

## **CAPITULO 3**

### **PROPIEDADES DEL NYLAMID XL (VERDE)**

#### **3.1 Características :**

Los plásticos tienen como cualidades generales, el ser muy ligeros y resistentes a la oxidación, principalmente. Sin embargo, esto no es suficiente, ya que la industria constantemente demanda materiales que satisfagan necesidades aun mas complicadas y diversas. El Nylamid ofrece múltiples alternativas de solución a estos requerimientos, ya que nuestros diferentes productos cuentan con las características más apropiadas para cada caso, entre las más importantes mencionamos las siguientes:

- Estabilidad dimensional.
- Maleabilidad.
- Compatibilidad para usarse en contacto con alimentos, sin contaminar.
- Resistencia al desgaste.
- Resistencia dieléctrica.
- Resistencia mecánica.
- Resistencia química.
- Resistencia térmica.
- Rigidez.

Estos productos son plásticos de ingeniería de varias familias de polímeros, como nylon, polietileno y acetal, entre otros, fabricados por vaciado, moldeo por compresión y extrusión, de acuerdo a los adelantos más recientes de la tecnología de los plásticos **Usos:** La versatilidad de los productos con Nylamid ha ayudado a resolver problemas de diseño de partes para equipo original o de sustitución de refacciones

fabricadas con otros materiales, como : acero, bronce, aluminio, madera, cerámica, celoron y otros plásticos, en un sin número de sectores industriales, tales como:

Alimenticio	Papelero
Siderúrgico	Naval
Embotellador	Textil
Azucarero	Mínero
Constructor	Farmacéutico
Bienes de capital	Transportadores

**Tabla 3.1 versatilidad de los productos de nylamid**

Los usos mas frecuentes que se le dan a nuestros materiales, son los siguientes:

- Cojinetes.
- Poleas.
- Rodillos.
- Engranés.
- Guías de desgaste.
- Ruedas.
- Aislantes dieléctricos.
- Aislantes térmicos.
- Soportes.

### **3.2 Beneficios :**

- **Buena relación Costo-Beneficio.** El rendimiento de las piezas fabricadas con productos de Nylamid, en combinación con el precio, es sin duda el principal motivo para su aplicación, ya que aunque en algunas ocasiones existan materiales más baratos, su limitada durabilidad generan gastos extras derivados

de la mayor frecuencia de recambio de las refacciones, los paros para mantenimiento, montaje y desmontaje, etc.

- **Facilidad de maquinado.** Por su suavidad la mayoría de estos productos se maquina mucho más rápido que los metales, dando como resultado, ahorros muy significativos.
- **Ligereza.** Por pesar menos que los metales, los plásticos exigen menor esfuerzo de los motores, contribuyendo así a consumir menos energía.
- **Menor consumo de lubricantes.** Gracias a su bajo coeficiente de fricción el Nylamid ayuda a reducir el consumo de lubricantes y en algunos casos hasta lo elimina.
- **Reduce el nivel de ruido.** La capacidad de absorción de impactos tan característica de los plásticos ayudan a disminuir la emisión de ruido provocado por las partes que trabajan en movimiento y en contacto directo entre sí.
- **Disponibilidad** Hoy en día existe en el mercado una gran variedad de productos, presentaciones y medidas para satisfacer las necesidades del mercado, contribuyendo a reducir las importaciones.

Es así que la finalidad de este capítulo es explicar cada una de las propiedades que el nylamid ofrece, para poder ser introducido dentro de la manufactura de piezas que contribuyen a la formación de algunos elementos de maquinaria, los cuales pudieron en un principio haber sido manufacturados con acero al carbón pero al final fueron hechos de nylamid.

**3.3 El Nylamid® M** (M=Mecánico) es de color hueso y esta aprobado para trabajar en contacto directo con alimentos de consumo humano, por la SECOFI (NMX-E-202-1993-SCFI).

		<b>Principales Propiedades</b>	
Nylamid® M			
R = Resiste			
RL = Resistencia Limitada			
NR = No Resiste	Norma	Unidades	
<b>FISICAS</b>			
ASTM			
Densidad	D792	gr./cm <sup>3</sup>	1.14
Dureza Shore-D			81
Absorción de agua: En 24 Horas	D570	% por peso	0.6
Hasta saturación		% por peso	3
<b>MECANICAS</b>			
Resistencia a la tensión	D638	kg./cm <sup>2</sup>	760
Módulo de elasticidad a la tensión	D638	kg./cm <sup>2</sup>	22,500
Resistencia a la compresión	D695	kg./cm <sup>2</sup>	725
Resistencia a la flexión	D790	kg./cm <sup>2</sup>	1,050
Módulo de elasticidad a la flexión	D790	kg./cm <sup>2</sup>	--
Resistencia al impacto	D256	kg./cm <sup>2</sup>	8
Limite PV		kg./cm <sup>2</sup> (m/s)	3.94
<b>TERMICAS</b>			
Coefficiente de expansión térmica		10-6/°C	100
Temperatura de servicio en aire		°C	90
<b>QUIMICAS</b>			
Ácidos suaves	R		
ácidos fuertes	RL		
Alcalinos suaves	RL		
Alcalinos fuertes	NR		
Hidrocarburos	R		

**Tabla 3.2 propiedades del Nylamid M color blanco.**

**3.4 El Nylamid® SL** (SL=Súper Lubricado) es de color negro y esta cargado de bisulfuro de molibdeno para reducir su coeficiente de fricción.

		<b>Principales Propiedades</b>	
<b>Nylamid® SL</b>			
R = Resiste			
RL = Resistencia Limitada			
NR = No Resiste	Norma	Unidades	
<b>FISICAS</b>			
ASTM			
Densidad	D792	gr./cm <sup>3</sup>	1.16
Dureza Shore-D			85
Absorción de agua: En 24 Horas	D570	% por peso	0.3
Hasta saturación		% por peso	7
<b>MECANICAS</b>			
Resistencia a la tensión	D638	kg./cm <sup>2</sup>	878
Módulo de elasticidad a la tensión	D638	kg./cm <sup>2</sup>	33,744
Resistencia a la compresión	D695	kg./cm <sup>2</sup>	1,124
Resistencia a la flexión	D790	kg./cm <sup>2</sup>	1,195
<b>Módulo de elasticidad a la flexión</b>	D790	kg./cm <sup>2</sup>	32,394
Resistencia al impacto	D256	kg./cm <sup>2</sup>	2.72
Limite PV		kg./cm <sup>2</sup> (m/s)	1.07
<b>TERMICAS</b>			
Coeficiente de expansión térmica		10-6/°C	72
Temperatura de servicio en aire		°C	104
<b>QUIMICAS</b>			
Ácidos suaves	R		
ácidos fuertes	RL		
Alcalinos suaves	RL		
Alcalinos fuertes	NR		
Hidrocarburos	R		

**Tabla 3.3 propiedades del Nylamid SL color negro.**

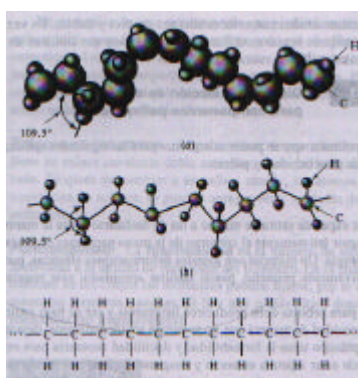
**3.5 El Nylamid® XL** (XL=extra Lubricación) es color verde y tiene una carga de aceite para reducir aún más su coeficiente de fricción y además es de baja absorción de humedad.

		<b>Principales Propiedades</b>	
<b>Nylamid® XL</b>			
R = Resiste			
RL = Resistencia Limitada			
NR = No Resiste	Norma	Unidades	
<b>FISICAS</b>			
ASTM			
Densidad	D792	gr./cm <sup>3</sup>	1.14
Dureza Shore-D			83
Absorción de agua: En 24 Horas	D570	% por peso	0.75
Hasta saturación		% por peso	1
<b>MECANICAS</b>			
Resistencia a la tensión	D638	Kg./cm <sup>2</sup>	862
Módulo de elasticidad a la tensión	D638	Kg./cm <sup>2</sup>	26,109
Resistencia a la compresión	D695	kg./cm <sup>2</sup>	740
Resistencia a la flexión	D790	kg./cm <sup>2</sup>	1,035
Módulo de elasticidad a la flexión	D790	kg./cm <sup>2</sup>	--
Resistencia al impacto	D256	kg./cm <sup>2</sup>	7.4
Limite PV		kg./cm <sup>2</sup> (m/s)	5.37
<b>TERMICAS</b>			
Coeficiente de expansión térmica		10-6/°C	100
Temperatura de servicio en aire		°C	100
<b>QUIMICAS</b>			
Ácidos suaves	R		
ácidos fuertes	RL		
Alcalinos suaves	RL		
Alcalinos fuertes	NR		

**Tabla 3.4 propiedades del Nylamid XL color verde.**

### 3.6 Estructuras representativas.

Todos los polímeros tienen una estructura tridimensional compleja, que es difícil de describir gráficamente. La siguiente figura muestra tres formas con las cuales podemos representar un segmento de polietileno, el más sencillo de los polímeros termoplásticos. La cadena de polímero está formada por una cadena principal de átomos de carbono; dos átomos de hidrógeno están enlazados a cada átomo de carbono en la cadena. Ésta gira y se retuerce en el espacio. El modelo bidimensional simple de esta figura incluye los elementos esenciales de la estructura del polímero y se utilizará para describir los diversos polímeros. Las líneas sencillas (-) entre los átomos de carbono y entre los átomos de carbono e hidrógeno representan un enlace covalente simple. Dos líneas paralelas (=) representan un enlace covalente doble entre átomos.



**Figura 3.1 Estructura de las cadenas de los polímeros.**

Varios polímeros tienen estructuras en anillo, como el anillo de benceno que se encuentra en la molécula de estireno y las fenólicas. Estos anillos aromáticos contienen seis átomos de carbono unidos con enlaces alternos simples y dobles. En vez de mostrar todos los átomos de un anillo de benceno, utilizamos un hexágono que contiene un círculo para ilustrar esta estructura en anillo.

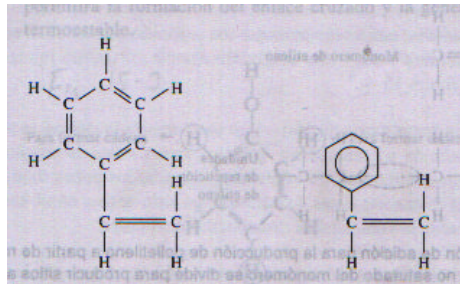


Figura 3.2 Estructura de la cadena del benceno

### 3.7 Nylamid® XL PROPIEDADES

Para cualquier sustitución de piezas en aplicaciones industriales, El Nylamid® XL (XL = eXtra Lubricación) es de color verde y tiene una carga de aceite para reducir aún más su coeficiente de fricción y además es de baja absorción de humedad.

### Nylamid® XL



#### Principales propiedades:

El **Nylamid® XL** (XL = extra Lubricación) es **Color verde** y tiene una carga de aceite para **Reducir aún más su coeficiente de fricción** y **Además de baja absorción de humedad.**

#### **Principales propiedades:**

**Fácil de maquinar.**

**Baja absorción de**

**Humedad.**

#### **Aplicaciones Típicas**

Cojinetes

Aislantes eléctricos

Moldes

Poleas

Cantarinas

Guías de desgaste

Piezas de mínimo excedente para su maquinado.



**Principales  
Propiedades**

**Nylamid® XL**

R = Resiste

RL = Resistencia Limitada

NR = No Resiste

**Propiedades Norma Unidades Valores**

**FISICAS ASTM**

Densidad D792 gr./cm<sup>3</sup> 1.14

Dureza Shore-D 83

Absorción de agua: En 24 Horas D570 % por peso 0.75

Hasta saturación % por peso 1

**MECANICAS**

Resistencia a la tensión D638 kg./cm<sup>2</sup> 862

Módulo de elasticidad a la

Tensión D638 kg./cm<sup>2</sup> 26,109

Resistencia a la compresión D695 kg./cm<sup>2</sup> 740

Resistencia a la flexión D790 kg./cm<sup>2</sup> 1,035

Módulo de elasticidad a la flexión D790 kg./cm<sup>2</sup> --

Resistencia al impacto D256 kg./cm<sup>2</sup> 7.4

Límite PV kg./cm<sup>2</sup>

(m/s) 5.37

**TERMICAS**

Coefficiente de expansión térmica 10<sup>6</sup>/°C 100

Temperatura de servicio en aire °C 100

**QUIMICAS**

Ácidos suaves R

Ácidos fuertes RL

Hidrocarburos R

Alcalinos suaves RL

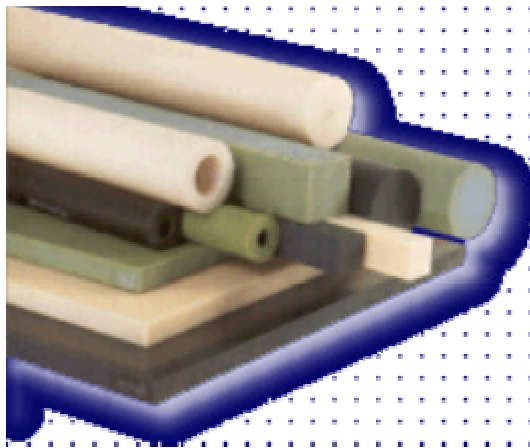
Alcalinos fuertes NR

**Desde el punto de vista mecánico, el Nylamid XL ofrece:**

- Resistencia al impacto, absorbe cargas que pueden fracturar los dientes de metal.
- Reducción de ruido, las piezas hechas de Nylamid son silenciosas además, absorbe el ruido producido por las piezas metálicas.
- Reducción de peso, Nylamid es de 2 a 8 veces más ligero que los metales.
- Resistencia dieléctrica, debido a sus propiedades aislantes, es un material idóneo para ser aplicado en equipos eléctricos.
- Seguridad, no produce chispas y es autoextingible.

**Comparado con otros materiales, el Nylamid (XL) presenta:**

- Más fácil de maquinar que el bronce y el acero
- Más resistencia a la fricción que el bronce fosforado
- Más resistencia a la corrosión que el bronce y el acero estándar
- Más resistencia al impacto que el bronce y el teflón.
- Más resistencia a la abrasión que el bronce y el acero.



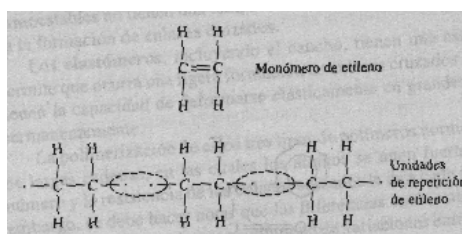
**Figura 3.3 Presentaciones del Nylamid en el mercado**

Lo característico del Nylamid® XL, es el aceite especial se agrega en el momento de mezclar las materias primas por lo tanto este materia es utilizado para maquinado de piezas con un significativo contacto entre elementos de maquinaria. Estos dos tipos uno mismo-lubricados han integrado lubricar las partículas que solidifican con el nylon que forma un cuerpo único, que el proceso de desgaste estas mismas partículas pueden auto lubricar al mecanismo en si.

El Nylamid XL (XL = extra Lubricado) Es verde y tiene una carga de aceite para reducir aún más su coeficiente de fricción y además es de baja absorción a la humedad.

### 3.8 Formación de cadenas por el mecanismo de adición.

La formación del polímero más común, el polietileno (Pe) a partir de moléculas de etileno, es un ejemplo de polimerización por adición (o crecimiento de cadenas). El etileno es un gas de fórmula  $C_2H_4$  : los átomos de carbono están unidos por un enlace covalente doble. Cada uno de estos átomos comparte dos de sus electrones con el otro, y dos átomos de hidrógeno están enlazados a cada uno de los átomos de carbono. La molécula de etileno es un **monómero**.



**Figura 3.4** cadenas de polímero por el mecanismo de adición.

En presencia de una combinación apropiada de calor, presión y catalizadores, rompe el enlace doble entre los átomos de carbono y éste se reemplaza por un enlace covalente único. Los extremos del monómero ahora son radicales libres: cada átomo de carbono tienen un electrón sin pareja, que puede compartir con otros radicales libres. Esta molécula reactiva es el bloque constructivo básico del polímero, se conoce a veces como mero o, dicho con mayor propiedad como **unidad de repetición**.

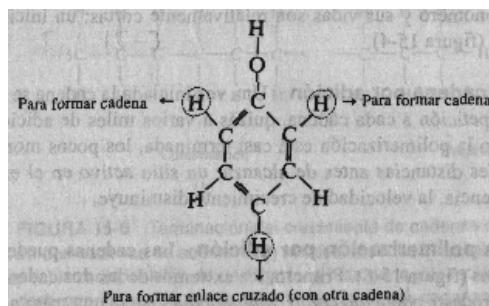
### Enlaces no saturados

La polimerización por adición ocurre porque el monómero original tienen un enlace covalente doble entre átomos de carbono. El enlace doble es un enlace no saturado. Después de cambiar a un enlace simple, los átomos de carbono siguen unidos, pero se convierten en activos; se pueden agregar otras unidades de repetición para producir la cadena polimérica.

### 3.9 Funcionalidad.

La funcionalidad es el número de sitios en los cuales pueden unirse dos moléculas a la unidad de repetición del polímero. En el etileno hay dos sitios en cada átomo de carbono en los cuales las moléculas pueden fijarse, por lo que el etileno es bifuncional y solamente se formarán cadenas. Si hay tres o más sitios donde las moléculas pueden fijarse, se forma una red tridimensional.

Un ejemplo son las moléculas de fenol que tienen la estructura siguiente. Las moléculas de fenol pueden unirse entre sí cuando se elimina un átomo de hidrógeno del anillo y éste participa en la reacción de condensación.



**Figura 3.5 estructura de las cadenas de fenol**

Existen átomos de hidrógeno disponibles desde cualquiera de las cinco esquinas que sólo tienen átomos de este elemento. El átomo de hidrógeno del grupo OH está enlazado firmemente al anillo. Los tres átomos de hidrógeno señalados con un círculo en la figura anterior son los más reactivos y los sitios preferidos para la reacción de condensación. Por lo tanto, la funcionalidad eficaz es tres. Dos de los sitios reactivos se utilizarán para producir una cadena; el tercero permitirá la formación del enlace cruzado y la generación de una red, es decir un polímero termoestable.

### **3.10 Aplicación del Nylamid( XL)**

Los Componentes hechos a base de Nylon (XL) que sustituye a los metales

Ventajas de las piezas fabricadas en Nylamid(R) contra las piezas metálicas.

Resulta más económico en unidad de volumen, comparándolo con los metales suaves y otros materiales.

Evita la instalación de costosos sistemas de lubricación. Ya que Fácil de maquinar, por lo que se reducen los tiempos muertos por reposición de partes de equipo al ser fabricadas en este material.

Su ligereza facilita el trabajo de los motores, por lo que se ahorra energía y se prolonga la vida útil del equipo. Pesa de 2 a 8 veces menos que los metales que sustituye.

Por sus características de absorber impacto se consigue tener una maquinaria más silenciosa. Además de que soporta cargas que pueden fracturar los dientes de piezas de metal.

Dialéctico. Es ideal para piezas que van en equipos eléctricos o electromecánicos.

Seguro, al no generar chispas, es segura su aplicación en ambientes inflamables, explosivos o altamente combustibles. Además de ser autoextinguible.

Las presentaciones disponibles del Nylamid (XL) son:

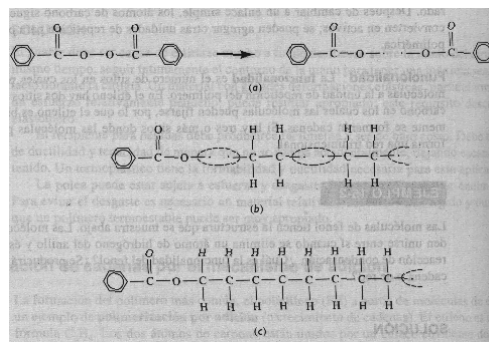
- Barras cilíndricas sólidas
- Barras cilíndricas huecas (tubos o bujes)
- Barras cuadradas sólidas
- Placas

Nylamid(XL) es el plástico de ingeniería para la sustitución de piezas mecánicas. Con un alto coeficiente de fricción en su aplicación por ello es recomendado para la aplicación en engranes cónicos.

Iniciación de la polimerización por adición

Para empezar la adición, es decir el proceso de polimerización por crecimiento de las cadenas, se añade un iniciador al monómero, El iniciador forma radicales libres con un sitio reactivo, que atrae a uno de los átomos de carbono de un monómero de etileno. Cuando ocurre esta reacción, el sitio reactivo se transfiere al otro átomo de carbono del monómero y empieza a formar una cadena. Una segunda unidad de repetición de etileno

se puede fijar en este nuevo sitio, alargándose la cadena. Este proceso continuará hasta que quede formada una cadena de polietileno, es decir un polímero por adición.



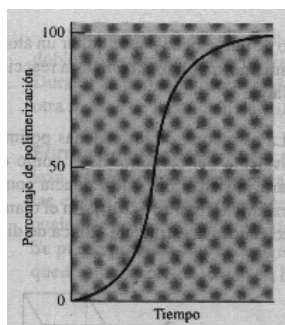
**Figura 3.6 proceso de polimerización por crecimiento de las cadenas**

La inicialización de una cadena de polietileno por crecimiento de cadena involucra la producción de radicales libres a partir de iniciadores, como el peróxido de benzoilo, por fijación de una unidad de repetición de polietileno a uno de los radicales del iniciador y por fijación de unidades de repetición adicionales para la propagación de la cadena.

Dado que los iniciadores, que frecuentemente son peróxidos, reaccionan entre sí además de reaccionar con el monómero y sus vidas relativamente cortas; un iniciador común es el peróxido de benzoilo.

### 3.11 Crecimiento de la cadena por Adición.

Una vez iniciada la cadena se unen a gran velocidad unidades de repetición a cada cadena, quizás a varios miles de adiciones por segundo. Cuando la polimerización está casi terminada, los pocos monómeros restantes deben recorrer grandes distancias antes de alcanzar un sitio activo en el extremo de alguna cadena y, en consecuencia, la velocidad de crecimiento disminuye.



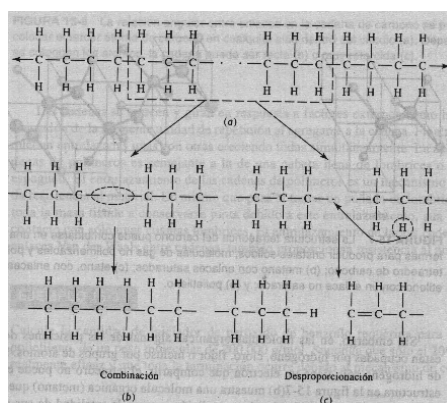
Inicialmente la razón de crecimiento de las cadenas y la razón general de polimerización son lentas, pero después continúan a alta velocidad. Cuando la polimerización esta casi terminada, la velocidad de nuevo se reduce.

**Figura 3.7 Razón de crecimiento de cadenas.**

### 3.12 Terminación de la polimerización por adición.

Las cadenas pueden terminarse mediante dos mecanismos:

Primero, los extremos de las dos cadenas en crecimiento pueden unirse. Este proceso, conocido como combinación genera una sola cadena larga a partir de dos más cortas. Segundo, el extremo activo de una cadena puede quitar un átomo de hidrógeno de otra mediante un proceso conocido como *desproporciónación*; esta reacción formará dos cadenas, en vez de combinarlas en una más larga.

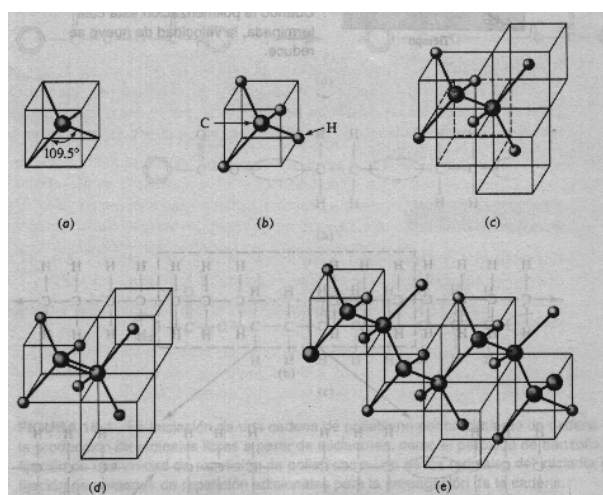


**Figura 3.8 Terminación de la polimerización por adición.**



### 3.13 Estructura tetraédrica del carbono.

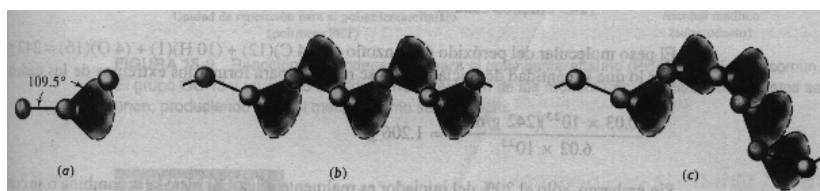
La estructura de las cadenas poliméricas por adición se basa en la naturaleza del enlace covalente del carbono. Éste, como: El silicio, tiene valencia cuatro. El átomo de carbono comparte sus electrones de valencia con cuatro átomos circundantes, produciendo una estructura tetraédrica. En el diamante, todos los átomos en el tetraedro son de carbono produciéndose la estructura cúbica de diamante.



**Figura 3.9 Estructura tetraédrica del carbono**

La estructura tetraédrica del carbono puede combinarse en una gran diversidad de formas par producir cristales sólidos, moléculas de gas no polimerizables y polímeros: (a) tetraedro de carbono, (b) metano con enlaces saturados;(C) etano, con enlaces saturados, (d) etileno con un enlace no saturado, y (e) polietileno.

Sin embargo, en las moléculas orgánicas algunas de las posiciones dentro del tetraedro están ocupadas por hidrógeno, cloro, flúor o incluso por grupos de átomos. Dado que el átomo de hidrógeno solo tiene un electrón que compartir, el tetraedro no puede extenderse más. La estructura en la figura previa (b) muestra una molécula orgánica (metano) que no puede sufrir un proceso de polimerización simple por adición, porque la totalidad de sus cuatro enlaces está cubierta por átomos de hidrógeno. El átomo inicial de carbono podría unirse mediante un enlace covalente a un segundo átomo de carbono, y con todos los demás enlaces de hidrógeno, como el etano (c). Pero el enlace entre átomos de carbono está saturado y, de nuevo, no puede ocurrir polimerización.



**Figura 3.10 posiciones de algunas moléculas orgánicas**

### **3.14 Pruebas de dureza al Nylamid XL**

Casi todas las propiedades mecánicas son sensibles a la estructura, es decir se alteran con los cambios en la estructura o a la micro estructura de la red cristalina. Pero el módulo de elasticidad es una propiedad insensible a la estructura. La dureza se utiliza más con frecuencia que las otras propiedades mecánicas para especificar las condiciones

finales e una parte estructural. Se debe, en parte a que las pruebas de dureza son menos costosas en tiempo y en dinero para efectuarlas.

La prueba puede efectuarse en una pieza terminada sin necesidad de maquinar una muestra o probeta especial. Es decir, una prueba de dureza puede ser no destructiva, pues se puede efectuar en una pieza real sin perjudicial su función de servicio. La dureza se define como la medida de la capacidad de una material para resistir la deformación plástica o penetración con unos endentados que tenga un extremo esférico o cónico. En la actualidad, la dureza es más una propiedad tecnológica del material que un propiedad científica o de ingeniería.

En cierto sentido, las pruebas de dureza son pruebas prácticas de taller no pruebas científicas básicas. Todas las escalas de dureza como la brinell se expresan en unidades de esfuerzo ( $\text{Kg}/\text{mm}^2$  ) no son escala absolutas, porque una pieza de material, como un cunco de latón de 2 in de lado, tendrá números Brinell muy diferentes que dependerán de si se aplica una carga de 500 Kg o una de 3000 Kg al penetrador .

La precarga que se utilizó para la medicinen de acero de los engranes cónicos fue de 60 Kg. con el uso de una bola de 1/8 de diámetro, obteniendo como dureza el valor de 30 RHH.

ESCALA	CARGA (kg)	PENETRADOR	MATERIALES TIPICOS PROBADOS
A	60	Cono de diamante	Materiales duros en extremo, carburos de wólfram, etc.
B	100	Bola de 1/16"	Materiales de dureza media, aceros al carbono bajos y medios, latón, bronce, etc.
C	150	Cono de diamante	Aceros endurecidos, aleaciones endurecidas y revenidas.
D	100	Cono de diamante	Acero superficialmente cementado.
E	100	Bola de 1/8"	Hierro fundido, aleaciones de aluminio y magnesio.
F	60	Bola de 1/16"	Bronce y cobre recocidos.
G	150	Bola de 1/16"	Cobre al berilio, bronce fosforoso, etc.
H	60	Bola de 1/8"	Placa de aluminio.
K	150	Bola de 1/8"	Hierro fundido, aleaciones de aluminio.
<u>L</u>	<u>60</u>	<u>Bola de 1/4"</u>	<u>Plásticos y metales suaves, como el plomo.</u>

Tabla 3.5 Referencia de dureza del Nylamid xl con otros materiales



**Figura3.11 Con respecto a la escala A el valor fue de 86 RHA**

El ensayo de dureza es, juntamente con el de tracción, uno de los más empleados en la selección y control de calidad de los metales. Intrínsecamente la dureza es una condición de la superficie del material y no representa ninguna propiedad fundamental de la materia. Se evalúa convencionalmente por dos procedimientos. El más usado en metales es la resistencia a la penetración de una herramienta de determinada geometría.

El ensayo de dureza es simple, de alto rendimiento ya que no destruye la muestra y particularmente útil para evaluar propiedades de los diferentes componentes microestructurales del material.

Los métodos existentes para la medición de la dureza se distinguen básicamente por la forma de la herramienta empleada (penetrador), por las condiciones de aplicación de la carga y por la propia forma de calcular (definir) la dureza. La elección del método para determinar la dureza depende de factores tales como tipo, dimensiones de la muestra y espesor de la misma.

### 3.15.- Dureza Vickers

Este método es muy difundido ya que permite medir dureza en prácticamente todos los materiales metálicos independientemente del estado en que se encuentren y de su espesor.

El procedimiento emplea un penetrador de diamante en forma de pirámide de base cuadrada. Tal penetrador es aplicado perpendicularmente a la superficie cuya dureza se desea medir, bajo la acción de una carga  $P$ . Esta carga es mantenida durante un cierto tiempo, después del cual es retirada y medida la diagonal  $d$  de la impresión que quedó sobre la superficie de la muestra (*figura 1*). Con este valor y utilizando tablas apropiadas se puede obtener la dureza Vickers, que es caracterizada por  $HV$  y definida como la relación entre la carga aplicada (expresada en Kgf) y el área de la superficie lateral de la impresión

### 3.16.- Dureza Rockwell

La medición de dureza por el método Rockwell ganó amplia aceptación en razón de la facilidad de realización y el pequeño tamaño de la impresión producida durante el ensayo.

El método se basa en la medición de la profundidad de penetración de una determinada herramienta bajo la acción de una carga prefijada.



**Figura3.12 Durómetro ( medidor de dureza).**

### **3.17.- Resultados**

El número de dureza Rockwell (*HR*) se mide en unidades convencionales y es igual al tamaño de la penetración sobre cargas determinadas. El método puede utilizar diferentes penetradores siendo éstos esferas de acero templado de diferentes diámetros o conos de diamante. Una determinada combinación constituye una "escala de medición", caracterizada como *A, B, C*, etc. y siendo la dureza un número arbitrario será necesario indicar en que escala fue obtenida (*HRA, HRB, HRC*, etc.).

El proceso de medición con penetrador de diamante (utilizado para materiales duros, como por ejemplo los templados) está esquematizado en la *figura 2*.

La carga total *P* es aplicada sobre el penetrador en dos etapas: una previa *P<sub>o</sub>* y una posterior *P<sub>1</sub>* tal que:

$$P = P_o + P_1$$

Inicialmente el cono penetra en la superficie una cantidad  $h_0$  sobre la acción de la carga  $P_0$  que se mantendrá hasta el fin del ensayo. Esta penetración inicial permite eliminar la influencia de las condiciones superficiales.

A continuación se aplica la carga  $P_1$  y la penetración se acentúa. Finalmente la carga  $P_1$  es retirada y la profundidad  $h$  restante (solamente actúa  $P_0$ ) determina el número de dureza **HR**. La escala de los instrumentos de lectura empleados en las máquinas está invertida para permitir una lectura directa.

En los certificados de calidad es común utilizar la escala **HRB** donde el cono de diamante es reemplazado por una esfera de 1/16" y la carga  $P_1$  vale 100 Kgf.

En casos de materiales muy finos donde la carga de 100 Kgf es muy elevada, pudiendo inclusive perforar la muestra, es utilizada la escala Vickers con una carga de 10 Kgf y luego efectuada la transformación a la escala **HRB** utilizando tablas de conversión adecuadas.

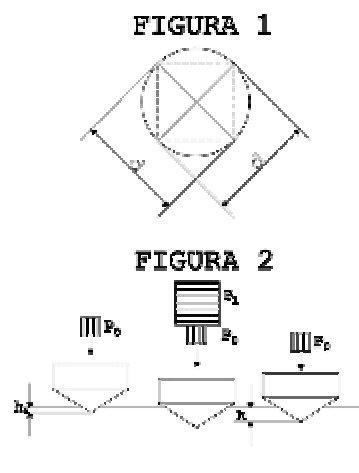


Figura3.13 tipos de puntas del medidor de dureza