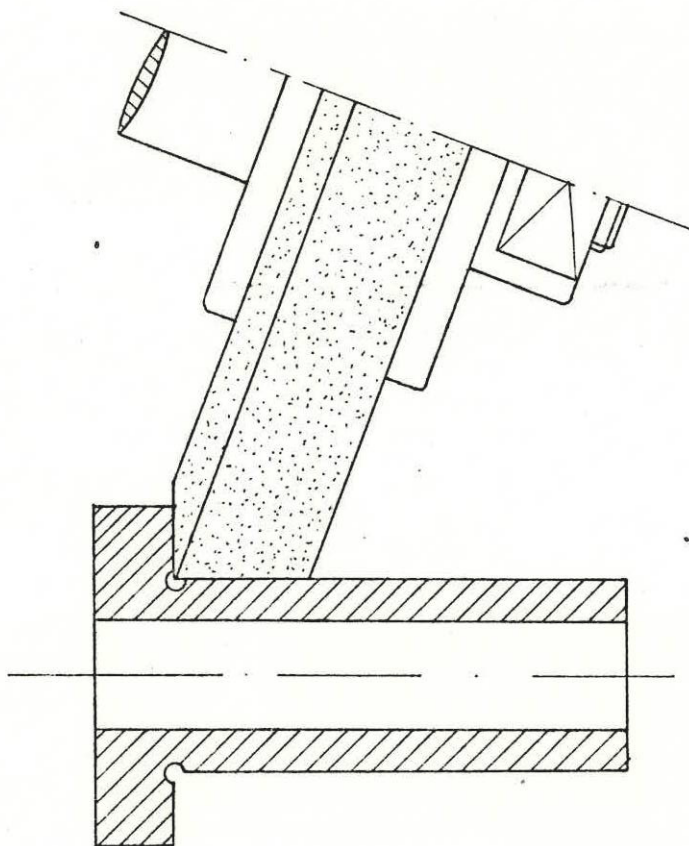


FIGURA N<sup>o</sup> 3. MUELA DISPUESTA OBLICUAMENTE

tificar las superficies de una misma pieza a la vez como, por ejemplo, una superficie cilíndrica y la frontal perpendicular a ésta y que forma un reborde.

En el rectificado penetrante o en profundidad (figura N<sup>o</sup> 4), la muela es aplicada en forma radial contra la pieza. De este modo es posible rectificar al mismo tiempo varios lugares con distintos diámetros, así como conos o redondeamientos. En este caso produce idénticos resultados en calidad y geometría que el anterior pero ahorrando mucho tiempo.

El rectificado cilíndrico interior (figura N<sup>o</sup> 5) es empleado en la mecanización de agujeros tanto cilíndricos como cónicos, donde se exigen altas precisiones en la medida y forma, así como en la calidad superficial. La mayoría de las piezas realizan un movimiento de giro y son mecanizadas en posición horizontal. Pero - si se trata de piezas de grandes dimensiones (figura N<sup>o</sup> 6), el movimiento normal con giro de pieza no es posible, por lo tanto, las piezas de trabajo permanecen en reposo durante la operación que es efectuada en máquinas con husi

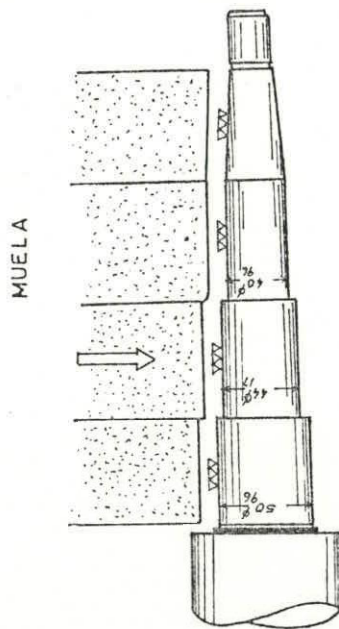


FIGURA N.º 4.- RECTIFICADO CILINDRICO PENETRANTE

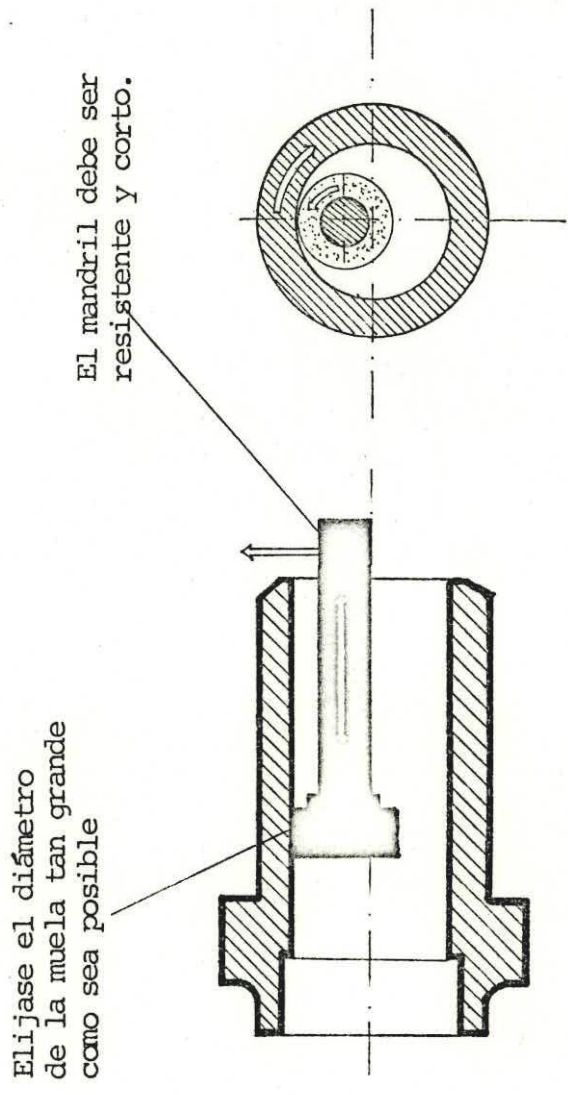


FIGURA Nº 5. RECTIFICADO CILINDRICO INTERIOR



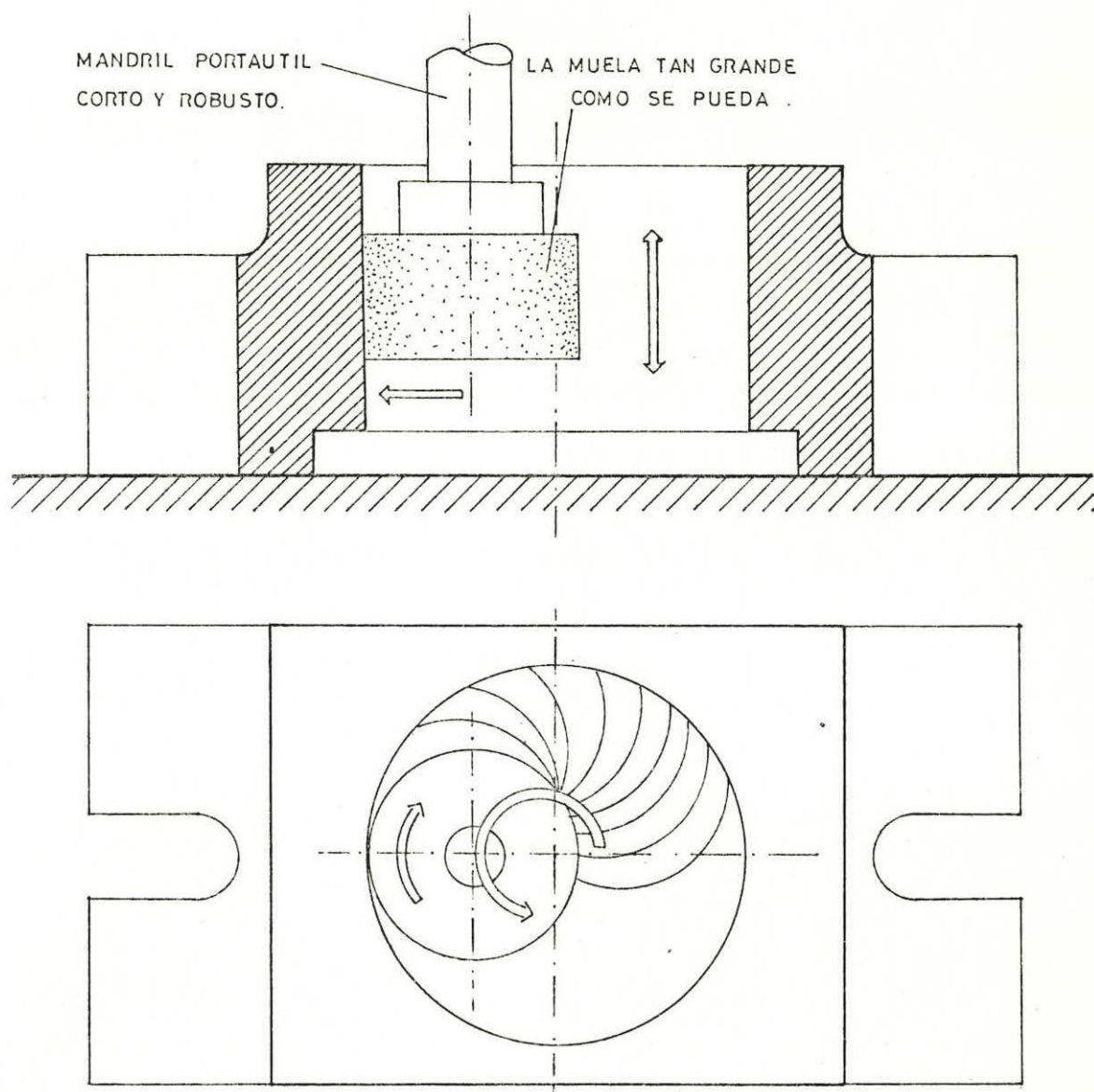


FIGURA N<sup>o</sup> 6. RECTIFICADO CILINDRICO INTERIOR CON PIEZA  
DE GRAN MAGNITUD.

llo planetario, en donde el husillo ejecuta, además del movimiento de giro, otro circular a lo largo de la superficie de trabajo la cual es mecanizada en posición vertical. Los husillos para este trabajo interior se fabrican tan cortos y rígidos como sea posible para evitar que flexen. Los aparatos para este tipo de rectificado con husillo planetario, que se pueden sujetar en taladradoras de mesa o en máquinas fresadoras, hacen posible que el rectificado sea exacto.

Una variedad del rectificado cilíndrico es el rectificado sin puntas (figura N<sup>o</sup> 7), donde la pieza de trabajo no es conducida entre puntas ni en voladizo, sino entre una muela rectificadora de giro rápido y una muela de arrastre o reguladora de giro lento, y está colocada libremente sobre un carril de apoyo, desplazable en altura. Esto hace que la pieza no pueda flexar y de este modo puedan mecanizarse, inclusive, piezas de diámetro pequeño y gran longitud. Se utilizan corrientemente dos procedimientos de trabajo fundamentales: el sistema de paso continuo y el sistema penetrante.

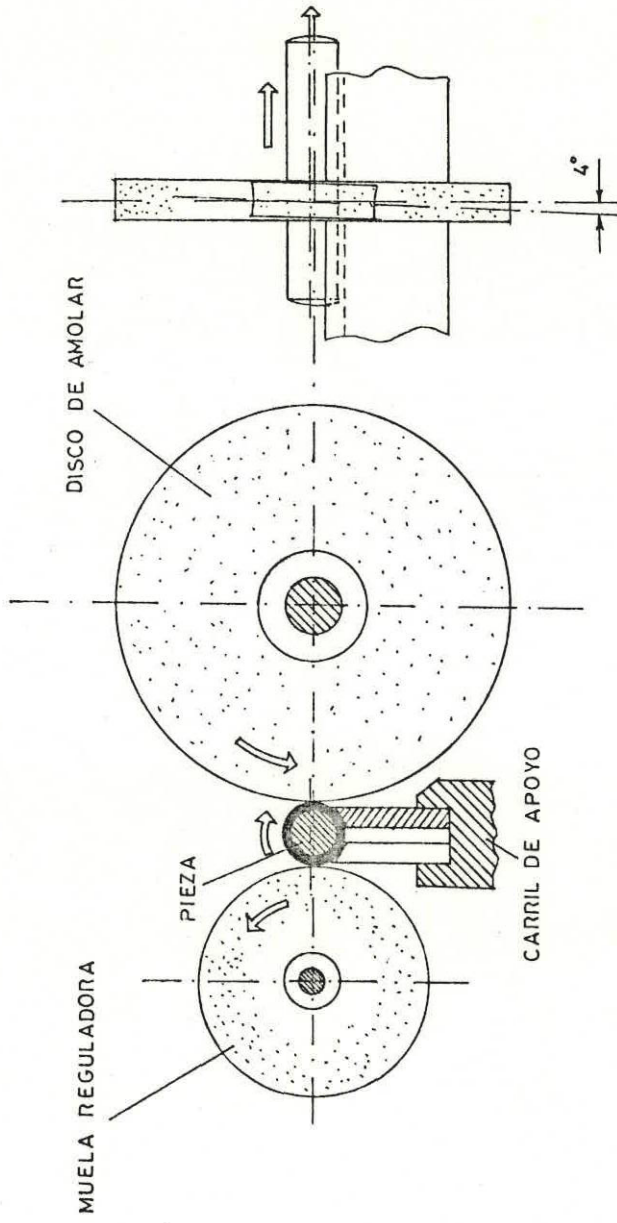


FIGURA N°7. RECTIFICADO CILINDRICO SIN PUNTAS

El primero es utilizado para piezas cilíndricas sin resaltes donde la muela reguladora - lleva una inclinación de unos pocos grados - con respecto al eje de la muela rectificadora, mientras que el segundo es utilizado para piezas cilíndricas con salientes como vástagos de válvulas y piezas perfiladas y en el cual la muela reguladora ligeramente inclinada presiona sólo contra un tope fijo - que actúa al mismo tiempo como expulsor accionado neumáticamente.

En el rectificado de superficies planas (figura N<sup>o</sup> 8) la operación se ejecuta sujetando la pieza a la mesa de la máquina, la misma - que se hace avanzar bajo la muela en rotación. Este procedimiento puede realizarse tanto con la periferia de la muela, llamándose este sistema periférico, como con las caras frontales de la misma el cual se denomina - sistema frontal o planeado. En el primer caso el husillo va soportado en forma siempre horizontal, mientras que en el segundo el husillo puede estar indistintamente soportado - tanto en forma horizontal como vertical. En

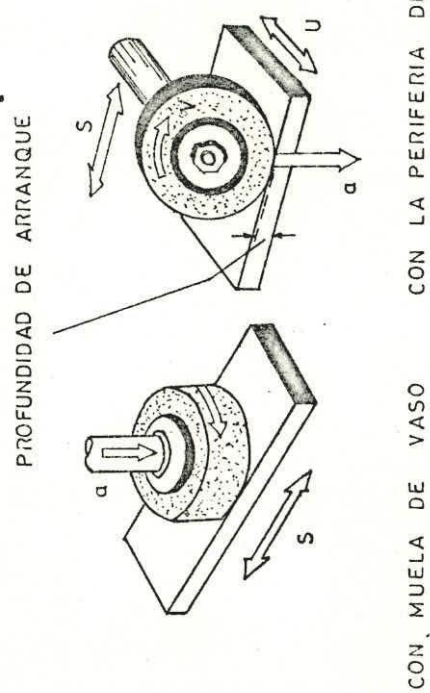


FIGURA Nº 8.- PECTIFICADO DE SUPERFICIES PLANAS



ambos casos la pieza puede unirse a la mesa, cogerse en un plato o dispositivo especial, o sujetarse por medio de un plato magnético, de sarrollando durante el proceso un movimiento - de vaivén.

La cara del plato magnético está hecha de un cierto número de polos de imán separados por metal no magnético; unos arrollamientos de - alambre aislado los convierten en electroimanes cuando la corriente eléctrica es aplicada. La pieza que está sujeta al plato magnético lle ga a imantarse, e inclusive, piezas de acero templado y fundición de hierro llegan a adqui rir magnetismo permanente, lo cual es perjudi- cial en algunos casos. Para eliminar este pro blema es recomendable, el uso del desimanta- dor que hace desaparecer todo resto de magne- tismo, poniendo la pieza en contacto y separándola varias veces de la placa metálica de la placa superior.

Para rectificar piezas perfiladas se usan mue- las que son rectificadas con diamantes según - plantillas y cuyo perfil es exacto al modelo

que se desea procesar.

En la fabricación en serie, las piezas planas se rectifican también en sistema continuo entre dos muelas planas que se disponen una sobre otra verticalmente. Las piezas son alimentadas a la máquina en forma automática - desde un dispositivo y conducidas sobre dos guías, con la velocidad de avance entre las dos muelas.

### 1.3. MUELAS ABRASIVAS

Desde un comienzo se ha insistido bastante - sobre la importancia que tiene en un proceso de rectificado, la correcta selección de la muela abrasiva. Esto se debe a que en ninguna otra máquina la herramienta de corte constituye un factor preponderante en la eficacia de la operación. Comenzaremos por describir los tipos más importantes de muelas - abrasivas y luego hablaremos de sus componentes.

### 1.3.1. Tipos

Existen diversos tipos de muelas para usos muy variados, pero se ha logrado establecer nueve formas normalizadas tomando en consideración que el operario encontrará que su uso suele estar restringido a estas nueve formas. Inclusive se han normalizado las dimensiones las cuales vienen detalladas en los catálogos de cada fabricante.

Tenemos en primer lugar la muela plana sin vaciado (figura N<sup>o</sup> 9), usada generalmente para tronzar y cortar muescas; su espesor varía entre 0,15 mm., y 3 mm., dependiendo del diámetro de la muela, y pocas veces sobrepasan los 3 mm.

Dos variedades de muelas planas son la vaciada solamente en un flanco (figura N<sup>o</sup> 10) y la vaciada en ambos flancos (figura N<sup>o</sup> 11). Estos tipos dejan espacio a los platillos de montaje y junto a la anterior son usadas para rectificado interior, exterior, afilado de

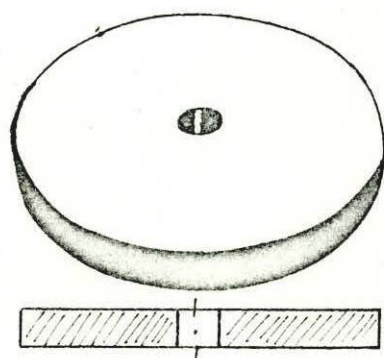


FIGURA N° 9. MUELA PLANA

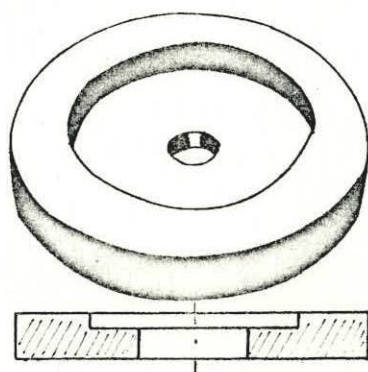


FIGURA N°10. MUELA PLANA VACIADA EN UN FLANCO

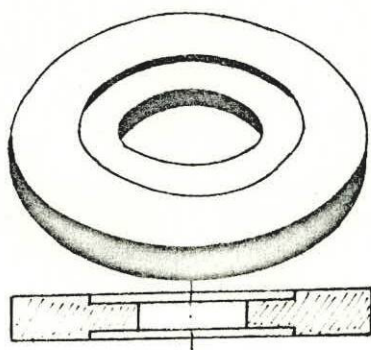


FIGURA N°11. MUELA PLANA VACIADA EN AMBOS FLANCOS .

herramientas, afilado a mano, etc.

La muela de tipo cilíndrico (figura N<sup>o</sup> 12) se usa para rectificado de su\_  
perficies planas, tanto con árbol ho-  
rizontal como con vertical.

La muela bicónica (figura N<sup>o</sup> 13), que -  
es una muela plana modificada, tiene  
conicidad en ambas caras y se la uti\_  
liza en operaciones de desbarbado.

La muela de vaso recto o de tambor  
(figura N<sup>o</sup> 14) tiene la misma función  
que la muela cilíndrica y además es  
útil para el amolado a mano. Una va\_  
riedad es la muela de vaso ensancha\_  
do (figura N<sup>o</sup> 15).

La muela de plato (figura N<sup>o</sup> 16) perm\_i\_  
te, debido a su delgadez, la inserción  
de su borde dentro de espacios muy  
estrechos, y la muela de platillos -  
(figura N<sup>o</sup> 17) se utiliza para el afi\_  
lado de sierras circulares o de cinta.



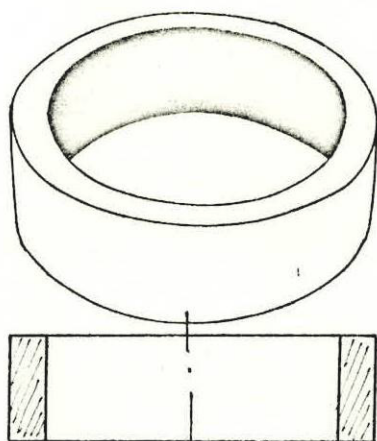


FIGURA N<sup>o</sup> 12. MUELA CILINDRICA

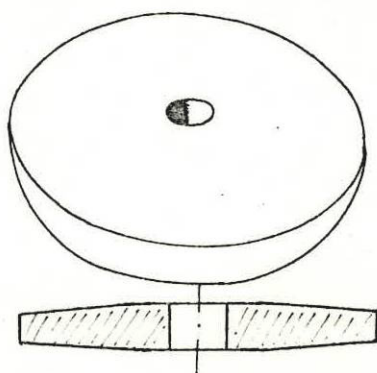


FIGURA N<sup>o</sup> 13. MUELA BICONICA

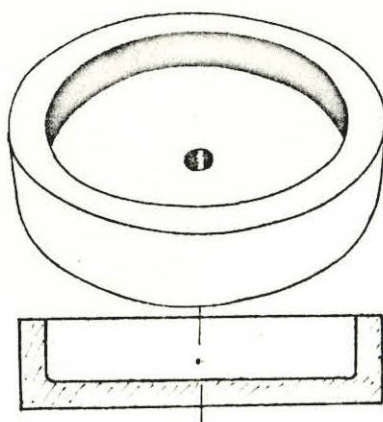


FIGURA N<sup>o</sup> 14. MUELA DE VASO RECTO

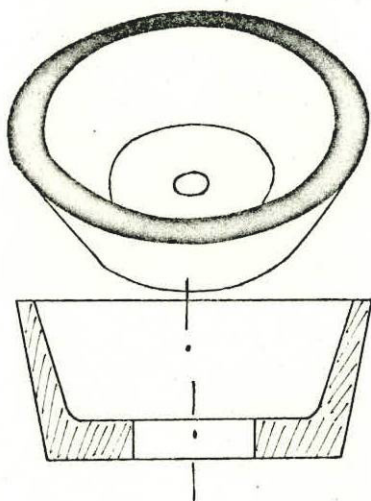


FIGURA N<sup>o</sup>15. MUELA DE VASO ENSANCHADO

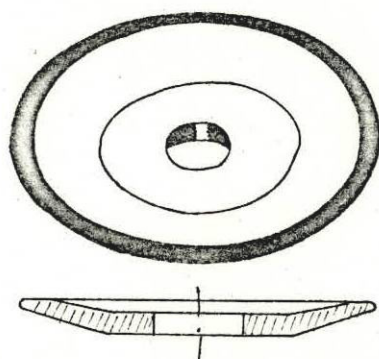


FIGURA N<sup>o</sup>16. MUELA DE PLATO

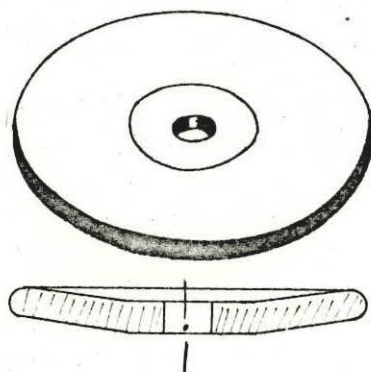


FIGURA N<sup>o</sup> 17. MUELA DE PLATILLO.

Las muelas planas pueden obtenerse con diversos tipos de cara de forma especial, utilizadas de acuerdo a las necesidades del proceso.

Estos tipos de cara también se encuentran normalizadas (figura N° 18).

. Existe una variedad de muelas especiales llamadas muelas montadas (figura N° 19). Son pequeñas y de diferentes formas y dimensiones, capaces de alcanzar sitios difíciles tales como pequeños agujeros esquinas y zonas muy pequeñas.

Están montadas en un árbol de acero - que pueden cogerse en el portabrocas - de una taladradora, en un eje flexible en el soporte de la herramienta de un torno, o en una amoladora de mano.

#### 1.3.2. Abrasivos

Un abrasivo es un material de elevada dureza y regular tenacidad, que al romperse forma muchos ángulos y aristas -

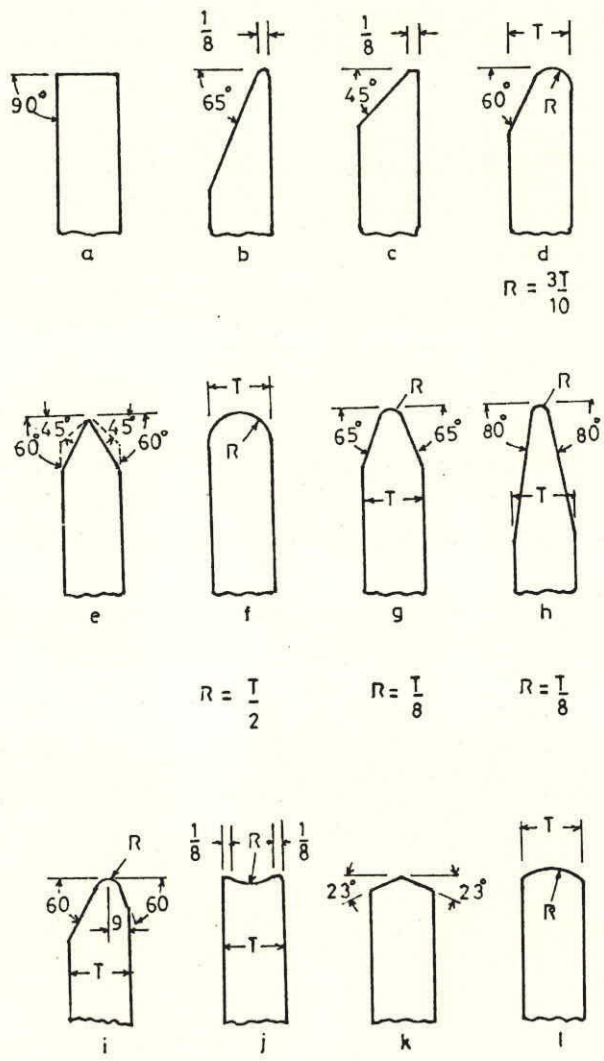


FIGURA N° 18. TIPOS DE CARA DE MUELA

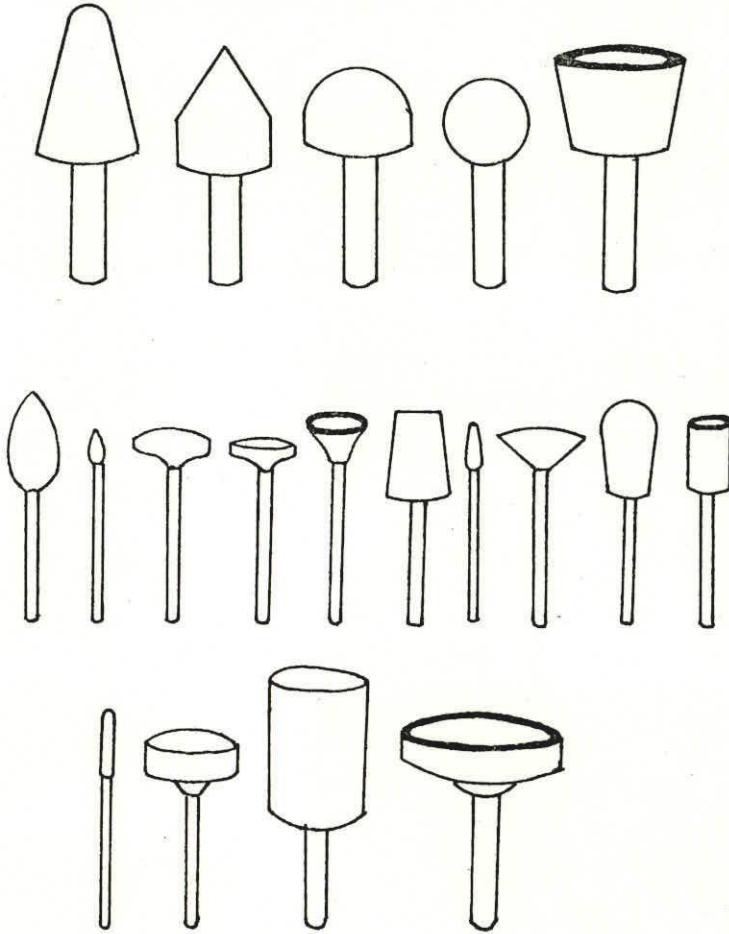


FIGURA N° 19.- MUELAS MONTADAS



muy agudos. Estas pequeñas partículas llamadas granos son uno de los componentes de una muela abrasiva y su función es cortar la superficie del material que se rectifica. Existen - dos tipos de abrasivos: naturales y artificiales.

• Los abrasivos naturales son extraídos de yacimientos, o sea, que se encuentran en la naturaleza y debido a esto la presencia de impurezas es inminente, razón por la cual su uso ha disminuído notablemente. Son abrasivos naturales el esmeril, la piedra silícea, el corindón y el cuarzo.

Los abrasivos artificiales son obtenidos en horno eléctrico y su control en la producción hace que reúnan características para el rectificado. Los principales abrasivos artificiales son el corindón industrial y el carburo - de silicio.

El corindón industrial se obtiene en horno eléctrico de arco partiendo de bauxita y alúmina pura (arcilla depurada) reduciendo las impurezas del mineral y formando masas pesadas de óxido de aluminio ( $\text{Al}_2 \text{O}_3$ ) que luego son enfriadas, trituradas y tamizados los granos para separarlos en tamaños normalizados. Su uso va dirigido a los aceros de gran resistencia.

El carburo de silicio se obtiene en horno eléctrico de resistencia partiendo de cuarzo y coque. Los cristales formados en este proceso son extremadamente duros y agudos, pero muy frágiles. Debido a esto las muelas fabricadas con este abrasivo son recomendables para trabajar con aceros de baja resistencia a la tracción.

El diamante que es la substancia más dura conocida se emplea para el rectificado fino, para afilar y repasar las caras de las muelas abrasivas y actúan como muelas abrasivas para corre

tar sustancias especialmente resistentes como el vidrio, piedra, cerámica y carburos cementados.

### 1.3.3. Aglomerantes

La misión del material aglomerante es la de mantener unidos los distintos granos abrasivos.

El abrasivo y el aglomerante se mezclan procediendo, por lo general, a la cocción con una duración y temperaturas variables según las pastas. Cuando el grano abrasivo se embota, se rompe y el material aglomerante deja suelto el grano embotado (figura N° 20), exponiendo nuevos filos con las aristas agudas hacia la pieza.

Existen varios tipos de aglomerantes entre los cuales está el vitrificado que hace que las muelas hechas con este material tengan una alta capacidad de corte debido a sus características de porosidad y resistencia.

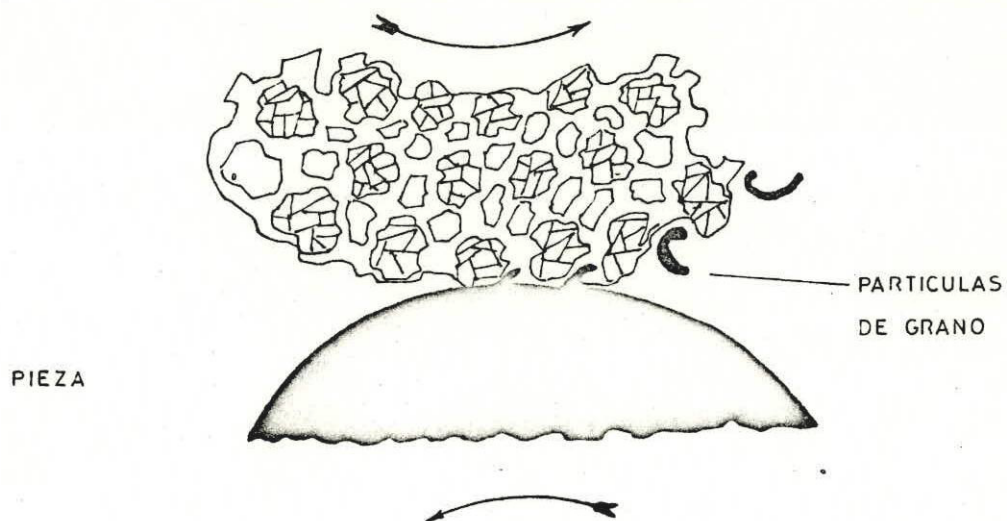


FIGURA N<sup>o</sup> 20.- FORMA DE ELIMINACION DE LA CARGA DE LA MUELA.

Para el rectificado en seco de cuchillas y herramientas se emplean muelas de aglomerante de silicato, las cuales desprenden los granos abrasivos más facilmente que las anteriores.

Los aglomerantes resinosos se emplean - en la fabricación de muelas elásticas insensibles al choque y a la presión que cortan a bajas temperaturas, quitan rápidamente el material y pueden girar a altas velocidades.

Para muelas de alta elasticidad y resistencia a la tracción se usan aglomerantes de goma adecuados especialmente para muelas delgadas de corte y - rectificado fino.

#### 1.4. PROPIEDADES DE UNA MUELA

##### 1.4.1. Tamaño de Grano

Los materiales abrasivos triturados y libres de impurezas son cernidos a través



ves de tamices de varios números de mallas. El tamaño de grano se establece según el número de mallas de los tamices empleados, referido a una longitud de una pulgada. Así, por ejemplo, un grano que pase por un tamiz de 8 mallas por pulgada lineal tiene un tamaño de grano 8. Se distinguen los siguientes tamaños de grano:

Muy vasto	8	a	12
vasto	14	a	24
medio	30	a	60
fino	70	a	120
muy fino	150	a	240
finísimo	240	a	600

#### 1.4.2. Grado o Dureza

La dureza de una muela es la firmeza con que quedan unidos entre sí los distintos granos abrasivos por medio del material aglomerante y no la dureza - propiamente de los granos. Es el poder de retención que el material aglomerante ejerce sobre los granos abrasivos, y

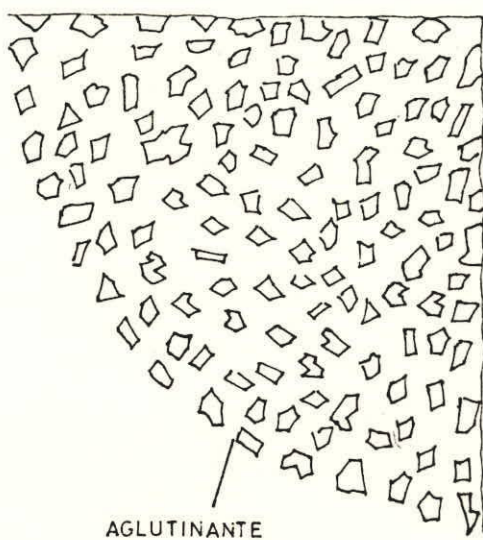
es la cantidad de este material la que determina el grado de dureza de una muela, cuya designación se hace con letras desde la E hasta la Z. Se distinguen los siguientes grados - de dureza:

muy blanda	E, F, G
blanda	H, I, J, K
media	L, M, N, O
dura	P, Q, R, S
muy dura	T, U, V, W
durísima	X, Y, Z

#### 1.4.3. Estructura

La estructura de una muela es la magnitud de las distancias entre los distintos granos abrasivos (figura N° 21), es decir, que se refiere a la densidad - de aquella. Cuando la estructura de una muela es abierta las virutas no se adhieren tan fácilmente, son poco pegajosas, mientras que las compactas no se desgastan tan rápidamente. La designa-

ESTRUCTURA ABIERTA



ESTRUCTURA COMPACTA

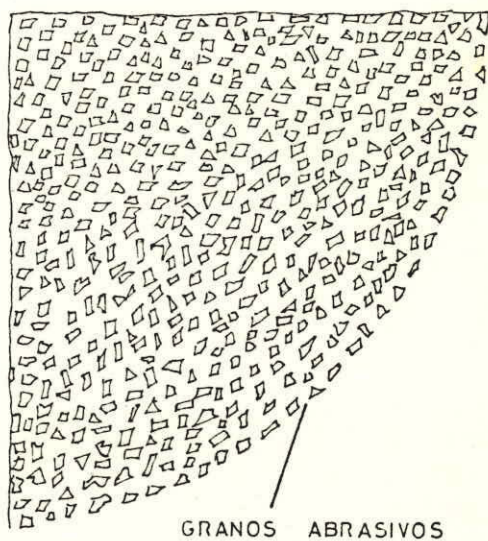


FIGURA N°21. ESTRUCTURA DE LA MUELA

ción de la estructura de las muelas se la hace en cifras numéricas desde 0 hasta 9, de la siguiente forma:

compacta	0 a 3 (porosidad hasta 30 %)
media	4 a 5 (porosidad 30 a 40 %)
abierta	6 a 9 (porosidad 40 a 70 %)

La designación completa de una muela se la hace de acuerdo a un sistema aceptado como norma y que consta de seis posiciones fundamentales (figura N<sup>o</sup> 22). En primer lugar se coloca la clase de abrasivo usado en su construcción precedido o no del prefijo - del fabricante. Seguidamente va el número indicativo del tamaño de grano , luego el grado o dureza y a continuación la estructura correspondiente . La quinta posición es la letra que indica el tipo de aglomerante usado y finalmente la última posición corresponde al símbolo indicativo de la marca privada del fabricante para identificar una muela. Así, por ejemplo, una muela fabricada con óxido de aluminio y

SECUENCIA	PREFIJO SIMBOLO	1 TIPO ABRASIVO	2 TAMAÑO GRANO	3 GRADO	4 ESTRUCTURAS	5 TIPO AGLO.	6 NUMERO DE REGISTROS.																		
MARCAS TIPICAS	51	A	36	L	5	V	23																		
Símbolo del fabricante indicando la clase exacta de abrasivo.		Basto	Medio	Muy Fino	Denso a abierto	Marca privada del fabricante para identificar la muela. (uso op cional).																			
A.OXIDO DE ALUMINIO		10	30	220	1 denso	6																			
		12	36	240	2	7																			
		14	45	290	3	8																			
		16	54	320	4	9																			
C.CARBURO DE SILICIO		20	60	400	5	10-abierto	V: vitrificado																		
		24		500	(uso opcional)		S: silicato																		
							R: caucho																		
							B: resinoso																		
							E: goma laca																		
							O: oxicleorido																		
Blando																									
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z

FIGURA N°. 22 .- SISTEMA DE MARCADO DE LAS MUELAS



aglomerante vitrificado, con grano 36 , dureza L y estructura 5 será identificada de la siguiente forma: 51 A 36 L 5 V 23.

#### 1.5. PARAMETROS A CONSIDERAR EN EL RECTIFICADO

Para obtener un buen resultado en una operación de rectificado hay que tomar en cuenta además de la correcta selección de la muela otros factores. Estos factores como se mencionó con anterioridad son la velocidad de la muela, la velocidad de la pieza, el avance de la mesa y la profundidad de corte.

##### 1.5.1. Velocidad de la Muela

La velocidad de la muela es la velocidad con que se desplaza el punto más alejado del centro de la misma y se la conoce también como velocidad periférica de la muela.

La velocidad de la muela es un parámetro importante en el rectificado, puesto que una velocidad demasiado lenta -

hace que la muela actúe muy blandamente y se desgaste; si el caso es el opuesto, es decir, que la muela gira con demasiada rapidez, su acción será demasiado dura y provocará en el peor de los casos, su rotura. Es por esto que de acuerdo al aglomerante y al material a rectificar se han establecido rangos de velocidad para los distintos tipos de muela. A medida que el diámetro de la muela disminuye, deben graduarse las revoluciones del árbol donde está montada, ya que sobrepasar el límite superior de velocidad periférica, resultaría sumamente peligroso.

#### 1.5.2. Velocidad de la pieza

La velocidad de la pieza es aquella - con que se desplaza el área de contacto entre la pieza y la muela sobre la superficie de la pieza. Altas velocidades de la pieza aumentan el desgaste de la muela dañando, en algunos casos, la pieza. Bajas velocidades de ésta, en

cambio, la calientan demasiado ya que la muela actúa duramente. Existe, entonces, cierta relación entre las velocidades de la muela y de la pieza que determina las fuerzas que actúan sobre la cara de aquella. A medida que aumenta la velocidad de la pieza en relación a la de la muela, se incrementan las tensiones y la muela actúa blandamente, y viceversa.

#### 1.5.3. Avance de la Mesa

El avance de la mesa es el desplazamiento de la misma para mover la pieza de trabajo, una longitud que, por lo general, va relacionada y es menor que el ancho de la cara de la muela. Si se aumenta la velocidad de la pieza y se mantiene el desplazamiento de la mesa, el avance disminuye. El avance se gradúa en base al criterio de que cuanto mayor número de aristas cortantes de una muela apropiada toman contacto con la pieza en un tiempo determinado, la producción es mayor. También hay que

tomar en cuenta la naturaleza de la pieza.

En el caso de rectificado de superficies planas el avance puede deberse a desplazamiento de la mesa o desplazamiento axial de la muela. De cualquier forma es llamado avance por carrera de corte.

#### 1.5.4. Profundidad de Corte

La profundidad de corte está limitada por la naturaleza de la pieza y la potencia de la máquina, toda vez que la muela escogida ha sido del grano y estructura apropiados y correctas - las velocidades de la muela y de la pieza. Si el corte es demasiado profundo, incrementa el desgaste de la - muela y produce un acabado más rugo so y una geometría poco satisfactoria, pero generalmente resulta de mayor productividad. Si se reduce la profundidad de corte ocurre el caso contrario.



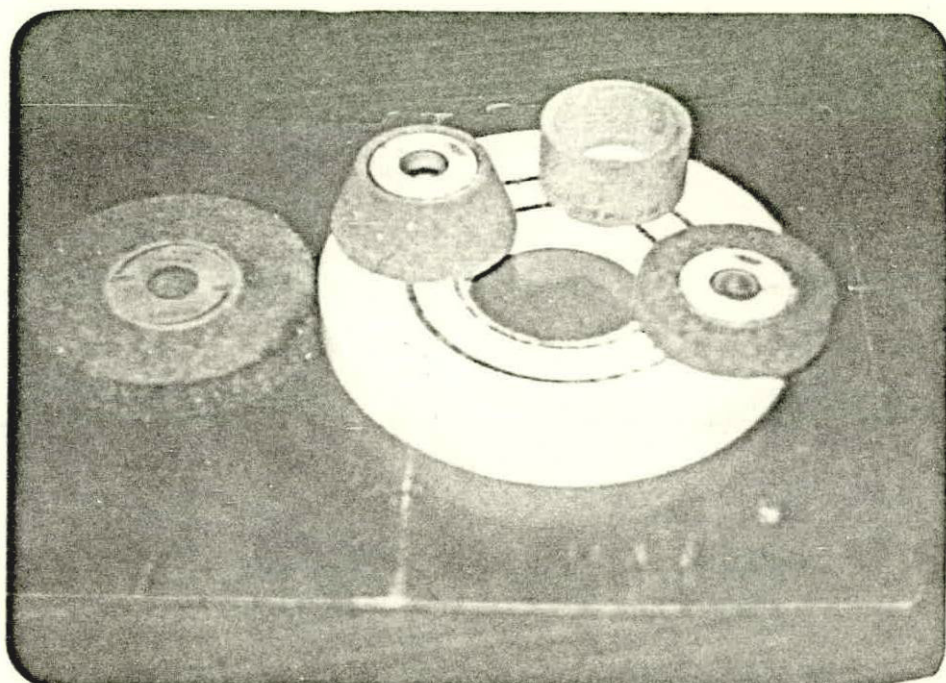


FIGURA N<sup>o</sup> 23.- VARIOS TIPOS DE MUELA



## CAPITULO II

### PROBLEMAS MAS COMUNES EN EL PROCESO DE RECTIFICADO

En un proceso de rectificado como en toda operación con máquinas - herramientas es segura la presencia de fallas tanto en el acabado superficial como en la geometría de la pieza. Inclusive, hay casos donde la estructura interna de la pieza sufre variaciones. Esto es debido a múltiples factores que pueden ser evitados o reducidos a un mínimo si se toman las precauciones que el caso requiera.

Por ejemplo, materiales sensibles al calor de recificado pueden desarrollar grietas durante o después del proceso. Si la sensibilidad es grande - se requiere un mínimo porcentaje de calor para - producir rotura de la pieza.

Pero la rotura puede ser causada por otras razones, tal es así, que piezas de elevada dureza presentan peligro de rotura si no se seleccionan - correctamente los parámetros de corte como es el

caso de un dado de troquel para la confección de azulejos de cerámica que se partía al rectificarlo y cuyo problema será analizado en el presente trabajo.

Las tensiones internas también son causa de rotura, pero si el material es blando la rotura es prácticamente imposible por rectificado abusivo - debido a su considerable ductibilidad.

En este capítulo se expondrán problemas que se presentan con mayor frecuencia en una operación de rectificado, tales como imperfecciones en la capa superficial y la influencia negativa que una refrigeración inadecuada ejerce sobre las piezas trabajadas.

## 2.1. ACABADO SUPERFICIAL

La calidad del acabado superficial de una pieza es medida por la rugosidad que presenta. Un grano más fino es capaz de producir una superficie menos rugosa y, por consiguiente, de más calidad.

En cuanto a la precisión dimensional varía

dependiendo del tipo de operación, puesto que si se asignan tolerancias mayores, la selección del equipo y procedimiento no es crítica. Lo contrario ocurre cuando son asignadas tolerancias pequeñas; en este caso es importantísima la selección del tipo de muela, tipo de abrasivo, tamaño de grano y grado.

El método de rectificado de la muela es importante en el control del acabado superficial obtenido con un tamaño de grano dado. El diamante empleado debe ser de muy buena calidad y el procedimiento llevado a cabo debe ser el adecuado (figura N<sup>o</sup> 24).

#### 2.1.1. Marcas de Rechinado

Las marcas de rechinado pueden ser el resultado de desbalances de la muela, condición corregida por rebalanceo de la misma en su propia montura, girando la muela sin refrigerante para remover los excesos de agua y asegurándose que la muela ajusta al eje.

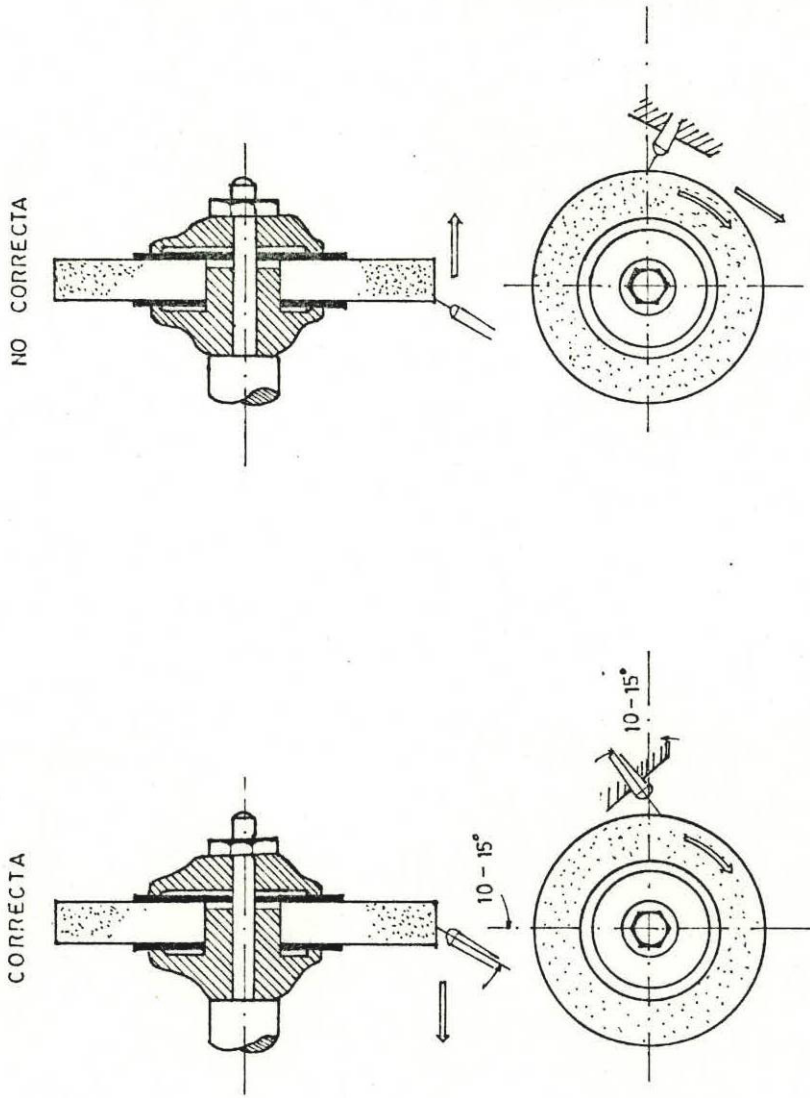


FIGURA Nº 24.- RECTIFICADO DE LA MUELA CON DIAMANTE

Una muela demasiado dura es otra causa que puede ser corregida incrementando la velocidad de la pieza y el avance, o rectificando los filos de la muela para abrir la cara de la misma y reducir la generación de calor. Otra solución es seleccionar una muela de grado más suave, grano más basto y estructura más abierta.

El rechinado o martilleo puede ser causado no solamente por ajuste deficiente del árbol de la muela, sino también por mal accionamiento y velocidad irregular del mismo. Esto significa que se encuentran defectuosas las condiciones de la máquina debido posiblemente a cojinetes flojos, deslizamientos de la banda, en granajes deteriorados, etc. Se incluye aquí la vibración de la máquina o la vibración exterior transmitida a ella.

Los centros de trabajo desnivelados, de masiado flojos o demasiado ajustados, o con una lubricación inapropiada son tam



bién causa de imperfección superficial por marcas de rechinado.

#### 2.1.2. Rayaduras

Las rayaduras en el rectificado tienen formas muy variadas y causas de las mismas pueden ser apoyo defectuoso del árbol de la rectificadora o del husillo de la pieza, o una muela mal rectificada.

Las rayaduras pueden presentarse como marcas regulares profundas y estrechas causadas por una muela muy basta. Se usa entonces una muela de grano más fino.

Las marcas irregulares, anchas, de profundidad variable son efectos de una muela muy blanda.

Para corregir este defecto se puede operarar reduciendo la velocidad de la pieza de trabajo y el avance, o en su defecto rectificando la muela más suaveme

mente para que dé una superficie cerrada. Si esto no resulta habrá que emplear una muela más dura.

Las espirales finas o filamentos sobre la pieza de trabajo, llamadas también - marcas del diamante, son causadas por un rectificado defectuoso de la muela, debido a que el diamante está demasiado afilado, agrietado o roto y presenta ángulos ó a que el diamante está romo y presiona sobre los granos o sobre el aglomerante de la muela. Estas marcas pueden ser prevenidas reduciendo la profundidad de corte al rectificar o reduciendo la velocidad a través, durante el rectificado de la muela. Es conveniente rotar frecuentemente el diamante y que este sea un pico o rodillo conteniendo numerosas partículas finas de diamante.

Las líneas transversales sinuosas a menudo causadas por filos ásperos en la muela se corrigen redondeando los filos de la misma.

Las marcas irregulares de variable longitud y ancho, denominadas también rascaduras ó "colas de pez", se deben a materiales extraños dentro del refrigerante cuando la cara y costados de la muela no son limpiados después de rectificarla, o cuando granos son soltados, por la muela a causa del martilleo de la muela sobre la pieza. Es necesario limpiar el tanque de suministro frecuentemente o utilizar un sistema de filtro.

Es bueno también nivelar enteramente - las defensas de la muela después de rectificarla o cuando se la cambie a una de grano más fino; esto remueve - material desbastado que puede ser llevado por el fluído dentro del sistema.

### 2.1.3. Efectos de la Vibración

En toda operación de rectificado la vibración es un fenómeno crítico, puesto que tiene influencia en el rendimiento

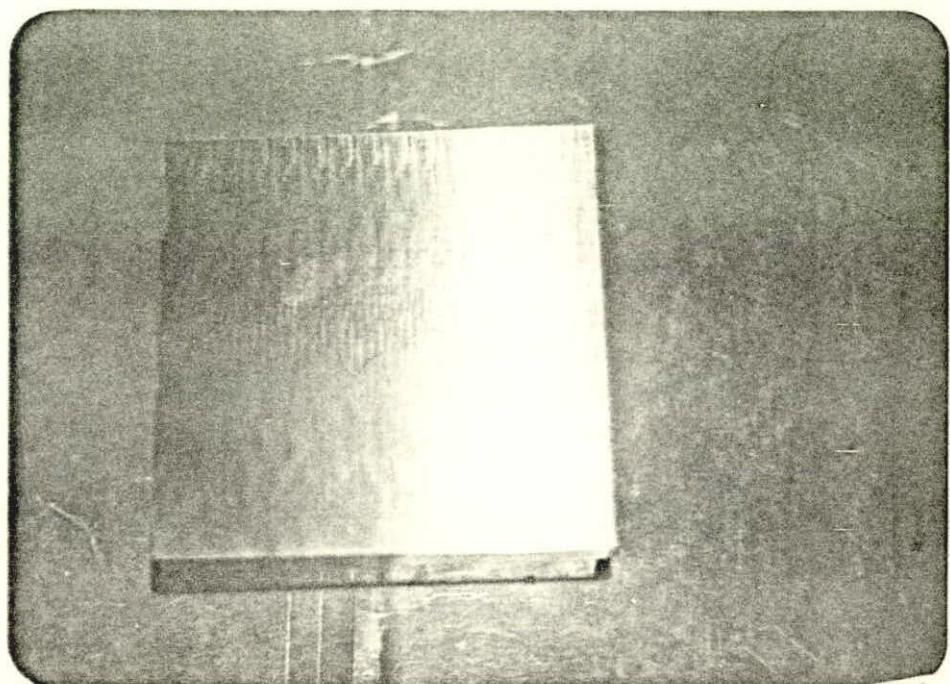


FIGURA Nº 25.- PIEZA QUE PRESENTA EL FENOMENO DE "COLA  
DE PEZ".



de la muela y particularmente en el acabado superficial de la pieza rectificada. La vibración puede deberse a que la máquina marcha con perturbaciones, a que el apoyo del árbol de la rectificadora esté defectuoso, a ejes, cojinetes y partes deterioradas de la máquina.

También puede deberse a causas externas al proceso tales como presión de punzón, tráfico o fundición inadecuada, todo lo cual transmite vibración a las rectificadoras. Otras causas pueden ser mala fijación de la pieza, mal equilibrado de la muela, muela desbalanceada o desalineada.

La vibración pesada es causa de que una muela se rompa más rápidamente, y en consecuencia, afecte la geometría y el acabado de la pieza mecanizada. La vibración pesada tiende también a producir marcas de rechinado en las piezas de trabajo, condición que ya fue tratada precedentemente.



## 2.2. REFRIGERACION INADECUADA

El propósito de la refrigeración en una operación de rectificado es eliminar el calor desarrollado durante el trabajo y de esta manera evitar que la pieza sufra deformaciones o grietas.

El refrigerante disminuye el calentamiento de las piezas y el más utilizado es el agua con adición de un 3 a un 5 % de sosa para evitar la oxidación de las partes pulidas. El chorro debe ser fuerte e ininterrumpido y libre de impurezas sólidas. (Figura N° 26).

Una mala refrigeración provoca el embotamiento de la muela así como también puede ser causa de quemaduras sobre la superficie de trabajo.

### 2.2.1. Embotamiento de la Muela

Se dice que una muela está embotada cuando virutas se acuñan entre las puntas de corte de la muela. Es decir, que dentro de los poros de la muela,

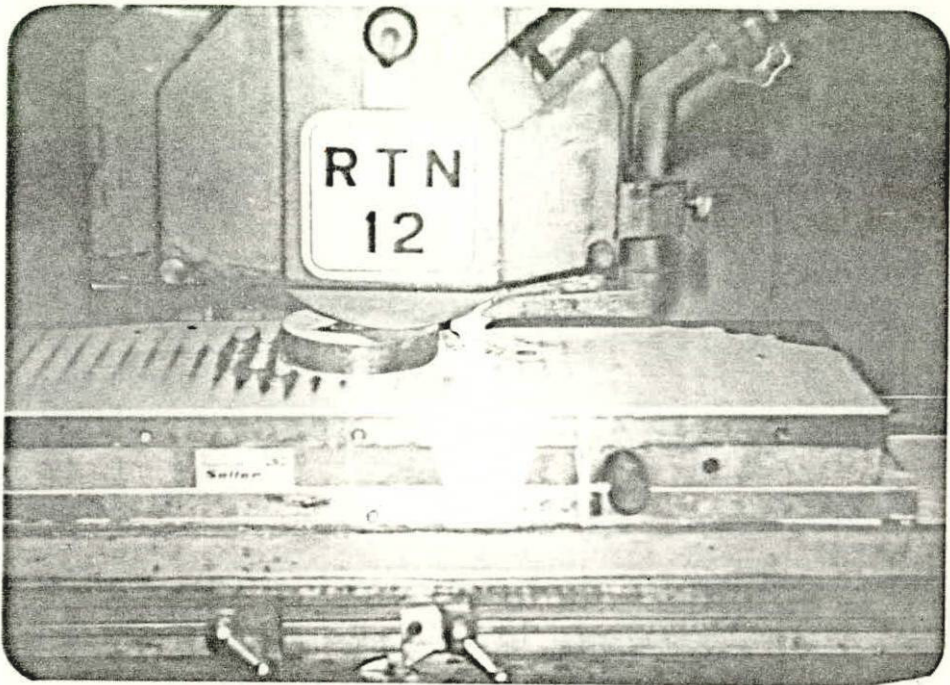


FIGURA N° 26.- FORMA DE ACTUAR DEL LIQUIDO REFRIGERANTE

se ha introducido material. Esto puede deberse a diversos factores como mala selección de la muela o cuando la pieza gira o avanza lentamente. Para esto se recomienda usar tamaño de grano más basto, estructura más abierta o grado más suave,

. También puede ser que la muela esté - mal rectificada, entonces se deberá afilarla en forma correcta y limpiarla - luego de esta operación, usando un recorrido más rápido y un corte más pròfundo.

Finalmente, para evitar el embotamiento de la muela debe seleccionarse un caudal de refrigerante apropiado capaz de mantener la muela limpia y la pieza - sin calentar.

El refrigerante debe ser limpio, menos aceitoso y más tenue.

### 2.2.2. Quemaduras

Las quemaduras en el rectificado son causadas por la formación de una pequeña película de óxido sobre la superficie del metal y se presentan como decoloración de la superficie, lo cual no quiere decir necesariamente - que su ausencia sea un indicativo de que la superficie permanece fría durante la operación de rectificado ya que la capa puede haber sido removida por la muela en un corte subsiguiente.

Las quemaduras pueden deberse a que la muela sea muy dura o muy fina, por lo tanto habrá que elegir una muela - más suave o conseguir que el efecto sea suave y al mismo tiempo aumentar - el volumen de refrigerante. Si la muela está mal rectificada, habrá entonces que chequear la herramienta.

Si la refrigeración es deficiente puede tener efectos sobre la microestructura - del material de trabajo si es sensible



al calor, ya que el rectificado puede - cambiar la microestructura y la dureza de la capa superficial de la pieza.

En este caso la quemadura no es visible y para distinguirla, a menudo es llamada "quemadura metalúrgica". En aceros duros y templados, el calor de rectificado puede sobretemprar y suavizar la superficie, pero en la mayoría de los materiales el calor no tiene efectos directos sobre su microestructura.

### 2.2.3. Esfuerzos Residuales

Los esfuerzos residuales también son el resultado de los efectos del calor durante la operación de rectificado. Aquí el calor causa deformación plástica heterogénea. El esfuerzo puede ser de tensión completa, compresión completa o tensión en una capa y compresión en otra adyacente.

Se cree que los esfuerzos de tensión



son causados por el calor al rectificar, principalmente, y los esfuerzos de compresión por la deformación plástica de la superficie que ocurre cuando se forman virutas.

Esfuerzos residuales que son uniformes sobre áreas grandes pueden causar alabeo de partes finas o delicadas.

## CAPITULO III

### MODALIDAD DE PRUEBA

#### 3.1. MATERIALES A MECANIZARSE

Se mecanizaron dos tipos de herramientas utilizadas en la industria y que presentaban problemas típicos de rectificado. Estas piezas fueron las siguientes:

- a. Dados de Troquel para la fabricación de azulejos de cerámica pertenecientes a la Compañía Ecuatoriana de Cerámica S.A.
- b. Cuchillas utilizadas en el corte de pañales de la fábrica Johnson & Johnson, S.A.

##### 3.1.1. Contenido de Carbono

La importancia del contenido de carbono de una pieza radica en la marcada influencia que ejerce sobre la maquina

bilidad de la misma. Mientras más alto es el porcentaje de carbono la fragilidad de la pieza aumenta y, por lo tanto, se debe ser más cuidadoso durante la operación.

El material de los dados de troquel, para la confección de azulejos es un acero ASSAB XW5, cuyo contenido de carbono es 2,05%. Así mismo posee un alto contenido de cromo y tungsteno lo que le da gran resistencia al desgaste y a la compresión y gran dureza superficial después del templado. Estas características hacen de este material, el ideal para la herramienta que estamos considerando.

Las cuchillas para el corte de pañales son de acero ASSAB-DF2 que posee un - porcentaje de carbono de alrededor de 0,9%, es decir, más bajo que el anterior y por consiguiente, más maquina-ble. Es un acero de alta calidad con aleación de manganeso - cromo - tungsteno de gran dureza superficial después del

templado y alta estabilidad superficial.

### 3.1.2. Tratamiento Térmico

Es imprescindible que el tratamiento térmico de una pieza que va a ser rectificada sea llevado a cabo de una forma adecuada, ya que el resultado final de una operación de rectificado depende en sumo grado de ello.

En el capítulo correspondiente al análisis de resultados veremos de que manera un tratamiento térmico incorrecto - afectó la pieza que estábamos trabajando.

Las piezas se presentan originalmente de la siguiente manera: Los dados (ASSAB-XW5) son templados a 950°C y revenidos - dos veces a 200°C, teniendo una dureza - promedio de 60 Rc, mientras que las cuchillas (ASSAB-DF2) son templadas a 850° C y revenidas dos veces a 180°C, con siguiendo una dureza promedio de 59 Rc.

### 3.2. SELECCION DE LAS MUELAS ABRASIVAS

Para elegir una muela hay que tomar en cuenta diversos factores tendientes a evitar que se escoja una muela inapropiada. Estos factores se los clasifican como factores constantes y factores variables.

#### 3.2.1. Factores Constantes

Son cuatro los factores constantes que hay que considerar, a saber: el material a rectificar, el acabado requerido, el área de contacto y la naturaleza de la operación.

El material a rectificar es en ambos - casos, acero de elevada dureza lo que, por recomendación de algunos fabricantes, nos lleva a seleccionar como abrasivo - el óxido de aluminio más conocido como corindón, ya que para fundición se recomienda en cambio el carburo de silicio. Debido precisamente a la alta dureza del material debería seleccionarse una muela blanda, pero más adelante se harán otras



consideraciones que nos permitirán ele  
gir con propiedad el grado de la muela. El grano debe ser fino y la estr  
uctura media.

El acabado requerido ejerce influencia  
en la selección del grano y el aglomer  
ante. Para conseguir un buen acabado  
el grano debe ser fino y el aglomer  
ante vitrificado.

El área de contacto de las piezas es  
el tercer factor a considerar. En -  
nuestro caso, el área de contacto, tan  
to en los dados como en las cuchí-  
llas, es pequeña y por consiguiente ,  
se debe seleccionar el grano fino y  
el grano más duro que si se tratara  
para áreas grandes. La estructura debe  
ser media.

La naturaleza de la operación incide  
en la selección del aglomerante; si se  
requiere un acabado excepcionalmente fi  
no es apropiado el uso de aglomeran-

tes orgánicos, pero nuestro caso no lo exige así y, por lo tanto, se recomienda seleccionar aglomerante vitrificado.

### 3.2.2. Factores Variables

Los factores variables también son - cuatro. Estos son: la velocidad de la muela, la velocidad de avance, el estado de la máquina y la forma de actuar del operario.

Si la velocidad de la muela es alta, con respecto a la de la pieza, debe escogerse una muela blanda, pero si - se la reduce se desgasta más rápidamente lo cual se evita seleccionado el grado más duro. El aglomerante recomendado es el vitrificado, para velocidades de la muela de hasta 33 m/s; en nuestro caso es 18,5 m/s aproximadamente.

La velocidad de avance está regulada , en base al grado de la muela; cuanto mayor sea, más dura debe ser la muela.

En cuanto al estado de la máquina, si ésta no está en perfectas condiciones de funcionamiento, se requiere el uso de muelas duras. En nuestro caso, la máquina rectificadora se encuentra en condiciones de funcionamiento bastante aceptables.

Finalmente, la forma de actuar del operario también ejerce influencia en la selección del grado de la muela, debiendo ser más duras en rectificadoras de mano ó en caso de poca habilidad del operario, como es el que nos ocupa.

Con estos antecedentes procedimos a escoger una muela de óxido de aluminio y aglomerante vitrificado. Por tratarse de un acero duro el grado de la muela debió ser blando, pero hemos visto que otras consideraciones nos llevan a escoger un grado más elevado; por esto seleccionamos una dureza media. El grano es medio, pero en el límite con el grano fino, y la estructura, media.

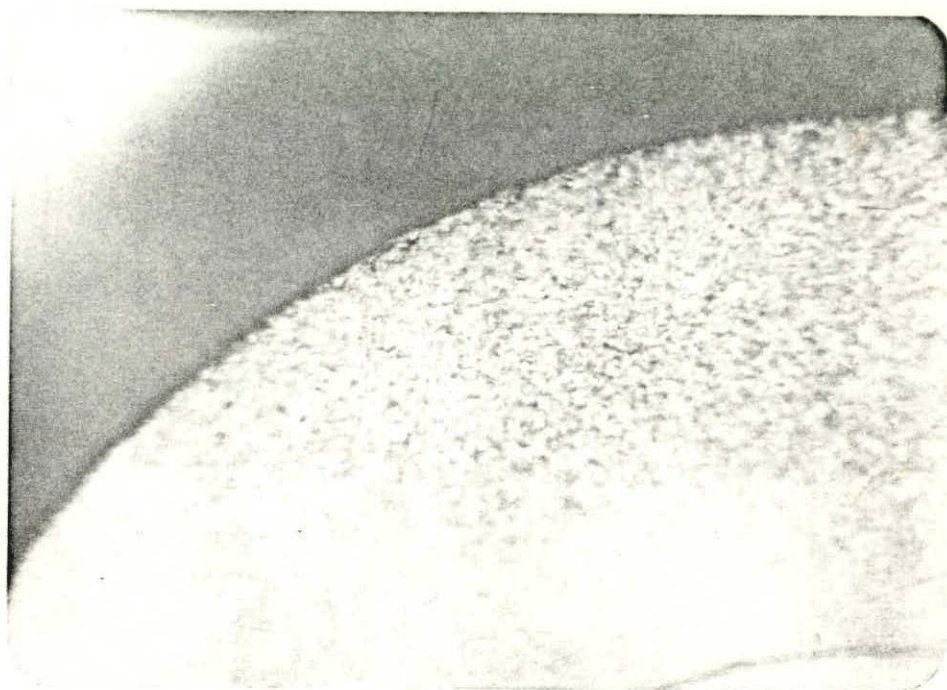


FIGURA Nº 27.- GRANULOMETRIA DE LA MUELA SECCIONADA

Entonces, las especificaciones de la mue  
la quedan así: 89 A 60 N 5 V 217; cuyas di  
mensiones son 254 mm. de diámetros y 25  
mm. de espesor.

### 3.3. SELECCION DE PARAMETROS DE CORTE

Para las pruebas encaminadas a la solución de los problemas encontrados en las piezas antes descritas se mantuvieron constantes los siguien  
tes parámetros: velocidad periférica de la mue  
la en 18,5 m/s; profundidad de corte en 0,02 mm.  
así como también el tipo y caudal del líqui  
do refrigerante.

En cambio, se variaron los principales parámetros de corte como son el avance por carre  
ra de corte y la velocidad periférica de la  
pieza.

Posteriormente en un análisis aparte, y con el objeto de establecer en influencia, se hizo va  
riar la profundidad de corte, incrementándola,  
poco a poco en centécimas de milímetro.



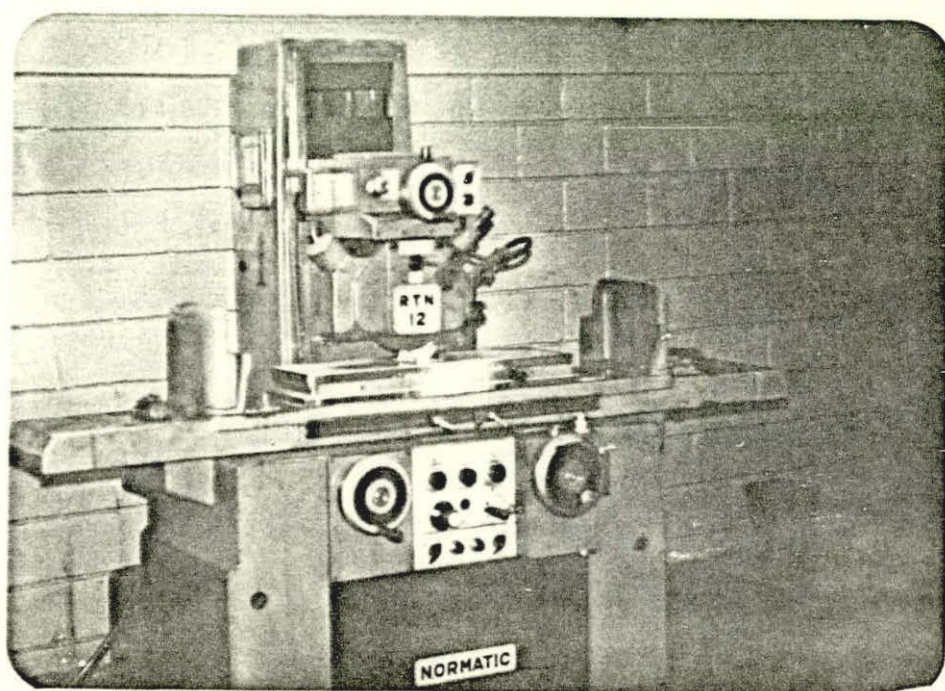


FIGURA N<sup>o</sup> 28.- MAQUINA RECTIFICADORA PARA SUPERFICIES  
PLANAS DONDE SE LLEVARON A CABO LAS  
PRUEBAS.

### 3.4. TECNICA EXPERIMENTAL

Las pruebas llevadas a cabo tuvieron como objetivo principal determinar las causas y encontrar soluciones a problemas presentados en dos herramientas de uso industrial como ya - se ha dicho.

Primeramente, los datos de troquel para la - fabricación de azulejos de cerámica presentaban un problema de rotura cada vez que eran rectificadas sin lograr establecerse la causa.

Las cuchillas presentaban un problema similar, pero su rotura se producía estando ya en uso y no en todas ellas. Otro problema que se presentaba en las cuchillas era el de quema duras en la capa superficial.

Encontradas las causas se buscaron soluciones y luego se procedió a establecer la influencia de los parámetros de corte sobre el rendimiento volumétrico de la muela, la rugosidad superficial y los costos unitarios de mecanizado para el caso específico de estas dos piezas.

La mecánica llevada a cabo fue la siguiente: elegir un avance haciendo variar la velocidad de la pieza para cuatro pruebas diferentes , luego incrementar el avance haciendo variar - así mismo la velocidad de la pieza para otras cuatro pruebas. El mismo método se empleó tanto en los dados como en las cuchillas, manteniendo un incremento constante en la profundidad de corte de 0,02 mm.

Para calcular el avance a se utilizó la siguiente fórmula:

$$a = \frac{\omega}{n_a} \quad (\text{mm/carrera})$$

Donde:

$\omega$  = ancho de la pieza (mm)

$n_a$  = números de carrera de corte

La velocidad periférica de la pieza  $V_p$  fue calculada en cambio, por la siguiente expresión:

$$V_p = \frac{S_p}{t_p} \times 60 \quad (\text{mm/min})$$

Donde:

$S_p$  : desplazamiento de la pieza en una carrera (mm).

$t_p$  : tiempo empleado (sec.)

Los datos y resultados se encuentran dispuestos en la tabla I para las cuchillas y en la tabla II para los dados.

Adicional a esto se hicieron luego pruebas incrementando la profundidad de corte en el caso de las cuchillas y utilizando una muela más dura en el caso de los dados.

#### 3.4.1. Determinación de la razón de rectificado

Primeramente definiremos que es la razón de rectificado y para ello es necesario tener presente el mecanismo de desgaste de la muela que presenta tres fases distintas. La primera caracterizada por un fuerte desgaste inicial, seguida de un desgaste proporcional al volumen arrancado de material y finalmente, una de rápido deterioro que hace

TABLA I

DETERMINACION DEL AVANCE POR CARRERA DE CORTE Y LA VELOCIDAD PERIFERICA  
DE LA PIEZA (CUCHILLAS)

w (mm)	na	a (mm/c)	Sp (mm)	tp (sec)	Vp (m/min)
57	60	0,95	830	2,0	24,90
-	-	-	840	1,9	26,53
-	-	-	936	1,9	29,56
-	-	-	980	1,8	32,67
-	41	1,39	832	2,0	24,96
-	-	-	866	1,9	27,35
-	-	-	892	1,8	29,73
-	-	-	908	1,7	32,04



TABLA II

DETERMINACION DEL AVANCE POR CARRERA DE CORTE Y LA VELOCIDAD PERIFERICA DE LA

PIEZA (DADOS)

w(mm)	na	a(min /c)	Sp(min)	tp(Sec)	Vp(m/min)
116	112	0,95	860	2,2	23,46
-	-	-	930	2,1	26,57
-	-	-	980	1,9	30,95
-	-	-	1010	1,9	31,90
-	74	1,56	718	2,0	21,54
-	-	-	792	1,8	26,40
-	-	-	874	1,8	29,13
-	-	-	910	1,7	32,12

necesario el rectificado de la muela.

La relación entre volumen de material arrancado de la pieza y el volumen de material perdido por la muela es llamada razón de rectificado K:

$$K = \frac{\Delta V}{\Delta S}$$

Este parámetro es un índice de productividad en el rectificado y es llamado también rendimiento volumétrico de la muela. Para determinarlo experimentalmente en el presente trabajo se fijó un consumo de muela en base a los diámetros inicial y final durante una prueba. En el caso de los dados la diferencia entre estos diámetros se estableció en 0,1 mm., y para las cuchillas en 0,05 mm.

Paralelamente, en la pieza de trabajo se tomaron lecturas del espesor inicial y final en cada prueba, y con

$$\Delta V = l \cdot w \cdot (e_o - e_f) \quad (\text{mm}^3)$$

Donde:

l : largo de la pieza (mm)

w : ancho de la pieza (mm)

e<sub>o</sub>: espesor antes de la prueba (mm)

e<sub>f</sub>: espesor después de la prueba (mm)

Así mismo, para calcular el volumen de material perdido por la muela  $\Delta S$ , se utilizó la siguiente fórmula:

$$\Delta S = \frac{\pi}{4} \cdot d \cdot (D_o^2 - D_f^2) \quad (\text{mm}^3)$$

Donde:

d : espesor de la muela (mm)

$D_o$  : diámetro antes de la prueba (mm)

$D_f$  : diámetro después de la prueba (mm)

En cada prueba se hacía trabajar la muela sobre la pieza, incrementando la profundidad de corte en 0,02 mm., por cada inversión del movimiento de avance.

Los datos y resultados se encuentran en la tabla III, para las cuchillas y en la tabla IV para los dados.

#### 3.4.2. Determinación de la Rugosidad

Una meta que persigue toda operación de rectificado es la de obtener un buen acabado superficial, y esto depende de numerosos factores, sobretodo de una buena selección de los parámetros de corte. Por otro lado la rugosidad obtenida durante la mecanización es altamente influenciada por el estado en que ha quedado la muela luego de ser rectificada por el diamante.

TABLA III

## DETERMINACION DE LA RAZON DE RECTIFICADO(CUCHILLAS)

l (mm)	w (mm)	(ef-eo) (mm)	$\Delta V (mm^3)$	Do (mm)	Df (mm)	$\Delta S (mm^3)$
127	57	0,30	2171,70	253,00	252,95	496,84
-	-	0,25	1809,75	252,55	252,50	495,96
-	-	0,20	1447,80	252,10	252,05	495,08
-	-	0,15	1085,85	251,65	251,60	494,19
-	-	0,25	1809,75	250,90	250,85	492,72
-	-	0,20	1447,80	250,45	250,40	491,84
-	-	0,15	1085,85	250,00	249,95	490,95
-	-	0,10	727,90	249,55	249,50	490,07



TABLA IV  
DETERMINACION DE LA RAZON DE RECTIFICADO (DADOS)

$l$ (mm)	$w$ (mm)	$(ef-e_0)$	$\Delta V$ (mm <sup>3</sup> )	$D_0$ (mm)	$D_f$ (mm)	$\Delta S$ (mm <sup>3</sup> )
116	116	0,30	4036,80	248,90	248,80	977,48
-	-	0,25	3364,00	248,40	248,30	975,52
-	-	0,20	2691,20	247,90	247,80	973,56
-	-	0,15	2018,40	247,40	247,30	971,59
-	-	0,30	4036,80	246,90	246,80	969,63
-	-	0,20	2691,20	246,40	246,30	967,66
-	-	0,15	2018,40	245,90	245,80	965,70
-	-	0,10	1345,60	245,40	245,30	963,70

Los resultados en las pruebas de rugosidad en el presente trabajo no pueden considerarse del todo exactos debido a que dichas pruebas no pudieron ser llevadas a cabo con un rugosímetro como hubiera sido lo indicado, por carecer de él.

Las pruebas se efectuaron en un comparador para superficies, adaptando una aguja en la punta del mismo para que de esta manera adquiriera mayor sensibilidad al tomar las lecturas.

Sin embargo, estos resultados pueden ser tomados con bastante aproximación, para valorar la influencia que ejercen los parámetros de corte sobre el estado de la superficie rectificada.

#### 3.4.3. Determinación de la velocidad de arranque de viruta

La velocidad de arranque de viruta - representa la cantidad ó volumen de ma

terial removido por unidad de tiempo durante el rectificado. Este valor es importante ya que, junto con la relación de rectificado es considerado también un parámetro óptimo valorativo del rendimiento de la mecanización todo lo cual nos permite definir las condiciones óptimas en una operación de rectificado.

La velocidad de arranque de viruta  $Z$  está representada por la siguiente fórmula:

$$Z = a.p. \frac{V}{60} \quad (\text{mm}^3/\text{sec})$$

Donde:

$a$ = avance por carrera de corte (mm/carrera)

$p$ = profundidad de corte (mm)

$V_p$ = velocidad periférica de la pieza (mm/min)

Los datos y resultados se encuentran en la tabla V para las cuchillas y en la tabla VI para los dados.

TABLA V

## DETERMINACION DE LA VELOCIDAD DE ARRANQUE DE VIRUTA(CUCHILLAS)

a (mm/c)	Vp (m/mm)	p (mm)	Z (mm <sup>3</sup> /sec)
0,95	24,90	0,02	7,89
-	26,53	-	8,40
-	29,56	-	9,36
-	32,67	-	10,35
1,39	24,96	-	11,57
-	27,35	-	12,67
-	29,73	-	13,78
-	32,04	-	14,85

TABLA IV

## DETERMINACION DE LA VELOCIDAD DE ARRANQUE DE VIRUTA (DADOS)

a (mm/c)	Vp (m/mm)	p (mm)	Z (mm <sup>3</sup> /sec)
0,95	23,46	0,02	7,43
-	26,57	-	8,41
-	30,95	-	9,80
-	31,90	-	10,10
1,56	21,54	-	11,20
-	26,40	-	13,73
-	29,13	-	15,14
-	32,12	-	16,70



#### 3.4.4. Determinación de los costos de mecanización

Un análisis del rendimiento de una mecanización no puede prescindir de la valoración de los costos. Trabajar en condiciones de mínimo costo es lo que se busca fundamentalmente para que una mecanización sea óptima. Por supuesto, estas condiciones de mínimo costo deben ir relacionadas con los requerimientos de acabado superficial, rendimiento de la muela y capacidad de rectificado para valorar globalmente la mecanización.

El costo de mecanización por unidad de volumen de material arrancado  $C$ , prescindiendo de los costos fijos, está expresado por la fórmula siguiente:

$$C = \frac{(L + C_M)}{V_u} t_1 + \frac{C_m V_m + (L + C_m) t_r + C_m V_r + \frac{C_r}{n}}{V_t}$$

donde:

$L$  : costo horario de mano de obra (suces/hora)

$C_M$  : costo horario de máquina (suces/hora)

- $t_1$  : tiempo de trabajo necesario para una prueba (min)  
 $V_u$  : volumen de material arrancado en una - carrera ( $\text{cm}^3$ ).  
 $C_m$  : costo por  $\text{cm}^3$  de muela (sucres/ $\text{cm}^3$ )  
 $V_m$  : volumen de muela consumido en una prueba ( $\text{cm}^3$ )  
 $V_r$  : volumen de muela arrancado por rectificado de la misma ( $\text{cm}^3$ ).  
 $t_r$  : tiempo de rectificado de la muela (min)  
 $C_r$  : costo de la herramienta de rectificado de la muela (sucres).  
 $n$  : número de regeneraciones posibles de la muela con el diamante.  
 $V_t$  : volumen de material arrancado para un consumo de muela prefijado ( $\text{cm}^3$ ).

Estos valores para un avance establecido y el mismo tipo de pieza, se mantienen constantes, excepto  $V_t$  y  $t_1$  que son los parámetros que varían de acuerdo con la velocidad de la pieza.

Los datos y resultados se encuentran - dispuestos en la tabla VII para las cuer

chillas y en la tabla VIII para los dados.

Datos que son comunes a ambas piezas son los siguientes :

L : 100 sucres / hora

$C_M$ : 141 sucres / hora

$C_m$ : 1,24 sucres /cm<sup>3</sup>

$t_r$ : 1,20 minuto

$C_r$ : 3000 sucres

n: 100

TABLA VII

## DETERMINACION DE LOS COSTOS DE MECANIZACION(CUCHILLAS)

a (mm/c)	T <sub>1</sub> (mm)	V <sub>u</sub> (cm <sup>3</sup> )	V <sub>m</sub> (cm <sup>3</sup> )	V <sub>r</sub> (cm <sup>3</sup> )	V <sub>t</sub> (cm <sup>3</sup> )
0,95	11,4	0,15	0,50	3,97	2,17
-	9,0	-	-	-	1,81
-	6,4	-	-	-	1,45
-	4,4	-	-	-	1,09
1,39	6,5	-	0,49	3,94	1,81
-	4,8	-	-	-	1,45
-	3,3	-	-	-	1,09
-	2,1	-	-	-	0,72

TABLA VIII

DETERMINACION DE LOS COSTOS DE MECANIZACION (DADOS)					
a (mm/c)	t <sub>l</sub> (mm)	V <sub>u</sub> (cm <sup>3</sup> )	V <sub>m</sub> (cm <sup>3</sup> )	V <sub>r</sub> (cm <sup>3</sup> )	V <sub>t</sub> (cm <sup>3</sup> )
0,95	24,75	0,27	0,98	3,90	4,04
-	18,25	-	-	-	3,36
-	12,70	-	-	-	2,69
-	9,15	-	-	-	2,02
1,56	16,50	-	0,97	3,97	4,04
-	9,00	-	-	-	2,69
-	6,10	-	-	-	2,02
-	3,70	-	-	-	1,35



## CAPITULO IV

### ANALISIS DE RESULTADOS

En este Capítulo se expondrán los resultados de las pruebas efectuadas y se realizarán los respectivos análisis de los problemas presentados y las soluciones propuestas tanto para evitar como para remediar, en caso de ser posible, estos problemas.

- a. Rotura de los dados de troquel para la confección de azulejos de cerámica.

Como ya se dijo, estos dados se partían al ser rectificadas bajo condiciones aparentemente aceptables. Primeramente descubrimos que la muela empleada no era la apropiada puesto que se estaba rectificando un material duro con una muela dura. Procedimos a seleccionar la muela cuyas especificaciones se dieron en el capítulo anterior.

Luego se variaron los parámetros de corte sin

lograr resultados, lo que nos llevó a concluir que las causas tampoco estaban allí.

Se pensó entonces en otras posibilidades hasta llegar a establecer que el rectificado de la muela no se lo hacía correctamente; el diamante era colocado en un bloque sobre el plato magnético en forma perpendicular hacía arriba lo que producía deterioro, tanto de la muela como del diamante. Significa entonces que la muela, no estaba en condiciones idóneas para lograr un buen rectificado de las piezas, produciendo en estas leves quemaduras que seguramente no eran observadas por el operario ya que pueden haber sido removidas por la muela en su viaje de regreso, pero cuyos efectos fueron la causa de agrietamiento y posterior rotura de las piezas - materia de nuestro estudio.

Rectificando adecuadamente, es decir, colocando el diamante con una inclinación de aproximadamente 10 a 15 ° tanto en la dirección de avance como en la de aproximación con respecto al eje de la muela y seleccionando la muela correcta, el problema fue solucionado.

b. Rotura de las cuchillas usadas para el corte de pañales

En este caso las piezas no se partían en el momento de rectificarlas sino cuando ya estaban en uso, y el hecho de que no todas las cuchillas presenten este problema cuando ya estaban trabajando como tales, nos guió a pensar que se trataba de un problema microestructural. En efecto, se analizaron dos cuchillas, la una rota y la otra en perfectas condiciones y en uso. (Figura N° 29).

De las observaciones al microscopio captamos - que la pieza en buen estado (figura 30) presenta una microestructura bastante homogénea, mientras que en la pieza rota (figura N° 31) se notan espacios blancos que bien podrían ser lagunas de cementita que están en algunos casos - bien unidas entre sí y que, por consiguiente, dan una mayor fragilidad a la pieza.

El problema radicaba entonces en el temple de la pieza. Una pieza bien templada tiene una microestructura homogénea y, por lo tanto, si el rectificado se lleva a cabo en condiciones acep-

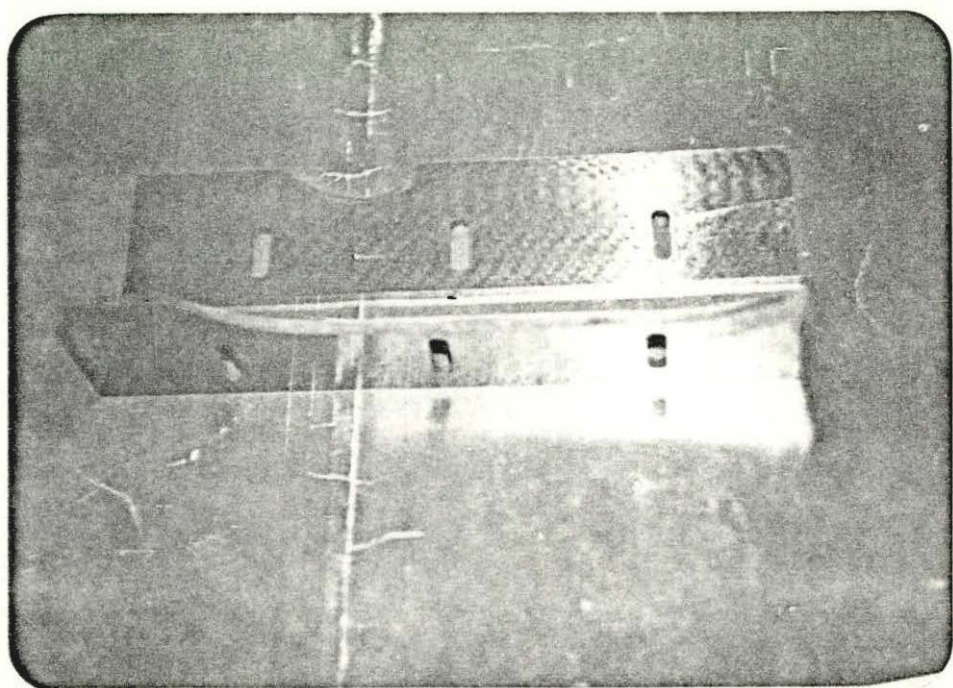


FIGURA N<sup>o</sup> 29.- PIEZAS ROTAS. LA SUPERIOR PRESENTA  
ADEMAS UNA RAJADURA.



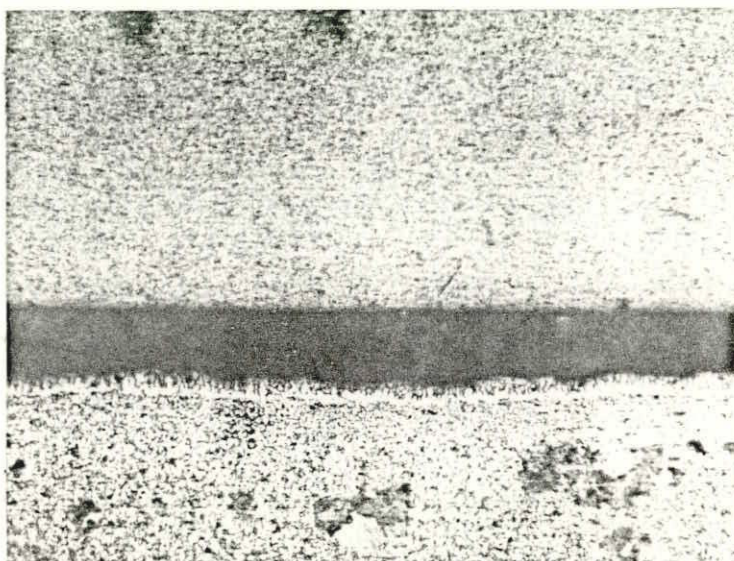


FIGURA N° 30.- MICROESTRUCTURA DE UNA CUCHILLA BIEN RECTIFICADA  
150X.



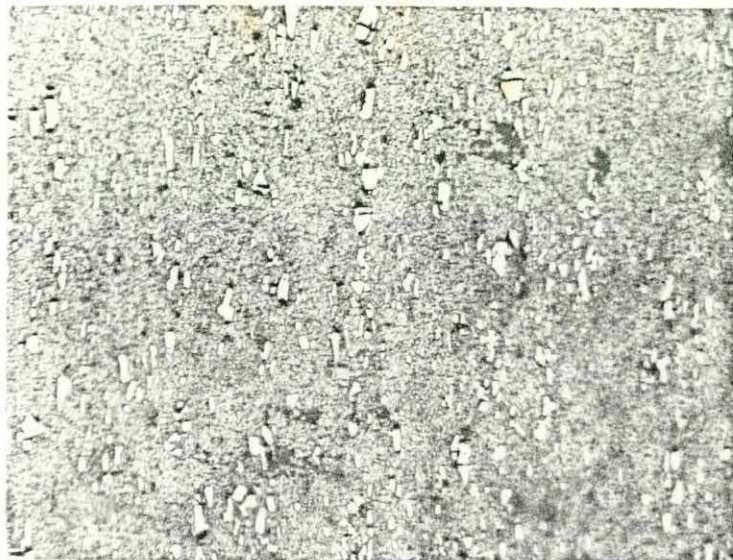


FIGURA Nº 31.- MICROESTRUCTURA DE UNA CUCHILLA ROTA  
LUEGO DE RECTIFICAR, 200 X

tables no existirá el problema de fragilidad y por ende, rotura de la misma.

c. Quemaduras en la capa superficial de las cuchillas.

Aparte del problema de rotura, las cuchillas en algunos casos resultaban con quemaduras en la capa superficial. Esto ocurría porque en ocasiones, con el ánimo de acelerar el trabajo, se incrementaba el avance y al ser este mayor, el desgaste de la muela también crece y causa un rápido embotamiento de la misma, produciéndose quemaduras en las piezas de trabajo. Figura N° 32.

Analizando al microscopio lo que ocurre en la capa superficial, notamos el cambio de microestructura en ella (figura N° 33).

Para tener mayores elementos de juicio se procedió a tomar microdureza tanto en el interior como en la capa superficial de las cuchillas llegándose a establecer que en la zona quemada la dureza aumentó. Esto es, la dureza en la parte interna se mantuvo igual en 59 Rc y en la capa superficial se detectaron durezas de

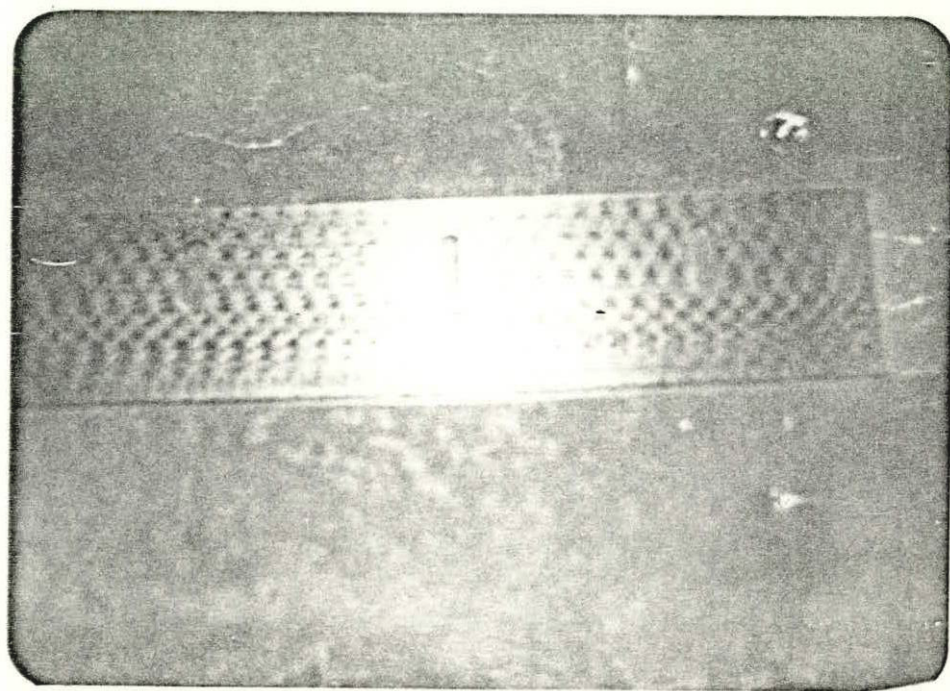


FIGURA Nº 32.- PIEZA CON QUEMADURAS SUPERFICIALES



FIGURA N<sup>o</sup> 33.- MICROESTRUCTURA DE UNA CUCHILLA QUEMADA  
(ZONA BLANCA), 750 X.



hasta 65 Rc.

Este incremento en la dureza se debe a la formación de carburos en esa zona.

Con la intención de corregir este defecto, se procedió a hacer un revenido de la pieza calentándola a 200°C por espacio de tres horas - notándose una disminución notable de la zona afectada con la consiguiente baja en la dureza.

Llevando el procedimiento a su condición más crítica, o sea calentando la pieza a 180°C por espacio de dos horas, prácticamente desapareció la zona quemada y la pieza recobró su dureza original, encontrándose de esta manera un remedio para casos como éste, en que accidentalmente una pieza de trabajo resulta con quemaduras en su superficie.

Seguidamente presentaremos dos casos donde intencionalmente el procedimiento no se lleva a cabo en la forma correcta. El primero, seleccionando la muela inapropiada para el efecto y el segundo, incrementando la profundidad de corte más allá de lo normal.



d. Efectos del uso de una muela dura sobre una pieza dura

Se quizo probar una muela dura en una de las herramientas que, como ya se sabe, son de elevada dureza y se eligió el dado de troquel - por ser el de mayor porcentaje de carbono.

Rectificando adecuadamente la muela, el resultado obtenido fue quemaduras en la capa superficial que se acentuaban más a medida que se dejaba embotar la muela. Esto es, dos maneras de proceder que nos impiden obtener un buen - rectificado de la pieza: la mala selección de la muela y el embotamiento de la misma.

Para el primer caso la solución está en escoger correctamente la muela siguiendo el lema de que "para materiales duros se eligen muelas blandas y para materiales blandos muelas duras" y, para el segundo, en rectificar la muela - con determinada frecuencia para impedir que se acumulen virutas entre las puntas de corte de la muela.

En todo caso, si se llegara a cometer por des

cuido cualquiera de estos errores y la superficie de la pieza resultare con quemaduras, se podrá remediar el daño siguiendo el método llevado a cabo en el caso anterior, es decir, que se procederá a hacer un revenido de la pieza.

e. Efectos de una profundidad de corte alta sobre una pieza delgada.

Como es lógico, se escogió la cuchilla para el corte de pañales y se llegó a mecanizar hasta una profundidad de 0,06 mm. La pieza no solamente sufrió quemaduras en la superficie - sino que también se contrajo la capa que es tuvo en contacto con la muela. (Figura N<sup>º</sup> 34).

Así mismo se realizaron los respectivos análisis de microestructura y dureza, constatándose los resultados obtenidos en la anterior cuchilla, osea, exceso de carburos en la capa superficial (figura N<sup>º</sup> 35) y aumento de la dureza de la misma. Como ya se estableció un revenido de la pieza es lo indicado para remediar esta situación.

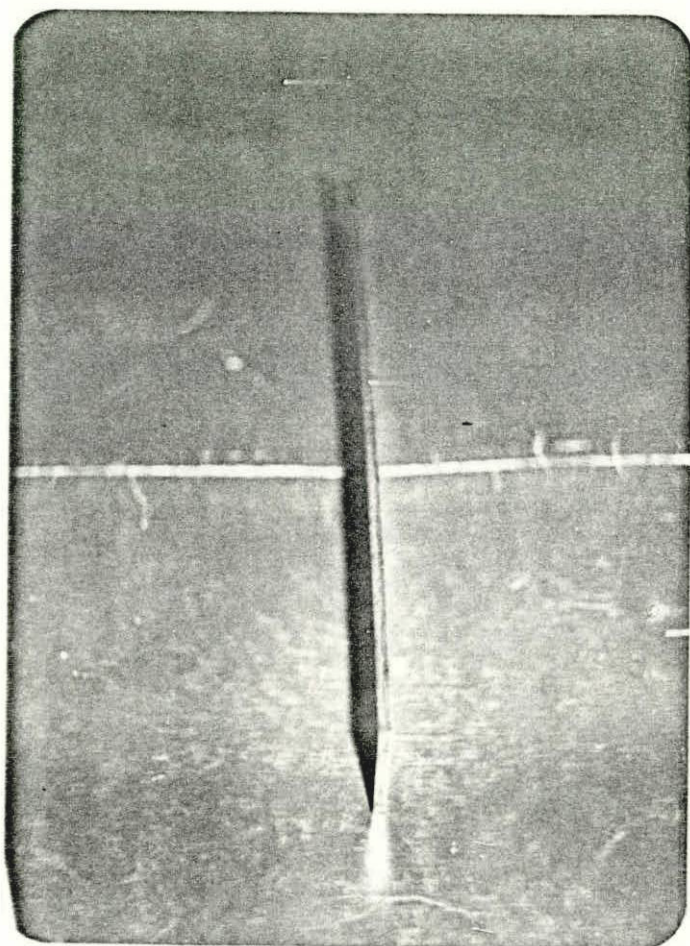


FIGURA Nº 34.- PIEZA ALABEADA

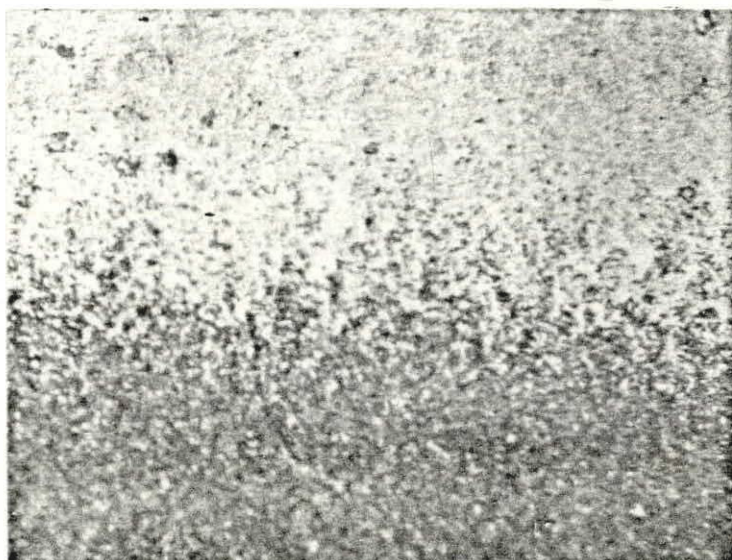


FIGURA Nº 35.- MICROESTRUCTURA DE UNA CUCHILLA QUEMADA  
Y ALABEADA, 750 X.



En las observaciones al microscopio pudimos no tar también que la elevada penetración de la muela sobre la pieza fue causa de la formación de relieves en la superficie (figura N°36) los cuales pueden ser apreciados haciendo un corte transversal de la pieza.

En lo concerniente al pandeo de la pieza, la causa de que se produzca es debido a esfuerzos residuales. El trabajar con una alta profundidad de corte hizo que aumente la temperatura provocando quemaduras en la superficie y al mismo tiempo que se desarrollen tensiones internas que, en el presente caso, por tratarse de una pieza delgada, sus efectos fueron más notables. La pieza quedó alabeada con una deflexión de 1,9 mm.

Con el ánimo de restablecer la forma original de la cuchilla se la sometió a un recocido de alivio de tensiones manteniéndola en el horno por espacio de dos horas hasta alcanzar una temperatura de 675°C; luego, se la dejó enfriar en el horno hasta 500°C, y finalmente, al aire libre.



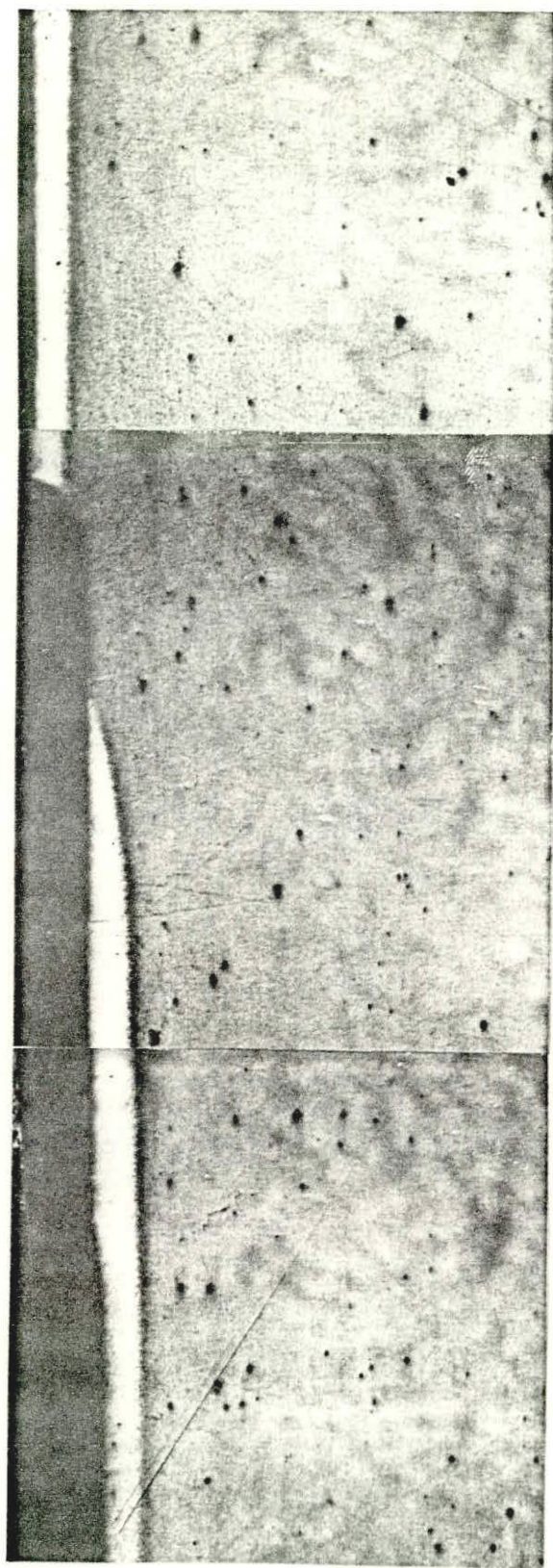


FIGURA Nº 36.- MICROFOTOGRAFIA QUE MUESTRA LOS RELIEVES DEJADOS EN LA SUPERFICIE DE UNA CUCHILLA RECTIFICADA CON EXCESIVA PENETRACION DE CORTE, 50X

El resultado fue un retorno casi completo a su estado anterior, quedando una deflexión de apenas 0,4 mm., valor que puede despreciarse ya que es muy pequeño comparado con el largo de la pieza. De esta manera podemos considerar que la pieza ha recuperado su superficie recta, tal - como era originalmente.

A continuación se llevaron a efecto las pruebas tendientes a valorar la influencia de los principales parámetros de corte sobre el rendimiento volumétrico de la muela, la rugosidad superficial y los costos unitarios de mecanizado, relacionándolos entre sí.

La técnica experimental ya fue explicada en el - capítulo anterior y el análisis de los resultados obtenidos se lo hará graficamente a continuación.

#### 4.1. RELACION ENTRE LA RAZON DE RECTIFICADO Y LA VELOCIDAD DE LA PIEZA

Para estudiar el comportamiento que tiene el rendimiento volumétrico de la muela se eligió el eje de las abscisas para la velocidad de la pieza y los valores correspondienen

tes a la razón de rectificado se graficaron en el eje de las ordenadas. Los datos se encuentran dispuestos en la tabla IX para las cuchillas y en la tabla X para los dados y los gráficos son mostrados en la figura 37 y en la figura 38, respectivamente.

La relación entre ambos parámetros nos muestra un incremento en la razón de rectificado para bajas velocidades de la pieza y bajos avances.

Obviamente, el comportamiento es similar en ambos casos ya que estamos tratando sobre rectificado de superficies planas.

Con avances más bajos podemos llegar a lograr un rendimiento más alto de la muela; pero la velocidad periférica de la pieza no puede decrecer más a pesar de que con esto se conseguiría también elevar el rendimiento, porque produciría quemaduras en la superficie rectificada.

TABLA IX

VALORES QUE REALCIONAN LA RAZON DE RECTIFICADO CON LA VELOCIDAD DE LA PIEZA  
(CUCHILLAS)

$\Delta V (mm^3)$	$\Delta S (mm^3)$	K	a (mm/c)	$V_p (m/mm)$
2171,70	496,84	4,37	0,95	24,90
1809,75	495,96	3,65	-	26,53
1447,80	495,08	2,92	-	29,56
1085,85	494,19	2,20	-	92,67
1809,75	492,72	3,67	1,39	24,96
1447,80	491,84	2,94	-	27,35
1085,85	490,95	2,21	-	29,73
723,90	490,07	1,48	-	32,04



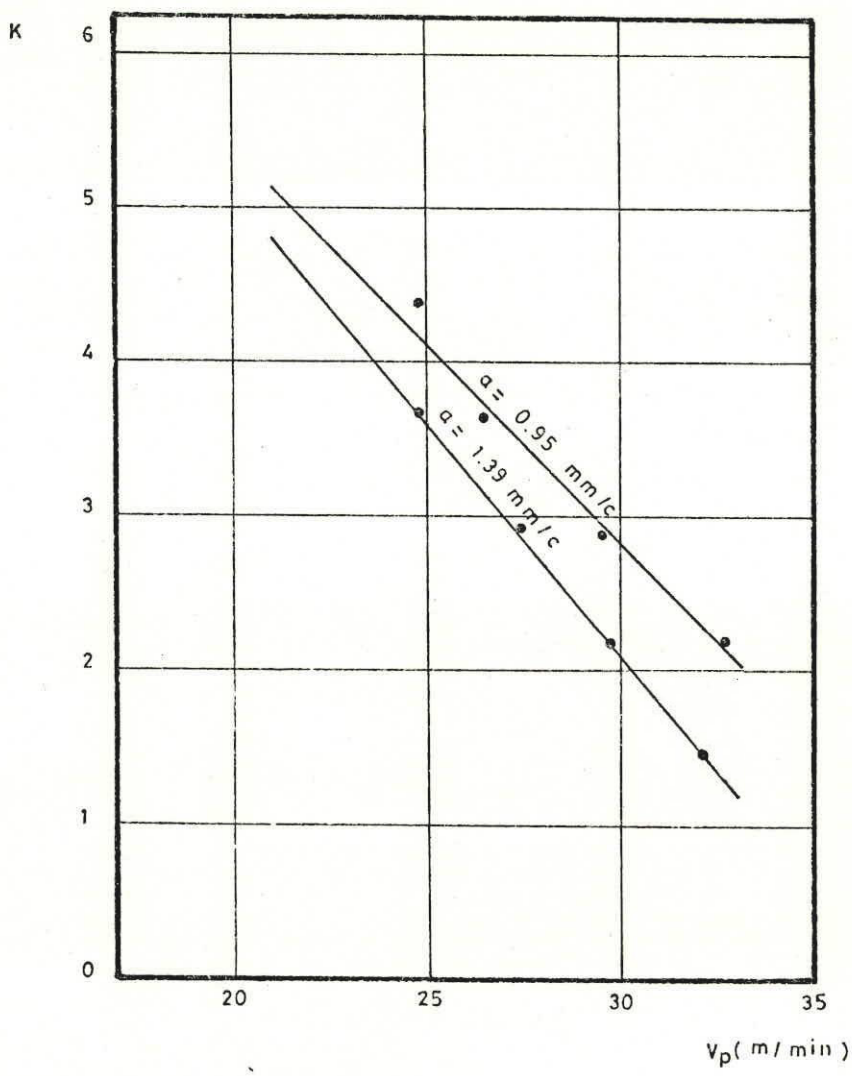


FIGURA N° 37. RAZON DE RECTIFICADO  $K$  Vs. VELOCIDAD PERIFERICA DE LA PIEZA  $v_p$ . (CUCHILLAS)



TABLA X  
VALORES QUE RELACIONAN LA RAZON DE RECTIFICADO CON LA  
VELOCIDAD DE LA PIEZA(DADOS)

$V(\text{mm}^3)$	$S(\text{mm}^3)$	K	$a(\text{mm}/c)$	$V_p(\text{m}/\text{mm})$
4036,80	977,48	4,13	0,95	23,46
3464,00	975,52	3,45	-	26,57
2691,20	973,56	2,76	-	30,95
2018,40	971,59	2,08	-	31,90
4036,80	969,63	4,16	1,56	21,54
2691,20	967,66	2,78	-	26,40
2018,40	965,70	2,09	-	29,13
1345,60	963,70	1,40	-	32,12

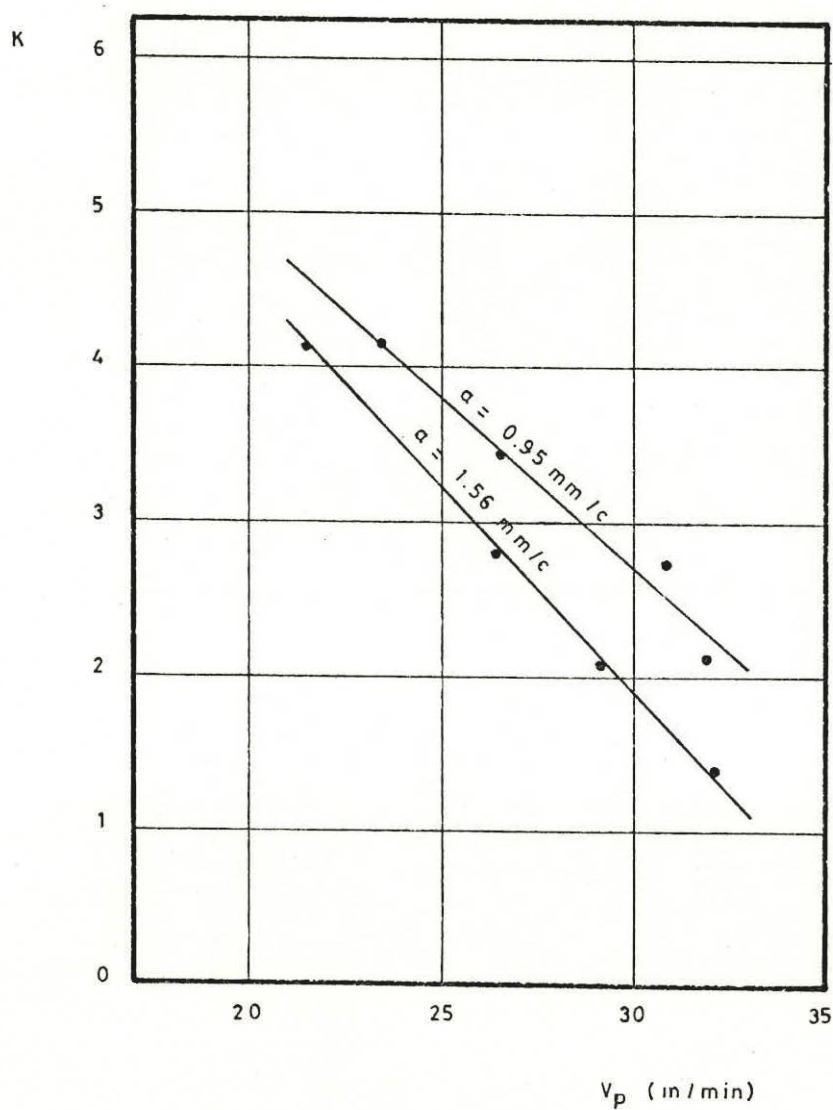


FIGURA N<sup>o</sup> 38. RAZON DE RECTIFICADO  $K$  Vs. VELOCIDAD PERIFERICA DE LA PIEZA  $V_p$ . (DADOS).

#### 4.2. RELACION ENTRE LA RUGOSIDAD Y LA VELOCIDAD DE LA PIEZA

Siguiendo el mismo procedimiento del caso anterior, la velocidad periférica de la pieza se colocó en las abscisas mientras que la rugosidad ocupó el eje de las ordenadas. Los valores correspondientes están situados en las tablas XI y XII y los gráficos se encuentran en las figuras Nº 39 y 40.

Hay que recordar que las lecturas de rugosidad no son del todo correctas por las razones expuestas en el capítulo anterior; a pesar de este inconveniente se puede observar con claridad el comportamiento de la rugosidad de acuerdo a la variación de la velocidad de la pieza y del avance.

Vemos que se obtienen buenos resultados cuando estos parámetros tienen valores bajos.

Si establecemos una relación entre la rugosidad y la razón de rectificado podemos afirmar que trabajando a baja velocidad pe

TABLA XI  
VALORES QUE RELACIONAN LA RUGOSIDAD CON LA VELOCIDAD DE LA  
PIEZA(CUCHILLAS)

a (mm/c)	Vp (m/mm)	R ( $\mu$ )
0,95	24,90	0,5
-	26,53	0,5
-	29,56	0,5
-	32,67	0,6
1,39	24,96	0,7
-	27,35	1,0
-	29,73	1,0
-	32,04	1,2

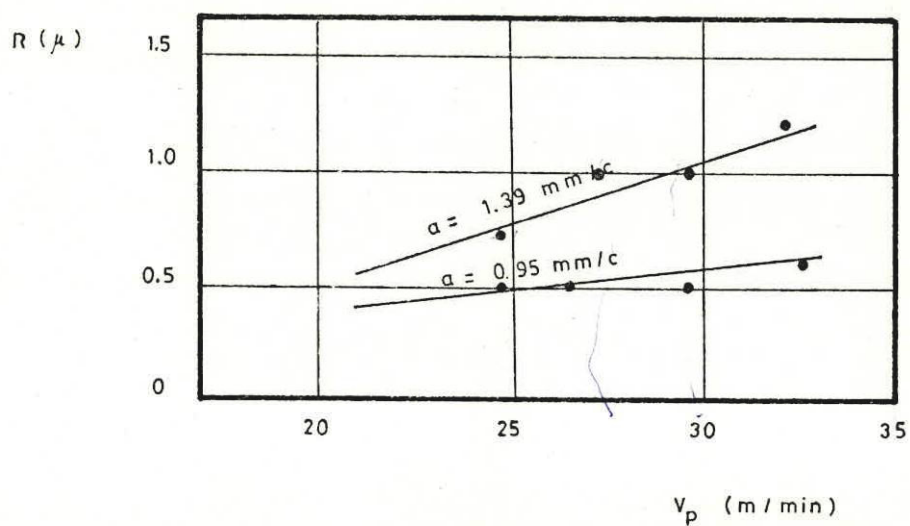


FIGURA N° 39. RUGOSIDAD  $R$  Vs. VELOCIDAD PERIFERICA DE LA PIEZA  $V_p$ . (CUCHILLAS).



TABLA XII  
VALORES QUE RELACIONAN LA RUGOSIDAD CON LA VELOCIDAD DE LA PIEZA  
(DADOS)

$a$ (mm/c)	$V_p$ (m/mm)	$R$ ( $\mu$ )
0,95	23,46	0,4
-	26,57	0,5
-	30,95	0,6
-	31,90	0,6
1,56	21,54	0,5
-	26,40	0,7
-	29,13	1,0
-	32,12	1,0

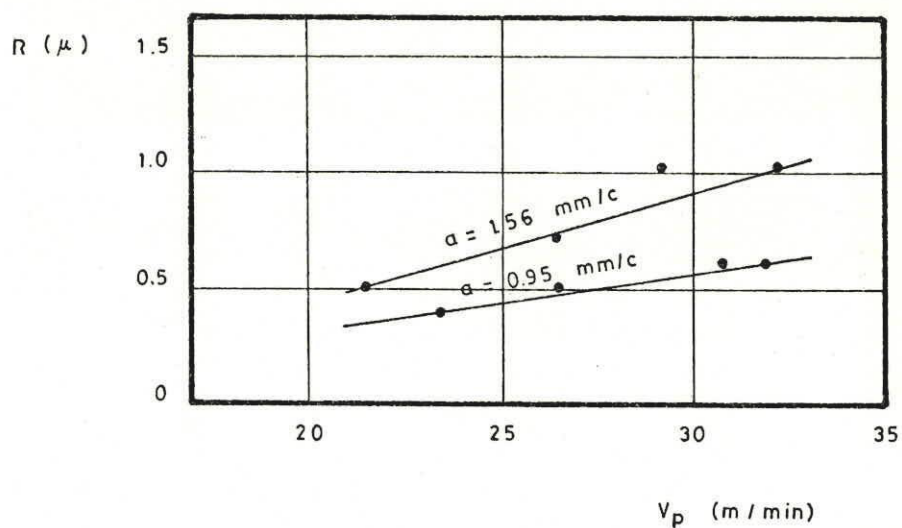


FIGURA N° 40. RUGOSIDAD  $R$  Vs. VELOCIDAD PERIFERICA DE LA PIEZA  $V_p$  (DADOS).

riférica de la pieza y bajos avances, se dan altos reportes de rendimiento y buen acabado superficial, lo que permite decir que la rugosidad superficial obtenida es tanto mejor - cuanto mayor es la cantidad de material - arrancado de la pieza con respecto al perdido en la muela por desgaste.

#### 4.3. RELACION ENTRE LA RAZON DE RECTIFICADO, LA RUGOSIDAD Y LA VELOCIDAD DE ARRANQUE DE VIRUTA

Se ha dicho que baja velocidad periférica de la pieza y bajos avances, permiten obtener - buen acabado superficial y alto rendimiento - de la muela, pero hay que tomar en cuenta otros factores que intervienen en el análisis de optimización de una operación de rectificado y uno de ellos es la velocidad de - arranque de viruta, es decir, la cantidad de material arrancado por unidad de tiempo.

Para cada caso en las abscisas se ha colocado dicha velocidad y en las ordenadas, la razón de rectificado y la rugosidad, respectivamente. Los datos y los gráficos se en

cuentran en la tabla XIII y la figura 41 para las cuchillas y en la tabla XIV y figura 42 para los dados.

Obtener una velocidad de arranque de viruta alta es lo ideal, pero esto conlleva según los diagramas obtenidos, una baja en el rendimiento de la muela así como una elevación de la rugosidad superficial ya que de hecho esto implica elevar la velocidad periférica de la pieza o el avance.

Es preciso entonces encontrar un mecanismo - que nos ayude a conseguir un buen rendimiento con un aceptable acabado superficial acompañados de una velocidad de arranque de viruta que nos permita lograr estos objetivos.

Entra aquí el análisis de los costos de mecanización que nos ofrecen una imagen más objetiva y práctica para establecer las condiciones óptimas.

#### 4.4. RELACION DE LOS COSTOS CON LA RUGOSIDAD Y EL RENDIMIENTO DEL PROCESO

Hasta este punto no se tienen aún elementos

TABLA XIII

VALORES QUE RELACIONAN LA RAZON DE RECTIFICADO Y LA RUGOSIDAD CON LA VELOCIDAD DE  
ARRANQUE DE VIRUTA(CUCHILLAS)

a (mm/c)	K	R ( )	Z (mm <sup>3</sup> /sec)
0,95	4,37	0,5	7,89
-	3,65	0,5	8,40
-	2,92	0,5	9,36
-	2,20	0,6	10,35
1,39	3,67	0,7	11,57
-	2,94	1,0	12,67
-	2,21	1,0	13,78
-	1,48	1,2	14,85



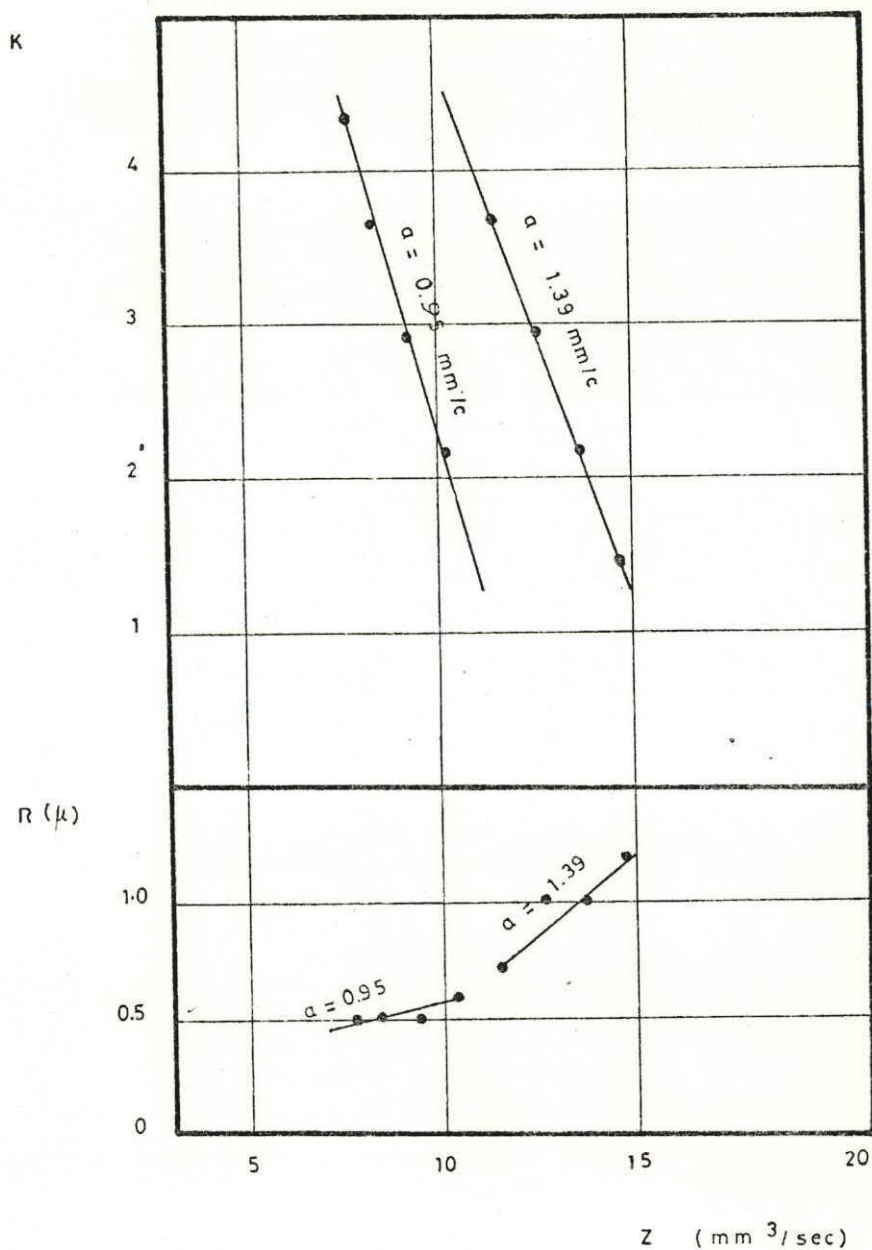


FIGURA N<sup>o</sup> 41. RAZON DE RECTIFICADO  $K$  Y RUGOSIDAD  $R$  Vs.

VELOCIDAD DE ARRANQUE DE VIRUTA  $Z$  (CUCHILLAS).

TABLA XIV

VALORES QUE RELACIONAN LA RAZON DE RECTIFICADO Y LA RUGOSIDAD CON LA  
VELOCIDAD DE ARRANQUE DE VIRUTA (DADOS)

$a$ (mm/c)	K	$R(\mu)$	$Z$ (mm <sup>3</sup> /sec)
0,95	4,13	0,4	7,43
-	3,45	0,5	8,41
-	2,76	0,6	9,80
-	2,08	0,6	10,10
1,56	4,16	0,5	11,20
-	2,78	0,7	13,73
-	2,09	1,0	15,14
-	1,40	1,0	16,70

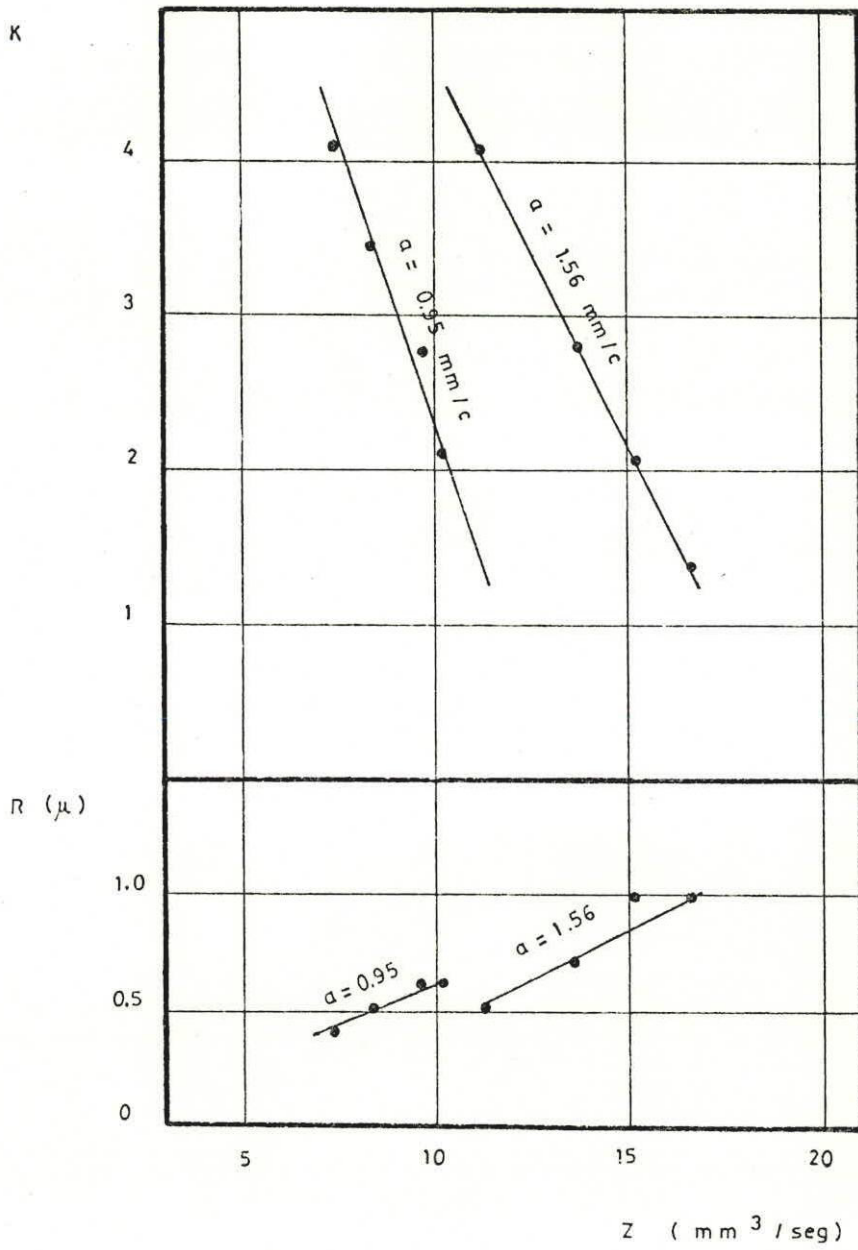


FIGURA N°42. RAZON DE RECTIFICADO  $K$  Y RUGOSIDAD  $R$   
Vs. VELOCIDAD DE ARRANQUE DE VIRUTA  $Z$   
(DADOS).

suficientes para establecer cual de las condiciones será la más conveniente. El análisis de los costos de mecanización ejerce gran influencia sobre la determinación de estas condiciones ya que nos permite encontrar un equilibro entre los parámetros óptimos de corte y los costos mínimos.

Primeramente veamos el comportamiento que tienen los costos de mecanización con la velocidad periférica de la pieza y el avance. Para el efecto la velocidad de la pieza se ha colocado en el eje de las abscisas y los costos en el eje de las ordenadas. Los datos los encontramos en las tablas XV y XVI y los gráficos en las figuras N<sup>o</sup> 43 y N<sup>o</sup> 44 , para las cuchillas y los dados, respectivamente.

Para un avance determinado, a medida que aumentamos la velocidad de la pieza, los costos disminuyen. Igualmente, si elegimos un avance mayor que el anterior la curva de costos cae, es decir, adquiere valores más bajos que los anteriores para iguales velocidades de la pieza.

TABLA XV

VALORES QUE RELACIONAN LOS COSTOS CON LA VELOCIDAD DE LA PIEZA(CUCHILLAS)

a (mm/c)	Vp(m/mm)	C(S/./cm <sup>3</sup> )
0,95	24,90	324,12
-	26,53	263,50
-	29,56	199,35
-	32,67	154,95
1,39	24,96	196,47
-	27,35	156,44
-	29,73	125,42
-	32,04	112,27



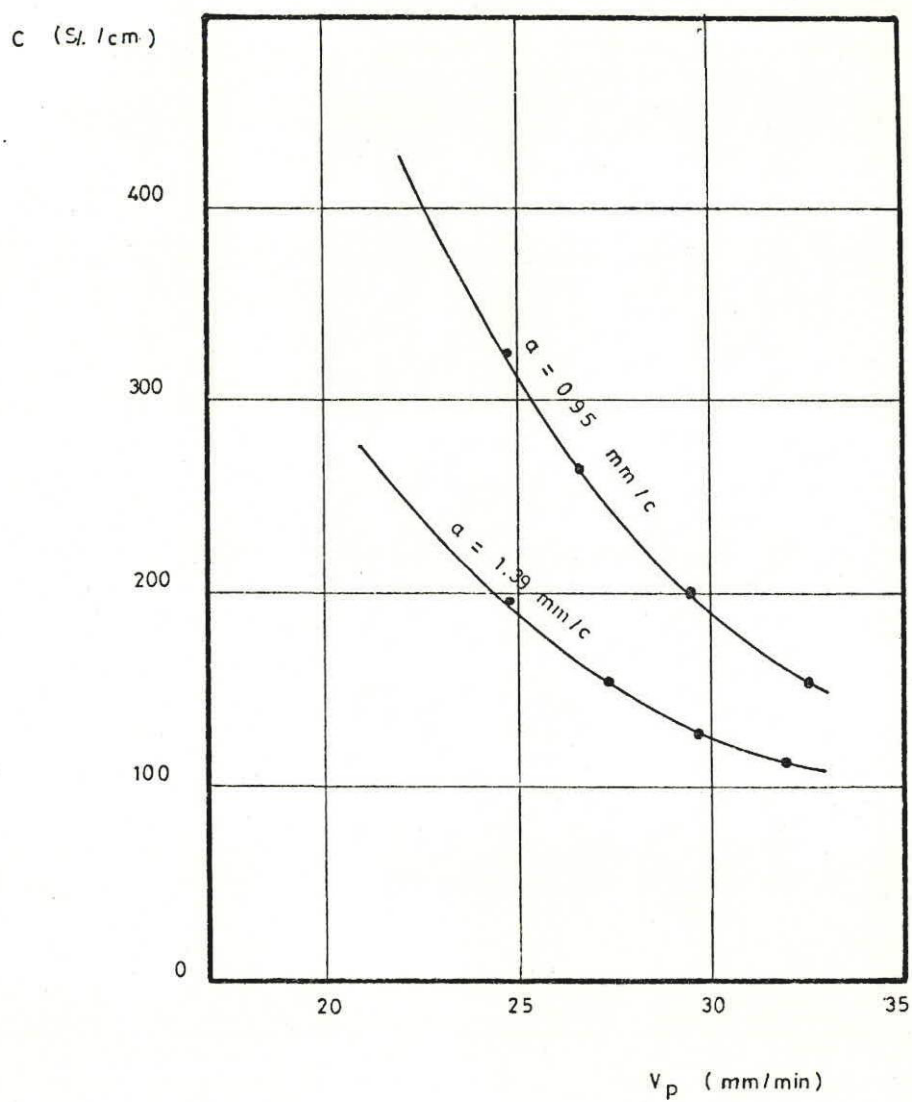


FIGURA N<sup>o</sup> 43. COSTOS  $C$  Vs. VELOCIDAD PERIFERICA DE LA PIEZA  $V_p$  (CUCHILLAS).

TABLA XVI

VALORES QUE RELACIONAN LOS COSTOS CON LA VELOCIDAD DE LA PIEZA (DADOS)

a (mm/c)	Vpm/mm)	CS/. /cm <sup>3</sup> )
0,95	23,46	376,42
-	26,57	284,09
-	30,95	204,42
-	31,90	156,57
1,56	21,54	255,95
-	26,40	149,27
-	29,13	111,10
-	32,12	85,37

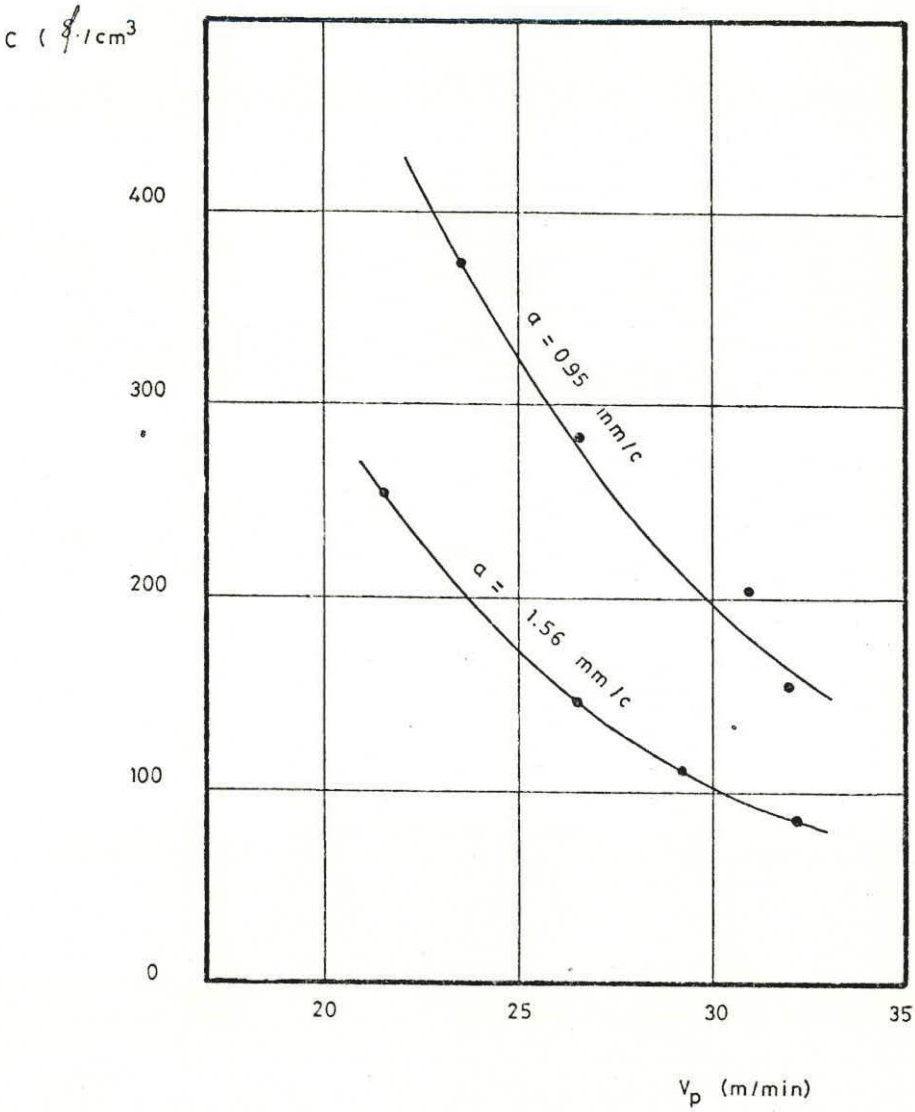


FIGURA N° 44. COSTOS  $C$  Vs. VELOCIDAD PERIFERICA DE LA PIEZA  $V_p$ . (DADOS).

Según estos resultados para trabajar en condiciones de mínimo costo habrá que elegir velocidades de la pieza y avances altos, pero como ya se ha visto la superficie que se obtiene es más rugosa y el rendimiento de la muela bajo.

Resulta entonces de empleo más práctico adoptar un sistema valorativo que asuma como base la velocidad de arranque de viruta relacionando los costos con la rugosidad y el rendimiento del proceso.

Hacemos un diagrama colocando en el eje de las abscisas la velocidad de arranque de viruta y en el eje de las ordenadas la razón de rectificado, la rugosidad superficial y los costos de mecanización. Tenemos así un cuadro general que relaciona entre sí los cuatro parámetros valorativos de la operación de rectificado cuyos valores están dispuestos en las tablas XVII y XVIII y los gráficos en las figuras N° 45 y N° 46, para las cuchillas y los dados, respectivamente.

Para los dos avances puestos en consideración

TABLA XVII

VALORES QUE RELACIONAN LA RAZON DERECTIFICADO, LA RUGOSIDAD Y LOS COSTOS CON LA VELOCIDAD  
DE ARRANQUE DE VIRUTA (CUCHILLAS)

K	R ( $\mu$ )	Z (mm <sup>3</sup> /sec)	C (S./Cm <sup>3</sup> )
4,37	0,5	7,89	324,12
3,65	0,5	8,40	263,50
2,92	0,5	9,36	199,35
2,20	0,6	10,35	154,95
3,67	0,7	11,57	196,47
2,94	1,0	12,67	156,44
2,21	1,0	13,78	125,42
1,48	1,2	14,85	112,27



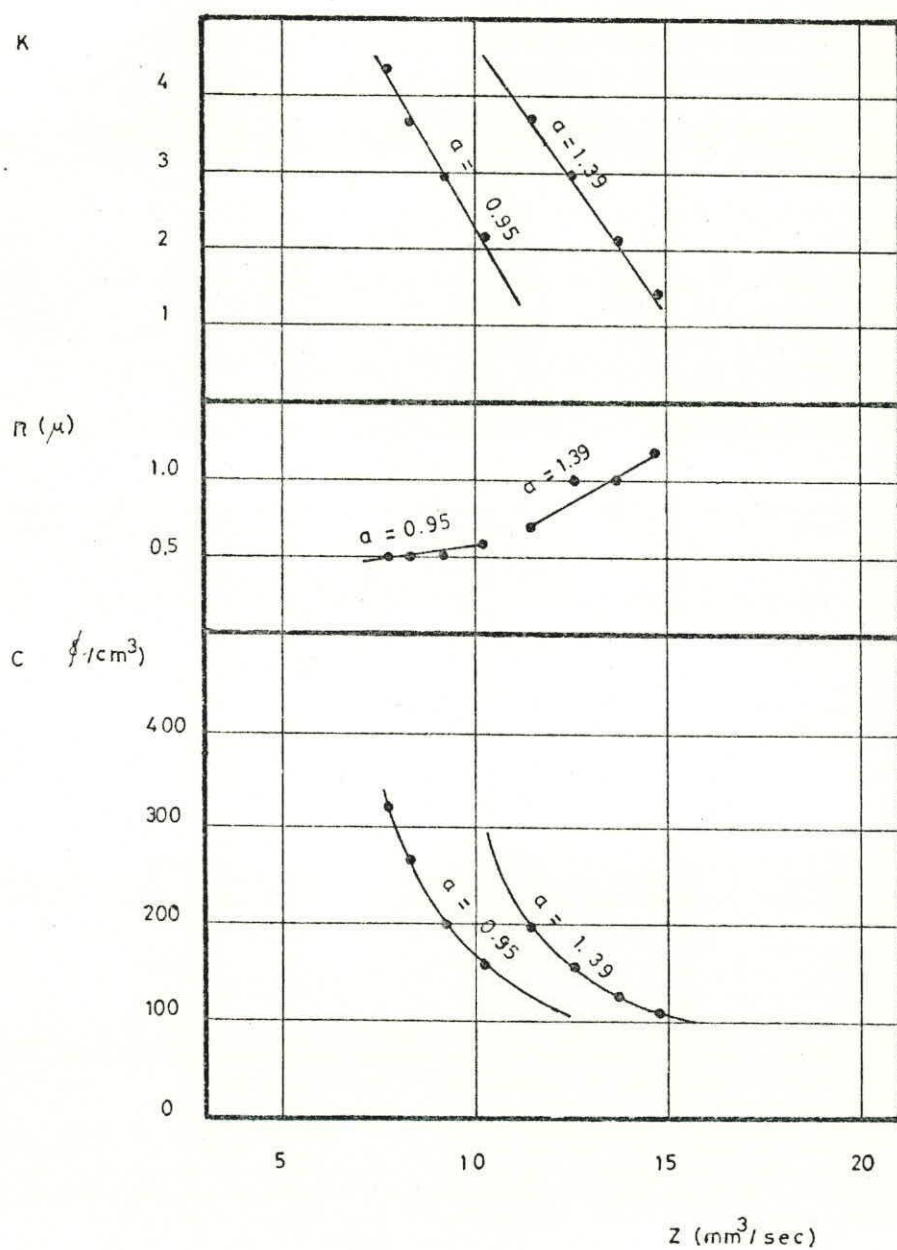


FIGURA N° 45. RAZON DE RECTIFICADO  $K$ , RUGOSIDAD  $R$  Y COSTOS  $C$  Vs. VELOCIDAD DE ARRANQUE DE VIRUTA  $Z$  (CUCHILLAS).

TABLA XVIII

VALORES QUE RELACIONAN LA RAZON DE RECTIFICADO, LA RUGOSIDAD Y LOS COSTOS CON LA VELOCIDAD DE ARRANQUE DE VIRUTA (DADOS)

K	R ( $\mu$ )	Z(mm <sup>3</sup> /sec)	C(S./cm <sup>3</sup> )
4,13	0,4	7,43	376,42
3,45	0,5	8,41	284,09
2,76	0,6	9,80	204,42
2,08	0,6	10,10	156,57
4,16	0,5	11,20	255,95
2,78	0,7	13,73	149,27
2,09	1,0	15,14	111,10
1,40	1,0	16,70	85,37

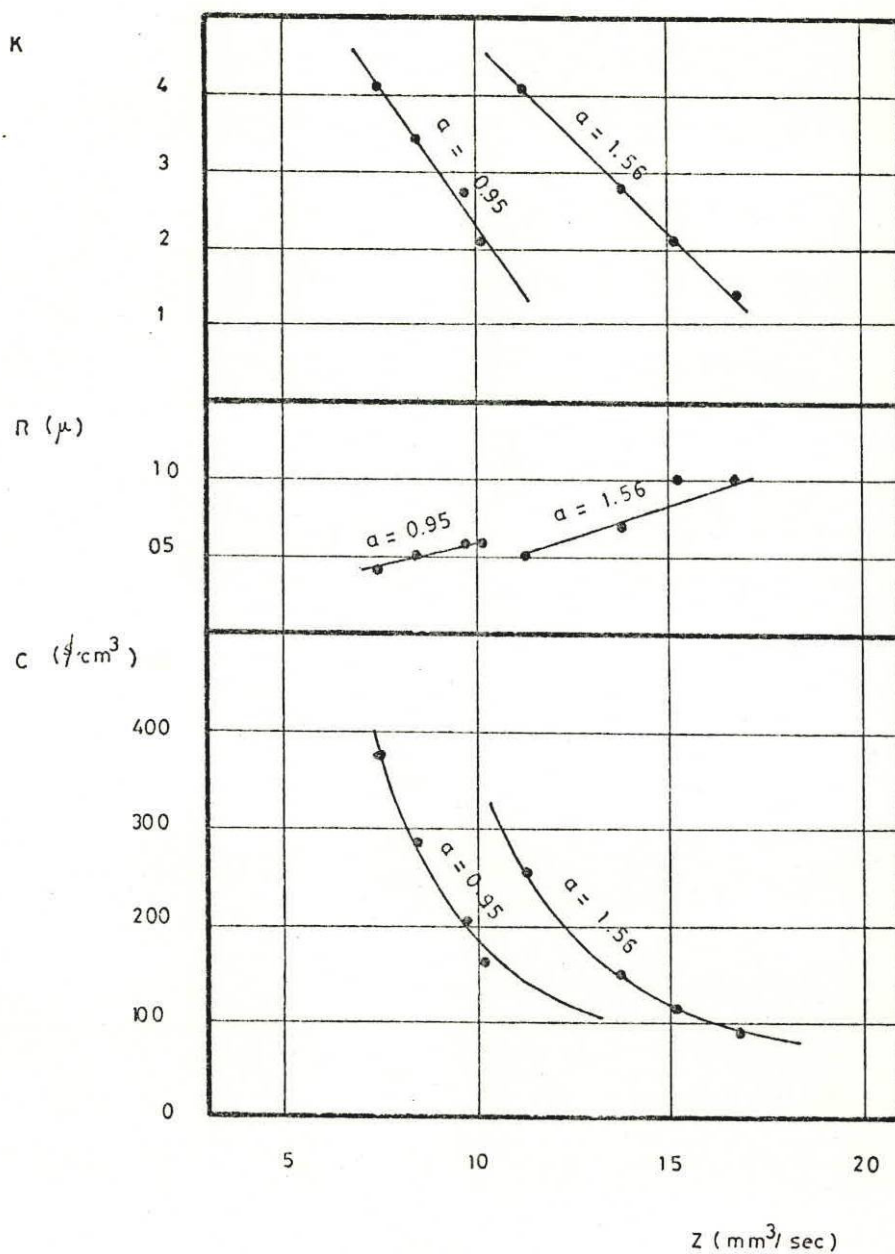


FIGURA N° 46. RAZON DE RECTIFICADO  $K$ , RUGOSIDAD  $R$  Y COSTOS  $C$  Vs. VELOCIDAD DE ARRANQUE DE VIRUTA  $Z$ . (DADOS).

tenemos dos velocidades de arranque de viruta que corresponden a dos costos mínimos, pudiendo de esta manera el operario, compatiblemente con sus necesidades de acabado superficial elegir un avance y una velocidad de la pieza que se aproximen mayormente a las condiciones de mínimo costo.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El análisis de resultados del presente trabajo de investigación nos permite sacar las siguientes conclusiones:

1. La rotura de los dados de troquel se debía, además de la inadecuada selección de la muela, al mal rectificado de ella.
2. La causa de la rotura de las cuchillas era el temple de las mismas, llevado a cabo en forma incorrecta.
3. El motivo por el cual las cuchillas presentaban quemaduras en la capa superficial era el embotamiento de la muela debido al incremento del avance.
4. Las quemaduras provocaron un aumento de la dureza en la capa superficial, pero la conservaron en el resto de la pieza.
5. La elevada penetración de la muela sobre una



pieza larga y delgada fue causa del alabeo de la misma, además de quemaduras en la capa superficial.

6. Al incrementar la velocidad de la pieza, la razón de rectificado disminuye y aumenta la rugosidad. Lo mismo sucede si elevamos el - avance y la velocidad de arranque de viruta.
7. Los costos disminuyen al incrementar la velocidad periférica de la pieza y el avance.
8. Al aumentar la velocidad de arranque de viruta existen tantos costos mínimos cuantos incrementos de avance son puestos en consideración.

De igual manera, las conclusiones nos permiten efectuar las siguientes recomendaciones:

1. Primeramente, hacer lo que se ha venido insistiendo durante todo el trabajo, es decir, escoger la muela correcta y seleccionar bien los parámetros de corte.
2. Rectificar la muela a intervalos regulares y hacerlo en la forma recomendada (figura N<sup>o</sup> 23).

3. Seleccionar las condiciones de temple de las piezas de manera que el proceso sea bien llevado a cabo y evitar así fallas en su micro estructura.
4. En caso de quemaduras en la capa superficial de las piezas con el consiguiente aumento en la dureza, se recomienda hacer un revenido para eliminar los defectos.
5. El alabeo de piezas delgadas causadas por elevada penetración de la muela puede remediarse mediante un recocido de alivio de tensiones.
6. Para llevar a cabo una operación donde el rendimiento y el acabado superficial sean compatibles con los costos mínimos de mecanización, - las figuras N° 45 y N° 46, sirven de guía para lograr tal propósito.

## BIBLIOGRAFIA

1. BRUINS, D.H. HERRAMIENTAS Y MAQUINAS - HERRAMIENTAS, TOMO II, URMO S.A. DE EDICIONES, BILBAO, 1981.
2. BURGHARDT, H., AARON, A. Y ANDERSON, J., MANEJO DE LAS MAQUINAS - HERRAMIENTAS, PARTE II, Mc GRAW HILL BOOK COMPANY INC, 1965.
3. BOOTHROYD, G., FUNDAMENTOS DEL CORTE DE METALES Y DE LAS MAQUINAS - HERRAMIENTAS, EDITORIAL Mc GRAW - HILL LATINOAMERICANA S.A., BOGOTA, 1978.
4. CHARCHUT, W., FABRICACIONES CON MAQUINAS - HERRAMIENTAS, URMO S.A. DE EDICIONES, BILBAO, 1981.
5. DALLAS, D., TOOL AND MANUFACTURING ENGINEERS HANDBOOK, HIRD, Mc GRAW HILL BOOK COMPANY, 1976.
6. HUTTE, MANUAL DEL INGENIERO DE TALLER, TOMO I, EDITORIAL GUSTAVO GILI S.A., BARCELONA, 1959.

7. LEGRAND, R., NUEVO MANUAL DEL TALLER MECANICO, TOMO I, EDITORIAL LABOR S.A., BARCELONA, 1966.
8. LEYENSETTER, A. TECNOLOGIA DE LOS OFICIOS METALURGICOS. EDITORIAL REVERTE S.A., BARCELONA, 1974.
9. MICHELETTI, G.F., IL TAGLIO DEI METALLI, SECONDA - EDIZIONE, UNIONE TIPOGRAFICO - EDITRICE TORINESE , TORINO, 1977.
10. OBERG, E. Y JONES, F.D., MANUAL UNIVERSAL DE LA TECNICA MECANICA, TOMO II, EDITORIAL LABOR S.A., BARCELONA, 1955.
11. ROSSI., M., MAQUINAS - HERRAMIENTAS MODERNAS, VOLUMEN II, EDITORIAL CIENTIFICO - MEDICA (HOEPLI).
12. RUTELLI, G., LABORATORIO PER LA LABORAZIONE DEI METALLI, CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE, 1973.