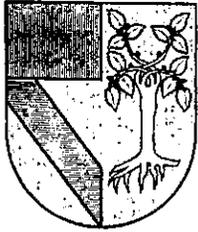


308917

25  
2ej



UNIVERSIDAD PANAMERICANA

ESCUELA DE INGENIERIA

CON ESTUDIOS INCORPORADOS A LA  
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO.

“PROPUESTA DEL USO DE UNA NUEVA HERRAMIENTA DE  
DIAMANTE INDUSTRIAL EN EL RECTIFICADO Y AFILADO DE  
RUEDAS ABRASIVAS UTILIZADAS EN EL ÁREA DE  
RECTIFICADO EN LA MANUFACTURA DE ANILLOS PARA  
PISTÓN PARA AUTOMÓVILES.”

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO  
ELECTRICISTA.

ÁREA INGENIERÍA MECÁNICA.

PRESENTA:

CARLOS IVÁN REALI CÁRDENAS.

DIRECTOR DE TESIS:

DR. PIOTR MACIEJ RUSEK PIELA.

MÉXICO D.F. ■■■

1999

274427

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

**SEÑOR GRACIAS POR EL MAGICO MOMENTO EN QUE MI MADRE ACEPTO A MI PADRE COMO SU ETERNO COMPAÑERO LLENANDOSE SUS CORAZONES DE AMOR FIEL Y DEVOTO.**

**DOY GRACIAS SEÑOR POR SER EL PRODUCTO DE ESE AMOR QUE ILUMINO MI ALMA HASTA EL SENO DE MI MADRE QUIEN ME DIO LA BIENVENIDA A ESTE BELLO MUNDO.**

**GRACIAS MARCELA POR TENER LA TIERNA PACIENCIA DE EDUCARME Y CUIDARME AUN AHORA A MIS 25 AÑOTES.**

**GRACIAS CARLOS POR TUS NOCHES DE DESVELO EMPEÑANDOTE EN BRINDARLE A TU FAMILIA UN MEJOR FUTURO.**

**MARCELA Y CARLOS SU EJEMPLO, ESA PASION POR LA VIDA, ME HA GUIADO DIA A DIA, LLEVANDOME A ALCANZAR METAS COMO LA QUE AHORA LES BRINDO EN ESTE TRABAJO.**

**A MI HERMANO MAURICIO AGRADEZCO SU SECRETA AMISTAD QUE ME ENSEÑO A VALORAR LAS ACCIONES MAS QUE LAS PALABRAS.**

**A MIS ABUELOS DEBO AGRADECER LA BELLA FAMILIA A LA QUE ESTOY ORGULLOSO DE PERTENECER.**

**HERMINIA E HIPOLITO DE QUIENES TENGO LA HONESTIDAD Y FORTALEZA DE MIS ACTOS.**

**A ELVIRA. Y ANTONIO LES DEBO LA DEDICACION AL TRABAJO BIEN HECHO.**

**PERO DE MANERA ESPECIAL LES AGRADEZCO A MIS ABUELOS EL QUE ME HAYAN INCULCADO DE MANERA UNICA EL AMOR A MI MEXICO Y SUS TRADICIONES.**

**EL DIAMANTE ES LA UNICA PIEDRA PRECIOSA CON LA  
CAPACIDAD DE CREAR MAGIA EN LA INDUSTRIA, EL ARTE Y  
LO MAS IMPORTANTE PARA CUALQUIER HOMBRE EL SI DE LA  
MUJER AMADA.**

## INDICE.

<b>1.- CLASIFICACIÓN Y PROPIEDADES DEL DIAMANTE NATURAL UTILIZADO EN APLICACIONES INDUSTRIALES.....</b>	<b>I</b>
1.1.- CLASIFICACIÓN.....	1
1.1.1.- <i>BARRENADO (drillings)</i> .....	2
1.1.1.1.- CALIDAD SELECTA (fig. 1).....	3
1.1.1.2.- CALIDAD DE SEGUNDA (fig. 2).....	3
1.1.1.3.- CALIDAD DE TERCERA (fig. 3).....	3
1.1.1.4.- DIAMANTE PROCESADO (fig. 4).....	4
1.1.1.5.- DIAMANTE CASTING (fig. 5).....	4
1.1.1.6.- C1 (fig. 6).....	5
1.1.1.7.- C2.....	5
1.1.1.8.- CUBOS (fig. 7).....	5
1.1.1.9.- CARBONES (fig. 8).....	5
1.1.2.- <i>ABRASIVOS (abrasives)</i> .....	6
1.1.2.1.- DIAMANTE EN GRANO.....	7
1.1.2.2.- DIAMANTE EN POLVO.....	7
1.1.2.2.1.- MICRA.....	9
1.1.2.2.2.- PARTÍCULA.....	9
1.1.2.2.3.- PARTÍCULA FINA.....	9
1.1.2.2.4.- ASTILLAS.....	9
1.1.2.2.5.- LAJILLAS.....	9
1.1.3.- <i>DIAMANTE HERRAMENTAL (toolstones)</i> .....	10
1.1.3.1.- APLICACIÓN.....	10
1.1.3.2.- TAMAÑO DE ZANCO.....	10
1.1.3.3.- ZANCO REDONDO O PLANO.....	12
1.1.3.4.- PATRÓN DEL DIAMANTE EN LA HERRAMIENTA.....	13
1.1.3.5.- PESO DEL DIAMANTE.....	13
1.1.3.6.- TIPO DE DIAMANTE.....	14
1.1.3.7.- TIPO DE DIAMANTE Y FORMA.....	14
1.1.3.7.1.- DIAMANTES PARA AFILADO.....	14
1.1.3.7.1.1.- GRADO AA (fig. 9).....	14
1.1.3.7.1.2.- GRADO A (fig. 10).....	14
1.1.3.7.1.3.- GRADO B.....	14
1.1.3.7.1.4.- AFILADOR AA.....	15
1.1.3.7.1.5.- AFILADOR.....	15
1.1.3.7.1.6.- AFILADOR RECUBIERTO (fig. 11).....	15
1.1.3.7.2.- DIAMANTE PARA MOLDES.....	15
1.1.3.7.2.1.- GRADO DAA (fig. 12).....	15
1.1.3.7.2.2.- GRADO DA.....	15
1.1.3.7.2.3.- GRADO DB.....	16
1.1.3.7.3.- DIAMANTE PARA FORMAR HERRAMIENTAS.....	16
1.1.3.7.3.1.- PUNTAS AA (fig. 13).....	16
1.1.3.7.3.2.- PUNTAS AB.....	16
1.1.3.7.3.3.- ELONGADOS (fig. 14).....	16
1.1.3.7.3.4.- PUNTAS MONTADAS.....	16
1.1.3.7.3.5.- LAPIDADO AA (fig. 15).....	17
1.1.3.7.3.6.- LAPIDADO A.....	17
1.1.3.7.3.7.- MAACLES (fig. 16).....	17
1.1.3.7.3.8.- SIERRA LIBRE.....	17
1.1.3.7.3.9.- SIERRA RECUBIERTO (fig. 17).....	17
1.1.3.7.3.10.- FILOS.....	17

1.1.3.7.3.11.- CRISTALES.....	18
1.1.3.7.4.- OTRA CATEGORÍA DE LOS DIAMANTES HERRAMENTALES.....	19
1.1.3.7.4.1.- CARBONADOS.....	19
1.1.3.7.4.2.- BALLAS (fig. 18).....	19
1.1.3.7.4.3.- VITREOS.....	19
1.1.3.7.4.4.- DIAMANTES ORIENTADOS.....	19
1.1.3.7.4.5.- DIAMANTES RECUPERADOS.....	20
<b>1.2.- PROPIEDADES.....</b>	<b>25</b>
1.2.1.- CLASIFICACIÓN:.....	26
1.2.2.- PROPIEDADES GENERALES:.....	26
1.2.2.1.- COMPOSICIÓN QUÍMICA.....	26
1.2.2.1.1.- Principales impurezas.....	27
1.2.2.2.- DENSIDAD.....	27
1.2.2.3.- GRAFITIZACIÓN.....	28
1.2.2.4.- RESISTENCIA AL ATAQUE QUÍMICO.....	28
1.2.3.- PROPIEDADES MECÁNICAS.....	29
1.2.3.1.- DUREZA.....	29
1.2.3.1.1.- DUREZA DE RAYADO (ESCALA MOHS).....	29
1.2.3.1.2.- DUREZA (ESCALA KNOOP).....	30
1.2.3.2.- MÓDULO DE ELASTICIDAD Y COMPRESIBILIDAD.....	31
1.2.3.2.1.- MÓDULO DE ELASTICIDAD.....	31
1.2.3.2.2.- MÓDULO VOLUMÉTRICO.....	33
1.2.3.2.3.- COMPRESIBILIDAD.....	33
1.2.3.3.- ESFUERZO.....	33
1.2.3.3.1.- ESFUERZO A TENSIÓN.....	33
1.2.3.3.2.- ESFUERZO A CORTE.....	34
1.2.3.3.3.- ESFUERZO DE COMPRESIÓN.....	35
1.2.3.3.4.- DEFORMACIÓN PLÁSTICA.....	35
1.2.3.4.- PROPIEDADES TÉRMICAS.....	35
1.2.3.4.1.- CONDUCTIVIDAD TÉRMICA.....	35
1.2.3.4.2.- EXPANSIÓN TÉRMICA (COEFICIENTE LINEAL).....	36
1.2.3.5.- PROPIEDADES ÓPTICAS Y ELÉCTRICAS.....	36
1.2.3.5.1.- ÍNDICE DE REFRACCIÓN.....	36
1.2.3.5.2.- CONSTANTE DIELECTICA.....	37
<b>2.- PROCEDIMIENTOS GENERALES PARA MONTAR DIAMANTES EN ZANCOS DE HERRAMIENTAS.....</b>	<b>38</b>
2.1.- REQUERIMIENTOS PARA EL MONTADO.....	38
2.2.- MÉTODOS PARA EL MONTADO.....	39
2.2.1.- MONTADO UTILIZANDO EL MÉTODO DEL DR. H. TRACY-HALL.....	39
2.2.2.- MONTADO EN FRÍO.....	40
2.2.3.- MONTADO EN CALIENTE.....	40
2.2.4.- MONTADO POR SINTERIZADO A PRESIÓN.....	42
2.2.4.1.- EJEMPLOS DEL MONTADO POR SINTERIZADO A PRESIÓN.....	42
2.2.4.1.1.- BURIL PARA TORNO CON PUNTA DE DIAMANTE.....	42
2.2.4.1.2.- HERRAMIENTA TIPO MONOPUNTA PARA RECTIFICAR Y AFILAR RUEDAS ABRASIVAS (DRESSING TOOL).....	44
<b>3.- CARACTERÍSTICAS DE LAS HERRAMIENTAS DE DIAMANTE PARA RECTIFICAR Y AFILAR (ADEREZAR) RUEDAS ABRASIVAS PARA RECTIFICADO EN GENERAL.....</b>	<b>47</b>
3.1.- TIPOS DE HERRAMIENTAS PARA EL ADEREZADO.....	49
3.1.1.- HERRAMIENTA MONOPUNTA.....	49
3.1.2.- HERRAMIENTA MULTIPUNTA.....	51
3.1.3.- HERRAMIENTA CON DIAMANTE IMPREGNADO O CON POLVO DE DIAMANTE.....	55
3.1.4.- HERRAMIENTAS PERFILADORAS.....	55
3.1.5.- HERRAMIENTA CON BLOCKS IMPREGNADOS O CONGLOMERADOS.....	56
3.1.6.- ADEREZADORES ROTATIVOS.....	56

3.1.6.1.- SINTERIZADO.....	56
3.1.6.2.- ELECTRODEPOSITADO.....	56
<b>4.- VARIABLES PARA EL DISEÑO Y SELECCIÓN DE LAS HERRAMIENTAS PARA ADEREZAR RUEDAS PARA RECTIFICADO PLANO.....</b>	<b>58</b>
4.1.- CODIFICACIÓN DE LAS RUEDAS ABRASIVAS PARA RECTIFICADO.....	60
4.2.- CÁLCULO DEL PESO DEL DIAMANTE SOBRE LA BASE DE LAS DIMENSIONES DE LA RUEDA.....	61
4.3.- TAMAÑO DE GRANO EN LA RUEDA.....	62
4.4.- GRADO DE LA RUEDA.....	63
4.5.- TIPO DE AGLUTINANTE.....	63
4.6.- ESPESOR DE LA RUEDA.....	64
4.7.- ÁNGULO DE PRESENTACIÓN (ÁNGULO DE ARRASTRE).....	64
4.8.- ADEREZADO CON APLICACIÓN DE REFRIGERANTE O EN SECO.....	64
4.9.- PROFUNDIDAD DE CORTE Y AVANCE.....	65
4.10.- VELOCIDAD PERIFÉRICA DE LA RUEDA.....	66
4.11.- TIPOS Y CONDICIONES GENERALES DE MÁQUINA.....	69
4.12.- DESARROLLÓ DEL DISEÑO DE OPCIONES EN HERRAMIENTAS PARA EL ADEREZADO.....	71
<b>5.- APLICACIÓN PRÁCTICA.....</b>	<b>76</b>
5.1.- ANTECEDENTES.....	76
5.2.- CÁLCULO DEL TIEMPO DE CICLO DEL ADEREZADO.....	82
5.3.- PROPUESTA.....	83
5.3.1.- JUSTIFICACIÓN.....	84
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>89</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>91</b>

## **INTRODUCCIÓN.**

Este trabajo de tesis está encaminado a la demostración de la hipótesis planteada a una empresa dedicada a la fabricación de anillos para pistones para la industria automotriz, nombre de la cual se me pidió mantener en el anonimato.

La hipótesis consiste en la mejora del proceso de rectificado y afilado (aderezado) de las ruedas abrasivas utilizadas en la manufactura de los anillos fabricados para la industria automotriz.

Sustituyendo la herramienta tipo monopunta utilizada hasta ahora por una tipo multipunta, asegurando así una mejor vida útil de la herramienta así como una mejora en el afilado y rectificado de la rueda, contribuyendo en forma significativa al proceso en general y en ahorro de presupuesto destinado a dicho proceso.

Para cumplir el propósito del presente trabajo de tesis la he dividido en cinco capítulos; los tres primeros capítulos sientan las bases teóricas ya que en el primero

se hace alusión a la clasificación y propiedades físicas y químicas de la materia prima principal de las herramientas que nos atañen, el diamante natural aplicado a la industria en general.

El segundo capítulo se refiere a los diversos procedimientos que existen para montar al diamante en el zanco de la herramienta.

El tercer capítulo está dedicado a enunciar las características de los dos tipos de herramientas (monopuntas y multipuntas) involucradas en esta tesis.

El cuarto capítulo a pesar de que contiene bases teóricas no se puede considerar dentro de los tres anteriores ya que algunas de las bases que se mencionan y que son aplicadas actualmente en la fabricación de herramientas para el aderezado de ruedas abrasivas se han ido desarrollando de manera práctica, por supuesto que teniendo en cuenta siempre una apropiada base teórica; sin embargo existen criterios que se han ido desarrollando de acuerdo a las experiencias sin un previo estudio de las consecuencias, justificado debido a la gran demanda de respuestas inmediatas sobre todo en la industria automotriz donde en ocasiones no se cuenta con el tiempo necesario para realizar estudios de laboratorio lo que implica una rápida adaptación de las ideas a la realidad, lográndose así buenos resultados como los que se toman en cuenta ya como una variable para el diseño y la selección de las herramientas.

En el quinto capítulo se concluye con la aplicación práctica de la herramienta propuesta para comprobar los alcances de la hipótesis enunciada al inicio de este trabajo.

# **1.- CLASIFICACIÓN Y PROPIEDADES DEL DIAMANTE** **NATURAL UTILIZADO EN APLICACIONES INDUSTRIALES.**

## **1.1.- CLASIFICACIÓN.**

La estructura atómica de los diamantes naturales no varía, la cristalización en el sistema isométrico, produce una variedad de formas, como son: octaédricas, dodecaédricas y cúbicas. A menudo las caras están redondeadas por el crecimiento o factores externos, con imperfecciones como cavidades y/o deformaciones debidas a la disolución del carbón durante la formación del diamante.

El que se extraigan dos diamantes unidos es común, esta y otras distorsiones producen muchas formas irregulares, así como es posible encontrar diamante natural con diferentes formas cristalinas.

Es importante recalcar que muchos de los diamantes son encontrados con fracturas, rotos o en pedazos al momento de ser recolectados en las minas.

Debido a que día a día aumenta el número de aplicaciones de los diamantes naturales en la industria, existe la necesidad de manejar la información con una terminología universal, de manera que se facilite la comunicación en el medio del diamante sobre todo en el tema que nos atañe, la aplicación industrial del diamante natural.

La siguiente clasificación es una propuesta de la I.D.A.<sup>1</sup> donde se trató de conformar estándares aceptables ya existentes, así como firmes tradiciones y consideraciones prácticas, omitiendo las clasificaciones basadas en color, origen o precio.

Los diamantes naturales o como se les llamará de ahora en adelante, diamante industrial, es posible dividirlo en tres categorías, de acuerdo a su aplicación, en diamante industrial<sup>2</sup> para: barrenado, abrasivos y herramientas.

### **1.1.1.- BARRENADO (drillings).**

Los diamantes para barrenado están acomodados en las superficies de corte y rimando en una broca utilizada para barrenar piedras, concreto, tierra o cualquier otra formación abrasiva.

---

<sup>1</sup> Industrial Diamond Association of America Inc.

<sup>2</sup> Es importante remarcar que también existe el diamante industrial sintético.

Las brocas de diamante son utilizadas en excavación de pozos de gas natural, así como muchas otras aplicaciones en minería, construcción y prueba de cimentaciones.

Los diamantes para barrenado pueden ser clasificados y descritos de la siguiente forma:

**1.1.1.1.- CALIDAD SELECTA (fig. 1).**

Diamante de alta calidad, entero, sólido, resistente y casi redondo, directo de la mina, (otras designaciones serían diamante WAI, BARRENO y AAA).

**1.1.1.2.- CALIDAD DE SEGUNDA (fig. 2).**

Diamante de mediana calidad, casi entero sin fracturas, regularmente sólido y resistente pero un poco desfigurado y manchado (con carbones). Se pueden incluir diamantes octaédricos con bordes planos, (WA2 y AA).

**1.1.1.3.- CALIDAD DE TERCERA (fig. 3).**

Diamante de baja calidad, pero con la resistencia y fortaleza necesaria para usarse en brocas, tienen las superficies rotas y bordes filosos. Es posible mejorar la forma y resistencia del diamante, triturándolo y puliéndolo con cuidado siguiendo el contorno del diamante ya triturado.

#### **1.1.1.4.- DIAMANTE PROCESADO (fig. 4).**

Desarrollados recientemente, encontrando su aplicación en brocas para barrenado, y a últimas fechas se han aplicado en rectificadores múltiples y rotatorios.

Los diamantes que no son adecuados para el montaje en la herramienta debido a su tamaño, forma o calidad, pueden ser triturados, cortados y redondeados; proceso mediante el cual el diamante adquiere uniformidad y resistencia.

#### **1.1.1.5.- DIAMANTE CASTING<sup>1</sup> (fig. 5).**

Diamante utilizado por lo general en pequeñas piezas, para impregnarse en las brocas. Los diamantes largos y/o demasiado planos son desechados de esta clasificación. Es posible obtenerlo del tipo de diamante Congo Boart<sup>2</sup>, triturándolo y formando pequeños filos en la superficie de cada nueva pieza de diamante, este proceso se conoce como "diamond milled blocky<sup>3</sup>".

Muchos diamantes de este tipo, son recuperados de herramientas desgastadas, mediante un proceso químico para remover la superficie carburizada y procesados para lograr piezas fuertes y redondeadas.

---

<sup>1</sup> El significado para comprender el tipo de diamante es: sorteado, pero en el medio se conoce con ese término.

<sup>2</sup> Éste tipo de diamante es redondo, no es recomendable para corte o pulido.

<sup>3</sup> Propiedad del diamante para formar puntas nuevas, una vez fracturado.

**1.1.1.6.- C1 (fig. 6).**

Diamante entero, redondo, recubierto, sin fracturas y de alta calidad.

Puede tratarse de diamante Congo o Sierra Leona.

**1.1.1.7.- C2.**

Calidad de un diamante casi redondo, ya que no es tan esférico o resistente como el diamante C1.

**1.1.1.8.- CUBOS (fig. 7).**

Diamante de forma cúbica, recubierto y resistente

**1.1.1.9.- CARBONES (fig. 8).**

Natural o fracturados.

Los diamantes utilizados en brocas, son medidos de acuerdo al número de diamantes por quilate. Con frecuencia, en la compraventa de los diamantes se utilizan las mallas de Christensen, las cuales ya son un estándar en la industria.

La resistencia de los diamantes a la abrasión, varía de acuerdo a la orientación de los mismos, dato que ha sido de gran utilidad en la orientación de las pequeñas piezas.

Es de vital importancia tomar en cuenta la existencia de fisuras ya que los diamantes son frágiles, y no servirá de nada una perfecta orientación de la pieza.

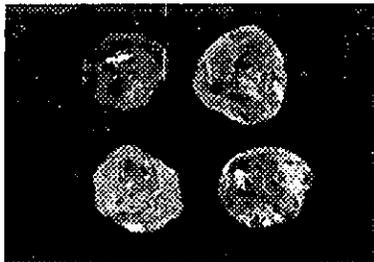


FIGURA 1: DIAMANTE DE CALIDAD SELECTA

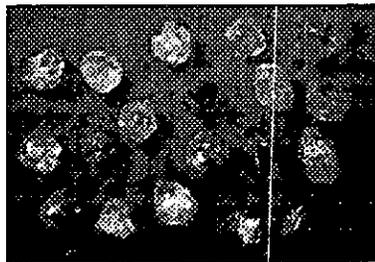


FIGURA 2: DIAMANTE DE SEGUNDA CALIDAD

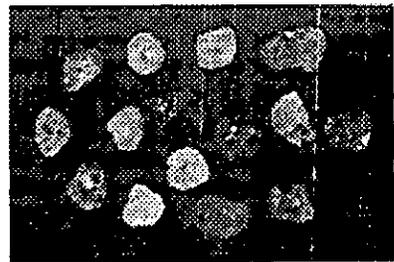


FIGURA 3: DIAMANTE DE TERCERA CALIDAD

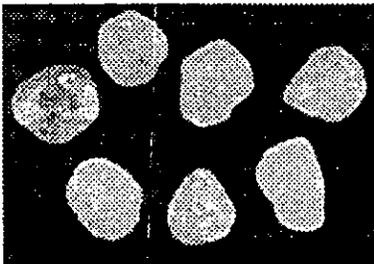


FIGURA 4: DIAMANTE PROCESADO

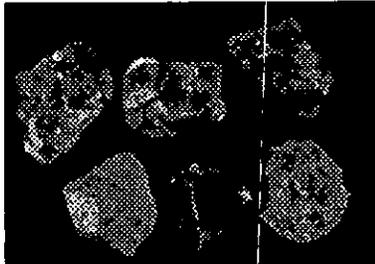


FIGURA 5: DIAMANTE CASTING



FIGURA 6: DIAMANTE C1 (CONGO O SIERRA LEONA)

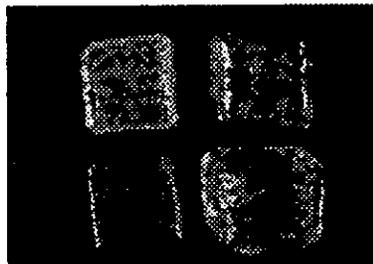


FIGURA 7: DIAMANTE C2 (CONGO O SIERRA LEONA)



FIGURA 8: CARBONES

### 1.1.2.- ABRASIVOS (abrasives).

La aplicación más frecuente de un diamante industrial es como abrasivo.

Es posible dividirlos en dos grandes grupos: diamante en grano y diamante en polvo.

### **1.1.2.1.- DIAMANTE EN GRANO.**

Este tipo de diamante está compuesto en su mayoría del tipo Boart, conocido también como Bort o Bortz. Este tipo de diamante, que es posible obtener en una pieza o fragmentado es procesado, para ajustar a un tamaño y forma; para su posterior purificación y clasificación, por medio de mallas y mesas vibratorias de selección.

La capacidad del diamante para formar filos puede ser determinada de manera visual o por medio de una prueba de densidad aparente (ANSIB75.17-1973).

El tamaño de un diamante abrasivo puede revisarse utilizando el estándar de malla americano ANSIB74.16-1971.

Las medidas estándar de malla en los Estados Unidos son:

8 / 10 / 12 / 14 / 16 / 18 / 20 / 30 / 50 / 60 / 80 / 100 / 120 / 140 / 170 / 200 / 230 / 270 / 235 / 400, medida de grano.

### **1.1.2.2.- DIAMANTE EN POLVO.**

Todo diamante que es capaz de pasar a través de una malla 400, se le conoce como Pan o tamaño menos 400. El rango para el polvo de diamante es de 0 a 100 micras, y puede ser ofrecido ya sea, por volumen o en grado exacto, medido en tamaño de submalla, como se indica en la siguiente tabla.

**TABLA 1 ESTÁNDAR DEL TAMAÑO MICRA PARA EL POLVO DE DIAMANTE.**

1 micra =  $1\mu\text{m} = 10^{-6}$  m.

TAMAÑO DESIGNADO	RANGO NOMINAL PARA TAMAÑO DE PARTÍCULA micras	TAMAÑO MÁXIMO DE PARTÍCULA micras	TOLERANCIA
½	0 a 1	1-1/2	Las partículas menores al rango para cada tamaño, no deben presentarse en cantidad, por arriba del 30% del total. Las partículas más largas que el largo nominal deben ser eliminadas, sin embargo, es permisible, tomando en cuenta el tamaño máximo; sólo un 5% hasta grado 9, 3% para grados 15 y 30 y 2% para el resto.
1	0 a 2	3	
3	2 a 4	5	
6	4 a 8	10	
9	8 a 12	14	
15	12 a 22	25	
45	36 a 54	58	
60	50 a 70	85	
100	80 a 100	120	

En el pasado, existía cierta confusión en determinar el tamaño del polvo fino de diamante; se llegó a determinar de manera científica utilizando términos de la microscopía óptica olvidando la manera teórica como solía hacerse, por medio de mallas. Los términos actuales para dichos tamaños son los siguientes:

#### **1.1.2.2.1.- MICRA.**

El tamaño de polvo que regularmente se prepara por cualquier método de separación, distinto al de malla.

#### **1.1.2.2.2.- PARTÍCULA.**

Este tamaño se obtiene, midiendo, con ayuda de un microscopio, un círculo de diámetro aproximado al de la partícula de diamante.

#### **1.1.2.2.3.- PARTÍCULA FINA.**

Son las partículas por debajo del mínimo especificado.

#### **1.1.2.2.4.- ASTILLAS.**

Tal como su nombre lo dice son partículas similares a una astilla, sea similar a una aguja con o sin las puntas redondeadas.

#### **1.1.2.2.5.- LAJILLAS.**

Son pequeñas plaquetas delgadas, que al observarse en el microscopio utilizando luz directa aparentan ser transparentes.

Cabe mencionar que existen en la actualidad tres formas de aplicar y comercializar el polvo de diamante:

- El polvo en estado natural, es decir, sin mezclarlo con alguna otra sustancia.
- En compuesto, una mezcla de polvo de diamante y aceites minerales, formando una suspensión coloide.
- En pasta, una mezcla de polvo de diamante, grasas derivadas del petróleo y colorante artificial, formando una mezcla homogénea.

### **1.1.3.- DIAMANTE HERRAMENTAL (toolstones).**

Cualquier otro tipo de diamante está incluido en esta última clasificación.

La Sociedad Americana de Ingenieros Manufactureros, publicó el ANSIB67.1-1975, un estándar que establece las dimensiones de zanco, un sistema designado, nomenclatura y tolerancia en peso para las herramientas de diamante utilizadas para rectificar y afilar ruedas abrasivas.

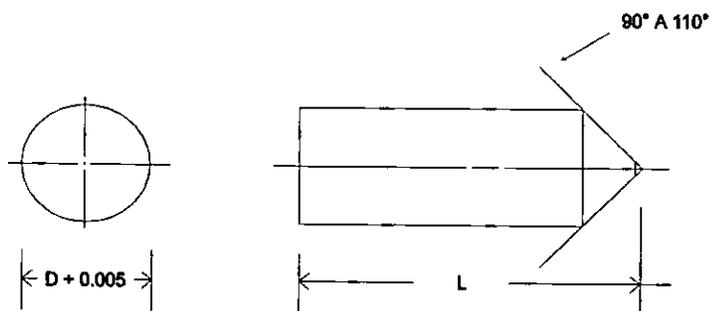
A continuación se enlista la descripción de cada una de las siglas y números que forman el sistema de codificación de las herramientas.

#### **1.1.3.1.- APLICACIÓN.**

De herramienta para afilado y rectificado (dressing tool).

#### **1.1.3.2.- TAMAÑO DE ZANCO.**

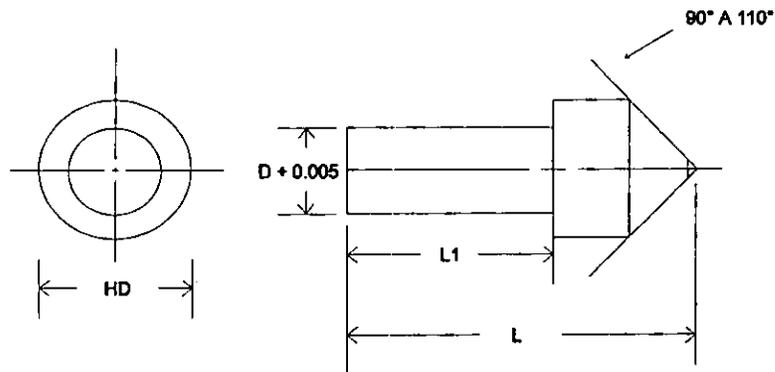
De acuerdo al estándar de las siguientes tablas.



**DIBUJO AUXILIAR DE UN ZANCO RECTO PARA LA TABLA 2a**

**TABLA 2a ZANCO RECTO (tanto para uno o varios diamantes).**

NÚMERO DE ZANCO	DIÁMETRO DE ZANCO "D" en pulg. y (mm)	LARGO DE LA HERRAMIENTA "L" en pulg. y (mm)
1	1/4 (6.35)	1 (25.4)
2	3/8 (9.525)	1 1/4 (31.75)
3	7/16 (11.113)	1 1/2 (38.10)
4	1/2 (12.70)	3 (76.2)



**DIBUJO AUXILIAR DE UN ZANCO CON CABEZA PARA UNO O VARIOS DIAMANTES PARA LA TABLA 2b**

**TABLA 2b ZANCO CON CABEZA PARA UNO O VARIOS DIAMANTES.**

NÚMERO DE ZANCO	DIÁMETRO DE ZANCO "D" en pulg. y (mm)	LARGO DEL ZANCO "L1" en pulg. y (mm)	DIÁMETRO DE LA CABEZA "HD" en pulg. y (mm)	LARGO DE HERRAMIENTA "L" en pulg. y (mm)
10	1/4 (6.35)	1 1/2 (38.10)	7/16 (11.113)	1 (25.4)
11	7/16 (11.113)	3/4 (19.05)	5/8 (15.875)	1 3/8 (34.925)

**1.1.3.3.- ZANCO REDONDO O PLANO.**

R = redondo,

F = plano (flat).

#### **1.1.3.4.- PATRÓN DEL DIAMANTE EN LA HERRAMIENTA.**

P = monopunta.

S = una sola capa de  
diamantes.

L = capas de diamantes.

I= impregnado.

#### **1.1.3.5.- PESO DEL DIAMANTE.**

El peso de los diamantes se expresa en quilates.

**TABLA 3 TOLERANCIAS PARA LOS PESOS EN TAMAÑOS NOMINALES DE DIAMANTES EN QUILATES.**

FRACCIONAL	DECIMAL	TOLERANCIA	PESO
1/20	0.05	±0.02	(0.03-0.07)
1/10	0.10	±0.03	(0.07-0.13)
1/7	0.15	±0.03	(0.12-0.18)
1/5	0.20	±0.03	(0.17-0.23)
1/4	0.25	±0.04	(0.21-0.29)
1/3	0.33	+0.06 -0.04	(0.29-0.39)
1/2	0.50	+0.12 -0.10	(0.40-0.62)
3/4	0.75	±0.12	(0.63-0.87)
1	1.00	+0.14 -0.12	(0.88-1.14)
1 1/4	1.25	+0.9 -0.10	(1.15-1.34)
1 1/2	1.50	+0.24 -0.15	(1.35-1.74)
2	2.00	±0.25	(1.75-2.25)

### **1.1.3.6.- TIPO DE DIAMANTE.**

“Sin letra “= natural

M = sintético.

### **1.1.3.7.- TIPO DE DIAMANTE Y FORMA.**

#### **1.1.3.7.1.- DIAMANTES PARA AFILADO.**

##### **1.1.3.7.1.1.- GRADO AA (fig. 9).**

De calidad sobresaliente y rara, tiene una superficie uniforme, bien definida. Cuenta con el mínimo de cuatro excelentes puntas, es decir, cada punta está limpia internamente, sin impurezas (carbón), ni grietas o fisuras.

##### **1.1.3.7.1.2.- GRADO A (fig. 10).**

Diamante con una estructura interna resistente y libre de grietas. Con el mínimo de dos puntas excelentes, más una punta buena.

##### **1.1.3.7.1.3.- GRADO B.**

Diamante de mediana calidad, es necesario que la superficie sea uniforme como un diamante de mayor grado. Cuenta con dos puntas buenas como mínimo.

#### **1.1.3.7.1.4.- AFILADOR AA.**

Diamante con media a pobre estructura interna, con tan sólo una punta buena como mínimo.

#### **1.1.3.7.1.5.- AFILADOR.**

Diamante de calidad pobre con mediana resistencia al desgaste y protuberancias, por lo que su geometría no se define con exactitud.

#### **1.1.3.7.1.6.- AFILADOR<sup>1</sup> RECUBIERTO (fig. 11).**

Diamantes resistentes del tipo Sierra Leona o Congo octaédrico recubiertos.

#### **1.1.3.7.2.- DIAMANTE PARA MOLDES.**

##### **1.1.3.7.2.1.- GRADO DAA (fig. 12).**

De la mejor calidad, diamante dodecaedro, libre de grietas y fisuras, con la claridad suficiente para una inspección óptica.

##### **1.1.3.7.2.2.- GRADO DA.**

Diamante de buena calidad, con una estructura interna libre de grietas e impurezas. Su forma puede ser menos exacta como en DAA, además de que pueden existir pequeñas marcas exteriores.

---

<sup>1</sup> Éste tipo de diamante se conoce en el medio con su término en inglés "dresser".

#### **1.1.3.7.2.3.- GRADO DB.**

Diamante libre de impurezas, pero podría requerir de ciertos ajustes en su geometría, antes de utilizarlo en algún proceso.

#### **1.1.3.7.3.- DIAMANTE PARA FORMAR HERRAMIENTAS.**

##### **1.1.3.7.3.1.- PUNTAS AA (fig. 13).**

Diamante de calidad fina, con al menos  $2 \frac{1}{2}$  más de largo respecto a su ancho máximo. Carece de grietas, usualmente son dodecaedros largos.

##### **1.1.3.7.3.2.- PUNTAS AB.**

Diamante de segunda, es posible que contenga impurezas y de forma irregular, pero substancialmente resistente. Su largo es al menos el doble de su máximo espesor.

##### **1.1.3.7.3.3.- ELONGADOS (fig. 14).**

Como su nombre lo indica es de forma elongada, con el largo al menos el doble de su ancho, los requerimientos de calidad son bajos.

##### **1.1.3.7.3.4.- PUNTAS MONTADAS.**

Diamante con al menos una sección libre de grietas y fisuras.

#### **1.1.3.7.3.5.- LAPIDADO AA (fig. 15).**

Diamante del tipo elongado, dodecaédrico achatado u octaédrico distorsionado, son los ideales para lapidar en herramientas de corte, cuñas, etc.

#### **1.1.3.7.3.6.- LAPIDADO A.**

Diamante de segunda calidad ya que no es tan largo, ni tan puro como el lapidado AA.

#### **1.1.3.7.3.7.- MAACLES (fig. 16).**

Diamante de forma triangular, con los lados planos.

#### **1.1.3.7.3.8.- SIERRA LIBRE.**

Diamantes dodecaédricos o cúbicos dentados, excelentes para maquinar herramientas en la forma especificada, tomando en cuenta que los filos a trabajar deben estar libres de imperfecciones.

#### **1.1.3.7.3.9.- SIERRA RECUBIERTO (fig. 17).**

Diamante recubierto, es necesario que la superficie a maquinar sea natural o libre de recubrimiento, éste tipo de diamante es ideal para maquinar carburo.

#### **1.1.3.7.3.10.- FILOS.**

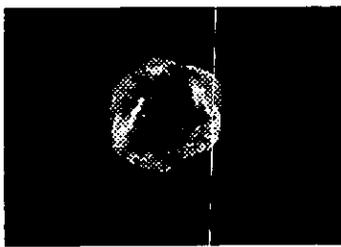
Diamantes rotos o astillados, son utilizados para afilar o emparejar carburos. Estos diamantes deben tener el largo suficiente para poder ser montados en el zanco.

### **1.1.3.7.3.11.- CRISTALES.**

Diamantes octaédricos con sus lados planos. Sus características para poder ser utilizados son: que debe contar con sus aristas y puntas, filosas y resistentes.



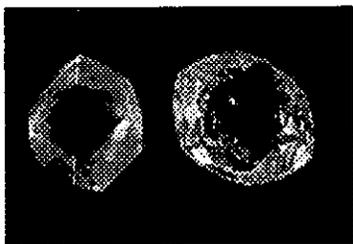
**FIGURA 9: DIAMANTE GRADO AA**



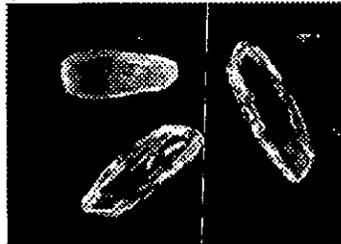
**FIGURA 10: DIAMANTE GRADO A**



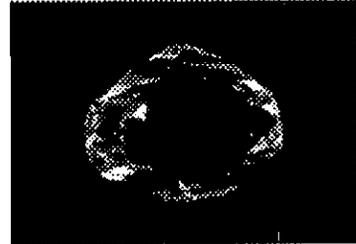
**FIGURA 11: DIAMANTE AFILADOR RECUBIERTO**



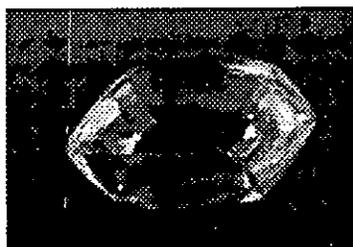
**FIGURA 12: DIAMANTE GRADO DAA**



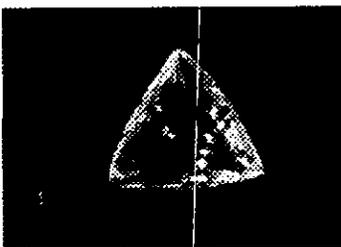
**FIGURA 13: DIAMANTE PUNTAS AA**



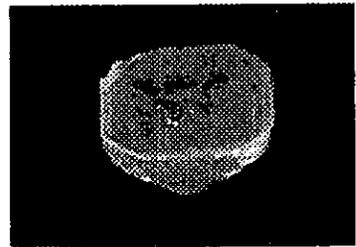
**FIGURA 14: DIAMANTE ELONGADO**



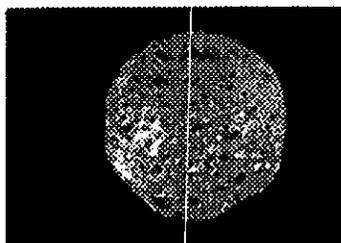
**FIGURA 15: DIAMANTE LAPIDADO AA**



**FIGURA 16: DIAMANTE MACLE**



**FIGURA 17: DIAMANTE SIERRA RECUBIERTO**



**FIGURA 18: DIAMANTE BALLAS**

#### **1.1.3.7.4.- OTRA CATEGORÍA DE LOS DIAMANTES HERRAMENTALES.**

##### **1.1.3.7.4.1.- CARBONADOS.**

Un conglomerado de cristales de diamante y criptocristales<sup>4</sup> opacos en tonos gris y negro. Generalmente tienen formas irregulares, pero es posible romperlos para lograr una forma deseada.

##### **1.1.3.7.4.2.- BALLAS (fig. 18).**

Diamante esférico con una resistencia por de más extraña. Conglomerado también de diminutos cristales, normalmente criptocristales, ordenados de manera radial alrededor del centro.

##### **1.1.3.7.4.3.- VITREOS.**

Diamantes semejantes al vidrio cortado. Son nervios de dodecaedros uniformes, que deben ser capaces de formar cruces perfectas; éstos pueden ser naturales o recubiertos.

##### **1.1.3.7.4.4.- DIAMANTES ORIENTADOS.**

Placas del diamante orientados de forma natural. Se utilizan las características cristalográficas más óptimas de estos diamantes en la herramienta para su mejor aprovechamiento.

---

<sup>4</sup> Granos microscópicos formados de polvo fino de cuarzo.

### **1.1.3.7.4.5.- DIAMANTES RECUPERADOS.**

Diamantes que han sido utilizados y recuperados de otra herramienta, para ser utilizados nuevamente, por lo regular en otro proceso, en otra aplicación.

## **GLOSARIO DE TÉRMINOS.**

### **RECOMENDACIONES PARA USUARIOS.**

#### **PARA UNA RÁPIDA IDENTIFICACIÓN DE LAS FORMAS DE LOS DIAMANTES.**

<b>CLASIFICACIÓN POR FORMA</b>	<b>CLASIFICACIÓN POR GEOMETRÍA</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
<b>1</b>	<b>Octaédrico.</b>	<b>Diamante de ocho lados, el cual cuenta con un máximo de seis puntas.</b>
<b>2</b>	<b>Blocky Octaédrico.</b>	<b>Diamante irregular tipo blocky, con una forma octaédrica base.</b>
<b>3</b>	<b>Cúbico.</b>	<b>Diamante de seis lados, con lados paralelos.</b>
<b>4</b>	<b>Dodecaédrico.</b>	<b>Diamante de doce lados con las superficies redondeadas cuenta con seis puntas mayores y ocho menores.</b>
<b>5</b>	<b>Cristal.</b>	<b>Diamante octaédrico con sus lados planos, esquinas filosas y puntas en sus intersecciones.</b>
<b>6</b>	<b>Cilíndrico Alargado.</b>	<b>Una distorsión de la forma octaédrica o dodecaédrica a una cilíndrica.</b>
<b>7</b>	<b>Ovoide.</b>	<b>Una distorsión de la forma octaédrica o dodecaédrica a una ovoidal.</b>

CLASIFICACIÓN POR FORMA	CLASIFICACIÓN POR GEOMETRÍA	DESCRIPCIÓN
8	Plano Alargado.	Una distorsión de la forma octaédrica o dodecaédrica a una plana elongada.
9	Maacle de Tipo Paralelo.	Diamante de dos caras, por lo regular de forma triangular, y sus lados paralelos planos.
10	Maacle de Tipo Cojín.	Diamante de dos caras, por lo regular de forma triangular, y sus lados convexos.
11	Ballas	Diamante de una extraña forma esférica criptocristalina, con una estructura de cristales entrelazados, arreglados en forma radial alrededor del centro.
12	Redondo	Diamante de forma esférica pero con una estructura cristalina cúbica.

CLASIFICACIÓN DE CALIDAD Y FORMA DE LOS DIAMANTES PARA HERRAMIENTAS DE RECTIFICADO Y AFILADO. EL NÚMERO DENOTA LA FORMA DEL DIAMANTE Y LA LETRA LA CALIDAD DEL DIAMANTE EN PROGRESIÓN ALFABÉTICA.

NÚMERO DE REFERENCIA	CLASIFICACIÓN POR GEOMETRÍA	DESCRIPCIÓN
1 <sup>a</sup>	Octaédrico.	De superficie plana, con un mínimo de cuatro puntas uniformes útiles, libre de fracturas y es probable que no contenga inclusiones.

NÚMERO DE REFERENCIA	CLASIFICACIÓN POR GEOMETRÍA	DESCRIPCIÓN
1B	Octaédrico.	De superficie plana, ligeramente irregular o garapiñada, con un mínimo de tres puntas útiles, puede tener fracturas e inclusiones.
2D	Blocky Octaédrico.	Irregular en forma y superficie, un mínimo de dos puntas útiles, puede tener fracturas e inclusiones.
2E	Blocky Octaédrico.	Irregular en forma y superficie, un mínimo de una punta útil, puede tener fracturas e inclusiones.
2F	Blocky Octaédrico.	De esférica a forma irregular con la superficie plana o rugosa, no es necesario que tenga puntas útiles de procedencia natural, puede tener fracturas e inclusiones.
2G	Blocky Octaédrico.	Con superficie recubierta rugosa y opaca más resistente que la porción interior, una o varias puntas útiles, es posible que no contenga fracturas e inclusiones. Por lo regular provienen del Congo y Sierra Leona.
3G	Cúbico.	Con superficie recubierta rugosa y opaca más resistente que la porción interior, varias puntas útiles, es probable que no contenga fracturas e inclusiones. Proviene del Congo y Sierra Leona.

NÚMERO DE REFERENCIA	CLASIFICACIÓN POR GEOMETRÍA	DESCRIPCIÓN
4A	Dodecaédrico.	De superficie plana, un mínimo de cuatro puntas bien definidas, libre de fracturas y es posible que no contenga inclusiones que afecten al diamante.
5A	Cristal.	Octaedro de lados planos, con filos o superficies ligeramente parejas y esquinas redondeadas, un mínimo de dos puntas útiles, un radio máximo de 0.005" o filo de cincel, libre de fracturas que afecten al diamante.
5B	Cristal.	Octaedro de lados planos, con filos o superficies ligeramente parejas y esquinas redondeadas, un mínimo de dos puntas útiles, un radio máximo de 0.10" o filo de cincel, libre de fracturas que afecten al diamante.
5C	Cristal.	Octaedro de lados planos, con esquinas filosas o redondeadas, con superficie recubierta o lisa, una punta útil como mínimo, libre de fracturas que afecten al diamante o inclusiones.
6A	Cilíndrico Alargado.	Muy similar a un cilindro, con un largo mínimo de dos veces el ancho, superficie plana, libre de inclusiones y fracturas.

NÚMERO DE REFERENCIA	CLASIFICACIÓN POR GEOMETRÍA	DESCRIPCIÓN
7A	Elongado Ovoidal.	Forma ovoidal o de barril, con un largo mínimo de una y media veces el ancho, superficie plana, garapiñada <sup>1</sup> o irregular, es posible que esté libre de inclusiones y fracturas que afecten al diamante.
8A	Plano Alargado.	Similar a una semilla de sandía, con un largo mínimo de una y media veces el ancho, y para más angostos será la mitad del ancho, superficie plana, garapiñada o irregular, es posible que esté libre de inclusiones y fracturas que afecten al diamante.
9A	Maacle Paralelo.	Lados paralelos y planos, con la superficie plana o garapiñada, un mínimo de una punta útil, es posible que no tenga fracturas que afecten al diamante o inclusiones.
9B	Maacle Paralelo.	Lados paralelos y planos, con la superficie plana o garapiñada, no es necesario que cuente con puntas naturales, es posible que no tenga fracturas que afecten al diamante.

<sup>1</sup> Garapiñado.- superficie accidentada, lo que provoca varios vértices y puntas en la superficie del diamante.

NÚMERO DE REFERENCIA	CLASIFICACIÓN POR GEOMETRÍA	DESCRIPCIÓN
10B	Maacle de Tipo Cojín.	Superficie plana a ligeramente irregular, no es necesario que cuente con puntas naturales, es posible que no tenga fracturas que afecten al diamante o inclusiones.
11A	Ballas.	Generalmente de forma esférica con una superficie opaca e irregular, aglomerado de pequeños cristales con extraña resistencia, usualmente criptocristalinos, arreglados de forma radial alrededor del centro.

## **1.2.- PROPIEDADES.**

Para la descripción de las propiedades de los diamantes naturales o diamante industrial, es necesario incluir una clasificación más; la siguiente clasificación, mundialmente aceptada, se basa principalmente en sus propiedades ópticas.

Algunos diamantes pertenecen a más de un tipo, a pesar de eso, los más utilizados en la industria encuentran entre los Tipo *I* y Tipo *II*.

### **1.2.1.- CLASIFICACIÓN:**

Tipo *I A*.- Contiene nitrógeno como impureza en cantidades substancialmente grandes. La gran mayoría de los diamantes naturales son de este tipo.

Tipo *I B*.- Contiene nitrógeno como impureza pero en forma dispersa. Casi todos los diamantes sintéticos son de este tipo.

Tipo *II A*.- Libre de impurezas de nitrógeno, lo cual aumenta sus propiedades ópticas y térmicas; desgraciadamente son diamantes escasos en la naturaleza.

Tipo *II B*.- Diamante de alta pureza, con la propiedad de semiconductor (en los diamantes sintéticos es posible lograr estas propiedades agregando ciertas impurezas deseadas), generalmente de color azulado, es de los más escasos en la naturaleza.

### **1.2.2.- PROPIEDADES GENERALES:**

#### **1.2.2.1.- COMPOSICIÓN QUÍMICA.**

El diamante está compuesto principalmente de carbón.

### **1.2.2.1.1.- Principales impurezas.**

Nitrógeno, arriba del 0.2% en el Tipo *INDN*<sup>5</sup>.

Níquel y hierro arriba del 10% como inclusiones en *IDS*.<sup>6</sup>

Aluminio, arriba de las 100 p.p.m.<sup>7</sup> en Tipo *II B DN* y 150 p.p.m. en el Tipo *II B DS*, con dopado especial.

Boro, entre 3 y 270 p.p.m., en *DS* especialmente dopado; en la actualidad se cree que es el responsable de la semiconductividad del Tipo *II B*; otros por lo general cuentan con menos de 100 p.p.m.

Como inclusiones, veintidós minerales han sido identificados.

### **1.2.2.2.- DENSIDAD.**

Valor promedio de 35 diamantes =  $3.51524 \pm 0.00005 \text{ g/cm}^3$  (25°C).

Distribuida =  $0.00077 \text{ g/cm}^3$ .

Promedio de 19 diamantes =  $3.51537 \pm 0.00005 \text{ g/cm}^3$  (25°C).

Promedio de 14 diamantes =  $3.51506 \pm 0.00005 \text{ g/cm}^3$  (25°C).

---

<sup>5</sup> Diamante Natural.

<sup>6</sup> Diamante Sintético.

<sup>7</sup> Partes por millón.

### **1.2.2.3.- GRAFITIZACIÓN.**

Cuando los diamantes son calentados a una alta temperatura, los cambios que se pueden suscitar dependen en gran parte del ambiente que lo rodea.

Si el oxígeno u otro agente activo se presenta, una cubierta negra se forma en la superficie del diamante arriba de los 600 °C, sin embargo está no es una grafitización<sup>1</sup> como tal, ya que si el diamante se calentara en una atmósfera inerte, es posible detectar el comienzo de la grafitización, a los 1500 °C y el rango de grafitización puede incrementarse rápidamente hasta los 2100 °C.

Por ejemplo un diamante octaédrico de 0.1 qtes, es convertido en grafito en menos de 3 minutos.

La superficie de un diamante octaédrico se grafitiza con una energía de  $253 \pm 18$  kcal /mol y uno dodecaédrico se grafitiza rápidamente con una energía de  $174 \pm 12$  kcal /mol. El volumen de activación para éste proceso es alrededor de los  $10 \text{ cm}^3/\text{mol}$ .

### **1.2.2.4.- RESISTENCIA AL ATAQUE QUÍMICO.**

El diamante se comporta como un elemento inerte en exceso, es decir, no es afectado por algún ácido o algún otro tipo de químico, excepto aquellos que a altas temperaturas actúan como agentes oxidantes, éstos proveen la manera más efectiva de atacar a un diamante a temperaturas por debajo de los 1000 °C y presión atmosférica.

---

<sup>1</sup> La transición de un diamante a grafito sin la intervención de agentes externos.

Sustancias tales como el nitrato de sodio, conocido por atacar al diamante en estado líquido, a temperaturas tan bajas como 450 °C.

En presencia de oxígeno el diamante comienza a oxidarse aproximadamente a una temperatura de 600 °C.

La otra posibilidad de atacar al diamante es con dos grupos de metales:

Los miembros del primer grupo son los que conforman a los carburos; incluyendo al tungsteno, tantalio, zirconio y titanio. A altas temperaturas reaccionan químicamente con el diamante para formar sus respectivos carburos.

El segundo grupo incluye al hierro, cobalto, manganeso níquel y cromo, así como el grupo de metales del platino. En estado líquido éstos metales son verdaderos solventes para el carbón.

### **1.2.3.- PROPIEDADES MECÁNICAS.**

#### **1.2.3.1.- DUREZA.**

En cualquiera de las escalas conocidas el diamante es el material con la mayor dureza.

##### **1.2.3.1.1.- DUREZA DE RAYADO (ESCALA MOHS).**

La dureza mohs es una dureza de rayado, relacionada a la dureza de corte de un sólido:

$$\text{Log H} = 0.2 \text{ M} + 1.5 \text{ (esta relación es aproximada)}$$

Existe una "igualdad" entre los primeros nueve números en la escala Mohs, pero el intervalo entre 9 (corindón<sup>1</sup>) y 10 (diamante), es mayor la diferencia entre la dureza de indentación a una sola unidad de la escala Mohs.

Los valores típicos para materiales con alta dureza son:

SiC (carborundum), Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9
WC, W <sub>2</sub> C, VC	9-9.5
DIAMANTE	10

#### **1.2.3.1.2.- DUREZA (ESCALA KNOOP).**

Un penetrador Knoop, produce una cavidad tipo cuña en forma de paralelogramo con una diagonal, por lo menos siete veces más larga que la otra diagonal; este método es considerado como el más exacto para sólidos cristalinos.

Se ha demostrado que la dureza disminuye conforme se incrementa la temperatura.

El valor depende en la dirección cristalográfica y aplicando cargas normales de 500 g, 1 kg y 2 kg.

Lista comparativa:

---

<sup>1</sup> óxido de aluminio nativo.

MATERIAL	SUPERFICIE	DIRECCIÓN	CARGA	DUREZA
DIAMANTE	(111)	<110>	500 g	9000 kg/mm <sup>2</sup>
NITRURO DE BORO CÚBICO	(111)	<110>	500 g	4500 kg/mm <sup>2</sup>
CARBURO DE BORO	NO SE	CONOCE EL	DATO	2250 kg/mm <sup>2</sup>
CARBURO DE SILICIO	NO SE	CONOCE EL	DATO	3980 kg/mm <sup>2</sup>
CARBURO DE TUNGSTENO	NO SE	CONOCE EL	DATO	2190 kg/mm <sup>2</sup>
CARBURO DE TITANIO	NO SE	CONOCE EL	DATO	2190 kg/mm <sup>2</sup>
ÓXIDO DE ALUMINIO	NO SE	CONOCE EL	DATO	2000 kg/mm <sup>2</sup>

### **1.2.3.2.- MÓDULO DE ELASTICIDAD Y COMPRESIBILIDAD.**

#### **1.2.3.2.1.- MÓDULO DE ELASTICIDAD.**

El módulo Young no varía de manera representativa con la orientación, como una condición isotrópica se toma:

$$\frac{2 C_{44}}{C_{11}-C_{12}} = 1 \quad (\text{ec. 1})$$

Sustituyendo los siguientes valores se obtiene el respectivo resultado:

Todas las constantes tienen el que multiplicarse por  $10^{12}$  dinas/cm<sup>2</sup>

(1Dina =  $1.0 \times 10^{-5}$  Joules/m).

REFERENCIA <sup>1</sup>	C <sub>11</sub>	C <sub>12</sub>	C <sub>44</sub>	(ec. 1)
(BYB)	<b>9.5</b>	<b>3.9</b>	<b>4.3</b>	<b>1.54</b>
(PYW)	<b>11.0</b>	<b>3.3</b>	<b>4.4</b>	<b>1.14</b>
(MYB)	<b>10.76</b>	<b>1.25</b>	<b>5.76</b>	<b>1.21</b>
( M )	<b>10.76</b>	<b>2.75</b>	<b>5.19</b>	<b>1.30</b>

Aceptando la pequeña variación con la orientación, ya que los diamantes son pequeños y difíciles de deformar los valores del módulo de Young, es difícil obtenerlo por medición. No obstante es posible calcularlo con la fórmula:

$$E = \frac{(C_{11} - C_{12})(C_{11} + 2C_{12})}{(C_{11} - C_{12})}$$

Usando los valores de la tabla anterior  $E = 7.24, 9.48, 10.5, 9.64$  todos por  $10^{12}$  dinas/cm<sup>2</sup>; respectivamente. Para una superficie rugosa es posible tener un valor de  $10.5 \times 10^{12}$  dinas /cm<sup>2</sup> en cualquier orientación.

<sup>1</sup> BYB.-Bhagavantam y J. Bhimasenachar, Proc Roy Soc, A 187, p 381 (1946); PYW.-E. Prince y W.A. Wooster, Acta Cryst 6, p 450 (1953); MYB.-H.J. McSkimin y W.L. Bond, Phys Rev 105, p 116 (1957); M.-H.F. Markham, National Physical Laboratory (UK), mediciones presentadas por M.J.P. Musgrave (Diamond Conference, Reading, 1965).

### **1.2.3.2.2.- MÓDULO VOLUMÉTRICO.**

Se calcula a partir del módulo de elasticidad con la fórmula:

$$K = 1/3 ( C_{11} + 2C_{12} )$$

Donde K puede tomar los valores:	(BYB)	$K = 5.8 \times 10^{12} \text{ dinas/cm}^2$
	(PYW)	$K = 5.9 \times 10^{12} \text{ dinas/cm}^2$
	(MYB)	$K = 4.42 \times 10^{12} \text{ dinas/cm}^2$
	( M )	$K = 5.42 \times 10^{12} \text{ dinas/cm}^2$

Como comparativo la K del tungsteno es de  $2.99 \times 10^{12} \text{ dinas/cm}^2$ , de los valores:

$C_{11}=5.01$ ,  $C_{12}=1.98$ ,  $C_{44}=1.514$ .

### **1.2.3.2.3.- COMPRESIBILIDAD.**

Calculado a partir de la referencia (BYB) y (PYW), el valor que se tiene es:

$$C = 1.7 \cdot 10^{-7} \text{ cm}^2/\text{kg} \quad (\text{para el tungsteno } C = 3.3 \cdot 10^{-7} \text{ cm}^2/\text{kg})$$

### **1.2.3.3.- ESFUERZO.**

#### **1.2.3.3.1.- ESFUERZO A TENSIÓN.**

Los valores experimentales para el esfuerzo, muestran una gran variación, esto debido a la gran dificultad que existe para realizar pruebas con los diamantes,

---

pero también es fácil indicar que los esfuerzos en cada diamante se ven afectados por los defectos, inclusiones e impurezas que tengan.

Los diamantes pequeños presentan mayor concentración de esfuerzo que los diamantes largos, esto debido al área de aplicación.

E. Tensión =  $1.3$  a  $2.5 \times 10^{10}$  dinas/cm<sup>2</sup> (en el método de indentación, Howes<sup>1</sup>, el valor depende del material y dimensiones del penetrador).

E. Tensión (de Seal<sup>2</sup>) =  $4 \times 10^{10}$  dinas/cm<sup>2</sup>

#### **1.2.3.3.2.- ESFUERZO A CORTE.**

Su valor teórico (Tyson<sup>3</sup>) =  $12 \times 10^{11}$  dinas/cm<sup>2</sup>.

El valor experimental (BYH<sup>4</sup>, del experimento de fricción) =  $8.7 \times 10^{10}$  dinas/cm<sup>2</sup>.

El valor experimental (HYM<sup>5</sup>, de la prueba de torsión) =  $3 \times 10^9$  dinas/cm<sup>2</sup>.

Puede existir la duda de que no se trate realmente de un esfuerzo de torsión puro, es muy parecido cuando el diamante falla por una fisura, la diferencia entre ambos es su método de prueba. En el método de prueba por fricción sólo una pequeña área será sometida a esfuerzo, mientras que en la prueba de torsión es probable que se desarrolle alrededor de un defecto.

---

<sup>1</sup> Howes, Proc Phys Soc 80, Part I, 78 (1962); V.R.

<sup>2</sup> M. Seal, Proc Roy Soc A 248, p 379 (1958); V.R.

<sup>3</sup> W.R. Tyson, Phil Mag, 14, p 925 (1966).

<sup>4</sup> F.P. Bowden y A.E. Hanwell, Nature 201, 1279-1281 (1964).

<sup>5</sup> E.H. Hull y G.T. Malloy, Journal of Engineering for Industry (Trans ASME), 373 (November 1966).



Valores comparativos:

Cobre (a 20 °C) = 4 Watts/cm °C.

Carburo de silicio puro (a 20 °C) = 4  
Watts/cm °C.

y con un valor máximo a 220 °C = 50  
Watts/cm °C.

#### ***1.2.3.4.2.- EXPANSIÓN TÉRMICA (COEFICIENTE LINEAL).***

Valores a:	20 °C	0.8 a 0.1 X 10 <sup>-6</sup> .
	100 °C	0.4 a 0.1 X 10 <sup>-6</sup> .
	100 °C a 900 °C	1.5 a 4.8 X 10 <sup>-6</sup> .

#### **1.2.3.5.- PROPIEDADES ÓPTICAS Y ELÉCTRICAS.**

##### ***1.2.3.5.1.- ÍNDICE DE REFRACCIÓN.***

Valor ( a verde Hg 5461 Å ) = 2.4237

(a rojo Ha 6563 Å ) = 2.4099

(Å = 1.0 x 10<sup>-10</sup> m)

#### **1.2.3.5.2.- CONSTANTE DIELÉCTICA.**

Valor (a 27 °C y 0-3 KHz) =  $5.58 \pm 0.03$ .

Es importante aclarar que los métodos utilizados para determinar las propiedades mencionadas en el presente trabajo no son descritos a fondo, dado que el objetivo de esta tesis no es ahondar en dicha demostración, de igual forma se respetaron las unidades utilizadas en cada una de las propiedades.

## **2.- PROCEDIMIENTOS GENERALES PARA MONTAR DIAMANTES EN ZANCOS DE HERRAMIENTAS.**

Existen diversas formas para montar un diamante en el zanco de una herramienta las cuales sólo se mencionarán de forma breve y concisa en este capítulo.

### **2.1.- REQUERIMIENTOS PARA EL MONTADO.**

La consideración que se debe tomar en cuenta para la vida de la herramienta es la rigidez con que se debe sujetar el diamante al zanco. Tomando en cuenta la posibilidad de que el diamante se desmonte del zanco, durante su uso

y se pierda (destrucción parcial o completa). Así también, el diamante es más susceptible a una fractura si éste no es montado correctamente.

Es importante apuntar que una vez montado el diamante no debe perder su posición respecto al eje de la herramienta.

## **2.2.- MÉTODOS PARA EL MONTADO.**

Existen cuatro métodos generales para el montaje del diamante en la herramienta:

Montado utilizando el método del Dr. H. Tracy-Hall, montado en frío, montado en caliente (soldado con aleaciones de bajo punto de fusión o soldadura de latón, este método se puede combinar con el método en frío) y montado por sinterizado<sup>8</sup> a presión.

### **2.2.1.- MONTADO UTILIZANDO EL MÉTODO DEL DR. H. TRACY-HALL.**

En este método se utiliza el diamante recubierto con hidruro de titanio; éste se fija al zanco de metal con soldadura de estaño o de latón. Con este método es posible:

---

<sup>8</sup> Proceso que mediante presión y temperatura forma un cuerpo sólido a partir de polvo metálico, "sin llegar a su punto de fusión".

Sujetar al diamante de una manera más segura en su montadura.

La raíz<sup>9</sup>, que en la mayoría de los casos equivale a 3/4 puede disminuirse en un 60-80%.

Es posible montar varios diamantes pequeños para lograr la misma superficie de trabajo.

Se mejora la transferencia de calor.

### **2.2.2.- MONTADO EN FRÍO.**

Sólo se realiza en ocasiones especiales. Se lleva a cabo colocando el diamante en una cavidad poco profunda hecha en el zanco de la herramienta, golpeando con la parte exterior de la punta del martillo, se doblan los filos de la cavidad, para sujetar el diamante a la herramienta.

### **2.2.3.- MONTADO EN CALIENTE.**

Es posible realizar el montaje del diamante con dos métodos diferentes:

Con soldadura de latón o soldadura suave<sup>10</sup> y montaje por fundición.

---

<sup>9</sup> Sección del diamante que se fija al zanco, la cual se considera nula para determinar la vida de la herramienta.

Estos métodos de montaje tienen dos ventajas principales:

Primera.- Se puede acelerar la producción de las herramientas y en la propia línea de producción (ejemplo maquinados).

Segunda.- Como el metal rodea al diamante y lo sujeta, no es necesario afilar antes el diamante para que se ajuste en la montadura del zanco.

Las desventajas de estos métodos son:

Primera.- La posibilidad de dañar la superficie del diamante y/o el desarrollo de las fracturas ya existentes en el diamante debido al choque térmico. Cabe mencionar que a temperaturas de 700 a 800 °C (1292 a 1472 °F) y expuesto en un ambiente oxidante, el diamante corre el riesgo de sufrir daños; aun así no afecta la capacidad de maquinado del diamante (ejemplo: en brocas y herramientas para rectificar y afilar ruedas abrasivas).

Segunda.- Para herramientas que son fabricadas con diamante sin afilar, al aplicar cualquiera de los métodos en gran parte de la superficie de algunos diamantes se lleva a cabo la grafitización, por lo que es necesario afilar y pulir los diamantes después de montados (ejemplo: penetradores de dureza y herramienta tipo cincel o hacha para rectificar y afilar ruedas abrasivas).

NOTA: la posibilidad de desarrollar un defecto incipiente en el diamante y que éste se vuelva aparente hasta después de enfriada la pieza no debe ser ignorada.

Diamantes que han sido tallados y afilados antes de ser montados, son susceptibles a sufrir daños por el calor que se debe aplicar. El método de montaje

---

<sup>10</sup> Aleaciones con bajo punto de fusión.

es llevado a cabo en una atmósfera inerte (ejemplo: algunas de las herramientas para afilado y perfilado de ruedas abrasivas).

#### **2.2.4.- MONTADO POR SINTERIZADO A PRESIÓN.**

El diamante con rugosidades o tallado, grano o polvo de diamante, puede adherirse a polvo metálico o aleaciones de metal utilizando este método.

Los polvos de: latón, bronce, cobre, hierro, acero y las aleaciones de níquel se han encontrado como los más adecuados para este método. En herramientas para rectificar y afilar ruedas abrasivas la combinación de grano de diamante y carburo de tungsteno sinterizado ha logrado buenos resultados.

Sin embargo para usos generales el bronce y hierro han resultado como la medida más satisfactoria para adherir el diamante en herramientas monopunta.

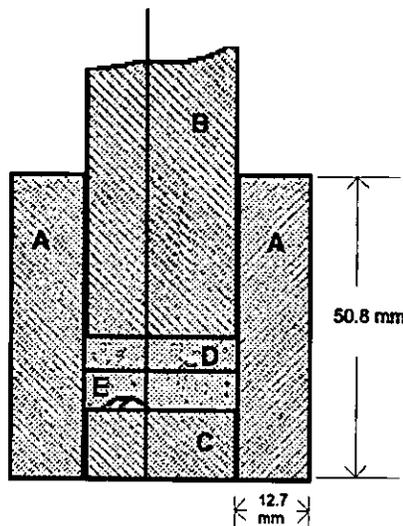
NOTA: las temperaturas de sinterizado de los materiales antes mencionados están dentro de los límites de seguridad de los diamantes.

#### **2.2.4.1.- EJEMPLOS DEL MONTADO POR SINTERIZADO A PRESIÓN.**

##### **2.2.4.1.1.- BURIL PARA TORNO CON PUNTA DE DIAMANTE.**

El molde para fabricar esta herramienta se muestra en la fig. 19. "A" es un anillo de acero de aproximadamente una pulgada de diámetro interior, 2 pulgadas de alto y 1/2 pulgada de espesor, el cual se ajusta con un yunque de acero "C" y el pistón "B". Todas las superficies internas del molde están pulidas en acabado

espejo y recubiertas de carbón, de lo contrario, pintadas con una suspensión de grafito en tetracloruro de carbono o tiznadas por la flama de acetileno pobre en oxígeno.



**FIGURA 19: MOLDE PARA LA FABRICACION DE UNA HERRAMIENTA TIPO MONOPUNTA POR EL PROCESO DE SINTERIZADO. A) ANILLO B) PISTON C) BASE D) POLVO DE METAL E) DIAMANTE.**

El diamante base se coloca con la faceta superior (la mejor punta útil) hacia abajo, hacia un lado del yunque, suministrando la cantidad requerida de polvo de hierro en el molde. Se coloca en posición el pistón y se aplica una presión de  $2.8 \times 10^6 \text{ N/m}^2$  (4000 lbf/pulg<sup>2</sup>).

Manteniendo esta presión el molde se calienta a una temperatura aproximada de 800 °C (1472 °F), y cuando el polvo alcance su estado plástico, la presión se incrementa a  $5.6 \times 10^6 \text{ N/m}^2$  (8000 lbs/pulg<sup>2</sup>), hasta que se detenga el avance del pistón. Hasta entonces se deja enfriar el molde.

Al retirarse el metal sinterizado del molde, se puede apreciar el diamante adherido al compactado de metal, y un pequeño orificio que va desde un extremo del compactado hasta la faceta inferior del diamante (punta o sección en contacto con el compactado de metal). Si se desea despegar el diamante del compactado, con un ligero golpe en el orificio antes mencionado, es posible retirarlo sin ningún daño, con la posibilidad de afilar otra vez o cambiar la punta.

El compactado tiene la forma para ajustarse al zanco fresado de la misma forma que el compactado y sujetado al mismo por una placa que encaja con el compactado para asegurar el ensamble de la herramienta.

#### ***2.2.4.1.2.- HERRAMIENTA TIPO MONOPUNTA PARA RECTIFICAR Y AFILAR RUEDAS ABRASIVAS (DRESSING TOOL).***

La recomendación en este tipo de herramientas es: afilar al diamante después de montado en el zanco de la herramienta.

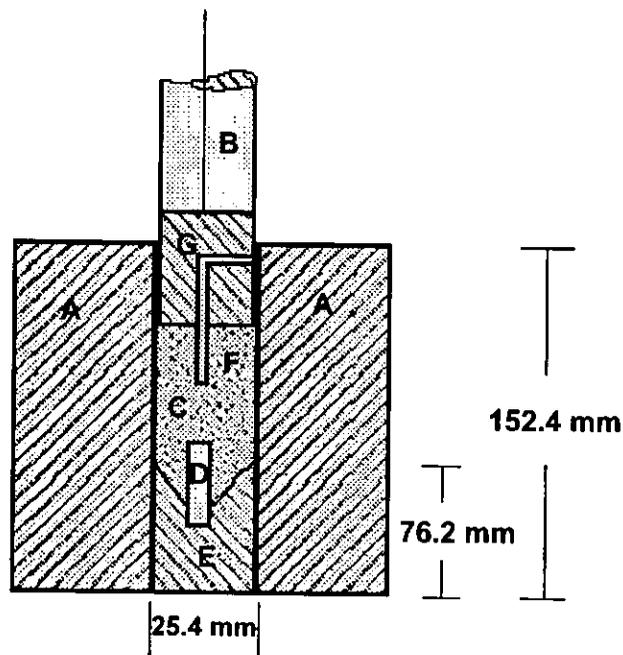
El diamante se fija al zanco por una mezcla sinterizada a presión, dicha mezcla puede ser de polvo de hierro y bronce.

Se utiliza en este método un molde de carbón con el diámetro de la herramienta, barrenado en el centro del molde con anterioridad. El molde mide aproximadamente 6 pulgadas de altura. El yunque en el fondo del molde tiene una

ranura en V, el ángulo para esta V se determina por la punta de la herramienta que se necesite, esto es una gran ventaja ya que se asegura el montaje del diamante, si éste tiene una forma triangular.

Se coloca el diamante en el fondo del molde, en la ranura del yunque "E". El molde es rellenado con la cantidad requerida de la mezcla, digamos, con cantidades iguales de polvo de hierro y bronce. El zanco de la herramienta se coloca en el otro lado del molde y enterrado en el polvo.

La sección del zanco de la herramienta que se enterró en el polvo, está formado por dos pasos de maquinado, que asegura la sujeción del zanco al polvo metálico durante el sinterizado.



**FIGURA 20: MOLDE PARA FABRICAR BURILES DE DIAMANTE POR EL PROCESO DE SINTERIZADO.**  
A) MOLDE B) PISTÓN C) POLVO DE METAL D) DIAMANTE  
E) YUNQUE F) DUCTO DE VENTILACION G) ZANCO DE LA HERRAMIENTA.

Dos orificios están barrenados en forma radial y uno axial en el zanco, éstos permiten que el aire ocluido en el polvo escape a presión (fig. 20). El diámetro del zanco está calculado con un sobre material del 20%, para poder maquinar a las dimensiones originales, permitiendo en el proceso centrar la punta del diamante, respecto al eje longitudinal de la herramienta.

Una vez ensamblado el molde, éste se coloca en una prensa y se le aplica una presión de  $2.8 \times 10^6 \text{ N/m}^2$  (4000 lbf/pulg<sup>2</sup>), a la sección del zanco que sobresale del molde. Mientras continúa bajo presión el molde es calentado por flama hasta alcanzar una temperatura aproximada de 800 °C (1472 °F). Durante el tiempo en que el polvo alcanza su estado plástico, la presión se incrementa a casi  $5.6 \times 10^6 \text{ N/m}^2$  (8000 lbf/pulg<sup>2</sup>), hasta finalizar el sinterizado. Se mantiene a temperatura ambiente hasta que sea posible retirar con las manos la herramienta.

NOTA: es necesario permitir que la herramienta se enfríe de manera gradual a temperatura ambiente al final del proceso de sinterizado y durante el maquinado del zanco de la herramienta en el torno, de lo contrario el diamante puede sufrir daños debido al choque térmico por cambios bruscos de temperatura.

### **3.- CARACTERÍSTICAS DE LAS HERRAMIENTAS DE DIAMANTE PARA RECTIFICAR Y AFILAR (ADEREZAR) RUEDAS ABRASIVAS PARA RECTIFICADO EN GENERAL.**

Aderezado<sup>10</sup> = proceso por el cual se restituyen las características físicas y geométricas de una rueda abrasiva, mediante el uso de una herramienta especial, que rectifica y afila la superficie de la rueda.

Después de un relativo tiempo de uso, una rueda abrasiva convencional se desgasta y se vuelve lisa en su superficie de trabajo o se "tapa", es decir,

---

<sup>10</sup> A partir de este capítulo en adelante se hará uso de un nuevo término "castellanizado" directamente de la palabra en inglés, con el fin de relacionarlo fácilmente con el proceso y los tipos de herramienta utilizadas en este proceso.

se acumula material sobre la superficie exterior de la rueda, eliminando así las propiedades abrasivas de la misma. Para mantener la rueda abierta y libre para cortar, requiere un frecuente rectificado y afilado. Este trabajo es posible realizarlo con una herramienta con uno o varios diamantes en bruto (natural sin pulir), montados sobre zancos, ya sea para formar una herramienta monopunta o multipunta.

La selección del método de montaje y de sujeción del diamante al zanco de la herramienta depende de diversos factores como tipo de rueda y características del aderezado, estos puntos que se irán desarrollando más adelante.

Cabe mencionar que existen también ruedas abrasivas con un perfil determinado, el cual también se pierde durante el trabajo normal de operación de la rueda abrasiva. Para restituir el perfil, existen dos métodos, ya sea con una herramienta monopunta, la cual para lograr restituir el perfil de la rueda, requiere seguir una trayectoria determinada, esto se logra con el uso de una plantilla. Otro medio útil para restituir perfiles de ruedas, es el uso de rodillos con diamantes electrodepositados o aderezadores rotativos. De esta forma se logra restituir el grano y el perfil de la rueda abrasiva.

### **3.1.- TIPOS DE HERRAMIENTAS PARA EL ADEREZADO.**

#### **3.1.1.- HERRAMIENTA MONOPUNTA.**

En este tipo de herramienta no importa el tipo de diamante a utilizarse, sean: octaédricos, dodecaédricos, formas triangulares con puntas útiles, etc.; obteniéndose de cualquiera de ellos resultados satisfactorios.

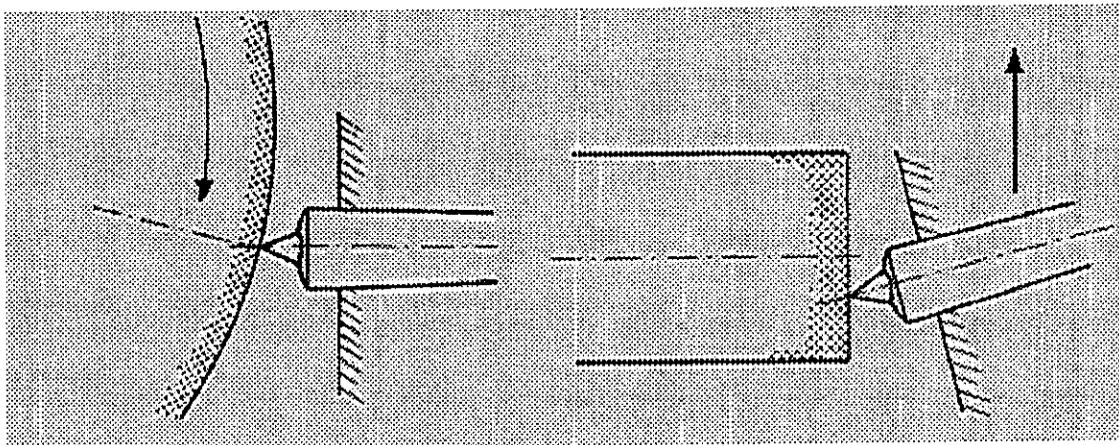
A pesar de la diversidad de formas de los diamantes que es posible utilizar, deben cumplir con puntas en buen estado, además de cumplir con ciertas condiciones que exige el proceso de aderezado como:

- \*El diamante debe presentar una superficie sin daños y
- \*Un determinado número de puntas útiles (dependiendo del tipo de diamante).
- \*En el diamante no deben existir fracturas internas.
- \*Son diamantes con un peso que varía de los 0.25 a 10 qtes.

Mientras más agudos los ángulos en el diamante es menor el área de aderezado; en consecuencia, mayor cantidad de abrasivo será retirada en vez de ser sólo comprimida, aumentando la vida útil de la rueda.

Cuando los ángulos de corte desaparecen debido al desgaste natural del diamante, los planos que se forman generan nuevos ángulos. La superficie máxima permitida en los nuevos planos oscila entre 0.1 y 0.5 mm<sup>2</sup>, dependiendo del desgaste sufrido por la herramienta durante el aderezado.

Una vez gastados los filos primarios (naturales), para obtener un mejor aprovechamiento del diamante desgastado, se debe inclinar la herramienta 15 grados aproximadamente de su posición inicial fig. 21, con el fin de utilizar los filos residuales (producto de la formación de nuevos planos por el desgaste).



**FIGURA 21: METODO CORRECTO PARA EL ADEREZADO CON UNA HERRAMIENTA TIPO MONOPUNTA.**

El cambio de orientación de la herramienta respecto a la rueda, implica que la herramienta también modifique su trayectoria, la cual debe mantener una relación con el eje de la rueda abrasiva.

El diamante va montado sobre una base de polvo de metal sinterizado que fija al diamante a un zanco de acero fundido (fig. 22). Por lo regular la herramienta

después de su uso se regresa al fabricante para: restituirla, es decir, obtener nuevos filos del mismo diamante o sustituirlo por uno nuevo utilizando el mismo zanco, lo que proporciona un ahorro.

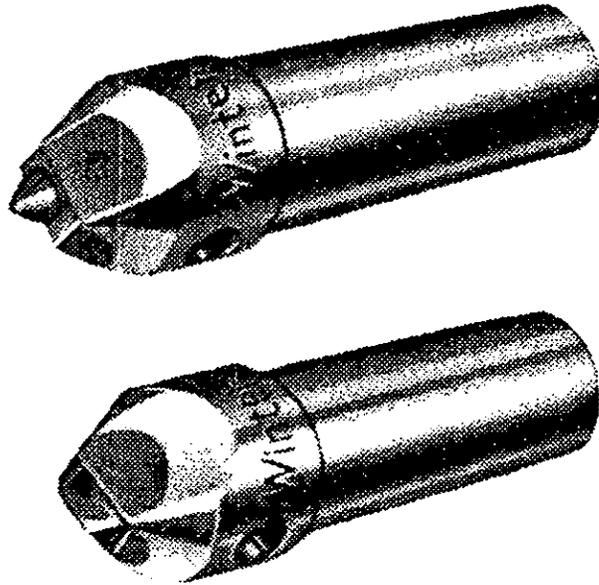
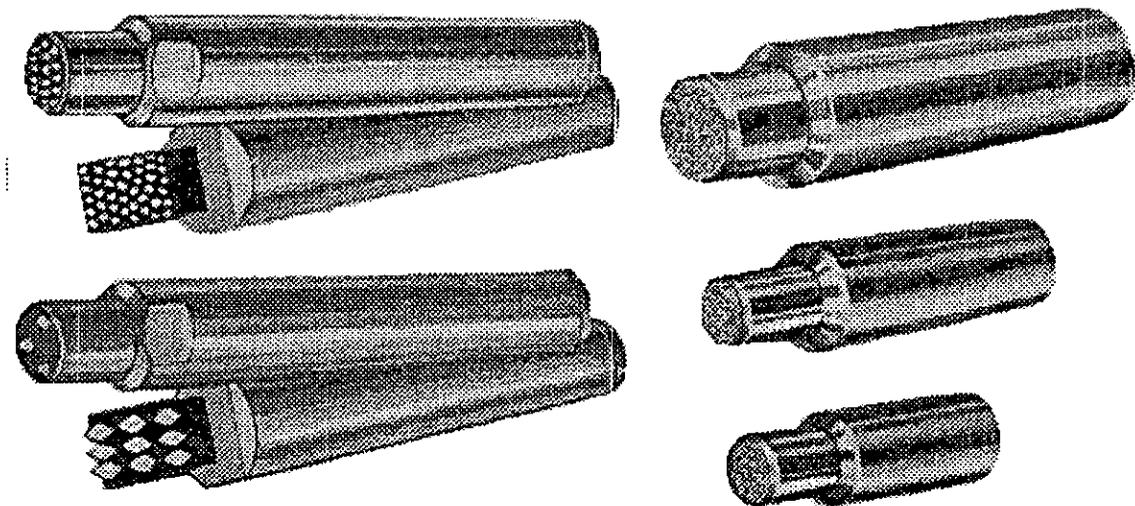


FIGURA 22: HERRAMIENTA TIPO MONOPUNTA  
ARRIBA DIAMANTE NATURAL SIN FORMA  
ABAJO DIAMANTE FORMADO.

### **3.1.2.- HERRAMIENTA MULTIPUNTA.**

Debido a la demanda de herramientas para aderezado en la industria, se buscó desarrollar nuevos métodos de fabricación de éstos, que garanticen la calidad y el aumento en la producción. Es por eso que se desarrolló la herramienta multipunta.

El principio es sencillo. Un diamante de pequeñas dimensiones no es posible utilizarlo de manera independiente debido a sus dimensiones y concentración de calor; sin embargo, si el calor que se genera durante el aderezado es dividido de manera proporcional a varios diamantes pequeños en contacto con la rueda abrasiva, disipándose más rápida la generación de calor así como lograr diferentes puntos de contacto al trabajar la rueda, además de que algunas cuentan con diferentes capas de diamante, dando la facilidad de utilizar la herramienta de manera continua, evitando el mantenimiento de la misma (fig. 23).



**FIGURA 23: HERRAMIENTA TIPO MULTIPUNTA  
IZQUIERDA CON CAPAS DE DIAMANTES  
DERECHA CON CONGLOMERADO DE POLVO DE DIAMANTE.**

También existen herramientas multipuntas que dan la posibilidad de contar con 4 a 8 secciones de trabajo independientes, esto se logra con un arreglo de montaje en matrices múltiples en un zanco especial tipo revólver, que permite el cambio de faceta (un nuevo diamante), girando la sección del zanco que contiene las matrices y sujetando la nueva posición con un tornillo opresor.

Como ventajas principales de las herramientas multipunta se encuentran:

- \*Reduce el costo inicial ya que el costo por quilate del diamante es más barato.

- \*El tamaño y cantidad de diamante en la herramienta puede arreglarse para satisfacer necesidades específicas.

- \*Cada diamante trabaja sobre una zona específica de la rueda; por el contrario, un solo diamante (herramienta monopunta), tiene que recorrer mayor superficie, algo que representa mayor desgaste.

- \*No es necesario afilar de nuevo, reajustar o mantenimiento alguno de la herramienta para seguir aprovechándola, de ahí que no se pierda tiempo de proceso.

- \*Se reduce el tiempo de aderezado, gracias a la posibilidad de poder aumentar la profundidad de aderezado de la herramienta, sin el riesgo de fracturar al diamante.

- \*Es posible aprovechar más del 90% del diamante, por lo que es fácil comprender el porqué la vida útil de la herramienta se prolonga.

Nota importante: al utilizar por primera vez una herramienta multipunta, no todos los diamantes hacen contacto al mismo tiempo con la rueda, por lo que el aderezado no se efectuará de manera homogénea. Si pasado un tiempo se observan todos los diamantes de la herramienta expuestos y trabajando sobre la piedra, y aún no se logra un buen aderezado, implica una mala selección de grano de diamante. La siguiente tabla ayudará a seleccionar el diamante de acuerdo al grano de la rueda.

**TABLA 4 PARA LA SELECCIÓN DE GRANO DE DIAMANTE TOMANDO COMO REFERENCIA EL GRANO DE LA RUEDA ABRASIVA.**

GRANO DE LA RUEDA	GRANO NOMINAL DE DIAMANTE
46-80	25
80-180	50
180-300	100
MAS FINO	200

### **3.1.3.- HERRAMIENTA CON DIAMANTE IMPREGNADO O POLVO DE DIAMANTE.**

Diseñadas para ciertas operaciones, donde no es posible aderezar o resulta de gran dificultad trabajar sobre la piedra abrasiva con las herramientas convencionales.

Compuestas por polvo de diamante de aproximadamente 50 a 35  $\mu\text{m}$ , caracterizando a la herramienta, por tener un mayor número de filos presentes y por ende resulta un aderezado más eficiente en sus aplicaciones.

Un ejemplo muy claro es: todas aquellas ruedas abrasivas que se componen de un grano muy fino para procesos de rectificado de gran precisión y acabado.

Su manufactura es similar al de las herramientas multipuntas, pero el grano de diamante recubierto es distribuido de manera uniforme a lo largo y hacia el exterior de la matriz de metal.

### **3.1.4.- HERRAMIENTAS PERFILADORAS.**

El área de operación es, por lo regular, en forma de cincel; el rango de los perfiles varía de 40 a 90 grados, con un radio de 0.15 mm a 0.5 mm.

### **3.1.5.- HERRAMIENTA CON BLOCKS IMPREGNADOS O CONGLOMERADOS.**

Fabricados con el mismo método que las herramientas antes mencionadas, sólo que este tipo de herramienta se aplica sólo en ruedas rectas.

### **3.1.6.- ADEREZADORES ROTATIVOS.**

Pueden ser ruedas o rodillos de metal recubiertos con diamante. Para este fin existen dos diferentes métodos:

#### **3.1.6.1.- SINTERIZADO.**

Con el diamante en una determinada posición o simplemente alineados.

#### **3.1.6.2.- ELECTRODEPOSITADO.**

En una matriz de níquel, en una superficie metálica preformada. Este tipo de herramienta está enfocada a trabajos menos críticos.

Todos los aderezadores rotatorios están montados sobre unidades de conducción que aseguran un predeterminado diferencial de velocidad entre la superficie de la herramienta y la rueda. Los elementos esenciales de este tipo de maquinado se muestran en la fig. 24, donde la rueda se localiza en la parte superior izquierda y debajo de ésta la herramienta para el aderezado montada en la cabeza de la unidad de conducción, que se compone un motor eléctrico a su derecha que a través de la flecha flexible logra mantener en perfecta alineación al rodillo.

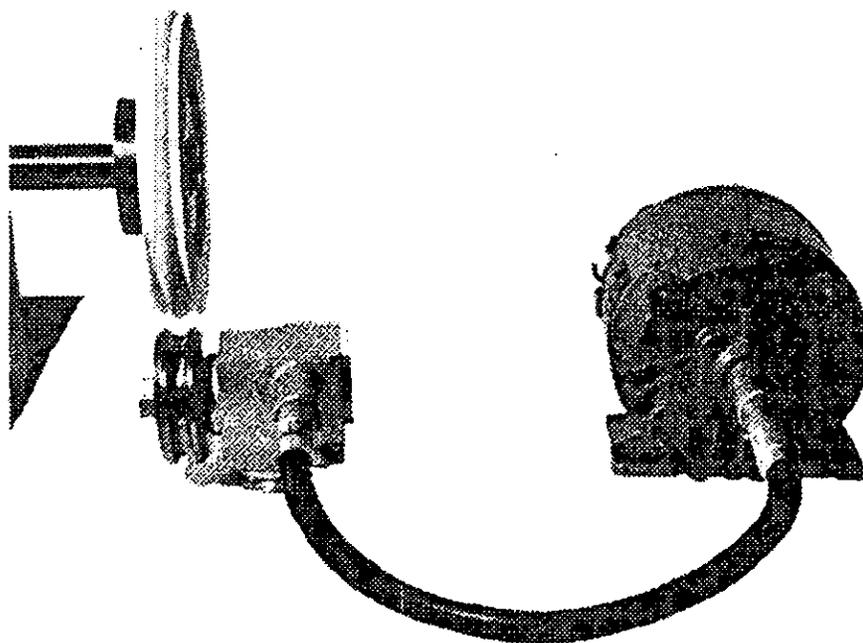


FIGURA 24: EJEMPLO DE UN ARREGLO SIMPLE PARA ADEREZAR  
UNA RUEDA ABRASIVA UTILIZANDO UN RODILLO ELECTRODEPOSITADO.

#### **4.- VARIABLES PARA EL DISEÑO Y SELECCIÓN DE LAS HERRAMIENTAS PARA ADEREZAR RUEDAS PARA RECTIFICADO PLANO.**

Las variables que son necesarias para el diseño de estas herramientas para aderezar, se tomaron de la nueva Estandarización Británica (B.S. 2002:1973), donde el aderezado de ruedas abrasivas debe cumplir los siguientes objetivos:

- \*El diamante de la herramienta debe ser capaz de astillar las partículas (granos) de la rueda para restituir el filo de la rueda.
- \*Del mismo modo debe ser capaz de restituir la forma y geometría de la rueda abrasiva y,
- \*Remover cualquier residuo de material impregnado y/o depósito de refrigerante sobre la superficie de trabajo de la rueda, para evitar la incrustación de estos residuos, lo cual afectaría la textura y porosidad de la rueda.

A continuación se listan las variables que se deben tomar en cuenta

Variables en la rueda abrasiva:

- \*Tipo de abrasivo.
- \*Tipo de grano.
- \*Grado.
- \*Tipo de aglutinante.
- \*Diámetro y espesor de la cara.

Variables en el diamante.

- \*Calidad.
- \*Tamaño (peso).
- \*Forma.

Variables de operación.

- \*Ángulo de trabajo.
- \*Trabajo con o sin refrigerante.
- \*Profundidad de corte y rango de avance transversal.
- \*Velocidad periférica de la rueda.
- \*Tipo de material que maquina la rueda.
- \*Si es un rectificado plano o con forma.
- \*El tipo y condiciones generales de la máquina en el manual de operaciones.

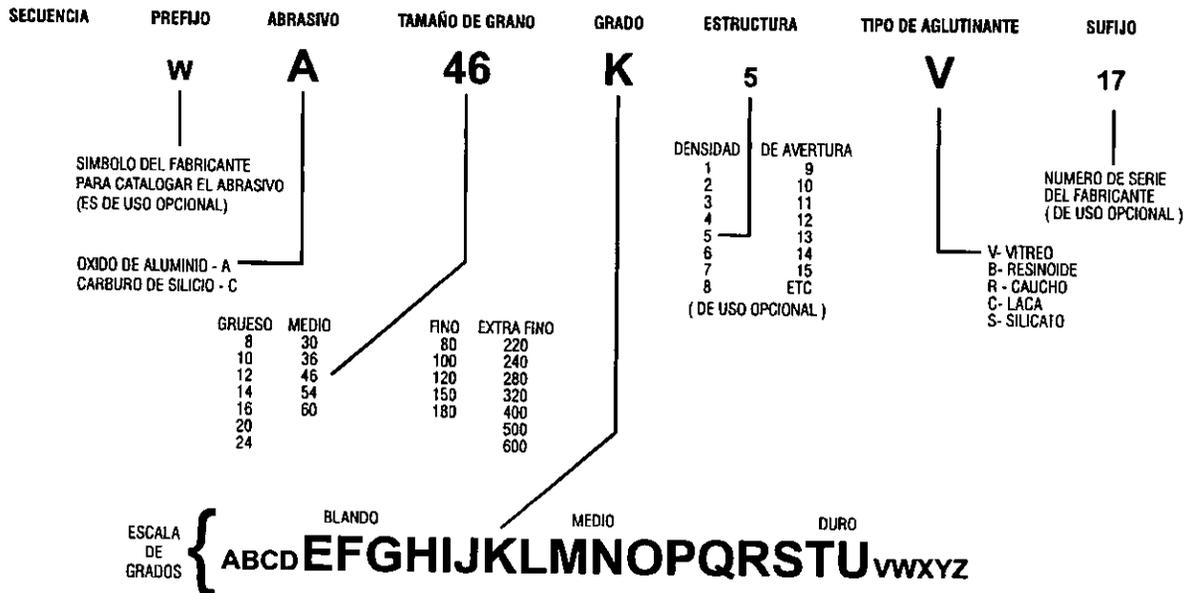
Se han creado muchos parámetros para poder correlacionar el factor tamaño y forma, para determinar cuál es el mejor diamante a utilizar bajo ciertas circunstancias. Pero hasta el momento no ha sido posible encontrar un criterio uniforme o método a seguir, sólo ha sido posible editar una guía para el usuario (fabricante o comprador), el cual se basa en las variables listadas, con las siguientes apreciaciones.

#### **4.1.- CODIFICACIÓN DE LAS RUEDAS ABRASIVAS PARA**

##### **RECTIFICADO.**

El espesor de las ruedas abrasivas es variable como se indica en la fig. 25, basado en la estandarización Británica (B.S. 1814:1952), donde se muestra también que existen 2 alternativas para el tipo de abrasivo, 24 tamaños de grano, 17 grados de dureza señalados como normales y los 9 restantes como los menos usuales, 5 tipos de aglutinantes y alternativas opcionales de estructura. El número de combinaciones disponibles de estos factores es abundante.

**FIGURA 25: ESTANDAR BRITANICO PARA LA CODIFICACION DE LAS RUEDAS ABRASIVAS**



#### **4.2.- CÁLCULO DEL PESO DEL DIAMANTE SOBRE LA BASE DE LAS DIMENSIONES DE LA RUEDA.**

Con relación a una herramienta tipo monopunta, se puede calcular con la siguiente fórmula y obtener una muy buena aproximación del peso en quilates:

$$\frac{\text{diámetro de la rueda (mm)} + (2 \times \text{espesor de la rueda (mm)})}{250} = \text{peso en qts del diamante } \pm 20\%$$

En la fórmula se asume que:

\*Un abrasivo normal grano 70-80.

\*Un grado de dureza entre H y M.

\*Un diámetro de rueda de 350 mm o más.

Para ruedas pequeñas el dato listado en la siguiente tabla puede aplicarse asumiendo las limitaciones del mismo grado y tamaño de grano más un diámetro máximo de la rueda de 375 mm.

**TABLA 5 DIÁMETRO DE LA RUEDA VS RANGOS DE PESO DEL DIAMANTE.**

DIÁMETRO DE LA RUEDA en mm	RANGOS DE PESO DEL DIAMANTE en qtes.
75	0.20 a 0.40
150	0.40 a 0.60
225	0.60 a 0.90
375	0.90 a 1.25

#### **4.3.- TAMAÑO DE GRANO EN LA RUEDA.**

Un rango normal para el tamaño de granos va de 60-100 mallas (150 micras), del punto de vista del aderezado vertical o plano, no afecta la selección del diamante.

El tamaño de grano grueso como el 60 requiere en adición de un diamante más largo. Por lo general los de menor calidad resultan más económicos al proceso en general.

El área de contacto y formado no es importante, de manera contraria tamaños de malla mayores a 100, es necesario definir mejor las áreas de corte por lo que diamantes pequeños deben utilizarse para el aderezado de la rueda.

#### **4.4.- GRADO DE LA RUEDA.**

Grados suaves resultan de manera relativa; diamantes con rangos menores de desbaste, de tal forma que el grado de desbaste del diamante se incrementa con forme se incrementa la dureza de la rueda abrasiva.

#### **4.5.- TIPO DE AGLUTINANTE.**

Un aglutinante vitrificado es menos crítico para los requerimientos del diamante que un aglutinante resinoide; para este último resulta más económico aderezarlo con un diamante de buena calidad con los filos de corte bien definidos.

#### **4.6.- ESPESOR DE LA RUEDA.**

Estas variables definen el área transversal que debe ser aderezada por la herramienta. A mayor área mayor número de diamantes serán requeridos para soportar el incremento de temperatura y abrasión, para lograr mantener el paralelismo, en la cara de la rueda.

#### **4.7.- ÁNGULO DE PRESENTACIÓN (ÁNGULO DE ARRASTRE).**

El estándar Británico (B.S. 2002:1973), recomienda que el punto de contacto entre la rueda y la herramienta debe ser por debajo de la línea de centro con una inclinación de la herramienta en contra del sentido de giro de la rueda con un ángulo de 5° a 15° de la misma línea de centro.

#### **4.8.- ADEREZADO CON APLICACIÓN DE REFRIGERANTE O EN SECO.**

El aderezado en seco se trata de evitar desde el punto de vista económico para el diamante. Afortunadamente la mayoría de los perfiladores en seco están encasillados en ruedas de diámetros pequeños para maquinados que requieren

buena precisión, para tales casos, diamantes pequeños con alta resistencia al desgaste con puntos de corte bien definidos son recomendables.

#### **4.9.- PROFUNDIDAD DE CORTE Y AVANCE.**

Profundidades de corte grandes y un alto avance están asociados con un tipo de aderezado, por lo general se realiza sobre ruedas abrasivas recubiertas y con grandes dimensiones. Puntos importantes a considerar para la elección de un diamante largo, el cual puede aceptar los altos rangos citados y realizar un buen aderezado.

Una razón importante para aumentar la profundidad de corte en el aderezado, es remover la capa exterior que se forma, cuando el metal se queda impregnado en la rueda "tapándola<sup>1</sup>", resultado de rectificadores profundos en procesos rudos, como rectificado de ejes para camiones.

Para estos casos la herramienta no sólo debe ser seleccionada y diseñada para aderezar la rueda (granos y aglutinante), del mismo modo debe ser capaz de remover el metal que ha sido forzado a impregnarse en la superficie de la rueda durante el proceso. Es por eso que esta aplicación de las herramientas para aderezado es considerada como la más ardua y ruda.

---

<sup>1</sup> Bloquear la superficie de la rueda reduciendo o eliminando, sus propiedades abrasivas.

Profundidades de corte mínimas y un avance transversal lento, son utilizadas para acabados finos sobre ruedas con granos finos. En este tipo de aplicación se requiere de diamantes pequeños con los puntos de corte bien definidos.

La profundidad de aderezado no debe extender de 0.01 a 0.05 mm.

#### **4.10. - VELOCIDAD PERIFÉRICA DE LA RUEDA.**

Siempre se tendrá una relación muy íntima entre la velocidad de la rueda y el aderezado de una herramienta. Recientes avances en el perfilado de alta velocidad ha elevado la velocidad periférica de 30 m/s a 60 m/s; a pesar de este aumento del 50%, no ha creado mayor problema en el aderezado, fuera de los rangos reconocidos de desbaste en términos del peso del diamante por unidad de rueda removida (cantidad de grano).

Gracias a la investigación se tienen diferentes rangos de desbaste a diferentes condiciones.

Los rangos de desbaste varían de  $0.3 \times 10^{-5}$  qts/in<sup>3</sup> a  $6 \times 10^{-5}$  qts/in<sup>3</sup>. La condición que se aplica en la práctica para considerar lo que catalogaríamos como un rango de desbaste principal es:

\*Tipo de rueda: Óxido de aluminio malla 46/60 vitrificada.

- \*Velocidad: 25.4 m/s.
- \*Avance: 0.038 mm x rev.
- \*Profundidad de corte: 0.025 mm.
- \*Refrigerante: soluble en agua o aceite.

La velocidad de la rueda, puede y de hecho lo hace, intensificar los problemas existentes como son:

- \*La justificación de la inversión inicial y el costo subsecuente.
- \*El minimizar el tiempo máquina así como el de cambio de herramienta y ajuste.
- \*El mantener las dimensiones exactas de la herramienta el mayor tiempo posible, para poder obtener las geométricas requeridas en las ruedas y evitar los ajustes intermitentes de las herramientas.
- \*El proveer la máxima consistencia en el área de contacto entre la herramienta y la rueda, manteniendo una reserva en almacén reducida de herramientas y ruedas y factores de acabados de las ruedas abrasivas a los niveles requeridos.
- \*Para obtener en la rueda la resistencia suficiente para el desbaste así como el minimizar las variaciones en grados de la rueda.

Las herramientas tipo monopunta, suelen satisfacer el primer requerimiento, pero las ruedas abrasivas de alta velocidad afectan a los cuatro factores en términos del tiempo transcurrido, del mismo modo los multipuntas se ven afectados.

En muchas máquinas de rectificado a alta velocidad, se utilizan aderezados rotatorios, que por lo general están ya incluidos en las consideraciones de diseño de la misma máquina. Para garantizar la disminución de contacto, que además, es constante.

En los últimos años el uso de materiales dúctiles como el acero con estaño tiende a saturar (tapar), la rueda en un tiempo más corto que con un acero normal. Esto ha llevado a requerir una mejor calidad de diamante para aderezar en un tiempo corto y evitar el desgaste de la herramienta y su rápida sustitución.

Aun así el grado de acabado no se determina con la calidad del diamante. El seleccionar la rueda abrasiva, el diseño de la máquina, tipo de refrigerante y el avance, todos estos puntos juegan un papel muy importante para determinar el acabado en la pieza rectificada.

La relación entre estos factores y las especificaciones del diamante son inmensas:

\*Un diamante filoso causará que la rueda dé un acabado como si se tratara de una rueda de grano grueso.

\*Una mayor área de contacto entre la rueda y el diamante mejorará el acabado en la pieza rectificadora, pero reducirá la cantidad de material a remover por el rectificado de la rueda a la pieza.

\*Una máquina en malas condiciones dará como resultado un deficiente aderezado y como resultado un mal acabado en las piezas rectificadas por la rueda, dejando pequeñas áreas sin rectificar. Señalando la importancia de tomar en cuenta la rigidez de la máquina tanto para el aderezado como para el buen funcionamiento de la máquina durante el rectificado.

#### **4.11.- TIPOS Y CONDICIONES GENERALES DE MÁQUINA.**

El rango normal de rectificadoras de presión, tales como rectificadoras universales, de superficie y planas. Casi ninguna de estas máquinas tienen requerimientos particulares para el aderezado, debido a la necesidad de aplicar la máquina en diferentes tipos de rectificadores, es decir, no son diseñadas con un solo fin, en cuestión de rectificar una cierta pieza o material.

Por ejemplo, el utilizar la misma máquina para un rectificado exterior o interior, resulta un cambio en el proceso de aderezado, consideraciones que se toman en cuenta en el diseño de las herramientas y capacidad de la máquina, ya que para

rectificar una rueda para rectificado interior, se utiliza una flecha con un menor diámetro, o al menos una extensión de la flecha utilizada en el rectificado exterior. La nueva flecha o sección utilizada en el rectificado interior se deforma con facilidad y para combatirlo durante el aderezado de la misma, el área de contacto entre el diamante y la rueda debe mantenerse al mínimo y también reducir la presión aplicada sobre la rueda, esto para lograr una buena superficie en la rueda y mantenga sus características físicas y lograr los mismos acabados sobre las piezas que rectifica.

Con este ejemplo, intento ilustrar la necesidad de conocer la capacidad de la máquina pero sobre todo la importancia del área de contacto entre el diamante y la rueda. La siguiente tabla, muestra la amplia variación en áreas de trabajo que deben tomarse en cuenta, al trabajar con diamantes de diferentes tamaños.

**TABLA 6 RELACIÓN DEL PESO DEL DIAMANTE CON EL ÁREA INICIAL Y MÁXIMA DE CONTACTO ENTRE LA HERRAMIENTA Y LA RUEDA ABRASIVA.**

PESO DEL DIAMANTE en qtes.	AREA INICIAL en mm <sup>2</sup>	AREA MAXIMA en mm <sup>2</sup>
3 a 4	0.0003	2.6
2	0.0003	1.8
1	0.0003	1.1
0.25	0.0003	0.4

La variación se manifiesta durante el transcurso de desbaste, desde el montado de la herramienta en la máquina, hasta el cambio sea: de posición para aprovechar los nuevos filos o para afilarla y su posterior uso.

Como dato adicional cabe mencionar que se ha medido en la práctica que aproximadamente el 25% del largo total del diamante se ha reducido antes de regenerarlo y utilizarlo de nuevo.

#### **4.12.- DESARROLLÓ DEL DISEÑO DE OPCIONES EN HERRAMIENTAS PARA EL ADEREZADO.**

La investigación científica y el uso de los rayos X han hecho posible conocer la mejor dirección, para orientar el diamante, de acuerdo al trabajo que va a realizar las herramientas para aderezar; fabricar las herramientas, presentando los mejores vectores de fuerza del diamante y una perfecta orientación de éstos vectores al momento del proceso, dan como resultado un buen aderezado restituyendo rápido las características de la rueda y optimizando el uso del mismo diamante. En la práctica este conocimiento no se utiliza por diferentes razones:

-A fin de encontrar la mejor orientación del diamante, es necesario adquirir un equipo bastante caro, así como el diamante óptimo en ciertos procesos resulta muy caro, esto aunado al desperdicio de diamante que origina el corte y tallado (en algunos casos) del diamante.

En forma ideal, una herramienta de alto precio resulta económica en términos de rangos de volumen de rueda removido por unidad de peso o volumen de diamante; pero no es así bajo condiciones normales de producción, es decir, las condiciones a que son sometidos en la realidad están muy alejadas de lo ideal como los efectos adversos de ruedas para rectificado pesado: el aplicar cargas grandes en aceros, vibraciones, avances inadecuados y excesivas profundidades de corte, la falta de un suministro constante de refrigerante, con su subsecuente sobrecalentamiento. Incidentes y abusos como éstos, provocan el mal uso de la herramienta y el desgaste previo del diamante, por lo que no es fácil aprovechar al máximo una herramienta bien diseñada, inclinándose al fabricante a recomendar otras alternativas en calidad del diamante y diseño de las herramientas.

Una segunda opción y por lo general la más aceptable para ambas partes (fabricante y consumidor), es el uso de una porta herramientas múltiple tipo revólver, automático o semiautomático.

Un operario experto en máquinas de rectificado, acepta como parte de su trabajo, el ajuste de la herramienta durante la misma operación, cuando ésta ya ha sido usada y se ha generado el nuevo plano, en la sección del diamante expuesto al trabajo. Sin embargo para realizar esta operación de forma segura y sin complicaciones es necesario detener la rueda abrasiva, para poder limpiar la sección de la herramienta y el porta herramientas del material residual, el cual podría entorpecer la operación de ajuste; este procedimiento se reduce en tiempo, utilizando una herramienta multipuntas. Con la aplicación de este tipo de herramientas todo el procedimiento se reduce a tan sólo el destornillar, cambiar a la otra matriz y

atornillar dando como resultado una reducción considerable en tiempo de ajuste (tiempo considerado muerto para la producción), ya que el ajuste es mínimo o nulo dependiendo de la precisión de la máquina y del diseño de la herramienta.

En áreas de rectificado, en la producción masiva, unidades automáticas son utilizadas, este tipo de unidades operan con presión hidráulica controlada con circuitos eléctricos, que después de un determinado número de aderezados, la herramienta es cambiada de forma automática, mediante el giro del porta herramientas para continuar con el proceso y no detener la producción.

El siguiente paso en la evolución de las herramientas para aderezar fue las herramientas con varios diamantes sinterizados. En comparación con una herramienta monopunta, cuenta con las siguientes ventajas:

\*El valor intrínseco del diamante que las forman es menor, ya que los diamantes pequeños cuestan menos por quilate, que los diamantes largos de la misma calidad y forma.

\*El riesgo de que el área de aderezado del diamante se destruya por completo se reduce mucho, ya que, por lo normal no todos los diamantes están expuestos a los esfuerzos al mismo tiempo.

\*Gran consistencia en su uso, a pesar de no realizar al 100% el ajuste, por carecer el operario de la habilidad para hacerlo, evitándose así una pérdida de tiempo y dinero.

\*El diseño de estas herramientas es más flexible que el de una herramienta monopunta. No sólo por la gran diversidad de diamantes a utilizar, en

tamaño y forma, pero también la variedad de arreglos posibles en la matriz de una herramienta multipunta. Ejemplo: un diamante con un determinado tamaño puede utilizarse para fabricar una herramienta con filo para aderezar una rueda y abrirla, es decir, dejarla libre de sobrematerial, o este mismo diamante puede formar parte de una herramienta multipuntas de 12 puntas para aderezar una rueda con el fin de brindarle una superficie con textura para acabados finos.

\*En éste tipo de herramientas, los diamantes no necesitan afilarse más de una vez, su uso es continuo, esto causa una reducción del inventario de herramientas, motivo que en ocasiones resulta una desventaja, ya que no le brinda la oportunidad al operario para variar las condiciones de aderezado y lograr diferentes efectos; sin embargo este tipo de herramienta dará pequeñas variaciones hasta el fin de su vida útil. Las variaciones son notables entre las capas, que componen a la herramienta.

La siguiente tabla útil para la selección del tamaño grano de diamante, muestra también una breve relación de este tipo de herramientas, para tener una idea de la gran variedad que existe.

**TABLA 7 SELECCIÓN DE DIAMANTE DE ACUERDO A LAS CARACTERÍSTICAS DE LA RUEDA ABRASIVA.**

<u>TAMAÑO DE RUEDA</u>		<u>SUPERFICIE DE CONTACTO</u>	<u>TAMAÑO DE GRANO</u>	
DIÁMETRO (mm)	ESPESOR (mm)	ENTRE LA RUEDA Y EL DIAMANTE	GRANO DE RUEDA	GRANO NOMINAL DE DIAMANTE
100	10	(A) 1.5 mm <sup>2</sup>	46-80	25
150	20	(B) 3 mm <sup>2</sup>	80-180	50
250	25	(C) 6 ∅	180-300	100
500	50	(D) 10 ∅	MAS FINO	200
750	75	(E) 12 ∅	MAS FINO	200
1000	150	(F) 19 ∅	MAS FINO	200

EJEMPLO: una rueda con dimensiones 200 X 25 mm de grano 60 requiere una herramienta de espesor C grano 25.

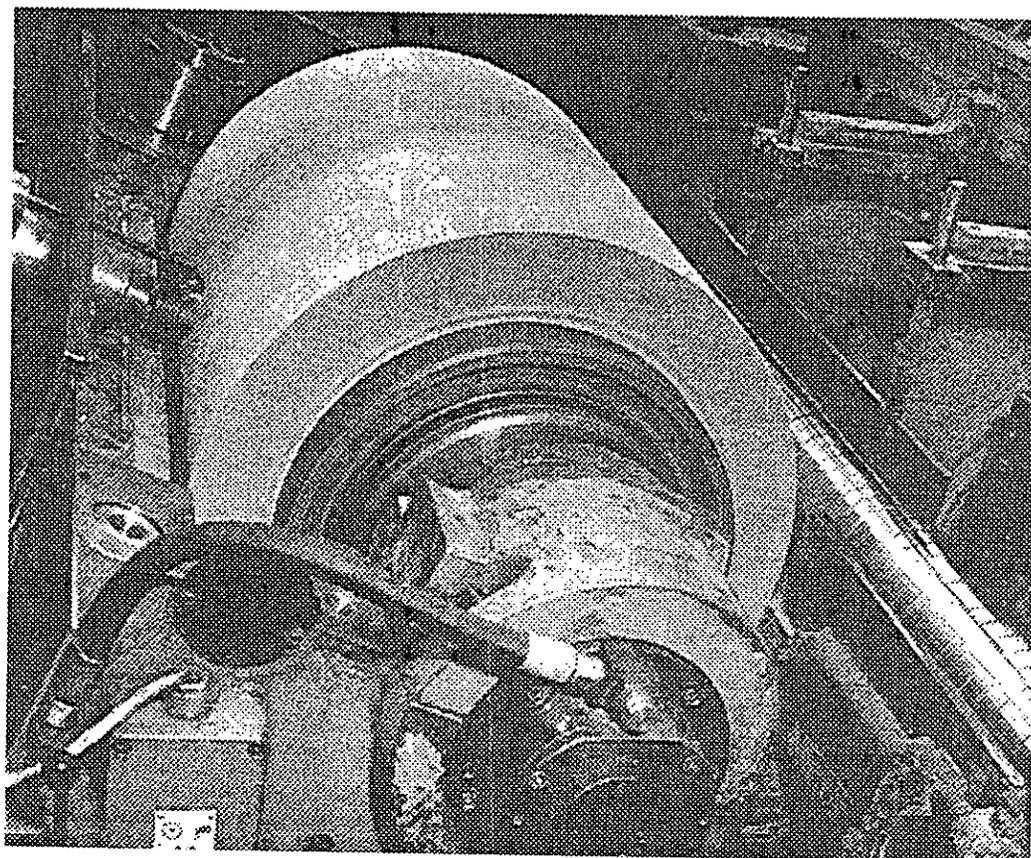
## **5.- APLICACIÓN PRÁCTICA.**

Esta sección dedicada a la aplicación práctica de lo descrito en los capítulos que la preceden se realizó en una empresa líder en la fabricación de anillos para motores de combustión interna cuyo nombre no está autorizado a mencionar.

Con el fin de aumentar la productividad en la operación de rectificado exterior de los anillos para preparar la superficie a la aplicación de un recubrimiento antifricción tuve la oportunidad de probar los conceptos teóricos expuestos en capítulos anteriores al proponer el cambio de la herramienta de afilado para la rueda abrasiva.

### **5.1.- ANTECEDENTES.**

La operación de rectificado se realiza en una rectificadora sin centros de marca Cincinnati, similar a la que se muestra en la fig. 26 bajo las condiciones que a continuación se indican:



**FIGURA 26: FOTOGRAFIA DE UN PROCESO DE RECTIFICADO DE ANILLOS PARA PISTON EN EL CENTRO DE LA FOTOGRAFIA LA RUEDA ABRASIVA, A LA DERECHA ANILLOS RECTIFICADOS A LA IZQUIERDA LA HERRAMIENTA TIPO MONOPUNTA ADEREZADO.**

>Material a remover en los anillos: 0.127 mm en el diámetro del anillo antes de metalizar.

>Rueda rectificadora: Dimensión = 600 mm diámetro exterior.

200 mm ancho de banda.

300 mm diámetro interior o paso de

flecha.

Dimensión de desperdicio = 400 mm de diámetro  $\pm 3$ mm

>Especificación C80J6VC6 : considerando lo mostrado en la figura 25 (pag.

61), es posible obtener las características con el código citado, de acuerdo al

Estándar Británico:

C = Carburo de silicio.

80 = Tamaño del grano abrasivo.

J = Dureza mediana.

6 = Abertura de grano.

V = Aglutinante vitrificado.

C6 = Clave del fabricante.

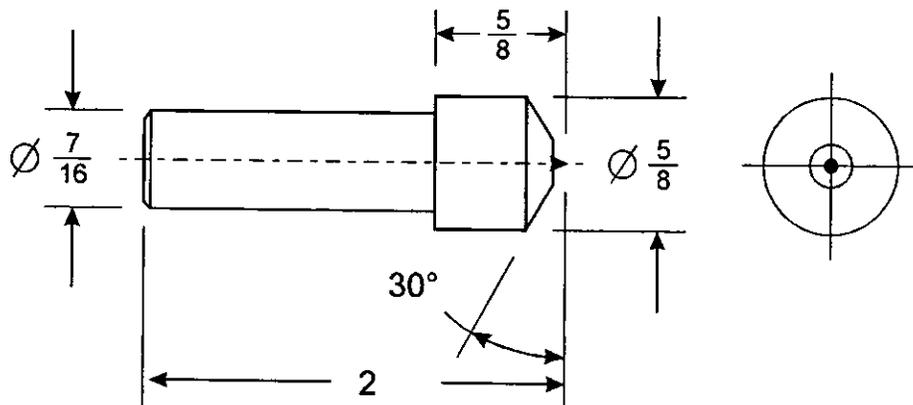


FIGURA 27: DIBUJO DE LA HERRAMIENTA TIPO MONOPUNTA  
SIMILAR A LA HERRAMIENTA "1A" DEL CATALOGO DE NORTON.

>Herramienta para el aderezado: tipo monopunta, similar a la fabricada por Norton, con el número de catálogo 1A, que se muestra en la fig. 27 con las dimensiones habituales de este tipo de herramienta.

Considerada una herramienta de calidad estándar (media), con las siguientes características:

Puntas útiles –

dos.

Estructura y Tipo de diamante -

Blocky Octaédrico de 3 qtes. con un mínimo de dos puntas útiles e irregularidades en la superficie, fracturas o inclusiones son aceptables.

**ESTA TESIS NO SALE  
DE LA BIBLIOTECA**

>Justificación para el tamaño del diamante: fórmula de la pag. 61

$$\frac{\phi_{ext} + (2 * espesor)}{250} = qtes \pm 20\% = \frac{610 + (2 * 203)}{250} 04.064 \pm 20\%$$

Tomando en cuenta el  $\pm 20\%$  se tienen las siguientes opciones:

>un diamante de 3.25 qtes o

>un diamante de 4.88 qtes

Se decide por 3 qtes, considerando el precio regular en el mercado de \$ 1,500 (150 us dlls).

>Condiciones de máquina: flujo de refrigerante =50lts x min. soluble al agua.

velocidad periférica de la rueda abrasiva = 40 m/s.

distancia axial = 225 mm en ambos sentidos.

avance del monopunta = 0.15 mm x rev.

\*profundidad de corte = 0.1270 mm avance

0.0508 mm retroceso.

\*La profundidad se tomó de la siguiente tabla entrando con un valor de tamaño de grano 80, considerando en el avance 2/3 de la profundidad de corte y el 1/3 restante en el retroceso:

**TABLA 8 PROFUNDIDADES ESTÁNDAR DE CORTE DE ACUERDO AL TAMAÑO DE GRANO DE LA RUEDA ABRASIVA.**

TAMAÑO DEL GRANO ABRASIVO	PROFUNDIDAD DE CORTE
16	1.1938
18	0.9906
20	0.8382
25	0.7112
30	0.5842
35	0.4826
40	0.4064
45	0.3556
50	0.3048
60	0.2540
70	0.2032
<b><u>80</u></b>	<b><u>0.1778</u></b>
100	0.1524

El ciclo del aderezado inicia cuando el botón de arranque es presionado, termina cuando en el trayecto de reversa toca con el interruptor de límite, con una duración de 30 seg. Se debe girar el diamante 180°, 90° y 180° en el sentido de las manecillas del reloj; al final de cada semana durante el 1<sup>er</sup> turno, el tiempo empleado es de 30 a 45 minutos.

## **5.2.- CÁLCULO DEL TIEMPO DE CICLO DEL ADEREZADO.**

De acuerdo a la información dada por la empresa el diamante hace un recorrido total de 450 mm, con una velocidad periférica de la rueda de 40 m/s base para el cálculo de las r.p.m. a que trabaja la máquina por la siguiente fórmula:

$$\frac{\text{Vel. periferica}}{\phi_{\text{convencional.de la rueda}} * \pi} = r.p.m.$$

$$\text{Vel. periferica} = 40m / s = 40000mm / s$$

$$\phi_{\text{convencional.de la rueda}} = r_{\text{exterior}} + r_{\text{interior}} + r_{\text{desperdicio}}$$

$$\phi_{\text{convencional.de la rueda}} = 300 + 150 + 50 = 500mm$$

*Sustituyendo :*

$$\frac{40000}{500 * 3.1416} = 25.46r.p.s. * 60 = 1527.8r.p.m. \approx 1600r.p.m.$$

Es importante indicar que al referirnos al diámetro convencional de la rueda es aquel donde la velocidad media se localiza, es decir la mitad del diámetro efectivo de trabajo.

Si la herramienta tiene un avance de 0.15 mm x rev en un minuto recorre:

Si la distancia axial a recorrer es de 225mm en avance y 225mm en retroceso, por lo tanto:

$$\frac{450}{240} = 1.875min = 112.5seg \approx 115seg$$

Por lo que corresponde al diamante las condiciones sí corresponden a lo que teóricamente puede calcularse, así, puedo concluir que los 115 segundos reportados como tiempo de ciclo incluye el tiempo de respuesta del sistema de la máquina.

### **5.3.- PROPUESTA.**

Acorde al tema que me conviene, en lo personal, sugiero por las características del proceso en cuestión, una herramienta multipunta tipo conglomerado según el catálogo de Norton 1A6B7 o equivalente, que se muestra en la fig. 28, con dos ventajas iniciales que son:

- >No requiere de giros como la herramienta monopunta.
- >Su costo es de \$400 (40 usdlls) debido al cambio de diamante,
- >ya que se utiliza grano de diamante descrito en la clasificación como el tipo filos.

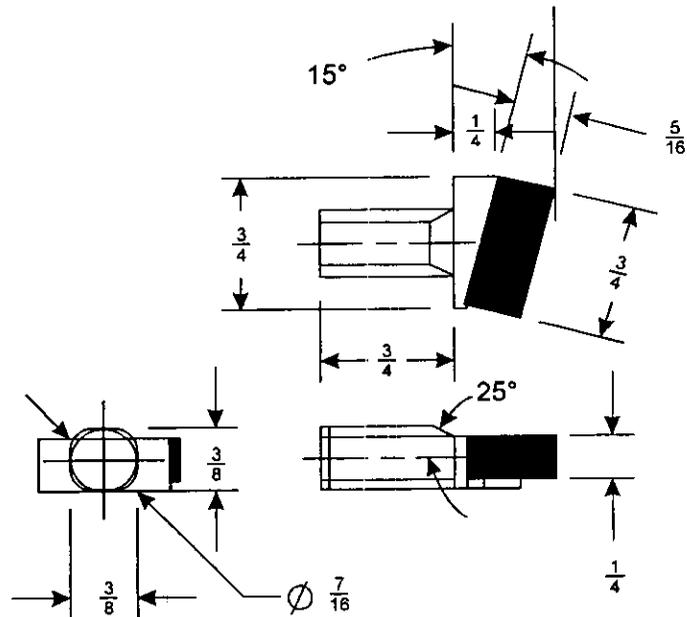


FIGURA 28: DIBUJO DE LA HERRAMIENTA TIPO MULTIPUNTA  
SIMILAR A LA HERRAMIENTA "1A6B7" DEL CATALOGO DE NORTON.

### **5.3.1.- JUSTIFICACIÓN.**

Con base al tipo de rueda abrasiva y considerando que la superficie de las piezas rectificadas no es de alta precisión sino simplemente es para dar dimensión para el aporte del metal antifricción. A continuación el método empleado para llegar a la herramienta propuesta:

Partiendo del tamaño de grano 80 y refiriéndome a la tabla 4 (pag. 54),

GRANO DE LA RUEDA	GRANO NOMINAL DE DIAMANTE
46-80	25

Puedo considerar un tamaño de grano 25 que corresponde comercialmente a uno de malla 18/22 a una concentración de 70 qutes. de grano por pulgada cúbica, para decidir forma y dimensiones del segmento diamantado (la matriz) tomo los datos de la tabla 7 (pag. 75):

<u>TAMAÑO</u> DIÁMETRO (mm)	<u>DE RUEDA</u> ESPESOR (mm)	<u>DIAMANTE</u> SUPERFICIE DE CONTACTO
750	75	12 (E) Ø

Como base refiero a una rueda de 750mm de diámetro y 75mm de ancho de banda (espesor), ya que no existe una referencia exacta a la rueda en cuestión, me sugerí un área de contacto de una pastilla circular de 12mm de diámetro, por lo tanto:

$$A_{\text{contacto}} = \pi * \frac{12^2}{4} = 113.0973 \text{mm}^2$$

A la fig. 29 le corresponde una pastilla de 19 X 6 X 8mm, calculando:

$$A_{\text{catálogo}} = 19 * 6 = 114 \text{mm}^2$$

Condiciones de máquina propuestas son:

- >Flujo de refrigerante =50lts x min. soluble al agua.
- >Velocidad periférica de la rueda abrasiva = 40m/s.
- >Avance del conglomerado = 0.5 mm x rev.
- >Profundidad de corte: 0.06 avance, 0.01 retroceso.
- >Distancia axial: 225mm en ambos sentidos.
- >Angulo de la pastilla: 11° igual que el monopunta.

El cambio del ángulo con respecto al señalado en la figura 29 lo decidí ya que al comenzar el proceso de aderezado no llevo a cabo un afilado uniforme sobre la rueda abrasiva, impidiendo que la herramienta lograra desde el inicio un contacto superficial completo entre la pastilla y la rueda abrasiva.

Es por eso que se sugirió una modificación al ángulo de 3 grados para quedar en 11 grados.

Por lo anterior el ciclo del aderezado será:

Con la rueda abrasiva girando a 1600 r.p.m., un avance de la herramienta de 0.5mm x rev:

$$Avance = 0.5 * 1600 = 800mm.en.un.minuto$$

La distancia axial es de 450mm por lo que:

$$\frac{450}{800} = 0.56min = 33.6seg \approx 34seg$$

Cabe mencionar en este momento que los resultados obtenidos finalmente se expresan a continuación en horas de producción y no en piezas producidas porque ese fue el acuerdo con la empresa que me permitió hacer esta aplicación práctica.

**TABLA DE RESULTADOS.**

<u>CARACTERISTICA</u>	MONOPUNTA	<u>CONGLOMERADO</u>
1	150	40
RUEDA ABRASIVA	C80J6VC6	C80J6VC6
VELOCIDAD DE RUEDA en m/s	40	40
PESO en quilates	3	5
AVANCE en mm x rev	0.15	0.5
PROFUNDIDAD DE CORTE en AVANCE en mm	0.127	0.06
PROFUNDIDAD DE CORTE en RETROCESO en mm	0.0508	0.01
TIEMPO DE CICLO en segundos	115	34
VIDA UTIL en horas	200/250	300

## **CONCLUSIONES.**

La hipótesis planteada al inicio de este trabajo de tesis fue lograr una mejora en el proceso de aderezado de las ruedas abrasivas utilizadas en la manufactura de los anillos para pistón, con la sustitución de la herramienta tipo monopunta por una herramienta tipo multipunta.

Después de haber llevado a cabo dicho planteamiento se lograron los siguientes objetivos:

- >Disminución del tiempo de ciclo en un 30% que a su vez influye en
- >El aumento de la vida útil de la herramienta, contribuyendo a una mayor fluidez del proceso.
- >Un ahorro del 27% en el costo de la herramienta lo que permite destinar ese ahorro a la mejora de otras secciones del proceso o actualización de la maquinaria.

>Y el más importante de los objetivos, la satisfacción del cliente gracias a lo cual ha depositado su confianza en futuros proyectos que se le han venido proponiendo.

Es por eso que este trabajo de tesis cumple con dos cometidos; la demostración de la hipótesis y con la obligación de todo ingeniero, que es el mantenerse actualizado en los avances técnicos y buscar su aplicación práctica.

## **BIBLIOGRAFÍA.**

VAN ITALLIE, John D, "Natural Diamond Sources and Production", The industrial Diamond, Moorestown New Jersey USA, Industrial Diamond Association of America Inc., 1979, segunda edición.

TAEYAERTS, Jan, "Práctical application of the Physical Properties of Diamonds", The industrial Diamond, Moorestown New Jersey USA, Industrial Diamond Association of America Inc., 1979, segunda edición.

AREM, Joel, **Rocks and Minerals**, New York USA, Bantam Books Inc. And The Ridge Press Inc., 1973.

KLIPPER, Joseph, "Diamond Dressing Tool", The industrial Diamond, Moorestown New Jersey USA, Industrial Diamond Association of America Inc., 1979, segunda edición.

CUSTERS AND WEAVIND, J.F.H. AND R.G., "A Tang Designed for the Manufacture of Radiused Diamond Tools", The Manufacture of Diamond Tools in Theory and Practice, Johannesburgo Sudafrica, The Diamond Research Laboratory, 1984, Edición Especial.

CUSTERS AND WEAVIND, J.F.H. AND R.G., "Setting Diamonds in Tool Shanks, a Brief Survey of General Procedures", The Manufacture of Diamond Tools in Theory and Practice, Johannesburgo Sudafrica, The Diamond Research Laboratory, 1984, Edición Especial.

GAUGER AND WINTER, ROBERT AND ERNESTÁND, "Diamond Tools for Dressing Grinding Wheels", Diamond in industry – Dressing and Truing, London, Diamond Abrassives Corporation, 1983, Edición Especial.

GAUGER AND WINTER, ROBERT AND ERNESTÁND, "Dressing Costs Down – Productivity Up", Diamond in industry – Dressing and Truing, London, Diamond Abrassives Corporation, 1983, Edición Especial.

Grinding Whell Institute, "Product Availability", Grinding Wheel Applicantion Guide, Cincinnati Ohio USA, Cincinnati Milacron Marketing Co., 1983, Anual.

Industrial Diamond Association of America Inc., "A Review of Diamond Sizing and Standards", Industrial Diamond Association of America Inc., 1984, Edición Especial.

Norton Company Diamond Tools, "Single Point Dressing Tools", Diamond Dressing Tools, Arden Carolina del Norte USA, Norton Company Diamond Tools, 1997, Anual, Catálogo No. 106.

Norton Company Diamond Tools, "Norton Standard Multi-point Nibs", Diamond Dressing Tools, Arden Carolina del Norte USA, Norton Company Diamond Tools, 1997, Anual, Catálogo No. 106.

De Beers Industrial Diamond Division, Multi-lingual Glossary of Industrial Diamond Terms, London, Deverell Gibson and Hoare, 1990, Edición Especial.