



41126  
9

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
"ARAGÓN"**

**"IRREGULARIDADES EN EL PROCESO DE  
PRODUCCIÓN DE UN PARABRISAS"**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE :  
**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**  
**Á R E A I N D U S T R I A L**  
P R E S E N T A N :  
**CRISTINA ARVIZU VÁZQUEZ**  
**CHRISTIAN PIMENTEL PIEDRABUENA**

**ASESOR:**  
**M. en C. LUIS RAMÍREZ FLORES**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

**MÉXICO**

**2003**



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.

***Irregularidades en el Proceso de Producción de un Parabrisas***

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

B

### ***Agradecimientos.***

***Primeramente queremos dar gracias a Dios por permitirnos lograr este objetivo que representa un gran avance en nuestras vidas.***

***Queremos dar gracias a la Universidad Nacional Autónoma de México que nos dio más de lo que algún día le podremos regresar, es decir todo.***

***A nuestros padres a quienes dedicamos este trabajo, por que sin ellos no hubiera sido posible llegar hasta la culminación de nuestra carrera.***

***A nuestro asesor M en C. Luis Ramírez Flores por su magistral dirección en este trabajo.***

***A la Escuela Nacional de Estudios Profesionales Aragón que nos recibió y ahora le toca despedirnos.***

***A todos los que lean este trabajo, pues el tiempo que dedicamos a realizarlo fue con el objeto de que les sirva de algo.***

***A grupo Vitro por todas las facilidades prestadas.***

C



## **Índice.**

**Introducción. 1**

**Capítulo 1.**  
**Planteamiento del problema. 3**

**Capítulo 2.**  
**Antecedentes históricos. 7**

**Capítulo 3.**  
**Introducción histórica. 13**  
✓ **Caos. (definiciones) 14**

**Capítulo 4.**  
**Caos. La sensibilidad a las condiciones iniciales. 30**

**Capítulo 5.**  
**Definición de caos. 37**  
✓ **Historia del caos. 38**  
✓ **Caos en la naturaleza. 42**  
✓ **Caos en el cuerpo humano. 43**  
✓ **Caos determinista. 44**

**Capítulo 6.**  
**Descripción del proceso de fabricación del parabrisas. 47**  
✓ **Desarrollo de producto. 52**  
✓ **Corte de cristal. 54**  
✓ **Decorado. 62**  
✓ **Curvado. 69**  
✓ **Ensamble. 95**  
✓ **Autoclave. 111**  
✓ **Inspección final. 114**

**Capítulo 7.**  
**Manual (Técnicas para el mejoramiento del proceso.) 116**

**Conclusiones. 160**

**Bibliografía. 165**

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## **Introducción.**

La realización del siguiente trabajo tiene como objetivo describir y analizar el defecto mas común llamado **burbuja** que se presenta durante el proceso de fabricación de parabrasis, basándonos en la Teoría del Caos, así como describir las principales técnicas y metodologías de análisis de fallas con el fin de mejorar y optimizar el proceso de fabricación y de reducir el defecto que se presenta dentro de este proceso.

Teoría del caos, esta teoría matemática se ocupa de los sistemas que presentan un comportamiento impredecible y aparentemente aleatorio aunque sus componentes se encuentren regidos por leyes estrictamente deterministas. Desde sus comienzos en la década de 1970, la teoría del caos se ha convertido en uno de los campos de investigación matemática con mayor crecimiento. Hasta ahora, la física, incluso si se consideran las ramificaciones avanzadas de la teoría cuántica, se ha ocupado principalmente de sistemas en principio predecibles, al menos a gran escala; sin embargo, el mundo natural muestra tendencia al comportamiento caótico. Por ejemplo, los sistemas meteorológicos de gran tamaño tienden a desarrollar fenómenos aleatorios al interactuar con sistemas locales más complejos. Otros ejemplos son la turbulencia en una columna de humo que asciende o el latido del corazón humano.

Durante mucho tiempo, los científicos carecieron de medios matemáticos para tratar sistemas caóticos, por muy familiares que resultaran, y habían tendido a evitarlos en su trabajo teórico. A partir de la década de 1970, sin embargo, algunos físicos comenzaron a buscar formas de encarar el caos. Uno de los principales teóricos fue el físico estadounidense Mitchell Feigenbaum, que determinó ciertos esquemas recurrentes de comportamiento en los sistemas que tienden hacia el caos, esquemas que implican unas constantes ahora conocidas como números de Feigenbaum. Los esquemas del caos están relacionados con los que se observan en la geometría fractal, y el estudio de sistemas caóticos tiene afinidades con la teoría de catástrofes.

Caos, en la antigua teoría griega de la creación, el oscuro y silencioso abismo de donde procede la existencia de todas las cosas. Caos dio nacimiento a la negra Noche y al Erebo, la región oscura e insondable donde habita la muerte. Estos dos hijos de la primitiva oscuridad se unieron a su vez para producir el Amor, que originó la Luz y el Día. En este universo de informes fuerzas naturales, Caos generó la sólida masa de la Tierra, de la que surgió el Cielo estrellado y lleno de nubes. Madre Tierra y Padre Cielo, personificados respectivamente como Gaya y su marido, Urano, fueron los padres de las primeras criaturas del universo. En la mitología posterior, Caos es la materia informe de la que fue creado el cosmos u orden armonioso.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



### **Planteamiento del problema.**

El motivo de esta tesis es encontrar la solución para eliminar el defecto llamado burbuja en la producción de parabrisas hecho por Crinamex S. A. de C. V. (subsidiaria de grupo Vitro.)

Actualmente la empresa se enfrenta a un defecto que le ha causado un caos en su línea de producción en el área de ensamble y se conoce como **burbuja: aire atrapado entre las hojas de cristal y la película de Poli Vynil Butiral** el cual no se ha podido eliminar.

Este defecto (burbuja) provocó en el año 2002 pérdidas por 17773 piezas que equivalen a \$1,056,138.00

Después de conocer el proceso de cerca y detenidamente pudimos observar que las posibles causas que generan la burbuja son las siguientes:

#### **Penetración de aire**

1. Por un pobre sellado de bordes.
  - 1.1. Debido a la presión inadecuada de las prensas.
    - 1.1.1. No se tiene referencia de la presión de las rodajas después del montaje.
    - 1.1.2. **Dureza inadecuada de material de rodajas.**
    - 1.1.3. No se tiene control sobre la presión de las rodajas.
  - 1.2. Algunos puntos pasan entre claros de rodajas.
    - 1.2.1. El ancho de las rodajas es inadecuado.
  - 1.3. Baja temperatura a la salida del último horno de preadhesión.
  - 1.4. Separación de hojas en orillas por ondulación en curvado.
    - 1.4.1. Falta de limpieza en los anillos de moldes.
    - 1.4.2. Ondulación por bisagra por molde ajustado.
    - 1.4.3. Exceso de traslape en ensamble.
- 1.5. **Adelgazamiento de PVB.**
  - 1.5.1. Referir al punto 2.
- 1.6. Contaminantes inhibidores de adhesión en plástico.
  - 1.6.1. Deficiente limpieza antes del ensamble.
  - 1.6.2. **Humedad residual en zonas de incidencia de burbuja para material lavado.**
  - 1.6.3. Contaminación antes y durante el ensamble.
  - 1.6.4. **Humedad residual en el plástico.**
  - 1.6.5. Contaminación en el corte de PVB y durante el ensamble.
2. Adelgazamiento de PVB en los puntos de aire.
  - 2.1. Jalón en operación de rasurado.
    - 2.1.1. Temperatura alta en PVB al ensamblar.
    - 2.1.2. Afilado inadecuado de charrascas.
    - 2.1.3. Falta de habilidad del operario.
  - 2.2. Jalón en el expandido (expandido irregular.)

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



- 2.2.1. Estiramiento del PVB muy caliente en el corte.
- 2.2.2. Falta de medios para asegurar contacto de PVB con el cono a la salida y con la mesa fría.
- 2.2.3. Control y regulación deficiente de las velocidades de la línea de expansión.
- 2.2.4. Control de temperatura de PVB antes a la expansión deficiente.
- 2.3. Manejo de PVB después del corte.
  - 2.3.1. Maltrato de blanks de PVB al apilarlos.
- 2.4. Jalón de PVB reblandecido a la salida de los hornos de preadhesión.
  - 2.4.1. Exceso de rebaba al rasurar.
  - 2.4.2. Temperatura de los hornos muy alta.
  - 2.4.3. Manejo inadecuado del ensamble durante la preadhesión.
- 3. Ciclo de autoclave inadecuado.
  - 3.1. Alta temperatura de autoclave al desfogue.
    - 3.1.1. Diseño de programa de autoclave inadecuado.
    - 3.1.2. Descalibración de instrumentos.
  - 3.2. Rápida presurización antes del calentamiento.
    - 3.2.1. Mal diseño de programa de autoclave.
    - 3.2.2. Descalibración de instrumentos.
- 4. Aberturas en la pareja de cristales en los puntos de penetración de aire.
  - 4.1. Ondulaciones en el proceso.
    - 4.1.1. Falta de limpieza en los anillos de moldes.
    - 4.1.2. Exceso de traslape en ensamble.
  - 4.2. Traslape de hojas de cristal en ensamble.
    - 4.2.1. Procedimiento manual de ensamble.

### **Aire atrapado**

- 1. Sello prematuro de bordes.
  - 1.1. Presellado por manejo después del horno 1.
    - 1.1.1. Alimentación manual a prensa.
  - 1.2. Alta temperatura en el horno 1.
    - 1.2.1. Falta de adaptabilidad del horno 1 y su control.
- 1.3. Vidrio almacenado a alta temperatura ensamble.
  - 1.3.1. Se alimenta el cristal a temperatura ambiente o mayor luego de salir del horno.
- 1.4. Alta temperatura en los puntos de contacto con el transportador del horno 1.
  - 1.4.1. Se tiene soportes en el transportador de los hornos en forma continua y de superficie grande.
- 2. Adelgazamiento de PVB en los puntos de aire atrapado.
  - 2.1. Expansión irregular.
    - 2.1.1. Estiramiento del PVB muy caliente en el corte.
    - 2.1.2. Control de temperatura de PVB antes a la expansión deficiente.
- 3. Ciclo de autoclave inadecuado.
  - 3.1. Rápido calentamiento previo a la presurización.
    - 3.1.1. Diseño de programa de autoclave inadecuado.
    - 3.1.2. Descalibración de instrumentos.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

4. Aberturas en la pareja de cristales en los puntos de aire atrapado.
  - 4.1. Separación en el proceso de curvado de las hojas (abobamiento).
    - 4.1.1. Variación de las condiciones de calentamiento en el curvado.
5. PVB delgado.
  - 5.1. Enfriamiento deficiente en cono expansor.
    - 5.1.1. Falta de capacidad del sistema de enfriamiento.
  - 5.2. Tabla de almacenamiento plana para PVB abarrilado.
6. Deficiente expulsión de aire.
  - 6.1. Excesiva velocidad en prensa 1.
    - 6.1.1. No se puede variar la velocidad en la prensa.
  - 6.2. Franjas del ensamble sin presionar.
    - 6.2.1. Espacios muy grandes entre las rodajas de la prensa.
  - 6.3. Presión inadecuada de rodajas en la prensa.
    - 6.3.1. No se tiene referencia de la presión de las rodajas después del montaje.

### **Causas asignables**

### **Causas fortuitas**

#### **Asignables.**

Hecha la clasificación de las causas, se dedujo que las causas asignables son atribuibles a la falta de una filosofía de calidad. Por lo que se propone una implantación de un sistema de calidad estricto, por ejemplo con círculos de calidad en donde los trabajadores voluntarios con funciones similares al equipo de mejoramiento que aplicando técnicas de control de calidad resuelven problemas de su área o de sus puestos de trabajo.

#### **Fortuitas.**

Estas causas son precisamente el objetivo de esta tesis, no podemos eliminarlas del todo sin embargo para poder tener el menor número de defectos debemos contrarrestar dichas causas.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### **Antecedentes Históricos.**

Hesiodo dice en su teogonía "primero fue el caos u luego la tierra de ancho seno". En las cosmologías se imaginaba un estado inicial donde prevalecía el caos o la nada y de donde surgían los seres y las cosas.

En la temprana filosofía griega tales, Anaximandro y Anaxagoras entendía que una sustancia o energía específica – como el agua o el aire – habían estado en flujo caótico y que a partir de esa sustancia se habían plasmado las diferentes formas del universo. Eventualmente, el orden se disolvería y regresaría al flujo cósmico y luego aparecería un nuevo universo, es decir, interpretaban el desorden a través del orden.

Aristóteles lleva el enfoque científico más allá y se distancio más aún del caos. Conjeturo que el orden lo impregna todo y existe en jerarquías cada vez más sutiles y complejas.

La edad media fue una época difícil en la que el pensamiento griego de Aristóteles, Tales, Euclides, Pitágoras y demás luchó con las viejas mitologías los alquimistas ejemplifican este conflicto mezclaron las antiguas filosofías griegas, el cristianismo y las teologías de Babilonia, Persia y Egipto. Creían en una creación a partir de un caos pre-existente que incluía lo grotesco y lo irracional. Pensaban que la mutabilidad la oscuridad y el cielo generaban la vida que los descendos al caos y los encuentros con monstruos creaban vitalidad que la creación era un proceso constante de renovación. Pero los alquimistas también eran científicos y trabajaban con instrumentos y métodos científicos que dieron lugar a importantes descubrimientos.

En los tiempos de Galileo, Kepler, Descartes y Newton, el espíritu científico era predominante. Las leyes newtonianas de mecánica celeste y las coordenadas cartesianas dieron la impresión de que todo se podía describir en términos matemáticos y mecánicos.

En la época de Napoleón, el físico francés Pierre Laplace pudo imaginar razonablemente que un día los científicos deducirían una ecuación matemática capaz de explicarlo todo.

El Reduccionismo parte de la idea de que todo se puede descomponer y componer de la misma manera – armar y desarmar-. Los Reduccionistas creen que los sistemas, más complejos están compuestos por los equivalentes atómicos y sub-atómicos los cuales la naturaleza ha combinado de formas ingeniosas.

El Reduccionismo implicaba la visión del caos manifiesta en el sueño de Laplace acerca de una formula universal. El caos era meramente una complejidad tan grande que en la practica los científicos no podían desentrañarla, pero estaban seguros de que un día serían capaces de hacerlo. Cuando llegara ese día no habria caos, por así decirlo, sólo las leyes de Newton.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Pero ya en el siglo XVIII los científicos habían empezado a preguntarse por que no podían inventar una maquina de movimiento perpetuo. Descubrieron que cada vez que ponían una maquina en movimiento, parte de la energía se había vuelto desorganizada caótica. Esta progresiva desorganización de la energía útil condujo a la idea de la entropía y a la termodinámica.

En la década de 1870 el fisico vienes Ludwig Boltzmann demostró que la mecánica newtoniana aún era universalmente verdadera en el nivel reduccionista de los átomos y las moléculas. El movimiento de estos siempre obedecía las leyes de Newton, pero, en un sistema complejo donde hay billones de átomos y moléculas girando de un lado a otro y chocando entre sí, es difícil que se mantenga una relación ordenada. Boltzmann postulaba eventualmente que aún la estructura atómica del sistema solar se desintegraría en fragmentos. Los reduccionistas imaginaban que el final del universo sería un estado de homogeneidad general, un cosmos tibio y molecular: sin sentido, ni forma.

Sin embargo, para el resto de los científicos las ideas de Boltzmann sobre el caos eran muy diferentes de las imaginadas en los mitos antiguos. En el caos mítico había sido lo primero de todo y de él habían surgido las formas y la vida. Los trabajos de Boltzmann sobre la mecánica estadística replantearon la física, como resultado fue altamente criticado por sus colegas. Se suicido por que en cierta forma era un fracasado. Sin embargo hoy le consideramos uno de los mayores sabios de su época al mismo tiempo que Boltzmann exponía la mecánica de la entropía, Charles Darwin y Alfred Russell Wallace anunciaban la teoría de la explicación de nuevas formas de vida. Como Boltzmann, Darwin y Wallace entendían que el azar era un factor clave en los modelos mecanicistas que gobernaban las formas complejas: pero aquí en vez de alterar el orden complejo y destruirlo el azar causaba variaciones en los individuos de especies existentes. Algunas de estas variaciones sobrevivían y otras conducían a nuevas especies.

A finales del siglo XIX prevalecía la creencia el reduccionismo y el mecanicismo. Se pensaba que conociendo las leyes naturales aprenderíamos con destreza a controlar los sistemas. El caos se podría reducir o acabar mediante una comprensión cada vez más precisa del orden mecanicista universal.

Los ingenieros del siglo XIX al construir sus puentes, buques de vapor u otras maravillas tecnológicas, a menudo se topaban con el desorden de enfrentar cambios abruptos que no guardaban semejanza con el lento crecimiento de la entropía tal como los describía Boltzmann y la ciencia de la termodinámica. Las placas se curvaban, los materiales se fracturaban. Estos problemas constituían un desafío para las matemáticas que habían formado la revolución newtoniana.

Para la ciencia, un fenómeno es ordenado si sus movimientos se pueden explicar en un esquema de causa efecto representado por una ecuación diferencial. Newton introdujo la idea de lo diferencial en sus celebres leyes del movimiento que relacionaban las razones de los cambios con diversas fuerzas. Estas eran las ecuaciones diferenciales lineales. Tales ecuaciones permiten describir fenómenos tan diversos como el vuelo de una bala de cañón el crecimiento de una planta, la combustión del carbón y el desempeño de una máquina, en

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

los cuales los pequeños cambios producen pequeños efectos y los grandes efectos se obtienen mediante la suma de muchos cambios pequeños.

Pero también existe una clase de ecuaciones diferenciales muy diferentes, y los científicos del siglo XIX las conocían vagamente. Estas son las ecuaciones diferenciales no lineales y estas se aplican específicamente a cosas discontinuas tales como las explosiones, las fisuras repentinas en los materiales y los altos vientos. El problema es que las ecuaciones diferenciales no lineales exigen técnicas matemáticas y formas de intuición que nadie conocía entonces. Los científicos victorianos solo podían resolver las ecuaciones no lineales más simples en casos especiales y la conducta general de la no-linealidad permaneció intacta, pero los científicos no necesitaban penetrar el mundo de la no-linealidad ya que para los problemas que se les presentaban hacían uso de las aproximaciones lineales y que constituyen una parte de las ecuaciones diferenciales no lineales, pero también era un truco que enmascaraba el caos.

Este hecho permaneció hasta la década de 1970, cuando los avances matemáticos y la aparición de las computadoras de alta velocidad dieron pie para que los científicos pudieran explorar las ecuaciones diferenciales no lineales.

A fines del siglo XIX, un brillante matemático, físico y filósofo francés ya se había topado con el problema de la no-linealidad. Henri Poincaré quien intuyó esto en el campo de la mecánica de los sistemas cerrados.

Un sistema cerrado esta compuesto por unos pocos cuerpos interactuantes aislados de la física de la contaminación externa de acuerdo con la física clásica, tales sistemas son muy ordenados y previsibles. Un simple péndulo en el vacío libre de fricción conserva su energía. El péndulo oscila por toda la eternidad.

Los científicos clásicos estaban convencidos de que el azar y el caos que perturban ciertos sistemas – tales como el péndulo en el vacío o los planetas que giran alrededor de nuestro sistema solar – solo podían provenir de contingencias aleatorias exteriores. Al margen de estas el péndulo y los planetas deben continuar para siempre su invariable trayectoria.

Poincaré destruyó esta cómoda imagen de la naturaleza cuando dudo de la estabilidad del sistema solar. A primera vista el problema que planteaba Poincaré parecía absurdo.

En un sistema que solo contenga dos cuerpos, tales como el sol y la tierra o la tierra y la luna, las ecuaciones de Newton se pueden resolver con exactitud: la órbita es estable. Así, si olvidamos los efectos de arrastre de las mareas en el movimiento lunar, podemos dar por sentado que la luna continuará girando alrededor de la tierra hasta el fin de los tiempos. Pero también tenemos que olvidar el efecto del sol y los demás planetas en este idealizado sistema de los dos cuerpos. El problema consiste en que al dar el simple paso de dos a tres cuerpos (por ejemplo, al tratar de incluir los efectos del sol en el sistema tierra-luna) las ecuaciones de Newton se vuelven insolubles. Por razones de matemáticas formales la

ecuación de tres cuerpos no se puede deducir con exactitud; requiere una serie de aproximaciones para cerrar el problema.

Por ejemplo, para calcular los efectos gravitatorios del sol más el planeta Júpiter en el movimiento de un asteroide del cinturón de asteroide (entre Marte y Júpiter) los físicos tuvieron un método que llamaron "teoría de perturbación". El pequeño efecto adicional que el movimiento de Júpiter tendría sobre un asteroide se debe sumar a la solución idealizada de dos cuerpos en una serie de aproximaciones sucesivas. Cada aproximación es menor que la anterior y, al añadir un número potencialmente infinito de tales correcciones los físicos teóricos esperaban hallar la respuesta correcta. En la práctica los cálculos se hacían a mano y lleva mucho tiempo completarlos. Los teóricos esperaban poder mostrar que las aproximaciones llegan a la solución correcta tras el añadido de unos pocos términos correctivos.

Poincaré sabía que el método de las aproximaciones parecía funcionar bien con los primeros términos, ¿pero que ocurría con el fin de términos cada vez más pequeños que venían a continuación? ¿Qué efectos tendrían? ¿Mostrarían que en decenas de millones de años las orbitas se modificarían y el sistema solar comenzaría a desintegrarse por sobre de sus fuerzas internas?.

Matemáticamente, el problema de los cuerpos múltiples enfocado por Poincaré es no liberal. Al sistema ideal de dos cuerpos él añadió un término que incrementaba la complejidad no lineal de la ecuación y se correspondía con el efecto pequeño producido por el movimiento de un tercer cuerpo. Luego trató de resolver la ecuación.

Descubrió que el tercer cuerpo altera solo ligeramente la mayoría de las orbitas posibles de dos cuerpos: una perturbación pequeña produce un efecto pequeño pero las orbitas permanecen intactas. Pero más adelante Poincaré descubrió también que, aún con una perturbación mínima, algunas orbitas se comportaban de manera errática, aún caótica. Sus cálculos demostraban que aún un mínimo tirón gravitatorio de un tercer cuerpo podían causar que el planeta se tambaleara ebriamente en la órbita e incluso fuera despedido del sistema solar. Poincaré había arrojado una bomba al modelo newtoniano del sistema solar. Si estas curiosas orbitas caóticas eran posibles, todo el sistema solar sería inestable. Los pequeños efectos de los planetas que giraban ejerciendo su mutua influencia gravitatoria podían, dado el tiempo suficiente, conspirar para producir las condiciones exactas para una de las excéntricas orbitas de Poincaré.

La consecuencia inmediata del descubrimiento de Poincaré fue el cuestionamiento del paradigma newtoniano, que había servido a la ciencia durante casi dos siglos. Pocos años después del trabajo de Poincaré, Max Planck descubrió que la energía no es sustancia continua sino que viene en pequeños paquetes a los que él llama "cuantos". Cinco años después Albert Einstein publicó su primer trabajo sobre la relatividad y el paradigma newtoniano era atacado por varios frentes.

La mecánica cuántica gozó de especial difusión en la física. Fue una de las mayores teorías en la historia de la ciencia y realizó predicciones atinadas acerca de una multitud de fenómenos atómicos, moleculares y de estado sólido. Los científicos se valieron de ella

para desarrollar armas nucleares, los chips de computadora y el láser que han cambiado nuestro mundo. Pero también surgieron paradojas perturbadoras. Los físicos, por ejemplo, aprendieron que la unidad elemental de luz se puede comportar esquizofrénicamente como onda o como partícula, según lo que el experimentador escoja medir. La teoría también predice que dos "partículas" cuánticas separadas por varios metros de distancia y sin ningún mecanismo de comunicación intermedio, permanecerá no obstante misteriosamente correlacionadas como muestran experimentos recientes, una medición de esta partícula se correlaciona instantáneamente con el resultado de una medición de su compañero distante.

Estas y otras paradojas tuvieron el efecto de introducir a diversos científicos, como David Bohm a teorizar que el universo debía ser fundamentalmente indivisible, una totalidad fluida, como dice Bohm, en que el observador no se puede separar esencialmente de lo observado. En años recientes Bohm y un creciente número de científicos han usado los "kons" de la mecánica cuántica para desafiar la tradicional visión reduccionista. Bohm sostiene, por ejemplo, que las partes — tales como las partículas o las ondas — son formas de abstracción a partir de una totalidad fluida. Es decir, las partes parecen autónomas, pero son solo "relativamente autónomas." Son como el pasaje favorito de una sinfonía de Beethoven para el melómano. Si extraemos un pasaje de la pieza, es posible analizar las notas. Pero en última instancia el pasaje no tiene sentido sin la totalidad de la sinfonía. Las ideas de Bohm infunden forma científica a la antigua creencia de que "el universo es uno".

Nadie había imaginado que los resultados de Poincaré llevarían en la misma dirección. El tumulto causado por la teoría cuántica y de la relatividad relegó su descubrimiento. No es de extrañar que el mismo Poincaré abandonara sus ideas diciendo:

**"Estas cosas son tan extravagantes que no soporto ni pensar en ellas"**

Solo en la década de 1960 sus investigaciones fueron exhumadas de viejos libros de texto y se fundieron con los nuevos trabajos de no-linealidad, realimentación, entropía y el desequilibrio inherente de los sistemas ordenados. Estos se convirtieron en los volátiles elementos de la nueva ciencia del caos y el cambio, y han conducido a nuevas y asombrosas percepciones de la naturaleza.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### **Introducción histórica.**

Definir el término caos resulta terriblemente complejo, debido al origen mismo de la palabra, caos proviene del griego KHAOS que significa "abismo" o bien, "abismo abierto", es necesario remitimos a las enciclopedias temáticas y filosóficas para encontrar la definición concreta de caos.

**Caos.** En la cosmogonía griega antigua cualquiera de los dos conceptos, el primigenio vacío del universo antes del comienzo de las cosas, o el abismo de tártaro: el inframundo ambos conceptos se encuentran en la teogonía de hesiodo. Primero fue caos en el sistema de hesiodo, después GEA y Eros (la tierra y el deseo.) Sin embargo GEA no fue generada del caos: Los descendientes de caos fueron erogo (las tinieblas) y Nyx(la noche.) Después, el aire superior brilló, el día. Nyx engendro después a los aspectos oscuros y terribles del universo. Este concepto ajusta con otra noción antigua que vio a caos como la oscuridad del inframundo. En cosmogonías posteriores se designo al caos como el estado original de las cosas sin embargo concebidas. El significado moderno del mundo se deriva de Ovidio, quien vio al caos como la masa informe y desordenada, a partir de la cual el creador del cosmos produjo el universo ordenado. Este concepto de caos también es aplicado a la interpretación de la historia de la creación en Génesis 1 por la antigua iglesia de los padres.

### **Caos a partir del orden "Caos Matemático".**

En mecánica y matemáticas el comportamiento aparentemente azaroso o impredecible de sistemas gobernados por leyes determinísticas. Un termino, más preciso "caos determinístico" sugiere una paradoja debido a que conectada dos nociones que son familiares y que comúnmente se consideran incompatibles. La primera es el azar, o impredecibilidad como el caso de la trayectoria de una molécula en un gas o en la elección de un individuo de una población. En el análisis convencional el azar fue considerado más aparente que real, surgiendo de la ignorancia de muchas causas del trabajo. En otras palabras se creía que el mundo era impredecible por que a su vez es complicado, la segunda noción es la de movimiento determinístico como el de un péndulo, o un planeta, que ha sido aceptada desde el tiempo de Isaac newton como ejemplo del éxito depredictivo de la ciencia, sobre aquello que inicialmente es complejo.

Sin embargo, en décadas recientes se ha estudiado una gran diversidad de sistemas que se comportan de manera impredecible a pesar de su aparente simplicidad y del hecho de que las fuerzas involucradas están gobernadas por leyes físicas bien entendidas. El elemento común en estos sistemas es un muy alto grado de dependencia de las condiciones iniciales y de la forma en que ellas se pusieron en movimiento. Por Ejemplo: el meteorólogo Edward Lorenz descubrió un modelo simple para la conveccion del calor que posee una impredecibilidad intrínseca, circunstancia que llamó "efecto invernadero" sugiriendo que el solo aleteo de una mariposa puede cambiar el clima. Un ejemplo más casero es la maquina de pin-ball: Los movimientos de la bola están gobernados con precisión por la ley de la gravitación y de las colisiones elásticas, aún así el resultado final es impredecible.

Las aplicaciones de las matemáticas del caos son en extremos diversas e incluyen el estudio del flujo turbulento de fluidos, irregularidades en el ritmo cardiaco, dinámica de poblaciones, reacciones químicas, física de plasmas y el movimiento de cúmulos de estrellas.

**Caos:** (del griego Khaos, abismo) según muchas tradiciones poéticas y religiosas, indeterminada confusión y mezcla de los elementos eternos. Antecedente de la configuración del mundo ordenada en un universo o cosmos.  
**Confusión o desorden:** sin alguien que mande... reina el caos.

En casi todas las cosmogonias aparece con diversos nombres, esta objetivación o personificación del confuso y remoto origen de todos los seres del universo. En la teogonía de Hesíodo, coexistían en seno del caos la noche (Nyx) y las tinieblas (Erebo), quienes separándose del caos hicieron surgir al cielo (Urano) y a la tierra (Gea.) Otras veces se habla indistintamente del caos y del erebo. En la cosmogonía bíblica, aparece un equivalente del caos en el estado informe en que dios creó la materia antes de iniciarse la obra de los seis días y lo designa con la expresión "tohu wa-bohu".

**Caos.-** la palabra significa abismo abierto. El estado de completo desorden anterior a la formación del mundo a partir del cual según los mitólogos, se inicia la formación. Hesíodo dice: "antes de todos los seres estaba el caos luego la tierra de ancho seno". Aristóteles combatió esta noción ya que admitía la eternidad del mundo. Kant se sirvió de ella para indicar el estado originario de la materia, del que más tarde se originaron los mundos.

Definir caos al menos matemáticamente es más complejo de lo que parece. En 1986, en una reunión celebrada por la Real sociedad de Londres se dio una definición más concreta del término:

**Caos:** comportamiento estocástico que ocurre en un sistema determinista.

"Estocástico" significa aleatorio y "Determinista" es un término introducido por Pierre Laplace, en dinámica.

La primera definición nos da una idea de lo basto y rico que es el término caos matemáticamente hablando. Este fue evolucionando paralelamente con la ciencia. A continuación se hará un recuento de esa evolución.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### **Desde la mística Grecia antigua.**

La metáfora de un mundo que funciona como un reloj se remonta a mucho tiempo atrás y es importante que apreciemos cuán profundamente arraigada se encuentra. Antes de ocuparnos del Caos, primero estudiaremos sus leyes.

Un buen lugar para comenzar lo constituye de nuevo la Grecia Antigua, con Tales de Mileto. Él nació alrededor de 624 a.C., y murió sobre 564 a.C., es famoso por haber predicho el eclipse de Sol. Probablemente, adoptó el método de predecir eclipses empleados por los egipcios y su predicción sólo fue correcta con un margen de error de un año más o menos. Sea como fuere, el eclipse ocurrió en un momento propicio, interrumpiendo una batalla entre lidios y medas, y el Sol quedó casi completamente oscurecido. Estas circunstancias casuales aumentaron sin duda, la reputación de Tales como astrónomo. Una de las frustraciones de ser historiador es la forma en que, casi por accidente, algunos sucesos pueden datarse con exactitud mientras otros solo son conjeturas. Nuestro conocimiento de la fecha de nacimiento de Tales, se basa en los escritos de Apolodoro; la de su muerte, se debe a Diógenes Laercio: ambas fechas son poco fiables. Pero sin ninguna sombra de dudas, el eclipse ocurrió el 28 de mayo del año 585 a.C. Tan fiable resulta el tic-tac del reloj cósmico que, dos milenios y medio después, podemos calcular no sólo cuando ocurrieron los eclipses antiguos, sino también los lugares sobre la superficie de la Tierra donde se pudieron ver. Los eclipses solares son raros y el anterior, en particular, es el único del que razonablemente, pudo haber sido testigo Tales. Los acontecimientos astronómicos todavía proporcionan a los historiadores uno de los mejores métodos para datar sucesos.

Se dice que Tales iba caminando una noche y quedó tan absorto en su estudio del cielo nocturno que cayó en una zanja. Un acompañante le comentó: "¿Cómo puedes decir que va ha suceder en los cielos cuando no puedes ver lo que se extiende bajo tus propios pies?" En cualquier caso, esta historia resume las actitudes que dieron lugar a la mecánica clásica. Los filósofos de la Grecia antigua podían calcular los movimientos de los planetas con una exactitud pasmosa, pero todavía creían que los objetos pesados caían más rápidamente que los ligeros.

La dinámica sólo comenzó a progresar cuando los matemáticos apartaron sus ojos del cosmos y miraron más altamente —y más críticamente— lo que sucedía debajo de sus pies. Tolomeo imaginó que la tierra se encontraba estacionaria en el centro de todo porque tomó demasiado al pie de la letra la evidencia aportada por sus propios sentidos y no acertó la hora de cuestionar su significado. Pero la cosmología proporcionó el estímulo, y es dudoso.

La cosmología primitiva está bien surtida de imaginación mitológica, pero es deficiente en contenidos objetivos. Nos encontramos visiones de una Tierra plana sostenida por un elefante, del dios Sol guiando su carruaje a través del cielo, y de estrellas que cuelgan de cuevas y se apagan durante el día. El punto de vista pitagórico no era menos místico, si bien concedía mayor importancia al significado mágico de los números y, sin darse cuenta introdujo la matemática en escena. Platón sugería que la Tierra se encontraba en el centro del universo, con todos los demás objetos girando a su alrededor en

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

una serie de esferas huecas. También creía que la tierra era redonda, y en su creencia, de inspiración pitagórica, de que todo, incluso el movimiento de los cielos, era una manifestación de la regularidad matemática resultó enormemente influyente.

Eudoxo, un extraordinario matemático, que también inventó la teoría rigurosa de los números irracionales, se dio cuenta de que el movimiento observado de los planetas con respecto a las estrellas no se ajustaba al ideal platónico. Las trayectorias seguidas por los planetas estaban inclinadas, y, muy frecuentemente, parecía como si estos se movieran hacia atrás. Eudoxo concibió una descripción matemática en la cual se consideraba que los planetas estaban montados sobre una serie de veintisiete esferas concéntricas, cada una girando alrededor de un eje sostenido por la más próxima. Sus sucesores mejoraron el ajuste con las observaciones añadiendo esferas adicionales. Sobre el año 230 a.C. Apolonio suplantó este sistema con una teoría de egipcios, en la que los planetas se movían en pequeños círculos cuyos centros, a su vez, giraban en círculos mayores. Claudio Tolomeo, que vivió en Alejandría entre los años 100-160 d.C., perfeccionó el sistema de los egipcios hasta que estos se ajustaron tan bien a las observaciones que nada los suplantó durante 1500 años. Fue un triunfo de la ciencia antigua.

La metáfora de que los cielos se muevan análogamente a como funciona la maquinaria de un reloj puede tener una base más literal. Nuestras ideas sobre la cultura griega antigua provienen de una vertiente intelectual: filosofía, geometría, lógica. La tecnología ha recibido menos atención. Debido esto, en parte a que han sobrevivido pocos ejemplos de la tecnología griega.

Se nos ha contado que los griegos valoraban la lógica matemática intelectual, por encima de la logística, matemática práctica. Pero nuestras fuentes sobre esta visión del tema no son imparciales. La historia completa de la tecnología griega puede que no se conozca nunca, pero los indicios son fascinantes.

En 1900, unos pescadores estaban buscando esponjas alejados de la costa de la isla griega de Antikitera (enfrente de la isla griega de Kitera, entre Grecia y Creta.) Hallaron los restos de un barco que se hundió durante una tormenta, en el año 70 a.C., mientras navegaba de Rodas a Roma su botín incluía estatuas, cerámica, ánforas y monedas, junto con un conjunto de dibujos y varias partes, que reveló trazas de engranajes. En 1972, Derek de Solla Price observó este material con rayos X y fue capaz de construir el complicado dispositivo de 32 cuerdas dentadas. Pero ¿para que servía? Analizando su estructura, decidió que debía de usarse para calcular las posiciones del Sol y de la Luna con respecto al fondo de las estrellas.

El mecanismo de antikitera tiene características muy interesantes, entre ellas el de ser el ejemplo más remoto que se conoce de un engranaje diferencial. Tales engranajes se emplean ahora en ejes traseros de automóviles para que las ruedas se muevan a diferentes velocidades, por ejemplo, al tomar una curva. En el mecanismo de antikitera era necesario un engranaje diferencial para calcular las fases de la Luna sustrayendo el movimiento del Sol del de la Luna. El aparato es muy complejo y esta fabricado con una precisión considerable lo que indica la existencia de una larga tradición en la Grecia antigua en el

corte de engranajes y en máquinas engranadas. No han sobrevivido más ejemplos, tal vez porque las máquinas viejas y rotas fueron fundidas para aprovechar su metal.

### **De Copernico a Newton**

En 1473 Nicolás Copernico se dio cuenta de que la teoría tolemaica contenía un gran número de epiciclos idénticos y descubrió que podía eliminarlos si consideraba que la Tierra giraba alrededor del Sol. Los epiciclos idénticos eran trazas del movimiento de la Tierra, superpuesto sobre los movimientos de los restantes planetas. De golpe, esta teoría heliocéntrica redujo el número de epiciclos a 31.

Johannes Kepler quedó igualmente insatisfecho con la visión de Tolomeo que hizo Copernico. Este heredó una serie de observaciones astronómicas nuevas y extremadamente precisas realizadas por Tycho Brahe y estaba buscando las estructuras matemáticas. Tenía una mentalidad abierta, tan abierta que algunas de sus ideas, tal como la relación entre la separación de las órbitas planetarias y los poliedros regulares, parecen bastante ridículas hoy en día. Posteriormente Kepler abandonó esta teoría cuando se dio cuenta de que estaba en conflicto en sus observaciones: todavía no disponemos de ninguna teoría sobre la formación de los planetas que explique correctamente los tamaños y las distancias entre ellos finalmente fue forzado, casi contra su voluntad, a formular su primera ley: los planetas se mueven en órbitas elípticas alrededor del Sol. Implícitas en este trabajo hay otras dos leyes que posteriormente adquirieron una enorme significación. La segunda ley establece que la órbita de un planeta barre áreas iguales en tiempos iguales y la tercera ley sostiene que la distancia entre el Sol y el planeta es proporcional al cuadrado del periodo de su órbita.

La teoría de Kepler es estéticamente mucho más atractiva que un revoltijo de epiciclos, pero, al igual que sus predecesoras, es puramente descriptiva. Dice que hacen los planetas, pero no da un fundamento unificador. Antes de que la cosmología pudiese ir más allá de Kepler hubo de resignarse a ser realista y poner los pies en la tierra.

En la universidad de Pisa en la década de 1580, se dieron importantes avances en el conocimiento humano. Pero la excitación no podía continuar todo el tiempo. Durante un servicio religioso, un estudiante debió aburrirse, puesto que su atención se distrajo y comenzó a mirar una gran lámpara que se balanceaba con la brisa. Esta oscilaba erráticamente, pero él notó que cuando la oscilación era más amplia, su velocidad aumentaba, de modo que el tiempo empleado en una oscilación permanecía constante en aquel entonces aún no se habían inventado relojes precisos, de modo que midió el tiempo empleado por la lámpara usando su impulso.

El estudiante era Galileo Galilei, quien entró a la universidad de Pisa a la edad de 17 años para estudiar medicina. Recibiendo clases particulares de matemáticas. Galileo nació en Florencia en 1564 y murió en 1642 del mismo modo que fue un científico de primer orden también fue una destacada figura literaria, un escritor elegante y hábil. Tenía un barco de herramientas con el que fabricó sus propios telescopios; descubrió que Júpiter tenía cuatro lunas, los primeros cuerpos celestes conocidos que no giraban alrededor de la tierra. Tenía talento para el pensamiento claro, prefiriendo las explicaciones lógicas a los

argumentos extensos, ideados para complicar y oscurecer. Vivía en una época en la que aceptaba las explicaciones de los sucesos en función de sus propósitos religiosos. Por ejemplo, la lluvia caía porque su propósito era regar los cultivos; una piedra lanzada al aire caía al suelo porque ese era el lugar que le correspondía.

Galileo se dio cuenta de que las preguntas sobre el propósito de las cosas no proporcionaban a la humanidad control sobre fenómenos naturales. En lugar de preguntar por que cae la piedra, él buscaba la descripción precisa de cómo cae. En lugar del movimiento de la Luna, en el que él no podía influir o regular, estudio bolas rodando sobre planos inclinados. Y, en un golpe genial, confino su atención a unas pocas cantidades claves, tiempo, distancia, velocidad, aceleración, momento, masa e inercia. En una época más apropiada a cualidades y esencias, su colección mostró un notable dominio de lo fundamental especialmente debido a que muchas variables por él elegidas no se presentaban de forma inmediata a ninguna medida de forma cuantitativa.

El tiempo, en particular, le creo a Galilei muchos dolores de cabeza. No se puede medir en el tiempo una piedra cayendo, mirando cuanto se acorta una vela ardiendo. El uso de relojes de agua y el ritmo de su propio pulso, y, de acuerdo con el historiador Estillman Drake, canturreaba para sí mismo, marcando el ritmo del mismo modo en que lo haría un músico. Para entender los fenómenos dinámicos y mejorar la precisión de sus medidas de tiempos, estudio el caso de una bola rodando sobre una pendiente suave, en lugar de una que cayera libremente. Y mediante una mezcla de experimentos ideales y reales llevo a una elegante descripción de cómo caen los cuerpos bajo la acción de la gravedad.

De acuerdo con el espíritu de la geometría griega —en la que todos los objetos estaban idealizados, de modo que una línea no tiene anchura y un plano no tiene espesor— Galileo idealizo su mecánica, él eligió el despreciar los efectos tales como la resistencia del aire, para poder buscar las simplicidades subyacentes. A fin de desenredar la maraña de influencia interrelacionada que controlan el mundo natural, es mejor empezar estudiando cada hebra a la vez.

En los tiempos medievales se pensaba que el recorrido de un proyectil tenía lugar en tres partes: un movimiento inicial en línea recta, una porción de un círculo y una caída vertical final. Galileo descubrió que la velocidad de un cuerpo que cae aumenta a un ritmo constante. De esto dedujo el recorrido correcto, una parábola. También mostró que una bala de cañón alcanza una distancia máxima cuando se lanza con ángulo de 45 grados. Encontró leyes para la composición de las fuerzas. Se dio cuenta que en ausencia de la resistencia del aire, una masa pesada y una ligera deben caer con la misma velocidad. Galileo tenía el sentido del humor seco, como expuso en su diálogo de los principales sistemas del mundo:

**Yo diría que cualquiera que se considere más razonable que todo el universo se mueve a fin de dejar que la tierra permanezca fija, sería más irracional que uno que escalará a la parte superior de una cúpula para tener una panorámica de la ciudad y sus alrededores y entonces pidiera que todo el campo gire al rededor suyo, de forma que él no se moleste en girar su cabeza.**

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Un sistema de ley natural para los objetos celestes; otros para los objetos mundanos. Kepler con su vista puesta en el cielo y Galileo con su oído en el suelo. Era casi impensable que hubiera una conexión entre los dos. El cielo era puro, inmaculado, la casa de Dios y sus ángeles; la Tierra era el lugar del hombre pecador.

Un sencillo golpe de intuición cambió para siempre esta percepción.

Algunos grandes científicos han sido niños prodigio, pero el joven Isaac Newton fue un niño relativamente ordinario, excepto por su destreza para construir cosas. El gato de la familia, del que se dice que desapareció en un globo de aire caliente, lo vivió en carne propia. Newton nació en 1642 en la aldea de Woolsthorpe, fue un bebe prematuro y enfermizo. No resalto particularmente como estudiante en el Trinity College de Cambridge.

Pero cuando se produjo la gran peste, regreso a su aldea natal, alejado de la vida académica, y casi sin ayuda de nadie creo la óptica, la mecánica y el cálculo. Al final de su vida fue director de la Real Casa de Moneda y presidente de la Real Sociedad Inglesa. Murió en 1727.

Galileo descubrió que un cuerpo que se mueve sometido a la gravedad terrestre adquiere una aceleración constante. Newton perseguía un objetivo mayor: un código de leyes que gobernase el movimiento de un cuerpo bajo todas las combinaciones de fuerzas.

En cierto sentido, el problema era geométrico y no dinámico si un cuerpo se mueve con una velocidad uniforme, entonces la distancia que recorre es el producto de su velocidad por el tiempo transcurrido. Si se mueve con velocidad no uniforme no existe una fórmula tan simple. Los matemáticos anteriores a Newton hicieron importantes progresos, mostrando que varias cuestiones dinámicas básicas podían expresarse en forma geométrica, sin embargo, rara vez era fácil resolver los problemas geométricos.

Una gráfica que muestre como varía la velocidad de un cuerpo con el tiempo tiene la forma de una curva. Por argumentos geométricos puede mostrarse que la distancia total recorrida es igual al área comprendida bajo la curva. Similarmente la velocidad es la pendiente de la tangente de otra gráfica que representa la distancia frente al tiempo. Pero ¿cómo hallar estas áreas y tangentes? Newton, independientemente Gottfried Leibnitz, resolvieron estos problemas dividiendo el tiempo en intervalos cada vez más diminutos. El área comprendida bajo la curva resulta ser la suma de las áreas de un gran número de estrechas bandas verticales. Demostraron que el error cometido por tal aproximación resulta muy diminuto a medida que el intervalo temporal se hace cada vez menor, y argumentaron que en el límite el error puede llegar a anularse totalmente. Del mismo modo, la pendiente de una tangente puede calcularse considerando dos valores del tiempo muy próximos y permitiendo que la diferencia entre ambos sea arbitrariamente pequeña. Ningún matemático pudo proporcionar de forma lógica una justificación rigurosa para este método, pero ambos estaban convencidos de que era correcto. Leibnitz hablaba de cambios infinitesimales en el tiempo; Newton tenía una imagen más física de las cantidades que influyen continuamente, y les llamó fluyentes y fluxiones.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



### **De Newton a Poincaré.**

La revolución del pensamiento científico que culminó con Newton nos llevo a una visión del universo como un engranaje gigantesco, que funcionaba por un mecanismo de extraordinaria precisión. De acuerdo con esta visión, una máquina es, por encima de todo predecible. Bajo las mismas condiciones realizará las mismas cosas. Un ingeniero que sepa las especificaciones de la máquina y su estado en un momento dado puede, en principio calcular exactamente lo que hará en cualquier instante posterior.

Newton formuló sus leyes en la forma matemática que no solo relacionaban entre sí cantidades, sino también las velocidades de cambio de dichas cantidades. Cuando un cuerpo cae libremente bajo una gravedad constante; si así fuera, permanecería suspendido sin soporte alguno. Tampoco es la velocidad —el ritmo de cambio de la posición— la magnitud que permanece constante. Cuanto más cae un cuerpo, más rápido lo hace: por eso es más peligroso caerse desde un edificio alto que desde uno bajo. Es la aceleración —el ritmo de cambio del ritmo de cambio de posición— la que es constante. Quizá podemos comprender ahora porque se necesitaron tantos siglos para que se descubrieran estas regularidades dinámicas: la ley es simple solo para aquellos que adquieren una nueva concepción de la simplicidad.

Las ecuaciones que involucraron ritmos de cambio se denominaron ecuaciones diferenciales. El ritmo de cambio de una cantidad se determina mediante la diferencia de sus valores en dos instantes cercanos, la palabra diferencial impregna, recordándonos dicho concepto, las matemáticas: cálculo diferencial, coeficiente diferencial, ecuación diferencial o simplemente diferencial. La resolución de ecuaciones algebraicas, aquellas que no involucran ritmos de cambio, no es siempre fácil la resolución de ecuaciones diferenciales es un orden de magnitud más difícil. Mirando en retrospectiva desde finales del siglo XX, la sorpresa es que tantas ecuaciones diferenciales importantes puedan ser resueltas, al menos desde un punto de vista ingenuo. Ramas enteras de las matemáticas han brotado de la necesidad de entender una única crucial, ecuación diferencial.

La palabra análisis se usa hoy en día para describir el cálculo en su forma más rigurosa: la teoría que subyace bajo la técnica computacional. Adquirió dicha connotación durante el siglo XVIII, cuando el aspecto teórico del cálculo se fue extendiendo sustancialmente. El principal artifice de tal desarrollo fue Leonhard Euler, el matemático más prolífero de todos los tiempos. Euler también fue responsable de grandes partes de la aplicación del cálculo a la física matemática. Nacido en Suiza en 1707, fue educado en primer lugar para la vida religiosa, pero pronto se decidió por las matemáticas y comenzó a publicar a la edad de 18 años. A los 19, ganó un importante premio concedido por la Academia Francesa de Ciencias, sobre un problema relacionado con los mástiles de los buques. En 1773, fue nominado por la Academia de San Petersburgo en Rusia, en 1741 se mudó a Berlín, pero regreso a Rusia en 1766 a requerimiento de Catalina la Grande en consecuencia. Suiza le recuerda como un gran matemático suizo. Rusia como un gran matemático ruso y Alemania como un gran matemático alemán. Su vista comenzó a fallar y en 1776 estaba totalmente ciego. Esto no tuvo efectos notables en su prodigiosa y original producción matemática.

El campo de la mecánica analítica contribuyó con las primeras pinceladas newtonianas: la mecánica se basa total y explícitamente en el cálculo, para el que el objetivo, era primero, hallar ecuaciones diferenciales que gobernaban el movimiento del sistema de interés, y, luego, resolverlas. Pero pronto comenzaron a abrirse áreas completamente nuevas. Los antiguos pitagóricos buscaban armonía en los números, o, más exactamente, números en armonía, pues la numerología de la música fue su mayor descubrimiento. Muchos habían manifestado detectar una afinidad entre la matemática y la música. Sea como fuere, se obtuvo una cantidad asombrosa de importante resultados matemáticos a partir de un problema de las vibraciones de una cuerda de violín. Puede argumentarse, por ejemplo, que sin el no tendríamos ni de la radio ni de la televisión.

Resolviendo una ecuación diferencial apropiada, Book Taylor descubrió en 1713 que la forma fundamental de una cuerda vibrante es una cuerda sinusoidal. En 1746 Jean Le Rond D'Alembert se percató de que también eran posibles otras formas. D'Alembert era hijo ilegítimo de madame de Tensin, un famoso personaje y de su amante, y el caballero Destouches. El fruto de esta relación fue abandonado en las escaleras de la iglesia de Saint Jean Le Rond de Paris, de ahí su inusual nombre de pila.

D'Alembert llevó a cabo un análisis general de la cuerda vibrante. Suponiendo que la amplitud de la vibración es pequeña (para eliminar términos indeseables de las ecuaciones), escribió una ecuación diferencial que debía ser satisfecha por la cuerda. Pero esta era un tipo nuevo de ecuación, una ecuación de derivadas parciales. En tales ecuaciones aparecen los ritmos de cambio de algunas cantidades con respecto a diversas variables diferentes. Para la cuerda de violín, estas variables son de posición de un punto sobre la cuerda y el tiempo. D'Alembert consiguió mostrar que la ecuación es satisfecha por la superposición de dos ondas de forma arbitraria, una viajando hacia la izquierda y otra hacia la derecha.

Euler se apresuro a completar este descubrimiento. Se le ocurrió que la forma ondulada sinusoidal única puede acoplarse con sus armónicos superiores: ondas con la misma forma pero vibrando al doble, triple, cuádruple... de la frecuencia fundamental. Analizar las vibraciones de campanas y tambores en una nueva teoría de la música. Daniel Bernoulli extendió los resultados a los tubos de los órganos.

Después de la música vino la física. Joseph Louis Lagrange, un joven que comenzaba a hacerse de un nombre, aplico en 1759 estas ideas a las ondas del sonido y al cabo de diez años estaba lista una teoría de la acústica comprensible y lograda.

El siglo XVIII fue una época de poderío marítimo, que exigía acontecimientos sobre el modo que fluyen el agua y otros fluidos. En 1752, Euler enfocó su atención a la dinámica de fluidos y en 1755 estableció un sistema de ecuaciones con derivada parciales para describir el movimiento de un fluido sin viscosidad. Considero fluidos incomprensibles (agua) y comprensibles (aire.) Modelo el fluido como un medio continuo infinitamente divisible, y describió su movimiento en términos de variables continuas que dependen de la posición de las partículas de fluido: velocidad, densidad y presión.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Una a una fueron cayendo, bajo el dominio matemático, las diversas ramas de la física. Joseph Fourier desarrolló una ecuación para describir el flujo del calor y obtuvo un método nuevo y potente para resolverla, ahora conocido como análisis de Fourier. La idea principal consiste en representar cualquier forma de onda como una superposición de curvas sinusoidales.

La deformación de materiales sometidos a tensión, fundamental para la ingeniería, condujo a las ecuaciones de elasticidad. Análisis más profundos de la gravitación condujeron a ecuaciones que ahora denominamos en honor de Pierre Simon Laplace y de Simon Denis Poisson. Las mismas ecuaciones aparecían de nuevo en hidrodinámica y electrostática, y se desarrolló una generalización común, conocida, teoría del potencial. La teoría del potencial permitió a los matemáticos abordar problemas tales como la atracción gravitatoria debida a un elipsoide. Esto es importante en astronomía, puesto que la mayoría de los planetas no son esferas, sino que están achatados en sus polos. En el siglo XVIII y principios del XIX fue un periodo en el que se forjaron la mayoría de las grandes teorías de la física matemática clásica, siendo las principales excepciones las ecuaciones de Navier-Stokes del flujo de un fluido viscoso y las ecuaciones del electromagnetismo debidas a James Clerk Maxwell. Que aparecieron un poco después, el descubrimiento de las ondas de radio vino a través de las ecuaciones de Maxwell.

Surgió un paradigma contundente. La forma de modelar la naturaleza es mediante ecuaciones diferenciales.

Pero hubo un precio que pagar. Los matemáticos del siglo XVIII se dieron de toques en la pared en un problema que ha plagado a la mecánica teórica hasta nuestros días: obtener las ecuaciones es una cosa, resolverlas es otra muy diferente. El mismo Euler dijo:

**Si nos está permitido penetrar en un conocimiento completo concerniente a los movimientos de los fluidos, no es debido a la mecánica, o a la insuficiencia de los principios conocidos del movimiento a los que hemos de atribuir la causa. Es el mismo análisis el que aquí nos abandona.**

Los principales logros del siglo XVIII consistieron en obtener ecuaciones para modelar los fenómenos físicos. Pero hubo mucha menos suerte al resolver las ecuaciones.

A pesar de eso había un ilimitado optimismo y un sentimiento general de que los problemas de la naturaleza habían quedado ampliamente resueltos. El éxito del paradigma de la ecuación diferencial fue impresionante y bastó. Muchos problemas, incluyendo los básicos y los importantes, condujeron a ecuaciones que podían ser resueltas. Comenzó un proceso de auto selección, porque las ecuaciones que no podían ser resueltas eran, automáticamente, de menos interés de aquellas que sí podían serlo. Por supuesto, los libros de texto a partir de los cuales las nuevas generaciones aprendían las técnicas, solo contenían problemas resolubles. La premisa era que el universo sigue un camino dinámico único y predeterminado. Solo puede hacer una cosa. Pierre Simon Laplace, en sus ensayos filosóficos sobre las probabilidades, lo expresa de la manera siguiente:

Un ser inteligente que en un instante dado conociera todas las fuerzas que animan la naturaleza y las posiciones de los seres que la forman, y que fuera lo suficientemente inmenso como para poder analizar dichos datos, podrían condensar en una única fórmula el movimiento de los objetos más grandes del universo y el de los átomos más ligeros: nada sería incierto para dicho ser; tanto el futuro como el pasado estarían presentes ante sus ojos.

De las afirmaciones de Laplace, podemos comprender el clima de entusiasmo que prevalecía en la ciencia de aquella época cuando un fenómeno tras otro —mecánica, calor, ondas, sonido, luz, magnetismo, electricidad— eran dominados por la misma técnica. El paradigma del determinismo clásico había nacido: si las ecuaciones describen la evolución del sistema unívocamente, en ausencia de perturbaciones externas aleatorias, su comportamiento está entonces unívocamente especificado en todo instante.

Sin embargo, aún había cuestiones no respondidas, tales como el movimiento de tres cuerpos bajo la gravedad. Pero de un modo u otro tales ecuaciones eran vistas como excepciones.

Y, de hecho, incluso el determinismo matemático de las ecuaciones del movimiento tenía huecos. Una de las idealizaciones comunes de la mecánica newtoniana es considerar partículas elásticas duras. Si colisionan dos de tales partículas, salen rebotadas con ángulos y velocidades bien determinadas. Pero las leyes de Newton no son suficientes para determinar el resultado de la colisión simultánea de tres de esas partículas. Las pretensiones eran demasiado, y los resultados eran defectuosos.

En 1750, Lagrange recogió las ideas de Euler y, a partir de ellas, elaboró una reformulación sobre la dinámica. Como resultado de este trabajo se produjeron dos ideas importantes, ambas habían estado presentes durante décadas pero Lagrange pudo formularlas de manera concreta.

La primera fue el principio de conservación de la energía. La mecánica clásica reconocía dos formas de energía, la energía potencial es la energía que un cuerpo tiene en virtud de su posición. Ejemplo, en un cuerpo gravitatorio, la energía potencial es proporcional a la altura. Un cuerpo en la cima de una colina posee más energía potencial que uno en un valle, por ello la escalada a una colina es más fatigosa que un paseo a lo largo de la playa. La energía cinética es la energía que tiene un cuerpo en virtud de su velocidad: se ha de trabajar mucho más duramente para frenar un caballo desbocado que cuando se trota sobre él.

Durante el movimiento, y en ausencia de fricción, estas dos formas de energía pueden convertirse una a la otra. Cuando Galileo dejó caer su celebre bala de cañón desde la torre inclinada de Pisa, esta comenzó con mucha energía potencial pero no cinética, e intercambiaba energía potencial por cinética conforme caía. Es decir, descendió y aceleró, a final de cuentas: la energía total, es decir, la energía cinética más la potencial no cambia. Cuando una bala de cañón cae de un parapeto pierde energía potencial y, por tanto, ha de ganar energía cinética. Es decir, se acelera. La segunda ley de Newton del movimiento expresa efectivamente este argumento cualitativo en una forma cuantitativa.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

La segunda idea de Lagrange fue introducir coordenadas generalizadas. Las coordenadas son un truco para convertir la geometría en álgebra asociando un conjunto de números con cada punto. Los matemáticos encontraban conveniente trabajar con varios sistemas de coordenadas, dependiendo del problema que estaban abordando. Lagrange vio que era inconveniente acarrear este tipo de cálculos en una teoría matemática. Comenzó suponiendo un sistema de coordenadas cualesquiera. Luego, con una simplicidad pasmosa, obtuvo las ecuaciones del movimiento en una forma que no dependía del sistema de coordenadas elegido. La formulación de Lagrange posee numerosas ventajas sobre la de Newton. Muchas de ellas son técnicas: son más fáciles de aplicar cuando existen ligaduras en el movimiento y evita las transformaciones de coordenadas engorrosas. Pero sobre todo es más general, más simple y más abstracta.

Estas ideas fueron proseguidas por Rowan Hamilton (1805-1865), el gran matemático irlandés reformuló la dinámica de nuevo con mayores generalidades aún. En la versión de Hamilton de la teoría, el estado de un sistema dinámico bien especificado por un conjunto general de coordenadas de posición (similares a las de Lagrange) junto con un conjunto relacionado de coordenadas de momento (las velocidades correspondientes multiplicadas por la masa.) Una cantidad única, ahora conocida como hamiltoniano del sistema, define la energía total de términos de las posiciones y momentos. El ritmo de cambio con el tiempo de posición y de momento se expresa en función del hamiltoniano mediante un sistema de ecuaciones unificado y simple.

A pesar de todos los importantes logros alcanzados en la física matemática clásica, permanecieron sin tocar algunas áreas de la naturaleza. Los matemáticos podían calcular el movimiento de un satélite, de Júpiter, pero no el de un copo de nieve en una ventisca. Podían describir el crecimiento de una burbuja de jabón, pero no el de un árbol. Los matemáticos habían podido concretar, algo del orden del universo, y las razones de ese orden, pero todavía vivían en un mundo desordenado. Creían, que gran parte del desorden (o caos) obedecían a las mismas leyes fundamentales; su incapacidad para aplicar aquellas leyes a cualquier efecto era simplemente una cuestión de complejidad. El movimiento de dos masas puntuales podía calcularse de forma precisa. El caso de tres partículas era ya demasiado difícil para una solución completa, aunque podía resolverse de forma aproximada. El movimiento a largo plazo de los aproximadamente 50 cuerpos mayores en el sistema solar era imposible de controlar en su totalidad.

### **La matemática faltante "Probabilidad"**

La teoría de la probabilidad se originó con un tema bastante práctico, el juego. El jugador tiene un sentido instintivo de las probabilidades en una apuesta Gioramo Cardano, el erudito del juego, un genio intelectual y pícaro incorregible fue el primero en escribir sobre la probabilidad. En 1654, el caballero de Mére le preguntó a Blais Pascal cómo repartir mejor las apuestas en un juego de azar cuando se interrumpe. Pascal escribió a Fermat y entre los dos encontraron una respuesta. Esta se imprimió en 1657 en el primer libro que se dedicó igualmente a la teoría de la probabilidad *De ratiociniis in ludo alicae* de Christian Huygens.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

La probabilidad, proviene de la publicación de la obra Teoría analítica de las probabilidades de Laplace, en 1812. De acuerdo con Laplace, la probabilidad de un suceso es el número de maneras en que puede ocurrir, dividido por el número total de cosas que pueden suceder, sobre el supuesto de que estas últimas son igualmente probables.

Una de las partes más importantes de la teoría de las probabilidades es la estadística y ésta a su vez centra muchos de sus estudios en la famosa distribución normal. Ésta es una curva en forma de campana que modela fielmente las proporciones de una población que tiene alguna característica particular.

La distribución normal fue denominada originalmente ley del error, debido al trabajo de los astrónomos y matemáticos del siglo XVIII, quienes cuando trataron de calcular las órbitas de los cuerpos celestes se vieron forzados a tomar en cuenta el error observacional. La ley del error describe como se aglomeran los valores observados alrededor de un valor promedio, y proporciona estimaciones de las posibilidades de que ocurra un error de un valor determinado. Adolphe Quetelet la importó a las ciencias sociales, y aplicó el método a todo lo que se le ocurrió: medidas del cuerpo humano, delitos, matrimonios, suicidios. Su mecánica social se tituló así deliberadamente en comparación con la mecánica celeste de Laplace. Quetelet fue lo suficientemente hábil para extraer conclusiones generales de la supuesta constancia de los valores sociales, y sugirió la idea de un "hombre promedio". No solo pensaba en la condición humana como una especie de dinámica social: quería ocuparse de ella como si fuese un ingeniero. Ajustando, estabilizando, amortiguando las oscilaciones. Para él, el "hombre promedio" no era una abstracción matemática, sino un ideal moral.

Las ciencias sociales difieren de las ciencias físicas en muchos aspectos, uno de los cuales es que los experimentos controlados son raramente realizables en las ciencias sociales. Si un físico desea examinar el efecto, el calor en una barra de metal, puede calentarla a varias temperaturas y comparar los resultados. Si un economista desea examinar el efecto de una política fiscal en la economía de un país, puede aplicarla o no; pero no puede permitirse el lujo de aplicar diferentes regímenes fiscales a la misma economía bajo las mismas condiciones (a menos que se trate de México, claro.) Alrededor de 1880, las ciencias sociales comenzaron a desarrollar un sustituto del experimento controlado, derivado de los primeros trabajos de Quetelet sobre la distribución normal. El trabajo más importante fue realizado por tres hombres: Francis Galton, Isidro Edgeworth y Karl Pearson. Cada uno de ellos destacaba en su propio campo de conocimientos: Galton, en antropología; Edgeworth, en economía, y Pearson, en filosofía. Entre ellos convirtieron la estadística en una ciencia más o menos exacta. Analicemos solos a Galton.

Francis Galton (1822-1911) estudió medicina, pero abandonó cuando heredó una fortuna. En 1860 dedicó su atención a la metrología y, por medio de métodos gráficos, dedujo la existencia de anticlones a partir de un montón de datos irregulares. Tocó temas como la educación, la psicología, la sociología y el estudio de las huellas digitales, pero en 1865 apareció su principal interés: la herencia genética. Galton deseaba entender como pasaban a las generaciones sucesivas las características heredadas, en 1963 se encontró con los escritos Quetelet y quedó maravillado con la distribución normal. Sin embargo, el modo en el que la empleo era bastante diferente de cómo sugería Quetelet. Galton consideró la

distribución normal como un método para clasificar datos en grupos de origen diferente, Galton razonó que la distribución normal se aplica únicamente a poblaciones puras que fallaría en mezclas de poblaciones.

Pero esta imagen no satisfizo a Galton cuando pensaba en la herencia genética. Supongamos que la primera generación de una población pura tiene alturas distribuidas normalmente cada individuo tiene descendientes, cuyas alturas, presumiblemente, también están distribuidas normalmente. Sin embargo, el pico de altura de los descendientes depende de cual fue el pico de altura de los progenitores; de lo contrario, ¿Cómo podría heredarse la altura característica?. De esta forma, las alturas de las sucesivas generaciones se describen por superposición de muchas distribuciones normales diferentes, pero esto no necesariamente conduce a una distribución normal. Conclusión: **cundo una población pura produce la siguiente generación, la población resultante dejara de ser pura.** Pero esto es absurdo: la generación pura original, es a la vez, una generación resultante de la generación previa.

En 1877 Galton consiguió resolver esta paradoja, para entonces tenía numerosas generaciones de gisantes dulces que se ajustaban a la distribución normal; también tenía un curioso instrumento experimental llamado trestobillo, que simulaba la matemática dejando caer perdigones de plomo a través de una disposición ordenada de alfileres metálicos, rebotando al azar a la izquierda o a la derecha. Su resolución fue la siguiente. Puesto que los padres proceden de una población pura, las distribuciones normales por separado correspondientes a sus descendientes no son independientes. Su comportamiento superpuesto es, especial. De hecho, tiene lugar un pequeño milagro matemático: las distribuciones están relacionadas justo de tal manera que al superponerlas todas, resulta de nuevo una distribución normal.

Galton quedó impresionado con el resultado y ello le condujo a la idea de regresión. Los niños de padres altos son, en promedio más bajos que estos; los niños de padres más bajos son, en promedio, más altos, esto no incide que los niños de padres altos sean más altos que los de padres bajos, pero la altura de los descendientes esta así, desplazada ligeramente hacia el promedio.

En 1873 el físico James Clerck Maxwell propuso el empleo de los métodos estadísticos en una reunión de la sociedad británica para el avance de la ciencia:

**La más infima porción de materia que podemos someter al experimento esta constituida por millones de moléculas ninguna de las cuales se nos muestra jamás en su identidad individual. No podemos, por tanto, determinar el movimiento real de ninguna de dichas moléculas; por ello, estamos obligados a abandonar el método histórico estricto y adoptar el método estadístico para tratar con grandes grupos de moléculas. Los datos de método estadístico, tal como se aplican a la ciencia de las moléculas, son las sumas de grandes cantidades moleculares. Al estudiar relaciones entre cantidades de este tipo, nos encontramos con una nueva clase de regularidad, la regularidad de los promedios de la que podemos fiarnos suficientemente para todos los propósitos prácticos, pero de la que no podemos pretender ese carácter de precisión absoluta que poseen las leyes de la dinámica abstracta.**

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Maxwell abordó una cuestión básica ¿cuál es la distribución estadística de la velocidad, aleatoriamente variable de una molécula? Comenzó con dos suposiciones físicas plausibles:

- La componente de la velocidad en cualquier dirección dada es independiente de las componentes en cualquier dirección perpendicular.
- La distribución es esféricamente simétrica, es decir, trata todas las distribuciones por igual.

A partir de estos principios básicos sin recurrir a las leyes de la dinámica, Maxwell presentó un argumento matemático único para demostrar que la distribución ha de ser el análogo tridimensional de la ley de error de Quetelet.

Al final del siglo XIX la ciencia había adquirido dos paradigmas muy diferentes para los modelos matemáticos. El primero y más antiguo, era el análisis de gran precisión por medio de las ecuaciones diferenciales: en principio, era capaz, de determinar la evolución completa del universo, pero, en la práctica, solo era aplicable a problemas simples y bien estructurados. El segundo, el análisis estadístico de cantidades promediadas, que trabajan con cantidades globales del movimiento de sistemas altamente complejos.

No había prácticamente contacto alguno, a nivel matemático, entre ambos métodos. Las leyes estadísticas no se calculaban como consecuencia matemática de las leyes de la dinámica, era algo extra y se basaban en la intuición física.

A medida que fue transcurriendo el siglo XX la metodología estadística fue ocupando su lugar al lado del modelo determinista. Apareció una palabra nueva para reflejar que incluso el azar tenía sus propias leyes: estocástico (la palabra griega STOCHASTIKOS significa de buena puntería y de este modo expresa la idea de usar las leyes del azar para el beneficio personal) la matemática de procesos estocásticos – secuencia de sucesos determinados por el azar- creció junto con los procesos deterministas.

Los dos paradigmas, eran igualmente aceptados por los científicos, igualmente útiles, igualmente importantes, igualmente matemáticos. Iguales, pero diferentes. Muy diferentes. Los científicos sabían que eran diferentes, y sabían por que los sistemas simples se comportan de forma simple, los sistemas complicados, se comportan de forma complicada. Entre la simplicidad y la complejidad no puede haber un terreno común pero los científicos en su afán por entender cada vez mejor las cosas y se cuestionan y pero aún cuando se sabe algo con firmeza, los cuestionamientos son mas profundos. Sino se cuestiona se vive a base de fe y no de ciencia.

¿Puede un sistema determinista simple comportarse como uno aleatorio? El progreso completo de la ciencia estaba basado en la creencia de que la forma de buscar la simplicidad en la naturaleza es hallando ecuaciones diferenciales para describirla. ¡Que pregunta tan tonta!

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



En el momento de la historia al que acabamos de llegar solo se podía distinguir una voz disidente, y de forma débil e incierta; era simplemente una indicación temblorosa de problemas futuros, dicha voz se elevó una sola vez después cayó; una voz que —si se escucho— fue ignorada. Era la voz de un hombre que presumiblemente fue el matemático, mas grande de su época, otro revolucionario completamente nuevo de la turbulenta ciencia de la dinámica. La voz de un hombre que tocó el caos...

Y se horrorizo por ello.

Henri Poincaré

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

*Capítulo cuatro*  
*Caos. La sensibilidad a las condiciones iniciales*

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## **Caos.**

### **La sensibilidad a las condiciones iniciales.**

Recordemos la historia del inventor del ajedrez. Este sabio pidió al rey como recompensa que se pusiera un grano de arroz por la primera casilla del tablero, dos por la segunda, cuatro por la tercera, y así sucesivamente doblando el número de granos de arroz por cada nueva casilla. Al principio el rey pensó que esa era una recompensa muy modesta, pero después tuvo que admitir que la cantidad de arroz necesaria era tan enorme que ni él ni ningún rey en el mundo podían suministrarla. Doblar 10 veces una cantidad equivale a multiplicarla por 1024; doblarla veinte veces, equivale a multiplicarla más de un millón, etc.

Cuando una cantidad crece de modo que se dobla al cabo de cierto tiempo, luego vuelve a doblarse tras el mismo intervalo de tiempo, así sucesivamente, se dice que ésta cantidad crece exponencialmente o crecimiento a tasa constante.

Utilicemos la idea del crecimiento exponencial y supongamos que tratamos de poner un clavo en equilibrio sobre su punta. Obviamente a menos que utilicemos un imán o algún otro objeto, y hagamos trampa, esto no será posible. El clavo nunca queda exactamente en equilibrio y cualquier desviación le hará caer de un lado a otro. Si se estudia la caída del clavo mediante las leyes de la mecánica clásica, se encuentra que cae con velocidad exponencial (de forma aproximada, y al menos al comienzo de la caída.) De este modo, la desviación del clavo respecto al equilibrio se multiplicará por 2 en un cierto intervalo de tiempo, de nuevo por 2 en el intervalo siguiente, y así sucesivamente, hasta que pronto el clavo se encontrará tendido a lo largo de la mesa.

El ejemplo del clavo, es un ejemplo típico de "sensibilidad a las condiciones iniciales". Esto quiere decir que un pequeño cambio en el estado del sistema en el instante cero —un pequeño cambio en la posición y velocidad iniciales del clavo— produce un cambio posterior que crece exponencialmente con el tiempo. Así pues, una causa pequeña —empujar ligeramente el clavo hacia la izquierda o a la derecha— tiene un efecto grande. Uno puede pensar que para que una causa pequeña tenga un efecto grande es necesario que el estado en el instante cero sea excepcional, como es el estado de equilibrio inestable de un clavo sobre su punta. Pero lo cierto es lo contrario: muchos sistemas físicos dependen de forma sensible de las condiciones iniciales. Dicho de otra forma, cualquiera que sea el estado del sistema en el instante cero, si se le "empuja" ligeramente hacia la derecha o izquierda, de ello resultaran efectos importantes a largo plazo.

Veamos ahora otro ejemplo: el del juego de billar con obstáculos redondos. Idealicemos un poco el sistema: despreciaremos el rozamiento, los efectos debidos a la rotación de la bola, y supongamos que las colisiones son elásticas. Lo que nos interesa es el movimiento del centro de la bola de billar. Mientras no haya ninguna colisión, este movimiento es rectilíneo y uniforme. Cuando hay una colisión con un obstáculo todo sucede como si el centro de la bola fuera reflejado por un obstáculo mayor —mayor precisamente en el radio de la bola (figura.) La trayectoria del centro de la bola es reflejada

exactamente de la misma forma que un rayo de luz es reflejado por un espejo- así se expresa geoméricamente el hecho de que la colisión sea elástica.

Supongamos que tenemos sobre la misma mesa de billar una bola real y otra bola imaginaria, inicialmente en el mismo lugar. Impulsemos simultáneamente las dos bolas con la misma velocidad pero en direcciones ligeramente diferentes. La trayectoria de la bola real y la bola imaginaria forman así cierto ángulo "alfa". Ahora bien, observemos también que la distancia entre las dos bolas será proporcional con el tiempo. Hay que señalar que este crecimiento proporcional al tiempo no es el crecimiento exponencial explosivo anterior. Si la distancia al cabo de 20 segundos sólo será de 20 micras (aún muy pequeña.)

Pero, ¿Qué pasaría si hubiese una arruga o alguna reflexión en la mesa de billar? Una reflexión sobre el borde recto de la mesa de billar no aportaría nada nuevo: las trayectorias reflejadas mostrarían el mismo ángulo alfa antes y la distancia entre la bola real y la imaginaria seguiría siendo proporcional al tiempo. Recordemos que la reflexión de la bola sobre un borde de la mesa de billar obedece a las mismas reglas que la reflexión de la luz sobre un espejo: mientras el espejo sea plano no ocurre nada extraordinario.

Recordemos que había obstáculos redondos en la mesa de billar, y estos obstáculos corresponden a espejos convexos. Como es sabido, las imágenes reflejadas en un espejo convexo son bastantes diferentes a las que se observan en un espejo plano. Podemos analizar lo que ocurre de la siguiente forma: si enviamos un pincel luminoso de ángulo alfa sobre un espejo convexo, el pincel reflejado tiene un ángulo diferente —llamémosle alfa prima- mayor que alfa. Supongamos que el ángulo alfa prima es el doble del ángulo alfa — esta es una simplificación excesiva-.

Volvamos a la mesa de billar con obstáculos redondos, y a nuestras dos bolas, una real y la otra imaginaria. Inicialmente, las trayectorias de las dos bolas forman un ángulo alfa, y este ángulo no cambia por una reflexión sobre un borde recto de la mesa de billar. Pero tras un choque con un obstáculo redondo, las trayectorias divergirán con un ángulo 4 alfa. Después de 10 choques el ángulo se habrá multiplicado por 1024, y así sucesivamente. Si tenemos un choque por segundo, el ángulo entre las trayectorias de la bola real y la bola imaginaria crecerá exponencialmente con el tiempo. De hecho de la demostración matemática se puede comprobar que la distancia entre las dos bolas también crecerá exponencialmente con el tiempo (mientras no se haga demasiado grande): tenemos sensibilidad a las condiciones iniciales.

La distancia entre el centro de la bola real y el centro de la bola imaginaria se duplica cada segundo. Por lo tanto al cabo de 10 segundos una distancia inicial de 1 micra se ha convertido en una distancia de 1024 micras, es decir, alrededor de un milímetro. Y al cabo de 20 (ó 30) segundos, ¡La distancia sería de más de un metro (o más de un kilómetro)! Esto es absurdo dadas las dimensiones de la mesa de billar ¿Dónde estuvo el error? El error estuvo en haber simplificado tanto el análisis: hemos supuesto que tras una reflexión por un obstáculo redondo, el ángulo entre las trayectorias de dos bolas de billar se había multiplicado por 2 (más o menos) pero seguía siendo pequeño. En realidad, al cabo de cierto tiempo el ángulo se hace grande, las trayectorias se separan y mientras una de las bolas tropieza de lleno con un obstáculo, la otra pasa rozándolo.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Resumiendo: si observamos simultáneamente el movimiento de una bola de billar real y otra imaginaria con condiciones iniciales ligeramente diferentes, vemos que normalmente la trayectoria se separa exponencialmente con el tiempo hasta que una de las bolas tropieza con un obstáculo mientras la otra pasa de largo. A partir de este momento los dos movimientos ya no tienen que ver uno con otro. Existen condiciones iniciales excepcionales para la bola imaginaria tales que ésta no se aparta de la bola real, por ejemplo, la bola imaginaria podría seguir a la bola real aunque a un milímetro detrás de ella. En general, las dos trayectorias divergen.

El ejemplo del billar y la anterior discusión de esto, es una discusión en la que se presentaron hechos plausibles sin llegar a una demostración. Se puede hacer un análisis matemático riguroso del billar con obstáculos convexos, dicho análisis fue realizado por el ruso Yakov G. Sinai seguido por otros matemáticos. Este tipo de sistemas con sensibilidad a las condiciones iniciales tiene análisis matemático muy complejo.

#### **La pequeñísima causa de Poincaré**

Como hemos visto, el recorrido de una bola sobre una mesa de billar con obstáculos convexos da lugar a un fenómeno un poco extraño. Supongamos que modificamos la condición inicial, reemplazamos la posición y la velocidad reales de la bola por una posición y una velocidad imaginarias ligeramente diferentes. Entonces la trayectoria real y la trayectoria imaginaria, que al comienzo estaban muy próximas, empezarán a divergir cada vez más rápidamente hasta que de pronto no tengan nada que ver una con la otra. Esto es a lo que los científicos han llamado "sensibilidad a las condiciones iniciales". Conceptualmente éste es un descubrimiento muy importante. El movimiento de la bola de billar esta determinado sin ambigüedad por la condición inicial, y aún así estamos esencialmente limitados en la predicción de su trayectoria. Tenemos a la vez determinismo e impredecibilidad a largo plazo. Nuestro conocimiento de la condición inicial esta siempre empañado por una cierta imprecisión: no somos capaces de distinguir la condición inicial real de las numerosas condiciones iniciales imaginarias que están próximas a ella. Y por consiguiente, no sabemos cual de las predicciones posibles es la correcta. Pero si no podemos predecir el comportamiento de una bola de billar, ¿qué sucede con el movimiento de los planetas? ¿Y con la evolución de los fenómenos meteorológicos?. El movimiento de los planetas es predecible con siglos de antelación, pero las previsiones meteorológicas fiables están limitadas a una o a dos semanas.

Sin embargo debemos hacer algunas aclaraciones sobre la bola de billar antes de avanzar en nuestra discusión sobre la predecibilidad.

Al estudiar el movimiento de la bola de billar hemos despreciado el rozamiento. ¿Teníamos derecho a hacer esta aproximación? Este tipo de problemas se plantean constantemente en física: ¿son admisibles las idealizaciones que se utilizan?. En el caso de la bola de billar, la presencia de rozamiento implica que la bola acabara por detenerse. Pero si se detiene mucho tiempo después de que el movimiento se haya hecho impredecible, resultaba práctico suponer que había rozamiento. (La teoría de la bola de billar con obstáculos convexos tiene la ventaja de ser bastante fácil de analizar, pero su aplicación a un billar real daría lugar a serias dificultades.)

Pero ahora surge un problema más serio: ¿Hasta que punto es general el fenómeno de la sensibilidad a las condiciones iniciales? Al analizar el sistema de la bola de billar con obstáculos convexos hemos llegado a la conclusión de que una pequeña incertidumbre inicial conducía a la impredecibilidad futura a largo plazo. Lo que llamamos sistema puede tratarse de un sistema mecánico sin rozamiento, o de un sistema con una fuente de energía que reemplaza a la que se disipa por rozamiento, o incluso a un sistema más general con componentes eléctricos, químicos, etc. Lo que cuenta es que exista una evolución temporal determinista bien definida. En tal caso, los matemáticos dicen que se tiene un sistema dinámico. Los planetas que giran en torno a una estrella constituyen un sistema dinámico (idealizado con un sistema, mecánico sin rozamiento). Un fluido viscoso en cuyo interior rota una hélice es también un sistema dinámico (dissipativo en este caso pues existe un rozamiento interno, llamado disipación, en fluido viscoso). Y si encontramos una evolución temporal determinista que idealice de forma apropiada la historia de la humanidad será también un sistema dinámico.

Volvamos a la pregunta anterior: la sensibilidad a las condiciones iniciales ¿es la excepción a la regla para los sistemas dinámicos? La evolución temporal ¿es o no es, en general, predecible a largo plazo?. De hecho, hay varias posibilidades. En algunos casos por ejemplo, para un péndulo por rozamiento, no hay sensibilidad a las condiciones iniciales ya que se puede predecir el comportamiento del péndulo y como evolucionara hacia un estado de reposo. En otros casos se tiene sensibilidad a las condiciones iniciales cualquiera que estas sean como es el caso, de la bola de billar con obstáculos convexos. Finalmente, muchos sistemas dinámicos tienen un comportamiento mixto, para el que la predicción a largo plazo es posible para ciertas condiciones iniciales pero no para otras.

Sin embargo, el problema de las condiciones iniciales no es nuevo. Ya nuestros antepasados habían descubierto que el futuro era difícil de predecir y que pequeñas causas podían tener grandes efectos. Lo relativamente nuevo es la demostración de que, para ciertos sistemas, un pequeño cambio en la condición inicial produce habitualmente a un cambio en la evolución posterior de un sistema de modo que las predicciones a larga plazo resultan completamente vanas. Esta demostración fue llevada a cabo a finales del siglo XIX por el matemático francés Jacques Hadamard.

El sistema considerado por hadamard era una especie de billar alabeado en la que la superficie plana de la mesa estaba reemplazada por una superficie de curvatura negativa. Lo interesante del problema era el movimiento de un punto que permanece ligado a la superficie sobre la que se desplaza sin rozamiento. De este modo el billar de Hadamard es lo que en términos técnicos se denomina el flujo geodésico sobre una superficie de curvatura negativa. Dicho flujo permitió a Hadamard demostrar el teorema de sensibilidad a las condiciones iniciales. (El correspondiente teorema de billar con obstáculos convexo es mucho más difícil y solo fue demostrado por Sinai mucho más tarde, en los años setenta).

Uno de los que en aquella época comprendieron la importancia filosófica del resultado de Hadamard fue el físico Pierre Duhem. Duhem tenía ideas muy avanzadas para su tiempo, pero sus convicciones políticas eran netamente reaccionarias, en un libro dirigido al gran público y publicado en 1906, Duhem tituló un apartado "Ejemplo de deducción matemática que nunca debe utilizarse". Como él explica esta deducción

matemática es cálculo de una trayectoria sobre el billar de Hadmard. Esta nunca debe utilizarse pues una pequeña incertidumbre que necesariamente esta presente en la condición inicial, da lugar a una gran incertidumbre en la trayectoria calculada si se espera el tiempo suficiente, y esto convierte la predicción en algo sin valor.

Otro francés escribía libros de filosofía de la ciencia en esa misma época: el famoso matemático Henry Poincaré. En su libro ciencia y método publicado en 1908, discute el problema de la impredecibilidad aunque no de una manera técnica. No cita a Hadmard ni los detalles matemáticos de la teoría de los sistema dinámicos – teoría que el había creado y conocía mejor que nadie-. Una observación esencial de Poincaré es que el azar y el determinismo se han hecho compatibles por la impredecibilidad a largo plazo. Poincaré lo explica de la siguiente manera:

**“Una pequenísima causa, que escapa a nuestra percepción, determina un efecto considerable, que hemos de ver forzosamente, y entonces decimos que el efecto se debe al azar. Si conociésemos bien las leyes de la naturaleza, y la situación del universo en el momento inicial, conseguiríamos predecir exactamente la situación del mismo universo en el momento siguiente. Más incluso en el caso de que las leyes naturales no nos ocultaran sus secretos, continuaríamos sabiendo su situación solo de manera aproximada. Si nos facultase a pronosticar la situación sucesiva con la misma aproximación, no necesitaríamos más, y afirmaríamos que el fenómeno se vaticino y que las leyes lo gobiernan todo. Sin embargo no ocurre así; acaso suceda que pequeñas diferencias en las condiciones iniciales produzcan unas muy grandes en el fenómeno definitivo. Un leve error en las primeras se convertirá en uno colosal en un segundo. Se hace imposible predecir.”**

Poincaré sabía lo útiles que son las probabilidades del mundo físico. Sabía que el azar forma parte de la vida de todos los días. Y como también creía en el determinismo clásico (la incertidumbre cuantica todavía no existía en su época), quería encontrar donde estaba la fuente del azar. Sus reflexiones sobre el problema proporcionan a Poincaré varias respuestas. El vio varios mecanismos mediante los cuales la descripción determinista del mundo podría dar lugar de manera natural a la idealización probabilista. Uno de estos mecanismos es de la sensibilidad a las condiciones iniciales.

Poincaré discute dos ejemplos de sensibilidad a las condiciones iniciales. El primero es el de un gas compuesto por numerosas moléculas que se mueven a gran velocidad en todas direcciones y sufren numerosos choques entre si. Estos choques, dice Poincaré, dan lugar a sensibilidad en las condiciones iniciales. (La situación es análoga al ejemplo de la bola de billar chocando con un obstáculo convexo.) La impredecibilidad del movimiento de las partículas en el gas justifica una descripción probabilística.

El segundo ejemplo de Poincaré concierne a la meteorología. También aquí, dice existe sensibilidad a las condiciones iniciales es siempre algo impreciso, y ello explica la poca fiabilidad de las previsiones del tiempo que va a hacer. Así, como no podemos prever como se suceden los fenómenos meteorológicos, pensamos que su sucesión tiene lugar al azar.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Para un especialista contemporáneo, lo más sorprendente de las ideas de Poincaré es su carácter completamente moderno. La dinámica de un gas de esferas elásticas por una parte, la circulación general de la atmósfera por otra, han sido objeto de estudios fundamentales durante los últimos años, y el punto de vista que se adoptó es el de Poincaré. David Ruelle matemático francés y precursor de las teorías del caos habla en su libro *azar y caos* acerca del olvido por parte de los científicos de las teorías de Poincaré sobre las condiciones iniciales y también encuentra las posibles razones de dicho olvido, David Ruelle dice:

**“Lo que es muy sorprendente es el largo intervalo que ha transcurrido entre las ideas de Poincaré y el moderno estudio por parte de los físicos del fenómeno de las condiciones iniciales. El estudio reciente de lo que ahora llamamos “caos” no se ha beneficiado de los estudios de Hadmard, Duhem y Poincaré. Las matemáticas de Poincaré han tenido su papel, pero sus ideas sobre predicciones meteorológicas tuvieron que ser descubiertas de forma independiente.**

Yo veo dos razones para el sorprendente intervalo que separa a Poincaré de los estudios modernos sobre el caos. La primera es el descubrimiento de la mecánica cuántica, que conmocionó el mundo de la física y ocupó todas las energías de varias generaciones de físicos. La mecánica cuántica hace intervenir al azar de una forma nueva e intrínseca. Entonces ¿Por qué pretender ahora introducir al azar mediante la sensibilidad a las condiciones iniciales en mecánica clásica?

Ve otra razón para el olvido de las ideas de Hadmard, Duhem y Poincaré: estas ideas llegaron demasiado pronto, cuando no existían medios para explotárlas. Poincaré no tenía a su disposición estas útiles herramientas matemáticas que son la teoría de la medida o el teorema ergódico, y por lo tanto no podía expresar sus brillantes intuiciones en un lenguaje preciso. Hay que señalar también que cuando no alcanzamos a tratar un problema matemático, siempre podemos estudiarlo numéricamente con la computadora. Pero evidentemente este método, que ha jugado un papel tan esencial en el estudio del caos, no existía a comienzos del siglo XX.”

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN





## **Definición de Caos**

El término Caos se refiere a una interconexión subyacente que se manifiesta en acontecimientos aparentemente aleatorios. (El caos es impredecible, pero determinable. O dicho de otro modo, el caos no es aleatorio, tiene un orden subyacente.)

Esto es una definición del caos aplicada a nuestras vidas, tomando en cuenta que trataremos el caos desde diversas materias y perspectivas.

En la turbulencia de un arroyo es imposible predecir la trayectoria de una partícula de agua. Sin embargo, ese sistema es, a la vez, continuamente cambiante y siempre estable. Si tiramos una piedra al agua el sistema no se desestabilizará, cosa que si ocurriría en un sistema no caótico.

¿Por qué un sistema caótico es tan cambiante? Porque todo esta influido por todo. Todo está interconectado con todo.

¿Por qué un sistema caótico es, a la vez, tan estable? Por las interconexiones sutiles que se forman al estar todo influido por todo.

En la teoría del caos hay tres temas subyacentes:

- **El control:** La teoría del caos demuestra que el sueño de poder dominar toda la naturaleza es una ilusión. Hemos de aceptar la impredecibilidad del caos en vez de resistirnos inútilmente a las incertidumbres de la vida.
- **La creatividad:** Es algo inherente al caos. Pactar con el caos significaría no dominarlo sino ser participantes creativos.
- **La sutileza:** Más allá de nuestros intentos por controlar y definir la realidad se extiende el infinito reino de la sutileza y la ambigüedad, mediante el cual nos podemos abrir a dimensiones creativas que vuelven más profundas y armoniosas nuestras vidas.

En un principio, la teoría del caos se aplicaba al análisis de circuitos electrónicos, encontrando resultados tales como el aumento de la potencia de láseres (Ditto y Pecora) y la sincronización de circuitos.

Fue demostrado entonces, que era posible sincronizar dos sistemas caóticos, siempre y cuando fuesen excitados por la misma señal, independientemente del estado inicial de cada sistema (Neff y Carroll).

O sea, que al perturbar adecuadamente un sistema caótico, se le está forzando a tomar uno de los muchos comportamientos posibles. Lo que ocurre, es que el caos es sensible a las condiciones iniciales. Sin sincronismo, dos sistemas caóticos virtualmente idénticos, evolucionarán hacia estados finales distintos.

Más tarde, pudo aplicarse al análisis de oscilaciones en reacciones químicas, y al seguimiento del latido cardiaco. En los últimos años, la biología se hace cargo de este nuevo tipo de abordaje de procesos, modelizando comportamientos enzimáticos (Hess y Markus). Los sistemas naturales son, en su gran mayoría, no lineales, y justamente el caos, es un comportamiento no lineal.

#### **Un ejemplo introductorio:**

Entendemos perfectamente lo que significa que alguien afirme que pesa 80.5 Kg. También es razonable que aceptemos que un boxeador pesa 75.125 Kg. (sabemos que este peso sólo es válido en el momento del pesaje). Pero que opináramos de una persona que afirmara pesar 78.12456897355568793 Kg? No parece razonable, verdad?. Con cada exhalación eliminamos vapor de agua y dióxido de carbono en cantidades mayores a 0.0000001 Kg., con lo cual dejamos sin valor las últimas 10 cifras del peso mencionado.

#### **La Historia del Caos.**

El primer experimentador del caos fue un meteorólogo llamado Edgard Lorena.

En 1960 estaba trabajando en el problema de predecir el tiempo. Tenía una computadora que calculaba el tiempo con 12 ecuaciones. La máquina no predijo el tiempo, pero en principio predijo como sería el tiempo probablemente.

Un día, en 1961, Lorena quiso ver unos datos de nuevo. Introdujo los números de nuevo a la computadora, pero para ahorrar con el papel y el tiempo, solo calculó con 3 números decimales en vez de 6. Le salieron resultados totalmente diferentes. Lorena intentó encontrar la explicación de eso. Así surgió la teoría que está tan de moda en nuestros días: **la teoría del caos...**

Según las ideas convencionales, los resultados habrían tenido que ser prácticamente los mismos. Lorena corrió el mismo programa, y los datos de inicio casi fueron iguales - esas diferencias muy pequeñas no pueden tener efecto verdadero en los resultados finales. Lorena demostró que esa idea era falsa. Al efecto que tienen las diferencias pequeñas e iniciales después se le dio el nombre 'efecto mariposa'.

"El movimiento de una simple ala de mariposa hoy produce un diminuto cambio en el estado de la atmósfera. Después de un cierto periodo de tiempo, el comportamiento de la atmósfera diverge del que debería haber tenido. Así que, en un periodo de un mes, un tomado que habría devastado la costa de Indonesia no se forma. O quizás, uno que no se iba a formar, se forma."

Este fenómeno, y toda la teoría del caos es también conocida como dependencia sensitiva de las condiciones iniciales. Un cambio pequeño puede cambiar drásticamente el comportamiento a largas distancias de un sistema. Al medir, una diferencia tan pequeña puede ser considerada 'ruido experimental' o impuntualidad del equipo. Esas cosas son

imposibles de evitar, también en el laboratorio más aislado. Con un número inicial 1.001 el resultado puede ser totalmente diferente que con 1.000543.

Es simplemente imposible alcanzar este nivel de eficacia al medir. De esta idea Lorenz derribó que era imposible predecir exactamente el tiempo. Pero todo eso llevó a Lorenz a otros aspectos de lo que viene llamándose teoría del caos.

Lorenz intentó encontrar un sistema menos complejo que dependiera sensitivamente de las condiciones iniciales. Miró las ecuaciones de convección y los simplificó. El sistema ya no tuvo que ver con la convección, pero sí dependía mucho de los datos iniciales, y esta vez solo había 3 ecuaciones.

Después se vio que sus ecuaciones describen precisamente una **rueda de agua**.

En 1963 Lorenz publicó lo que había descubierto, pero como lo publicó en un periódico meteorológico, nadie le atendió. Su descubrimiento solo fue reconocido años más tarde, cuando fueron redescubiertos por otros. Lorenz ha descubierto algo revolucionario, ahora tuvo que esperar a alguien que le descubriera a él.

Así surgió la nueva ciencia que todavía en nuestros días también es 'jovencita'. Hay muchas ideas falsas sobre el caos, divulgadas por películas como el Jurassic Park, según las que la teoría del caos se trate del desorden. Nadie podría estar más lejos de la verdad. Es cierto que la teoría dice que cambios pequeños pueden causar cambios enormes, pero no dice que no hay orden absolutamente. Una de las ideas más principales es que mientras es casi imposible predecir exactamente el estado futuro de un sistema, es posible, y aún más, muchas veces fácil modelar el comportamiento general del sistema. Eso es lo que se muestra en el atractor de Lorenz. O sea, el caos no se trata del desorden, más que nada en cierto sentido podemos decir que es determinista.

¿Qué es un atractor? Consta de múltiples órbitas periódicas, representa un sistema cuya velocidad y posición cambian a lo largo de una sola dirección. Consta de dos ejes. Uno representa la posición, el otro la velocidad. Los atractores pueden ser multidimensionales, pues los sistemas pueden tener muchas variables, que equivalen a otras tantas dimensiones en el espacio de estados: por ejemplo, posiciones y velocidades que varíen en tres dimensiones.

Pongamos un ejemplo para verlo mejor.

La **rueda de agua** de Lorenz antes mencionada es parecida a la rueda en el parque de atracciones. Tiene cajitas (generalmente más que siete), que están colgadas a la rueda, o sea, su 'boca' siempre mira para arriba. Abajo todas tienen un hueco pequeño. Y todo eso está puesto abajo de un flujo de agua. Si le echamos agua a velocidad pequeña, el agua

después de entrar en el cajón, sale inmediatamente por el hueco. Así que no pasa nada. Si aumentamos la corriente del agua un poquito, la rueda empieza a rotar, porque el agua entra más rápido a las cajitas que sale. Así, las cajas pesadas por el agua descienden dejando el agua, y cuando están vacías y ligeras, ascienden para ser llenadas de nuevo. El sistema está en un estado fijo, y va a continuar rotando a una velocidad prácticamente constante. Pero si aumentamos la corriente más, van a pasar cosas raras. La rueda va a seguir rotando en la misma dirección, pero su velocidad va a decrecer, se para y luego girará en la dirección contraria. Las condiciones de las cajitas ya no están suficientemente sincronizadas como para facilitar solamente una rotación simple, el caos ha conseguido el mando en este sistema aparentemente tan sencillo.

Ahora, no podemos decir nada del estado de la rueda en concreto, porque el movimiento nos parece hecho totalmente al azar.

Los sistemas caóticos están presentes todos los días. Y en vez de mirarlos cada uno, investigamos los comportamientos de los sistemas parecidos. Por ejemplo, si cambiamos un poquito los números iniciales del atractor, él siempre nos dará números distintos que en el caso anterior, y la diferencia con el tiempo va a ser cada vez más grande, de tal forma que después de un tiempo los dos casos aparentemente ya no tendrán que ver, pero sus gráficas serán iguales.

Y eso es lo que sí puede ayudar mucho a la humanidad tanto en la medicina, como en la economía, etc.

¿Y por qué no se desarrolló esta ciencia hasta ahora? El 'padre' del conjunto Mandelbrot fue un libro publicado por Gaston Maurice Julia, y aunque recibió el 'Grand Prix de l'Académie des Sciences', sin visualizar sus funciones nadie le dio mucha importancia. La respuesta es simple: Computadoras. Para poner un conjunto Mandelbrot a la pantalla se necesita 6 millones de cálculos (operaciones), que son mucho para ser calculados por científicos, pero para las computadoras de nuestros días esa es una tarea de todos los días. Y de verdad, la teoría surgió de qué matemáticos empezaron a darle números a la computadora, y mirar lo que ésta hace de ellos, y después trataron de visualizarlo todo de alguna forma.

Después de un tiempo, las imágenes se veían como la naturaleza. Nubes, montañas y bacterias. Así indicaron porque no podemos predecir el tiempo. Parecían ser iguales al comportamiento de la bolsa y reacciones químicas a la vez. Sus investigaciones dieron respuestas a preguntas puestas hace 100 años sobre el flujo de fluidos, como movían de un flujo suave hacia un flujo caótico, o sobre el comportamiento del corazón, o las formaciones de rocas. Los sistemas caóticos no son hechos al azar, y se conocen por unos rasgos muy simples.

- Los sistemas caóticos son deterministas, o sea hay algo que determina su comportamiento.

- Los sistemas caóticos son muy sensitivos a las condiciones iniciales. Un cambio muy pequeño en los datos de inicio y salen resultados totalmente diferentes.
- Los sistemas caóticos parecen un desorden, o hechos al azar. Pero no lo son. Hay reglas que determinan su comportamiento. Sistemas de verdad hechos al azar no son caóticos. Los sistemas regulares, descritos por la física clásica son las excepciones. En este mundo de orden, reglas caóticas...

### **Tendencias**

Hasta ahora parecía que al estallar el caos, no somos capaces de hacer nada, El avión empieza a moverse raro y la catástrofe es inevitable. El corazón empieza a pulsar rápidamente, y sin ayuda inmediata, ocurre lo peor...

Las investigaciones nuevas muestran que si hay esperanzas de 'domesticar' el caos. Edward Ott, Ceslo Grebogi (físicos) y James A. Yorke (matemático) elaboraron un algoritmo matemático con el que un caos puede ser transformado en procesos periódicos sencillos. Y ya pasaron ejemplos prácticos también, de los que probablemente el más importante es el experimento de A. Garfinkel de la Universidad de California. Logró transformar el movimiento caótico de un corazón sacado de un conejo en un movimiento regular. Obviamente el uso de eso en la medicina significaría un avance enorme.

La idea nueva es que no hace falta comprenderlo todo sobre el movimiento caótico para regularlo. El algoritmo Ott-Grebogi-Yorke mira continuamente a que 'dirección' tiende el proceso, y con perturbaciones pequeñas para lograr que esté de nuevo en el 'camino' antes deseado. Naturalmente aquí no se termina de vigilar el sistema, porque después el caos aparecerá de nuevo. Yorke dice que el método es como ayudar a andar a un elefante con un palito.

Parece que habrá más avances en la regulación del caos, lo cual nos daría respuesta a muchas preguntas, nos ayudaría evitar catástrofes, y daría un avance enorme a toda la ciencia, todo el saber logrado hasta ahora.

### **Control**

Los sistemas caóticos son muy flexibles. Si tiramos una piedra al río, su choque con las partículas del agua no cambia el cauce del río, sino que el caos se adapta al cambio. Sin embargo, si el río hubiese sido creado por nosotros con un orden artificial, donde cada partícula de agua tuviera una trayectoria determinada, el orden se hubiera derrumbado completamente.

El caos en realidad es mucho más perfecto que nuestro orden artificial; hemos de comprender el caos y no intentar crear un orden rígido, que no sea flexible ni abierto a la interacción con el medio.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Siempre hemos estado obsesionados por el control, creemos que cuantas más técnicas, más control tendremos sobre el mundo. Pero con cada tecnología nueva que introducimos se nos echan encima un montón de problemas, para cada uno de los cuales hemos de inventar nueva tecnología. Volvamos al ejemplo del río: si tiramos una piedra el cauce no cambia, pero si tiramos una roca gigante la flexibilidad del sistema caótico no será suficiente. Es lo que ocurre en la Tierra: es un sistema caótico: siempre cambiante y adaptándose, pero si nos pasamos de la raya el sistema se puede romper. De hecho lo está haciendo y por eso tenemos problemas con la capa de ozono, el aumento de la temperatura global y el deshielo, problemas con los recursos como el petróleo, etc.

Aprender a vivir en el caos no significaría aprender a controlarlo, ni a predecirlo. Al contrario: lo más de enfocar la cuestión desde el punto de vista de que nosotros también somos parte del caos, no nos podemos considerar como elementos aparte. Desde esa perspectiva lo que podemos hacer es vivir de la creatividad del caos, sin intentar imponernos: si conseguimos realmente formar parte del sistema el concepto de sujeto y objeto desaparecerán, con lo cual el problema del control también.

Hay caos en muchos sitios, por ejemplo en la naturaleza, en el cuerpo humano, en el arte, en la religión, etc...

A continuación se explica un poco el caos en la naturaleza y en el cuerpo humano:

### **El Caos en la Naturaleza**

#### **La auto-organización de las colonias de hormigas.**

Su comportamiento global sorprende: si contamos el número de individuos activos, a lo largo del tiempo, comprobaremos que el número fluctúa con una periodicidad de unos 25 minutos. Cada cierto tiempo ningún elemento está activo. Ese ciclo de actividad podría ser sólo un reflejo de sincronización, sin embargo la actividad individual es totalmente aperiódica, caótica, sin ningún tipo de regularidad intrínseca.

Al aumentar el número de individuos aparece un comportamiento colectivo hasta que, para cierta densidad de hormigas, comienzan a aparecer oscilaciones regulares. Si artificialmente cambiamos la densidad de las hormigas la colonia redefine sus fronteras, para volver a la densidad óptima para mantenerlas autoorganizadas. En esa densidad crítica el sistema se comporta como un todo, a medio camino entre el orden y el desorden.

Veamos unos ejemplos donde se ve claramente que la Tierra es una unidad caótica: Un bosque, por citar algo, puede llegar a ser muy flexible y adaptable debido a su rica red de rizos retroalimentadores que interactúan con el medio constantemente. Algunos bosques, incluso, se han ajustado a cambios drásticos. Pero cuando este sistema caótico se desestabiliza (porque empezamos a talar bosques, por ejemplo), la conducta no lineal puede hacer que su dinámica cambie abruptamente o que incluso se colapse. Ya tenemos el ejemplo de tierras sobre las que hace años hubo ricos bosques que creaban su propio microclima y ellos mismos hacían que las condiciones les fueran favorables, sin embargo,

ahora no se puede plantar ni una sola planta ahí. Cortar un árbol puede significar que el bosque se quede con un árbol menos. Cortar diez árboles también. Pero cortar mil árboles puede no significar que el bosque se quede con mil menos, sino que a partir de ahí se extingan todos. Los procesos naturales de la Tierra son indivisibles y constituyen un holismo capaz de mantenerse y alimentarse, al menos que en el sistema caótico intervenga algún factor que lo desestabilice.

En la atmósfera de nuestro planeta hay considerables cantidades de metano. Por lógica, todo el metano y el oxígeno libres deberían haber entrado en una reacción de combustión. Como Lovelock remarcó, metano, oxígeno, sulfuro, amoníaco y cloruro de metilo están en la atmósfera en diferentes niveles de concentración de lo que podríamos esperar que ocurriera en una probeta. Lo mismo ocurre con el porcentaje de sal del mar. Estas concentraciones aparentemente extrañas resultan ser las óptimas para la supervivencia de la vida sobre la Tierra, es decir, la Tierra se comporta como un ser vivo, con los bosques, los océanos y la atmósfera como sus órganos. (y los animales - las bacterias).

Cuando un automóvil (fruto de la visión mecanicista) se avería buscamos la parte averiada. Es una parte la que hace que todo el coche deje de comportarse como una unidad (porque por mucho que metamos la llave no arranca). Pero en los sistemas caóticos, como son las familias, las sociedades o los sistemas ecológicos, el problema se desarrolla siempre a partir de todo el sistema, nunca a partir de una "parte" defectuosa. Siempre es necesario tener en cuenta todo el contexto en el que se manifiesta un problema.

### **El Caos en el Cuerpo Humano**

El cuerpo humano también es un sistema caótico. Está claro que es imposible predecir el recorrido que una partícula cualquiera tendrá dentro de nuestro cuerpo. También está claro que la medicina todavía no puede hacer una predicción acerca de la evolución del cuerpo de determinado individuo. Sin embargo el cuerpo humano, a pesar de las muy diferentes condiciones externas a que puede estar expuesto (clima, alimento, esfuerzo físico, etc), siempre mantiene una forma general. Es tan resistente a cambios (dentro de lo que cabe) porque los sistemas caóticos son muy flexibles. Una enfermedad es algo impredecible, pero si el cuerpo no tuviera la libertad de ponerse enfermo, con cualquier cambio producido el sistema se desmoronaría.

Hasta tal punto es flexible dicho sistema, que mantiene una forma más o menos parecida durante más de 70 años, a pesar de que ningún átomo de los que hoy forman nuestro cuerpo era el mismo hace 7 años. La explicación de que un sistema tan impredecible como el cuerpo humano sea tan estable está en que es un atractor extraño y está lleno de atractores extraños. El sistema siempre es atraído hacia un determinado modelo de conducta, si cambiamos algo en el sistema éste vuelve cuanto antes hacia el atractor extraño. Esto no significa que la conducta sea mecánica, todo lo contrario: es impredecible. Sólo sabemos hacia dónde va a tender.

Por ejemplo, en el corazón la conducta atractora es el disparo de una secuencia de neuronas. Conocemos aproximadamente el ritmo que debería tener el corazón, pero éste



siempre tiene pequeñas irregularidades. Estas pequeñas alteraciones son una señal de salud del corazón, una muestra del vigor del sistema caótico, que es flexible a los cambios. El caos permite al corazón un abanico de comportamientos (grados de libertad) que le permiten volver a su ritmo normal después de un cambio.

Un organismo sano, animal o vegetal, es un atractor extraño, cada uno con su particular grado de libertad y grado de regularidad.

### **EL Caos Determinista.**

En años recientes, parte de la comunidad científica en todo el mundo ha comenzado a hablar incesantemente de caos, desorden, aperiodicidad, para explicar muchos fenómenos que se suceden en la naturaleza y en experimentos controlados de laboratorio, que se caracterizan por tener un comportamiento que no puede ser descrito por leyes matemáticas sencillas. Más extraño aún es el hecho de que este tipo de caos emerge de fenómenos cuya evolución es inicialmente determinista. Contrariamente a lo que podría esperarse, al aumentar la cantidad de información disponible no se evita la imposibilidad de conocer la progresión futura del sistema. Dicha evolución queda determinada por su pasado y una de las propiedades peculiares del caos es que la mínima incertidumbre en la definición de las condiciones iniciales se amplifica exponencialmente, alcanzando proporciones macroscópicas que impiden conocer lo que sucederá a largo plazo.

El descubrimiento del caos determinista ha forzado un cambio sustancial en la filosofía de la ciencia: por una parte, establece límites a nuestra capacidad para predecir un comportamiento: por otra, abre un nuevo espacio para comprender muchos fenómenos aleatorios que suceden en varios campos del conocimiento. Sin embargo, la aceptación que estos fenómenos han tenido entre los científicos no ha sido general, el polvo de la casa a veces se suele esconder cómodamente debajo de la alfombra, pero tarde o temprano requerirá de nuestra atención. El polvo afea el orden, pues si existe un componente de aleatoriedad o de imperfección se destruyen las simetrías intrínsecas que simplifican la predicción física. Sin embargo, a pesar de que se niegue su existencia las evidencias son contundentes: el polvo se manifiesta en la física a escalas tan microscópicas como es la distribución de los niveles de energía en ciertos sistemas atómicos; en química se describen reacciones oscilatorias en las que, una vez desencadenadas, al cabo de cierto tiempo parece regresarse a los reactivos de partida. En los movimientos de los planetas de nuestro Sistema Solar también encontramos comportamientos desordenados, así como en los cambios climáticos, el ritmo cardiaco, la vida económica y las epidemias que atacan a la humanidad, por nombrar sólo algunos. Definir el concepto de desorden no es una tarea fácil ya que cada quien tiene una idea propia de él. En ciertos casos evoca un estado de confusión, una disposición de cosas más o menos irregular, pero independientemente de los giros semánticos la idea general es que el orden ha sido gravemente perturbado. El desorden se presenta entonces como algo que nunca debió haber existido y en el dominio de las ciencias se le acusa de delincuente que viola las "leyes de la naturaleza". Durante mucho tiempo, la ciencia ha hecho suyo el credo de que detrás de los desórdenes aparentes de la naturaleza siempre existe un orden escondido. Predecesores de esta filosofía son los pitagóricos y Platón. Para este último el estado ideal del Cosmos es cuando cada cosa está en su lugar. La

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

racionalidad del Cosmos la interpreta como el resultado de una operación efectuada por un poder ordenador, una figura se mimitica a la que llama Demiurgo, especie de "obrero" que ordena el desorden al crear el Cosmos, palabra que significa en primer lugar belleza, arreglo, orden y en segunda instancia, mundo, es decir, orden del mundo. Nos dice Platón:

**Con todo aquello en desorden, el dios insertó proporciones en cada cosa respecto de sí y respecto de los demás, esas simetrías eran tan abundantes como fue posible y se encontraban en las cosas ajustadas según proporción y medida común [...] todas esas partes primero fueron ordenadas y luego se constituyó con ellas ese todo, viviente único que contiene en sí mismo a todos los vivientes mortales e inmortales.**

El mundo es matemáticamente ordenado y el trabajo del hombre de ciencia consiste en encontrar las estructuras racionales que sirvieron de modelo al Demiurgo. Según Platón, en el campo de los elementos microscópicos estas formas perfectas se identifican con los poliedros regulares, en particular con el círculo. Por ello los astrónomos, hasta Kepler, redujeron todas las trayectorias celestes a círculos o combinaciones de ellos. Sin embargo el mismo Platón, aunque obsesionado por el orden, le presta gran atención a los desórdenes y sugiere que el orden ideal no puede ser jamás instaurado de manera absoluta en los objetos materiales. Hay algo que se resiste, que impide a las estructuras matemáticas realizarse perfectamente: la Naturaleza emergida de las manos del Demiurgo es sede de una agitación permanente.

Podemos, por tanto, afirmar que la ciencia ha estado influida durante muchos siglos por los conceptos de Platón, quien delinea tres niveles principales de jerarquización. En el nivel superior se encuentran las ideas y formas matemáticas que constituyen los modelos ideales de todas las cosas. Es el dominio del ORDEN. Al otro extremo se encuentra el CAOS, estado primordial carente de orden y desorden, que escapa a toda descripción.

Entre esos dos niveles está nuestro mundo, resultado del trabajo del Demiurgo, que tiene un poco de orden y desorden. Aunque idealmente es ordenado y obedece a leyes deterministas, no está exento de carácter aleatorio. Uno de los postulados que ha regido la ciencia nos dice que existen regularidades en la sucesión temporal de los eventos que ocurren en el universo material y en algunas características mensurables de los sistemas materiales relativamente aislados, cuando están en equilibrio. Como afirma A. Rosenbluth, este principio es la esencia del determinismo o la causalidad, puesto que implica que es posible predecir el futuro de un sistema si se conocen en un momento dado las condiciones de los elementos que lo constituyen. Las ecuaciones que empleaba la física clásica para expresar sus leyes, tanto las que se referían a los equilibrios como las que expresaban los procesos dinámicos, tenían una forma que implicaba relaciones causales precisas y rigurosa entre sus variables; eran, por lo tanto, compatibles con las formulaciones filosóficas del principio de causalidad.

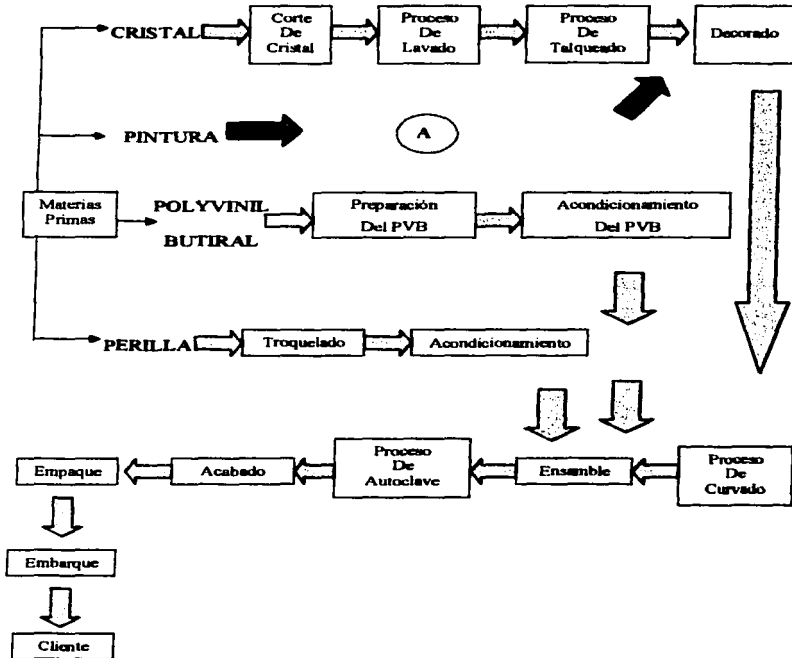
TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

*Capítulo seis*  
*Descripción del proceso de fabricación de un parabrisas*

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DE PARABRISAS

El siguiente diagrama muestra el proceso básico del parabrisas laminado de seguridad.



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## **MATERIAS PRIMAS.**

Para la fabricación de un parabrisas inastillable, se requiere de dos hojas de cristal flotado (vidrio) y una película de plástico (PVB.) Así como accesorios dependiendo del modelo a fabricar, estos accesorios son perilla, pintura.

## **CRISTAL**

El cristal flotado es un material cerámico cuyo componente principal es arena sílica (vidrio), el cual tiene su punto de fusión por encima de los 1200°C. Se utiliza el término flotado, porque en el proceso de transformación la cara inferior se hace pasar en una tina de estaño (flotado), y por su calidad óptica requerida; a diferencia del vidrio que comúnmente conocemos, el cual es fabricado por el proceso de estirado.

El cristal que se recibe cuenta con las siguientes características según las necesidades de cada modelo.

<b>COLOR</b>	<b>ESPESOR (mm)</b>
Claro	De 1.6 a 3.5
Tintex	
Tintex Plus	
Tintex Plus Light	
Solar	

En la recepción del cristal, el supervisor elabora etiquetas de recibo de materiales utilizando el color apropiado según el cristal que esta recibiendo. Ver siguiente tabla.

<b>COLOR DE LA ETIQUETA</b>	<b>APLICACION DE LA ETIQUETA</b>
<b>BLANCO</b>	<b>CRISTAL AUTOMOTRIZ CLARO NACIONAL</b> <b>CRISTAL CONSTRUCCION CLARO NACIONAL</b>
<b>AZUL</b>	<b>CRISTAL AUTOMOTRIZ CLARO EXPORTACION</b>

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

<b>VERDE</b>	CRISTAL AUTOMOTRIZ TINTEX NACIONAL CRISTAL AUTOMOTRIZ TINTEX PLUS NACIONAL CRISTAL AUTOMOTRIZ SOLAR NACIONAL
<b>AMARILLO</b>	CRISTAL AUTOMOTRIZ TINTEX EXPORTACION CRISTAL AUTOMOTRIZ TINTEX PLUS EXPORTACION CRISTAL AUTOMOTRIZ SOLAR EXPORTACION

Registra los movimientos de recibo en el sistema de abastecimientos mediante el código del artículo correspondiente por medida, espesor color y calidad anotándolo en el reporte de recibo de cristal.

Realizar un reporte con todas las entradas que se registraron durante el día, entregando una copia de dicho reporte.

El personal de materia prima en el momento en que se surte un rack o cabecera a la mesa giratoria en el departamento de producción registra el consumo de dicho material en el sistema, de tal forma que proporciona una etiqueta con código de barras que contenga datos como Orden de Trabajo, Código del Artículo, Fecha, Modelo, Piezas a Surtir, Piezas a Cortar y un Folio de Registro. El número de folio ayuda a obtener una liga de función desde el momento en que se surte el material a la línea hasta que es producto terminado.

Tomando un flujo de información originada en el Almacén de Materia Prima, pasando por Aseguramiento de Calidad, Departamento de Producción y Producto Terminado.

Las devoluciones de producción de esta materia prima son notificadas por medio de una etiqueta con la cual el personal de materias primas genera el movimiento de devolución en el sistema registrando el movimiento con signo negativo, generando una etiqueta de código de barras (DEVOLUCION), la cual es desechada una vez generada la etiqueta de identificación de materia prima. Finalmente se procede a estibar el material en la zona correspondiente.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## **PLÁSTICO (PVB)**

Polímero derivado del petróleo cuyo nombre técnico es Polivinil Butiral (PVB), el PVB es una película plástica la cual fluye y se une al cristal al someterse en conjunto a una temperatura y presión determinada formando un vidrio laminado de seguridad.

El objetivo principal de esta unión es hacer más fuerte el laminado, impidiendo que el vidrio al romperse desprenda astillas.

Las principales características del PVB son:

- **Altamente adhesivo.** Por esta característica, el plástico se manejaba con una capa de bicarbonato de sodio como separador; actualmente se maneja refrigerado en la mayoría de los casos, y en menor proporción, con polietileno como separador, y por esta misma razón el PVB ya no se lava, se debe manejar en un cuarto a baja temperatura y con humedad relativa controlada.
- **Alta carga electrostática.** El PVB tiene la capacidad de atraer las partículas como polvo y pelusas que se encuentran en el ambiente. Por esta razón es recomendable extrema limpieza en las áreas donde se maneja.
- **Altamente higroscópico.** Esto significa que este material tiene la capacidad de absorber o ceder humedad dependiendo del medio ambiente en el que se encuentra, por ello es necesario que su empaque sea lo más hermético posible, o que se almacene en condiciones controladas de temperatura y humedad relativa.
- **Alta memoria plástica.** Significa que al plástico se le puede modificar su forma inicial a través de calentamiento y enfriamiento, respectivamente. Tal es el caso de la expansión que se realiza para que la banda sombreada, mantenga el paralelismo con el borde superior del parabrisas.
- **Delicado al manejo.** Esto se debe que al tocar el plástico con las manos o dedos, se conservan las huellas en las áreas afectadas o de tallones en la superficie contra parte que puedan dañarlo o mancharlo con impurezas.

Los parabrisas pueden ser claros (totalmente transparentes) o de color, para lo cual se pigmenta el vidrio o el PVB; en el caso de parabrisas sombreados, la pigmentación se realiza por impresión o coextrusión en el PVB. Por tal razón el plástico que se recibe puede contar con las siguientes características.

<b>COLOR</b>	<b>ESPESOR (mm)</b>
Claro	0.38
Con banda gris	0.76
Con banda azul	

El supervisor de materia prima recibe el plástico adquirido con el proveedor la etiqueta que trae el producto sirve como identificación del mismo indicando medida, color, espesor, mercado y revisión. Se emite una etiqueta por cada tarima de material de la misma medida.

El registro de los movimientos de recibo de PVB en el sistema de Abastecimientos se realiza directamente de la factura.

El registro de los consumos de PVB se efectúa de acuerdo a lo siguiente:

1. El supervisor de materia prima recibe el reporte de corte de PVB que proporciona el departamento de producción en el área de corte de PVB.
2. El supervisor verifica que el código del artículo corresponda a la medida, espesor indicado, color y calidad del mismo.
3. El supervisor Verifica que la Orden de Trabajo corresponda al modelo del producto terminado correcto. Si no corresponde se marcan con un color que los identifique para posteriormente investigar con el departamento de producción de corte de PVB la orden de trabajo correcta.
4. El supervisor verifica que la cantidad total en metros sea la que realmente se consumió de no ser así se determina de la siguiente manera:  
$$\text{Metros lineales} \times \text{ancho del rollo} = \text{cantidad total en metros cuadrados}$$
5. Se registra el consumo de plástico en el sistema, anotando la orden de trabajo para posteriormente anotar la cantidad surtida en el código del artículo correspondiente.
6. Elaborar los reportes de saldos de plástico y consumos de plástico.
7. Elaborar una cifra de control interna del almacén de materia prima, en el cual se verifica que el total de consumos de plástico coincida correctamente con el reporte de saldos.

## **MATERIALES DIRECTOS**

El supervisor de materia prima recibe la documentación del transportista y elabora el Reporte de Recepción de Materiales Directos, registra los movimientos de recibo de materiales directos en el sistema de abastecimientos, realizando los ajustes necesarios por las piezas de mas y/o de menos, realizando las integraciones de importación del material como perilla, pintura, moldura, etc.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



## DESARROLLO DEL PRODUCTO.

El desarrollo de los parabrisas se realiza a partir de un escantillón que es la referencia patrón de acuerdo a la información proporcionada por el cliente.

El escantillón puede ser macho (convexo) o hembra (cóncavo) y de su superficie de chequeo se obtiene una plantilla, al colocar sobre él una lámina galvanizada.



Figura. Tipos de escantillones

Se procede a trazar el molde en una hoja de papel mylar utilizando la plantilla de lámina galvanizada.

Para realizar el trazo, si la plantilla se obtiene de un escantillón macho (ver figura), su cara superior se invierte haciendo contacto con el mylar y en el caso de una plantilla procedente de un escantillón hembra, la cara superior no se invierte.

La razón de invertir las caras en el desarrollo, es porque no todos los parabrisas son simétricos y al curvarse aparecen descuadres.

Durante el desarrollo se hace en un escantillón macho, como la lámina es cortada sobre el perfil del escantillón, el mylar deberá quedar más grande pero sin variar la línea superior de referencia.

Cuando el desarrollo se hace para un escantillón hembra la lámina galvanizada será la referencia debiendo descontar a la dimensión inicialmente el espesor de las líneas respetando también la línea superior de referencia.

En la fabricación de parabrisas curvos, se tiene una diferencia dimensional entre las dos hojas que lo componen (hoja corta y hoja larga), en función de la flecha longitudinal y el espesor del cristal, lo anterior, es con la finalidad de que al curvarse, no se tenga diferencia entre ellas (traslape.) Para la formación de parejas de hojas de un parabrisas, los cortes deben ir hacia adentro de la curvatura (parte cóncava.)

De lo anterior, se establece que, para la formación de parejas de hojas de un parabrisas, los cortes deben ir hacia adentro de la curvatura (la parte cóncava.)

El corte debe hacerse en la hoja larga por la cara no flotada y en la hoja corta, por la cara flotada.

A partir de la lámina galvanizada, se digitaliza en una trazadora traduciendo los valores obtenidos a un software que servirá de base primero para obtener un código de corte en el mylar y posteriormente cuando se ha liberado el producto una plantilla de aluminio y un código de pulido.

## **CORTE DE CRISTAL**

El proceso de fabricación del parabrisas se inicia con este proceso que consiste en:

Calibrar la cortadora con una especificación de  $\pm 0.38$  mm semanalmente, se prepara la corrida, al inicio del turno se revisa que el tanque de aceite del sistema de lubricación de corte tenga por lo menos la tercera parte del nivel, se limpia la mesa de corte y las guías de la máquina cortadora. Se pone en marcha la máquina cortadora, los códigos de corte deben ser cargados en la computadora. De los programas de corte en memoria se selecciona el correspondiente al modelo y hoja de cristal a cortar.

Con la hoja de cristal posicionada en la mesa de corte se inicia el ciclo, se corta la primera hoja de cristal en ceros o con las correcciones de la última corrida del modelo a procesar para que aseguramiento de calidad y/o el auto controlador evalúe dimensiones. Repetir el ciclo anterior hasta que el corte quede dentro de especificaciones y aseguramiento de calidad libere la corrida.

La operación normal de corte durante la producción se debe realizar en automático. La máquina ejecuta ciclos de corte con la forma programada (código de corte seleccionado en la computadora) cada que se alimenta una hoja de cristal.

Se monitorea de forma continua el funcionamiento de la máquina cortadora para suspender alguna operación anormal o que represente un riesgo para el equipo, el producto o los operarios.

- **Rebabeo o eliminación del sobrante.**

La hoja pasa para quitar el sobrante después del corte.

- **Matado de filos.**

Una vez que se tiene la hoja con la forma, se pasa a una rueda diamantada, ésta se encarga de pulir los filos. La velocidad de la rueda de pulido es de  $33 \text{ m/s} \pm 2$ . La velocidad promedio de alimentación o avance de pulido es de  $15 \text{ m/min}$  máximo. La operación normal de pulido se debe realizar en automático durante la producción, la máquina ejecuta ciclos de pulido.

Se realiza una inspección visual a 5 piezas en cada cabecera al final.

- **Lavado del cristal.**

Se limpia el cristal en una máquina lavadora, mediante un transportador pasa el cristal, se bombea agua sobre él, después los cepillos lo lavan, posteriormente pasa por un ventilador para que el vidrio salga totalmente seco. En este proceso la temperatura del agua es de  $40$  a  $50^\circ\text{C}$  y la conductividad del agua de enjuague es de máximo  $100$  micro siemens y el agua debe ser totalmente desmineralizada, es muy importante cumplir estas condiciones ya que el cristal puede salir sucio.

Después de esta operación se verifica la limpieza del cristal con una inspección visual del 100% cada corrida, el cristal debe salir libre de suciedad, polvo y residuos de agua.

También se debe verificar que el producto no salga de la lavadora con rayas, roto, hojas de cristal sucio, conchas o despostillado y hojas de cristal húmedas.

Se realiza una inspección de la conductividad del agua una vez cada dos horas por turno y de la calibración de cepillos una vez a la semana.

- **Inspección de defectos.**

El cristal pasa por una caseta de inspección, en donde se pueden detectar defectos de materia prima y proceso, esta inspección es al 100%.

**Ver anexo de especificaciones del producto\***

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**Las zonas en que se divide un parabrisas se definen en la instrucción de trabajo GC-10-A10**

Defectos en el producto		ZONA A		ZONA B		NOTAS:
		Cantidad	Dimensión	Cantidad	Dimensión	
Partículas de Cristal		1(+)	0.5	1(+)	0.8	Dimensiones en milímetros.
Puntos opacos, circulares alargados.		* (1) 1(+)	0.5	* (1) 1(+)	0.8	
		1(+)	1.0 Diam.	1(a)	1.00 Diam.	
		2(a)	0.5 Diam.	2(a)	0.75 Diam.	
				3(a)	0.50 Diam.	
		* (2) 3(a) 2.00 Diam.				a) Distancia mínima entre defectos 100mm.
Cabello, hilos, fibras y pelusa.		Se permiten si no son detectados por el método de inspección.				b) distancia mínima entre conchas 50.0mm
		1(+)	5.0	1(+)	10.0	
		ΣN (a, +)	Menores a 5 ΣN < 10.0	ΣN (a, +)	Menores a 10 ΣN < 15.0	
Burbujas en Cristal	Esférica	1(+)	1.0 Diam.	1(+)	1.5 Diam.	N) cualquier cantidad de defectos.
	Alargada	2(a,+)	0.5 Diam.	2(a,+)	0.75 Diam.	
Rayas	Hair line (0.05 - 0.1)	1(+)	0.5 x 1.2	1(+)	0.75 x 2.0	+) Siempre que no causen distorsión o interfieran con la visibilidad.
		2(a,+)	0.5 x 1.0	2(a,+)	0.75 x 2.5	
		2	50.0	* (3) 1	150.0	
				* (1) 3	50.0	
Tallon de Cristal	Delgada brillante	N	ΣN < 50.0	N	ΣN < 150.0	c) distancia mínima entre defectos 600.00mm
	Ligh. (0.11-0.25) (opaca)	1	30.0	1	100.00	
		* (1) 3(c)	5.0	* (1) 3(c)	5.0	
Plástico Sucio, Manchas, Huellas Digitales, Grabado, Tallones de P.V.B, Polvo etc.	* (1) en bisagras (4) y radios inferiores (4)	Se permite siempre y cuando el tallon sea leve abriplantando o cumpla con las distancias del esquema anexo 1.				
	Medium Y Heavy (profundo)	N(b)	ΣN < 30.0	N(b)	ΣN < 100.0	
Distorsión / ojos de buey piedras con nervio.		No se permite si son visibles por el método de inspección y/o interfieran con la visibilidad				
		No se permite si son visibles por el método de inspección				
		* (1) Se permiten si son de intensidad leve y son cubiertos por las dimensiones del esquema 1.				

**TESIS CON FALLA DE ORIGEN**

Puntos brillantes	No se permiten	Se permiten leves junto a la banda cerámica del lado pasajero <b>nunca del lado del conductor.</b>	
-------------------	----------------	--	--

Nota: ante cualquier duda o aclaración con respecto a la aplicación de esta norma separar evidencias para ser analizadas y clarificar la información contenida en esta.

- **Talqueado.**

Se prepara una mezcla de agua con talco celite, esta mezcla se vierte en un tanque mediante un filtro. Las hojas de cristal pasan a una cabina y es talqueada mediante una pistola, este proceso solo aplica para la hoja larga. El talqueado se hace con la finalidad de que las hojas no se adhieran.

Se realiza una **inspección** visual de 5 piezas consecutivas cada corrida: inicio, medio y final. Verificando que la película de talco este perfectamente aplicada.

- **Inspección dimensional de cristal cortado.**

En esta operación se verifica que el tamaño del cristal sea el correcto. Esta inspección se realiza a dos piezas en cada liberación de corrida, cada hora.

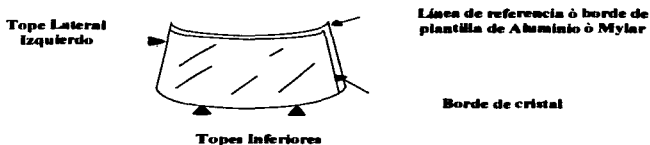
**Inspección dimensional con plantilla de aluminio o mylar.**

- ✓ Tomar la hoja larga del producto y colocarla sobre el mylar o plantilla de aluminio.
- ✓ Hacer que la hoja larga este en contacto con los topes o marcas de referencia que se indican en los dispositivos o en la hoja de descripción de producto.  
Ver figura.



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

- ✓ Se mide la diferencia que existe entre la línea de referencia del mylar o borde de la plantilla de aluminio contra el borde del cristal a lo largo parte central del producto. Ver siguiente figura.



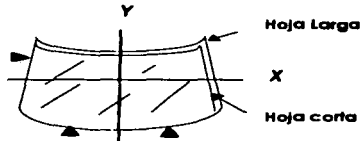
El valor de la variación puede ser positivo o negativo dependiendo de la dimensión del producto contra el borde o la línea de referencia del dispositivo. Se usa el equipo o herramienta indicado en el siguiente cuadro.

Característica	Dispositivo	Equipo o herramienta de medición	Condiciones para la evaluación	Acciones a seguir ante desviaciones
Inspección dimensional	Plantilla de aluminio	Indicador de cuadrante	Plantilla de aluminio sin daños y calibrados	Si la plantilla de aluminio o el Mylar están dañadas, no certificadas o calibradas, notificar al departamento de manufactura y no liberar corrida.
	Mylar	Optómetro	Mylar sin daños, legible y vigente	
Diferencia entre plantillas		Indicador de cuadrante	Mesa de inspección con superficie transparente plana e iluminada	Si la herramienta o equipo de medición se encuentra dañada o descalibrada notificar a metrología para su sustitución.
Verificación de la ubicación, contenido y legibilidad del logotipo		Regla de precisión (escala metálica)		

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

**Diferencia entre plantillas.**

- ✓ Tomar la hoja larga del producto en proceso.
- ✓ Colocar la hoja larga sobre la plantilla de aluminio o mylar.
- ✓ Tomar la hoja corta en proceso.
- ✓ Colocarla sobre la hoja larga ya colocada previamente.
- ✓ Cuadrar ambas hojas con los topes o marcas de referencia que se indican en el dispositivo o la hoja de descripción del producto.
- ✓ Medir la diferencia que exista entre hojas en el lado opuesto a los topes o marcas de referencia en las partes centrales de X y Y. Ver siguiente figura.



• **Impresión del logotipo.**

A la hoja de cristal de los modelos que lo requieran, se le debe imprimir el logotipo en la mesa de marcado. El logotipo se marca a la hoja larga por el lado de la cara no talqueada.

Para marcar el logotipo se utiliza una malla por la cual fluye pintura termoplástica.

• **Inspección de logotipo.**

En esta operación se verifica que sea correcta la ubicación, el contenido y la legibilidad del logotipo.

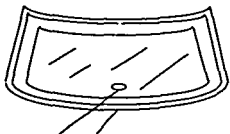
**Ubicación.**

- ✓ Tomar la hoja larga del producto en proceso.
- ✓ Colocar la hoja sobre la mesa de inspección.

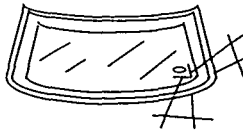
TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



- ✓ Medir las distancias del logotipo de acuerdo a como se indique en la hoja de descripción del producto. Ver siguientes figuras.



**Distancia a**



**Distancia b**

**Distancia c**

**Contenido.**

- ✓ Tomar la hoja larga del producto en proceso.
- ✓ Colocar la hoja sobre la mesa de inspección.
- ✓ Los caracteres deberán coincidir de acuerdo a lo que la hoja de descripción del producto del modelo correspondiente.

**Legibilidad.**

- ✓ Tomar la hoja larga del producto en proceso.
  - ✓ Colocar la hoja sobre la mesa de inspección.
  - ✓ Los caracteres no deberán estar borrosos, tampoco incompletos de tal manera que dificulte su identificación.
- **Operación de descarga.**

Las hojas se deben colocar con la parte superior hacia abajo. En la operación de descarga se deben separar las hojas de cristal con defectos marcadas en la caseta de inspección en el pallet de material no conforme. Todas las hojas utilizadas para liberar corrida de producción, deben enviarse a lavar nuevamente.

Para descargar la hoja corta:

1. Se coloca la placa una placa de unicef en el respaldo del contenedor antes de iniciar el acomodo de las hojas.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

2. La cara de la hoja de cristal del lado del corte debe colocarse hacia el respaldo del contenedor.
3. Se deben colocar una sábana de polietileno espumado cada 5 hojas en las primeras 30 piezas y posteriormente cada 10 hojas de cristal.
4. Las hojas de cristal deben acomodarse escalonadas entre cada sábana de polietileno espumado.
5. Cada contenedor debe contener máximo 250 hojas de cristal.

Para descargar la hoja corta (hoja talqueada):

1. La cara de la hoja de cristal del lado del corte (cara talqueada) debe colocarse en el contenedor hacia el operador.
2. Las hojas largas de cristal deben acomodarse en el contenedor en grupos de 5, 10 ó 15 piezas desplazadas.
3. Cada contenedor debe contener máximo 250 hojas de cristal.

Para los modelos directos a hornos de curvado (sin pintura) se debe formar la pareja de cristales en la misma zona de descarga. Descargar la hoja larga en una base colocándola con la cara talqueada hacia el operador, al descargar la hoja de cristal corta formar la pareja en un contenedor, colocando la hoja larga primero con la cara talqueada hacia el operador y después la corta con la cara del corte igualmente hacia el operador. Cada contenedor debe tener máximo 125 parejas de cristal.

Una vez llenados los contenedores / pallets en la descarga de la línea de corte, cubrir el paquete de hojas de cristal con una sábana de nylon y flejarlos por la parte central protegiendo la esquina superior con cartón.

Transportar los contenedores / pallets llenos con cristal a decorar de la zona de descarga de corte, y los contenedores con cristal directo a hornos de curvado (no lleva decorado.)

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## **DECORADO**

La forma de montaje del parabrisas al automóvil se realiza básicamente en dos formas:

1. Con cañuela de hule.
2. Pegado con butilo (uretanos) a la carrocería.

En la segunda forma la impresión de la pintura cerámica aplicada en el parabrisas cumple con las funciones importantes, como:

- Proteger los uretanos de los rayos ultravioletas del sol.
- Ocultar los detalles de los sub-ensambles de carrocerías, tableros y arneses.
- Proporcionar estética al ensamble, realizando desvanecidos, con variación del diámetro de pequeños círculos u otras formas caprichosas.

Con esta forma de montaje únicamente se cubre entre 2 y 5 mm de la arista del parabrisas con perfiles de plástico.

El proceso de decorado, se realiza con una malla de tela poliéster de trama 61 hilos por cm<sup>2</sup>, aplicando con un rasero una capa de pintura (negra o gris), sobre una de las caras de la hoja corta, siendo esta de tipo inferior o perimetral.

- **Inspección de recibo de pintura.**

El proceso de decorado inicia realizando una inspección de recibo de pintura, esta inspección se realiza una vez 1 lata de 45 Kg. Una vez por mes.

- **Preparación de pintura.**

En esta operación se prepara la pintura, se pone a girar los botes de 4 a 5 horas para que tenga la viscosidad adecuada, posteriormente se le agrega a 25 Kg de pintura de 3 a 3,25 litros de aceite, esto es para pintura sin plomo. Para la pintura con plomo se utilizan de 3.5 a 4 litros de aceite para 45 Kg de pintura.

La viscosidad para pintura sin plomo es de 60 a 70 poises, para pintura con plomo es de 85 a 90 poises.

- **Decorado.**

Para preparar la operación se siguen los siguientes pasos:

Registrar los modelos en la computadora, trasladar una hoja a la zona de registro y sujetar con unos chupones. Acercar la hoja hasta hacer contacto con cada uno de los cuatro toques con el borde del cristal, los toques deben sujetar el cristal girando ligeramente. Los valores desplegados se copian en la posición correspondiente a los valores registrados ya

programados. Con los valores registrados según el modelo se reestablece la máquina, se coloca el esténcil en la zona de impresión sin sujetar, se traslada la hoja de cristal a la mesa y se sujeta, el esténcil debe estar centrado sobre la hoja de cristal de impresión.

Se ajustan las condiciones del proceso, las cuales deben ser las siguientes:

- ✓ La separación entre el esténcil y el cristal debe ser de 3 a 15 mm, medido con la escala localizada en el mecanismo de ajuste de altura del esténcil de la máquina.
- ✓ La velocidad de levantamiento del esténcil es de 0 a 15 mm y su inicio debe ser un valor menor al inicio de raseado y debe iniciar antes de que el rasero entre a la imagen.
- ✓ El inicio de raseado debe tener un valor tal que permita al estarcido rebasar completamente la imagen a imprimir.
- ✓ Velocidad de raseado es de 500 a 760 mm/seg.
- ✓ Velocidad de estarcido es de 500 760 mm/seg.
- ✓ Es muy importante la presión del raseado la cual es de 25 a 34 mm.
- ✓ El cuarto de decorado debe contar con una temperatura de 18 a 26 °C (22 ±4°C.) Esta temperatura debe ser inspeccionada de manera visual 5 lecturas por corrida.

Después de liberar la corrida esta operación se realiza de manera automática en corridas largas. Durante la operación de decorado es muy importante que la viscosidad de la pintura cerámica se encuentre en las condiciones adecuadas, que puede variar entre 80 a 90 poises y 120 a 130 poises, dependiendo del tipo de pintura, existen varios tipos de pintura, dependiendo del modelo, hay con plomo, sin plomo, anti-sticking, se debe revisar también la calidad de impresión sin frenar la operación de la máquina. Se recomienda revisión en producción normal cada 15 o 20 piezas aproximadamente.

• **Inspección visual.**

En esta inspección se revisa la apariencia de la banda pintada, la zona de inspección es una banda iluminada, y se revisa una pieza cada 15 a 20 piezas.

Para realizar esta inspección es muy importante considerar la siguiente especificación:

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

<b>Banda de pintura cerámica</b>	
Contaminación de pintura cerámica -Antes de quemado en zonas claras. -Después de curvado en zonas claras.	No se permite. Permisibles si no es detectado por método de inspección v/o aplique.
Pintura quemada	Zonas no mayores de 100.0 mm de longitud y 20.0 mm de ancho siempre que no tenga zonas claras.
Traslucides	Permisible si no es visible por el método de inspección, la transmitancia luminosa no debe ser mayor al 1.0%.
Manchas de gasolina fantasma	Permisible si no es detectado por el método de inspección.
Grabado de agua	Permisible si no es detectado por el método de inspección.
Puntos de contraste y / o blancos.	Igual a poros.
Faltante de pintura en los bordes internos.	No se permiten.
Faltante de pintura en los bordes externos.	1.5 mm de ancho cualquier longitud.
Ravas y tallones.	No se permiten.
Escurecido durante el pintado	Se permite solo en canto exterior.
Cambio de tono	De acuerdo a muestra.
Pintura sin desarrollar	No se permite.
Poros	Lo indicado en la siguiente tabla.

Poros circulares y alargados.

<b>Cantidad</b>	<b>Dimensión</b>	<b>Condición</b>
1 por pieza	1.0 mm máximo	Siempre y cuando no estén agrupados y se encuentren separados a una distancia mínima de 100.00 mm.
2 por pieza (*)	0.8 mm máximo	
3 por pieza (*)	0.5 mm máximo	
5 por pieza	Menor o igual 0.3 mm máximo	

• **Secado de pintura**

Después de la aplicación de pintura las piezas pasan a un horno de secado para que la pintura este completamente seca y adherida al cristal.

Las condiciones de secado de pintura son las siguientes:

Para cualquier tipo de pintura cerámica utilizada en el proceso, ajustar la velocidad del transportador del horno, como en la siguiente tabla.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

Velocidad del transportador m / min.	Temperatura °C
5 a 6 para cristales de 3 a 3.8 mm	180 a 210
7 para cristales de 1.6 a 2.4 mm	180 a 210

La tolerancia de temperatura de operación es de  $\pm 15^{\circ}\text{C}$ .

Después de pasar por esta temperatura, pasan a la zona de ventiladores y enfriamiento para que la pintura salga totalmente adherida.

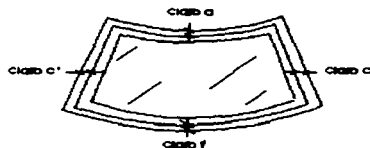
- **Inspección de cristal decorado.**

Se realiza una inspección visual de dos piezas en cada modelo y cada hora si la corrida es mayor a una hora, esto con el fin de detectar defectos visuales.

La zona de inspección debe ser una pantalla con luz blanca, el material o producto y la pantalla deben estar limpios, para evitar interferencias en la inspección.

**Dimensión de claros de pintura cerámica.**

- ✓ Tomar la hoja decorada del producto.
- ✓ Colocarla sobre la pantalla iluminada.
- ✓ Medir los claros de pintura cerámica al centro, en extremos, parte inferior y superior, (ver figura) como se indica en la hoja de descripción del producto, utilizando el equipo o herramienta indicado en el anexo.



**Verificación de la ubicación, contenido y legibilidad del logotipo.**

**Ubicación.**

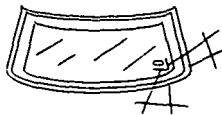
- ✓ Tomar la hoja corta decorada del producto.
- ✓ Colocar sobre la pantalla iluminada.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

- ✓ Medir las distancias del logotipo de acuerdo a como se indique la hoja de descripción del producto, (ver figuras) utilizando las herramientas o equipo de medición indicado en el anexo.



Ubicación del logotipo (cota a)



Ubicación del logotipo (cota c)

Ubicación del logotipo (cota b)

#### Ubicación del AS-1.

Esta inspección visual se realiza para dos piezas cada hora.

- ✓ Tomar el producto (hoja corta decorada.)
- ✓ Colocar sobre la pantalla iluminada.
- ✓ Medir las distancias del AS-1 de acuerdo a como se indica en la hoja de descripción del producto, (ver figura) utilizando herramienta o equipo de medición indicado en el anexo



#### Contenido.

- ✓ Tomar la hoja de producto en proceso.
- ✓ Colocar la hoja sobre la pantalla iluminada.
- ✓ Los caracteres deberán coincidir de acuerdo a lo que indique la hoja de descripción del producto del modelo correspondiente.

**Legibilidad.**

- ✓ Tomar la hoja de producto en proceso.
- ✓ Colocar la hoja sobre pantalla iluminada.
- ✓ Los caracteres no deberán estar borrosos e incompletos, de tal manera que dificulte su identificación.

**ANEXO.**

Característica	Dispositivo	Equipo o herramienta de medición	Condiciones para la evaluación	Acciones a seguir ante desviaciones
Dimensión de claros de pintura cerámica	Pantalla de inspección iluminada	Regla de precisión (escala metálica)	Zona de inspección iluminada	Si la herramienta o equipo de medición se encuentra dañada o descalibrada notificar a metrología para su sustitución
Verificación de la ubicación, contenido, legibilidad del logotipo y del AS-1				

• **Descarga de cristal de decoradora.**

- ✓ Antes de iniciar a descargar el material decorado se debe colocar una sabana de plástico en el contenedor para cubrir el paquete de hojas de cristal.
- ✓ Desflejar el paquete de hojas largas de cristal.
- ✓ Formar la pareja de cristales con una hoja larga y la hoja corta (decorada).
- ✓ La pareja de cristal cuya longitud lo permita se debe colocar con la parte superior hacia abajo; los modelos cortos deben ir con la parte superior hacia arriba debido a que el espacio entre los travesaños del contenedor es mayor.
- ✓ Para el llenado del contenedor, primero colocar la hoja larga con la cara talqueada hacia el operador y después la hoja corta con la cara decorada igualmente hacia el operador. Entre cada pareja de cristales colocar un separador de madera con la muesca cubriendo la banda cerámica.
- ✓ Al descargar la penúltima pareja de cristales colocar doble separador de madera, uno en posición normal y el otro invertido, invirtiendo también la última pareja de cristales de tal manera que la hoja larga quede hacia la parte externa del contenedor.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



- √ La cantidad máxima de parejas de cristal son 42 por contenedor.
- √ El paquete de hojas de cristal del contenedor que sale de la zona de descarga se debe cubrir con la sabana de plástico y amarrar o sujetar con los brazos articulados.
- √ El material decorado que sale de la línea de descarga debe ser revisado sobre el transportador de inspección en atributos, separar el material con defectos tales como: Faltante de pintura, poros, sombra, pintura fresca.
- √ La disposición del material separado debe ser definido por aseguramiento de calidad y/o el autocontrolador de la línea.

Al descargar el cristal de las decoradoras se hace una inspección visual al 100% sobre la línea para detectar algún defecto según la especificación del producto.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## **CURVADO**

Los parabrisas se curvan básicamente para tres finalidades en el automóvil:

1. Continuar la línea aerodinámica del automóvil, esto es, ofrecer menor resistencia para romper el viento.
2. Proporcionar mayores áreas de visibilidad.
3. Por estética.

El proceso de curvado consiste en calentar las dos hojas de cristal hasta una temperatura que permita que fluya y gracias a la gravedad, al molde y al arreglo de los elementos térmicos de los hornos, el cristal adquiera la geometría deseada.

El enfriamiento es gradual para evitar templar el material o choque térmico, por un cambio brusco de temperatura.

Para que las hojas no se peguen entre sí se aplica ya sea en corte o al pie del horno una capa muy tenue de talco separador. También es muy importante el desmoldante que se aplica a los moldes.

El rango de temperaturas al cual el vidrio se curva es de entre 560 a 600°C que corresponde a una viscosidad mucho más alta del orden de  $10^{8.5}$  a  $10^9$  poises y es en esta zona donde una variación pequeña de temperatura, causa muy grandes cambios de viscosidad de manera que si se enfría el vidrio, no se dobla suficiente y si está muy caliente, se dobla de más, se escurre y se cae de los moldes.

- **Preparación de la operación de curvado.**

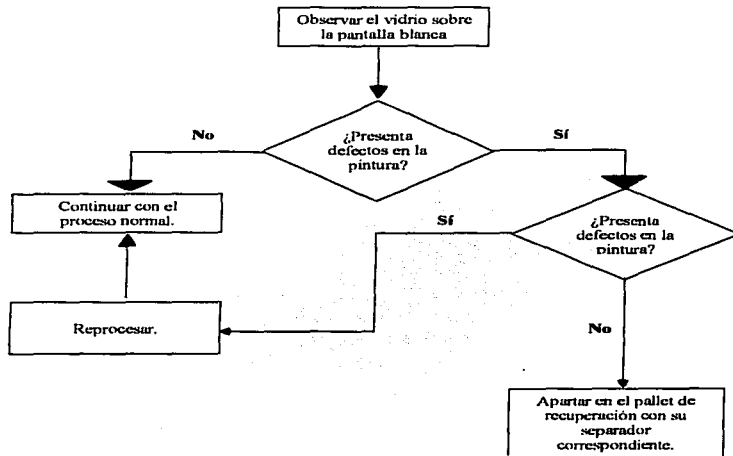
- ✓ Al inicio de cada corrida se deben cambiar los moldes.
- ✓ Dejar los moldes una vuelta para que se calienten.
- ✓ Aplicar desmoldante a todos los moldes.
- ✓ Comenzar la operación cuando el operador de la señal de inicio de operación.

- ✓ **Alimentación.**

- Aplicar desmoldante en toda la periferia del molde. Ver anexo I
- Tomar la hoja corta del vidrio a curvar según el modelo del molde a cargar.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

- Colocarla sobre la pantalla blanca para revisar que no presente defectos en la pintura (poros, tallones, faltante y/o contaminación), tomando como base el diagrama siguiente:



- Talquear la hoja larga en la maquina automática de acuerdo a lo siguiente:

1. las condiciones de la talqueadora deberán ser las siguientes:

Velocidad del transportador de 3 a 6 m/seg.  
Porcentaje de vibración 99%.  
Dosificador de 0.7 a 1.

2. El nivel de polvo en el deposito no debe estar por debajo de la señal "mínimo", en caso de que el nivel de polvo este por debajo de la señal, alimentar polvo en el deposito levantando la tapa de la parte superior, el polvo se encuentra en el almacén y el supervisor es responsable de abastecer cerca del horno.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

3. Antes de alimentar el polvo separador este deberá ser cribado por malla 170.
  4. Asegurarse que la válvula del distribuidor de mangueras permanezca abierta todo el tiempo, para evitar que el polvo forme grupos en el recipiente.
  - 5: Una vez talqueado el vidrio se deberá formar inmediatamente la pareja en la sección de alimentación.
  6. Para iniciar el talqueado, coloque la hoja larga sobre el transportador de la maquina, con la parte superior del parabrisas en dirección al horno.
  7. Una vez colocada la pieza sobre el transportador presionar el pedal para iniciar el talqueado.
  8. Alimenta la siguiente pieza hasta que el transportador se halla detenido por completo.
- Colocar la hoja larga en el banco para formar la pareja.
  - Colocar la hoja corta sobre la larga para formar la pareja inmediatamente después del talqueado.
  - Retirar la pareja del banco y llevarla hasta la zona de carga del horno.
  - Colocar y centrar el vidrio sobre el molde.
  - Reiniciar la operación desde el punto 1.
  - Continuar con la operación hasta que llegue el relevo del turno siguiente.
- ✓ **Descarga.**
- Revisar el estado general del molde para detectar algún defecto en el mismo.
  - Si existe algún defecto visible en el molde que afecte al producto, no cargarlo y reportarlo al operador para que sea suspendido.
  - Retirar la pareja de hojas de vidrio curvado del molde cuidando no golpearla, durante la descarga se debe limpiar la periferia de las hojas.
  - Si se observa algún defecto no reprocesable (caído, choque térmico, ondulaciones y/o recuperaciones) en el vidrio curvado a la salida del horno, desecha el vidrio.
  - Colocar la pareja curva en el contenedor (rack) correspondiente, según el modelo, y ponerle goma separadora si:

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Contenido del Descripción del proceso de fabricación de un parabrías.

- Es la primera pieza en el contenedor.
  - Es la última pieza en el contenedor.
  - La pieza anterior no tiene goma.
- Medir la curvatura central de cada pareja ala salida del horno sobre el contenedor. En el caso que se detecten desviaciones, dar aviso a aseguramiento de calidad para que proceda a la inspección 100% del material desviado y le disposición.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

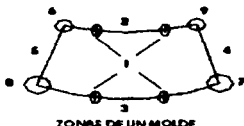
➤ **Acciones correctivas.**

<b>Efecto</b>	<b>Causa</b>	<b>Subsección</b>
<b>Caidos.</b>	Mala calibración.	Realizar la calibración tomando en cuenta los siguientes factores: Posición del molde en el trineo. Grado de curvatura del vidrio.
	Tironeos en la velocidad del transportador principal.	Solicitar servicio a mantenimiento mecánico para su reparación.
	Montaje del molde en posición inclinada.	Solicitar al departamento de moldes la colocación de topes o la nivelación del molde.
<b>Roto.</b>	Mala aplicación de desmoldante.	Dar aviso a los alimentadores para que tomen acción correctiva inmediata.
	Choque térmico.	Dar aviso al supervisor de horno y operador.
<b>Concha.</b>	Golpear el vidrio contra el molde y/o contra partes metálicas.	No golpear los vidrios.
<b>Ondulaciones.</b>	Moldes desajustados.	Detectar el molde que esta ocasionando el defecto y suspenderlo, dando aviso al supervisor de hornos.
	Acumulación excesiva de desmoldantes.	Limpia el canto de los moldes.
<b>Vidrios caidos.</b>	Mala calibración. Exceso de prensado.	Mejorar calibración de vidrio.
<b>Roto en prensa.</b>	Mala calibración. Exceso de prensado.	Mejorar calibración de vidrios. Disminuir altura de prensa.
	Falta de temperatura en el vidrio. Bastidor desnivelado.	Aumentar potencia en las celdas requeridas. Nivelación del bastidor.
Caen grumos sobre superficie del vidrio después de talquear.	Acumulación de polvo en la caseta de la talqueadora.	Limpia la caseta y la barra de espesas utilizando un cepillo de cerdas suaves.
Contaminación.	Guantes sucios.	Cambiar guantes.
Daños en la pintura cerámica.	Mala calibración.	Evitar el contacto de la ropa con la zona pintada.
<b>Marca de molde.</b>	Desplazamiento del vidrio sobre el molde.	
	Mala aplicación de desmoldantes.	Dar aviso a los alimentadores.

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

## ANEXO I

1. En la operación de alimentación del horno de curvado se debe aplicar el gis y/o Nitruro de Boro.
2. La aplicación de gis se puede hacer con el molde frío o caliente.
3. El desmoldante se debe aplicar en la totalidad de las periferias del molde.
4. En el caso del modelo A4 únicamente se le aplica Nitruro de Boro en Alcohol en radios y bisagras una sola vez y al inicio de cada turno.
5. El desmoldante debe ser aplicado de acuerdo a lo establecido a continuación:



ZONAS DE UN MOLDE

1. Bisagras.
2. Canto superior.
3. Canto inferior.
4. Canto lateral derecho.
5. Canto lateral izquierdo.
6. Radio superior izquierdo.
7. Radio inferior derecho.
8. Radio inferior izquierdo.
9. Radio superior derecho.

El horno de curvado está compuesto de secciones modulares (módulos), cada una tiene dos niveles:

- Nivel superior en el que el vidrio se está calentando
- Nivel inferior en el que el vidrio se está enfriando.

Existen tres clases de secciones modulares:

1. Secciones de enfriamiento con salida de aire interno en el cual el aire de enfriamiento para el vidrio es tomado del ambiente.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Sección enfriamiento – precalentamiento por convección en el cual la circulación de aire enfría los vidrios en el nivel inferior y transfiere simultáneamente el calor al nivel superior.

2. Sección de precalentamiento eléctrico, aquí las resistencias calientan al vidrio en el nivel superior y en donde los vidrios y los moldes en el nivel inferior se enfrían por convección que se toma de los vidrios en el nivel superior.

Zona de curvado, en el cual los vidrios se curvan en el nivel superior y son enfriados bajo control.

3. Zona de calentamiento adicional.

Sección de ascensor de curvado, en el cual el vidrio es bajado a la transmisión inferior para ser enfriado.

#### **Descripción del sistema del horno de curvado.**

##### **Estación de carga – descarga.**

Los vidrios curvados son removidos del molde en la estación de carga – descarga. Una nueva pareja de vidrios deben ser cargados al molde, o el molde debe ser cambiado cuando sea necesario para los siguientes cristales.

##### **Ascensor de carga.**

El ascensor de carga mueve el vagón hacia el nivel superior del horno después de que el vagón ha sido desconectado de la transmisión principal. La cortina de acero del precalentamiento eléctrico por convección está conectada al mecanismo del ascensor de carga y se levanta a medida que el vagón prosigue.

El vagón avanza por la transmisión superior y antes de realizar el primer movimiento de la transmisión de vagones en línea o general, se une a ésta usando el manejador de cierre.

El ascensor de carga desciende a la posición inferior. Cuando la transmisión inferior ha realizado sus movimientos y el vagón está en la zona de carga alcanzando su fin de límite.

##### **Sección de enfriamiento.**

En la sección de enfriamiento, los vidrios curvados, en el nivel inferior son enfriados por medio de aire que es succionado del ambiente por medio de ventiladores. El aire de enfriamiento recircula dentro del horno.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



**Secciones de enfriamiento – precalentamiento por convección.**

En las secciones de precalentamiento por convección, los cristales en el nivel inferior son enfriados por circulación de aire por ventiladores. El aire cálido transfiere el calor a los vidrios en el nivel superior concluyendo en el curvado. Como una opción, es posible, tomar parte de la alimentación de aire frío del medio ambiente. Así, la temperatura de los vidrios curvados saldrá a temperaturas menores. Para este caso, existen salidas en los techos de las secciones de precalentamiento por convección y el exceso de aire fluye por ahí.

El techo de la sección de precalentamiento por convección que está muy cerca de la primer zona de precalentamiento eléctrico tiene salidas equipadas con trampas para liberar el aire caliente. La velocidad de enfriamiento de los cristales es controlada por medio de éstas trampas con actuadores.

**Secciones de precalentamiento eléctrico.**

Los cristales se calientan en el nivel superior por medio de las resistencias que se encuentran en el techo. Las resistencias de cada sección son controladas con un control de temperatura tipo PID. Los espirales de las resistencias pueden ser cambiados desde afuera del horno.

**Secciones de curvado.**

En las secciones de curvado en el nivel superior, las resistencias en el techo calientan los cristales y por consecuencia el cristal se curva.

En el nivel inferior, los vidrios son enfriados por medio de ventiladores controlados. En la zona de curvado las resistencias están en dirección transversal al horno de curvado. El control de las resistencias es simétrico a la línea central del horno. Es muy importante que los moldes sean colocados para viajar exactamente con respecto a la línea central del horno.

La temperatura de los cristales curvados es medida directamente de la superficie del cristal mediante un pirómetro.

En caso de que una resistencia se dañe todas las resistencias deben ser cambiadas.

**Sección de calentamiento adicional.**

En la sección de calentamiento adicional, el cristal se mantiene a una temperatura constante por determinado periodo de tiempo, para permitir que la temperatura que requiere el vidrio llegue aún después de pasar por la sección de curvado.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### Ascensor de curvado.

Al final de la zona de curvado se encuentra el ascensor de curvado el cual traslada los cristales curvados vagón por vagón del nivel superior al inferior.

CARGANDO CALENTANDO CURVANDO TEMPLANDO ENFRIANDO DESCARGANDO



#### • Inspección de producto curvado

##### Inspección dimensional contra escantillón

Esta inspección se realiza a una pieza de cada modelo por turno.

- ✓ Tomar el producto del proceso y colocarlo sobre el escantillón.
- ✓ Hacer que el producto este en contacto con los topes que se indican en el escantillón o en la hoja de descripción del producto.
- ✓ Para aquellos modelos que no se indiquen topes o marcas de referencias laterales el producto será repartido en los extremos y se verificaran ambos, para determinar cual es su condición dimensional en base a la hoja de descripción del producto.
- ✓ Medir la variación a lo largo y ancho, el valor puede ser positivo o negativo dependiendo de la dimensión del producto contra el borde o línea de referencia del escantillón. Usar la herramienta o equipo indicado en el anexo. (ver figuras)

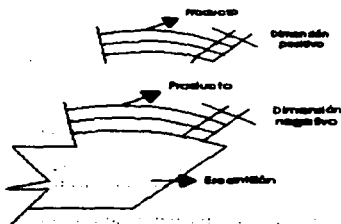


TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

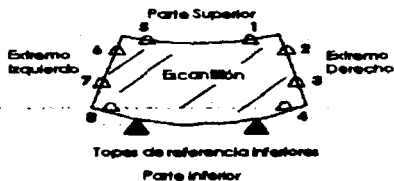
### Puntos de diamante (dimensión.)

Esta inspección se realiza a 10 piezas por turno.

- ✓ Tomar el producto del proceso y colocarlo sobre el escantillón.
- ✓ Verificar que el producto esté en contacto con los topes inferiores de apoyo.



- ✓ Repartir el producto en los extremos para evaluación dimensional.
- ✓ Medir la dimensión en los puntos de diamante indicados en el escantillón. (Ver figura)

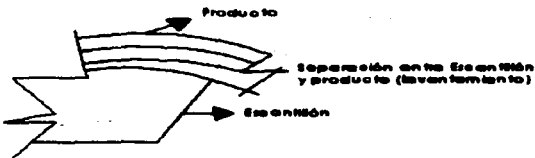


TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**Levantamiento contra escantillón.**

Esta inspección se realiza a 5 piezas de equipo original de cada modelo por turno.

- ✓ Tomar el producto del proceso.
- ✓ Colocar el producto sobre el escantillón del modelo correspondiente.
- ✓ Emparejar el producto contra los topes, según lo indique la hoja de descripción del producto.
- ✓ Medir la separación o levantamiento que existe entre la pista del escantillón y el producto. Use la herramienta o equipo indicado en el anexo. Ver figuras.



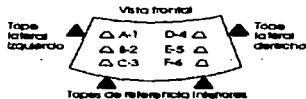
ESTA TESIS NO SALE  
DE LA BIBLIOTECA

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**Puntos de diamante (curvatura lateral.)**

Esta inspección se realiza a 10 piezas por turno.

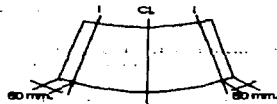
- ✓ Calibrar los indicadores digitales.
- ✓ Colocar el producto sobre el escantillón del modelo correspondiente.
- ✓ Emparejar el producto contra los topes, según lo indique la hoja de descripción del producto.
- ✓ Activar el interruptor de medición del sistema electrónico.
- ✓ Tomar la lectura de cada punto de diamante.



**Curvaturas.**

Esta inspección se realiza al 100 % al inicio de corrida 1 vuelta por turno.

- ✓ Tomar el producto del proceso.
- ✓ Tomar la regla para medir curvaturas y apoyarla en forma vertical tocando el canto superior e inferior en la parte central del producto.
- ✓ Tomar la regla de precisión (escala metálica) o indicador digital y medir la distancia que existe entre regla y el producto en la parte central y extremas complementarias. Use la herramienta o equipo indicado en el anexo (ver figuras)



**CL = Curvatura central del producto.**  
**I = Curvatura lateral izquierdo y derecho.**

**Nota:** Las curvaturas extremas o laterales son tomadas para control interno y solo son para referencia del proceso.

Vista de perfil



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**Anexo.**

<b>Característica</b>	<b>Dispositivo</b>	<b>Equipo o herramienta de medición</b>	<b>Condiciones para la evaluación</b>	<b>Acciones a tomar ante desviaciones.</b>
<b>Inspección dimensional contra escantillón</b>	<b>Escantillón</b>	<b>Indicador de cuadrante</b>	<b>Escantillón sin daños y calibrado</b>	Si el escantillón está dañado o no está certificado o calibrado, notificar al departamento de manufactura y no liberar la corrida. Si la herramienta o el equipo de medición se encuentra dañado o descalibrado notificar a metrología para sustitución
<b>Levantamiento contra escantillón</b>		<b>Regla de precisión (escala metálica)</b> <b>Calibrador tipo aguja</b> <b>Calibrador tipo cuña</b>		
<b>Puntos de diamante</b>		<b>Indicadores digitales</b>		
<b>Curvaturas</b>	<b>Regla para medir curvaturas</b>	<b>Regla de precisión (escala metálica o indicador digital)</b>	<b>Zona de inspección iluminada</b>	

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

### **POLIVINIL BUTIRAL (PVB)**

El espesor manejado en el PVB es de 0.76 mm (0.30") para parabrisas; éste espesor fue determinado para evitar que ante un impacto, si la persona llega a golpear en el cristal, la cabeza penetre a través del parabrisas y llegue a degollarse, por ello durante la expansión se debe evitar adelgazarse el PVB más allá de 0.71 mm.

El PVB por su formación tiene un grado de adhesión que puede ser modificado principalmente por el contenido de su humedad y por su formulación química.

El exceso de humedad produce una falta de adhesión en el ensamble y que después de cierto tiempo de estar expuesto a la acción de los rayos solares y a temperaturas de zonas tropicales, húmedas o secas, se manifiestan en forma de burbujas o de laminación (separación del PVB con las hojas de vidrio.)

La falta de humedad en el PVB hace que el plástico llegue a cristalizarse aumentando la adhesión entre las hojas de cristal, y pierda en la pieza su propiedad de amortiguador de impactos, además de que al romperse será en fragmentos grandes unidos que pueden dañar al conductor.

Al momento de expandir el PVB pueden presentarse adelgazamientos excesivos no deseados debido a jalones en la hoja; la variación de espesor en el PVB produce distorsión, que es una pérdida de la eficiencia de la visibilidad, esto es deformación de imágenes vistas a través del parabrisas.

Debido a esto el PVB es manejado en cuartos con control de humedad para evitar que absorba o ceda humedad, y con control de temperatura para evitar que se pegue. Después de dos horas de reposo en estas condiciones, el PVB estará en condiciones óptimas para el ensamble.

- **Alimentación y preparación del PVB.**

Para que el PVB esté en óptimas condiciones de uso es acondicionado en un horno o en bancos de resistencias para liberar los esfuerzos de tensión que el PVB lleva por efecto del enrollamiento, es calentado (en rodillos calientes) y estirado con fuerzas distintas debido a la diferencia de velocidades tangenciales que proporciona un rodillo cónico de abertura variable, el PVB queda montando sobre el cono donde se le aplica aire frío para fijar su nueva forma; entre más fría quede la hoja mejor será el formato de la pieza, con esto se evitan defectos como el plástico metido al momento de la proadhesión.

- Los parámetros que se deberán ajustar, según el tipo de línea y tipo de PVB se dan en las siguientes tablas:

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



**Cambios en la Descripción del proceso de fabricación de un acetato.**

<b>Línea</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Velocidad de línea (m / min)</b>
1	70	0 - 10

<b>Línea</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Humedad %</b>	<b>Presión diferencial</b>	<b>Velocidad de Línea (m/min)</b>
2	41	22	0.02	0 - 10

<b>Temperatura cámara Refrigerada (°C)</b>
4 - 10

- **Preparación de la operación.**
  - ✓ Al inicio de turno, asegurar la limpieza de su zona de trabajo.
  - ✓ Revisar el inventario físico del material en proceso.
  - ✓ Verificar que el ancho del rollo a procesar, así como la medida de banda correspondan a la medida indicada en la etiqueta.
  - ✓ Asegurar que cuando el PVB sea para expandir, el lado de la banda se posicione de forma que ésta pase sobre el diámetro inferior del cono expansor.
  - ✓ Limpiar desde el inicio de apertura de entrada hasta los rodillos calientes y en todas las partes que tengan contacto con el PVB, así como micas y lámparas.
  - ✓ Encender resistencias para la línea 1.
  - ✓ Ajustar las condiciones de proceso a las recomendaciones.
  - ✓ Ajustar parámetros en la cámara de acondicionamiento.
  - ✓ Verificar número de rollo y asegurarse de que no haya caducado así como ancho de rollo en la salida de la cámara de acondicionamiento que corresponda a la indicada en la etiqueta.
- **Operación.**
  - ✓ Monitorear continuamente el paso de la película de PVB que no se presente algún doblamiento o colgamiento desde la alimentación hasta el paso por los rodillos calientes.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

- ✓ Monitorear continuamente la temperatura del PVB antes de entrar a los rodillos calientes, el rango al cual debe mantenerse es de  $50 \pm 5^{\circ}\text{C}$  para la línea1.
- **Método de trabajo para PVB.**
- ✓ Verificar que los rollos a procesar tengan etiqueta de aceptado.
- ✓ Los rollos de PVB abastecidos, deberán almacenarse inmediatamente en la cámara de refrigeración, sólo dejando afuera el que se procesará primero.
- ✓ En la línea 1 encender el horno.
- ✓ Colocar el rollo programado en el polipasto y llevarlo a la entrada del horno.
- ✓ Depositar el carro base y alinearlos para comenzar a procesarlo.
- ✓ Unir el rollo con la guía.
- ✓ Ajustar la ruta del PVB dependiendo de si será expandido o no.
- ✓ Medir la entrada del rodillo caliente el ancho del listón; este debe ser igual, pero no menor al ancho original, de no darse tal situación, informar al cortador para que corrija la velocidad de la línea.
- ✓ Unir los rollos que se requieran uno tras otro. Desenrollar de 5 a 10 metros al final del que se está procesando, limpiar con la mano los extremos y aplicar alcohol a una franja no mayor a 15 cm y empalmar utilizando la plancha.
- ✓ En caso de que se tenga que procesar más de un rollo, se realizará lo siguiente: cuando se haya consumido aproximadamente  $\frac{1}{4}$  de rollo, sacar otro rollo de la cámara de refrigeración, colocarlo en el polipasto y llevarlo al área de desenrollado, para así, tenerlo preparado.
- ✓ En caso de que la cantidad de parabrisas existente sea menor a la requerida para que se procese todo el rollo, hacer cálculo para cortar la cantidad exacta de metros.
- ✓ El sobrante del rollo envolverlo perfectamente y guardarlo en cámara de refrigeración.
- **Operación de expandido y corte de PVB.**

Los parámetros que se deberán ajustar, son los siguientes:

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Temperatura °C			Velocidad de cono m/min		Velocidad de línea m/min
Rodillo grande	Rodillo chico	Mesa	Expandido	Recto	
97 ±5°C	97 ±5°C	0 a 10	variable	variable	0 a 10

- **Condiciones ambientales:**

El cuarto de corte de PVB deberá presentar una humedad relativa de 20 a 30% y una temperatura ambiente entre 13 y 19 °C.

- **Preparación de la operación.**

- ✓ Al inicio de turno, limpiar perfectamente los rodillos calientes, las tablas, la superficie del cono expansor y las mesas: fría, de monitoreo y de corte.
- ✓ Asegurar que la mesa fría y rodillos calientes cumplan con las temperaturas especificadas.
- ✓ Preparar sobre la mesa el modelo que se va a expandir y cortar.

- **Operación.**

- ✓ Verificar que la película de PVB que se va a cortar no presente contaminación (resina quemada u otra sustancia extraña), sucio o tallón, de presentarse, eliminar ese tramo.
- ✓ Monitorear la caída de la banda de las piezas cortadas contra el mylar auxiliar, al inicio, a la mitad y al final de cada rollo procesado.
- ✓ Monitorear cada 5 rollos las condiciones del proceso y ambientales.

- **Método de trabajo.**

- ✓ Se arranca la línea y se ajustan los parámetros.
- ✓ Ajustar la abertura del cono expansor al modelo que se va a procesar.
- ✓ Recibir el rodillo caliente, la punta del PVB y pasarla por el cono logrando que asiente en toda su superficie.
- ✓ Cortar la primera pieza y checarla contra el mylar auxiliar.
- ✓ Cortar las demás piezas tomando como referencia la primera.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

- ✓ Si el modelo lleva banda, verificar que ésta cumpla con las dimensiones especificadas.
- ✓ Ajustar la medida del largo cuando sea necesario (1.5 cm. por lado.)
- ✓ Cada 15 a 20 piezas retirar el PVB y colocarlo en la tabla no excediendo los 17 cm. de altura de la pila, hasta terminar el rollo; Cambiar la tabla.
- ✓ Recuperar los extremos de las uniones de rollo de química M. Eliminar la parte sombreada de PVB y cortar en tiras la parte clara. Asegurarse de que las tiras de PVB claro que se recuperan no presenten contaminación por: polvo, PVB sombreado, PVB de color, grasa, tinta de pluma, resina quemada, unión de rollo, alcohol, resina sin fundir, etc.

• **Inspección de PVB procesado.**

Esta inspección se realiza a una muestra por cada rollo.

**Detección de defectos.**

- ✓ Realizar la inspección sobre una pantalla iluminada (Ver anexo) y marcar los defectos encontrados en el polivinil butiral.
- ✓ Separar el PVB con defectos para ser reclamados al proveedor.

**Inspección de Humedad del PVB.**

- ✓ Tomar una probeta de cada rollo procesado, anotar sobre la misma el número de rollo correspondiente, medida, y si fue expandido o recto.
- ✓ Llevar la probeta al Laboratorio de pruebas físicas, colocándola en el analizador de humedad, anotar el resultado en la misma probeta y registrar los datos en la gráfica correspondiente.

**Verificación de la expansión del polivinil butiral.**

- ✓ Colocar y centrar el PVB, expandido sobre el mylar del modelo correspondiente.
- ✓ Verificar que la banda azul del PVB, esté dentro de las marcas de referencia (laterales y centrales) del mylar.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**Continúe por Descripción del proceso de fabricación de un parabrisa.**

La película de polivinil debe cumplir todos los requerimientos descritos en las siguientes tablas:

Defecto	Especificación
% de contenido de humedad en todos los colores y tipos.	0.38 a 0.54 % uniforme máximo del rollo

Prueba	Especificación
Adhesión Pummel en la zona clara y en la zona de banda en el caso de material sombreado.	Grado 3 mínimo, grado 6 máximo.

**Anexo**

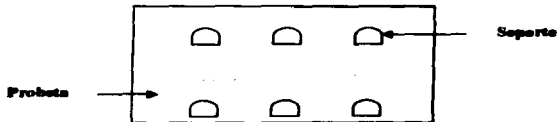
Característica.	Dispositivo.	Equipo o herramienta de medición	Condiciones para la evaluación.	Acciones a seguir ante desviaciones.
Defectos visuales (atributos)	Pantalla transparente.	Regla de precisión (escala metálica)	Pantalla iluminada.	Si la herramienta o equipo de medición se encuentran dañadas o descalibradas notificar a metrología.
Humedad del poli vinil butiral		Analizador de humedad (cuadra beam)	Analizador de humedad (cuadra beam) funcionando y calibrando.	

**Preparación de perilla**

- **Recibo de soporte de espejo retrovisor sin adhesivo.**
- ✓ Cada lote es recibido con un certificado de calidad.
- ✓ Se toman diez muestras en forma aleatoria por embarque.
- ✓ Evaluar dimensionalmente los soportes con base a requerimientos especificados.
- ✓ Los soportes deben conformar con los requerimientos indicados en la hoja de especificación de materia prima, para cada tipo de soporte.
- ✓ Se inspeccionan 10 muestras por cada número de parte, cada lote recibido.
- **Recibo de acetato.**
- ✓ Este acetato es suministrado por el proveedor Monsanto.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

- ✓ Seleccionar cuatro cuñetes en forma aleatoria del lote recibido.
  - ✓ Tomar un rollo de cada cuñete.
  - ✓ Cortar de cada rollo una muestra de aproximadamente 40.0 cm. de longitud.
  - ✓ Poner cada muestra sobre la superficie plana del indicador y tomar una lectura al inicio y posteriormente a cada 10 cm. a lo largo.
  - ✓ Se inspeccionan 4 muestras cada lote recibido.
- **Recibo de soporte de espejo retrovisor con adhesivo 3M.**
  - ✓ Este soporte es suministrado por el proveedor 3M.
  - ✓ Cada lote es recibido con un certificado de calidad.
  - ✓ Realizar inspección visual de las siguientes características:
    - Estado del contenedor.
    - Estado de las cajas.
    - Estado de los sellos.
  - ✓ Atemperar mínimo una hora antes de su uso a temperatura ambiente.
  - ✓ Pegar los soportes bajo condiciones de proceso, en probetas de 30 X 60 cm. de acuerdo a la siguiente figura.



- ✓ Atemperar las probetas a temperatura ambiente por un tiempo mínimo de una hora.
- ✓ Realizar la prueba de torque iniciando de 0.0 lb – in hasta la falla.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

✓ Se inspeccionan una vez 6 piezas por mes.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

• **Condiciones de proceso.**

Las condiciones de proceso que deberán tomarse en cuenta se dan en los siguientes cuadros y están en función del tipo de adhesivo.

Tabla 1. Parámetros de acondicionamiento según el tipo de adhesivo.

Parámetro	Perilla tipo "N"	Perilla honda	Perilla 3M	Acetato WG-21 (antes de troquelar)	Perilla acetato WG-21
Lugar de acondicionamiento	Horno # 2	mesa	mesa	Gancho y/o caja porta-rollo	Horno # 2
Temperatura de acondicionamiento (°C)	40 - 60	Ambiente	Ambiente	Ambiente	40 - 60
Tiempo de acondicionamiento (hrs.)	2 - 24	16 - 24	1 - 12	2 - 24	2 - 24

Tabla 2. Temperaturas en equipos.

Parámetros	Horno # 1	Horno # 2	Refrigerador
Temperatura (°C)	75 ± 10	50 ± 10	4 - 10

• **Preparación de la operación.**

- ✓ Al inicio de turno, asegurar la limpieza de su área de trabajo y verificar condiciones de proceso de equipos, ambiente y tiempos de salida del material acondicionándose.
- ✓ Confirmar con el supervisor y/o el operario de línea de PVB, la programación de los lotes de perilla por preparar y/o acondicionar.
- ✓ Por ningún motivo se tocará la superficie de los adhesivos sin tener puestos los guantes de tela de punto.
- ✓ Mantener el acetato de la perilla 3M en refrigeración antes de ser preparada.
- ✓ Preparar y liberar el material con el criterio de primeras entradas - primeras salidas.
- ✓ Se debe asegurar que las perillas a procesar, cumplan con los requerimientos de acondicionamiento, alimentando a los operadores de la máquina pega perilla, las que primeramente se acondicionaron.

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN



- **Operación.**
- √ Monitorear tres veces por turno la temperatura de los hornos, la del refrigerador y los tiempos de acondicionamiento de las perillas.
- **Método de trabajo para el lavado de perilla.**
  1. Llenar una cubeta hasta  $\frac{3}{4}$  con agua bidestilada.
  2. Agregar una medida de detergente.
  3. Colocar la cubeta en la parrilla y encenderla.
  4. Esperar a que hierva el agua.
  5. Colocar aproximadamente 100 perillas dentro de la cubeta cuando el agua está hirviendo.
  6. Sumergir la canastilla dentro de la cubeta cuando el agua está hirviendo.
  7. Mover la canastilla y escurrir (no permitir que al escurrir, se sequen las perillas.)
  8. Pasar la canastilla a la cubeta de agua bidestilada.
  9. Mover la canastilla para eliminar los residuos de detergente.
  10. Sacar la canastilla y escurrir.
  11. Pasar a la siguiente cubeta con agua bidestilada.
  12. Mover la canastilla para eliminar los residuos de detergente.
  13. Escurrir y vaciar las perillas en una charola.
  14. Secarlas con una pana limpia.
  15. Meter las perillas a granel al horno #1.
  16. Estas actividades pueden hacerse con varios días de anticipación antes de troquelar el acetato.)

- **Método de trabajo para el acondicionamiento de acetato WG-21 antes de troquelar.**
  1. Tomar un rollo de acetato de su bolsa.
  2. Regresar la bolsa debidamente sellada (dentro de su cuñete) al refrigerador.
  3. Colocar el rollo de acetato en una charola y dejarlo acondicionado a temperatura ambiente.
  4. Después de 2 a 8 horas de acondicionamiento, colocar el rollo de acetato dentro de la caja porta - rollos.
  5. Cuando ya se vaya a troquelar el acetato, se enhebrará la punta inicial sobre las guías, teniendo cuidado de que la cara rugosa del acetato sea la que quede adherida a la cara de la perilla.
  6. Los sobrantes de rollo deberán regresarse a la bolsa y sellarse perfectamente antes de almacenarse en el refrigerador.
  
- **Método de trabajo para perilla con acetato.**
  1. Accionar los botones de encendido para iniciar la operación de troquelado de acetato.
  2. Tomar una charola con perillas (máximo 100) y colocarla en el atemperador.
  3. Colocar el punzón y el nido que le corresponda a la perilla que se va a troquelar.
  4. Troquelar la primera pieza y ajustar moviendo el nido (el acetato deberá quedar centrado en toda la periferia.)
  5. Troquelar las perillas y colocarlas sobre la charola.
  6. En el caso del acetato para perilla sin troquelar se tendrá que preparar de la siguiente forma:
    - Tomar del refrigerador un rollo de acetato.
    - Cortar cuadros de aproximadamente 1.5 X 2 cm. (la cantidad necesaria para la corrida.)
    - Colocar los cuadros en una charola y continuar con los siguientes pasos.
  7. Cada charola que se llene deberá ser identificada con una papeleta.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

8. Meter la charola al horno #2; Las perillas procesadas (o los cuadros de acetato) se acondicionarán (dentro del horno #2), un mínimo de dos horas antes de ser liberadas al horno #3 o #4 de la línea, según corresponda.
9. En todo caso se deberá respetar la hora de entrada y salida que indique la papeleta y el tiempo de acondicionamiento.

• **Método de trabajo para perilla con adhesivo.**

1. La perilla con adhesivo 3M se acondicionará a temperatura ambiente. Se deberá asegurar que el material que se va a procesar esté dentro de la fecha de caducidad.
2. El material estará acondicionado cuando presente la temperatura ambiente y no muestre indicios de condensado (agua) sobre la perilla o empaque.
3. Sólo se liberará el material que cumplan con el tiempo de acondicionamiento y en la cantidad necesaria para procesar el lote de parabrisas.

## **ENSAMBLE.**

El proceso de ensamble consiste en la unión de las dos hojas de cristal previamente curvadas por medio de una hoja de plástico o PVB.

Existen dos formas de hacer el ensamble preliminar de las dos láminas curvadas y la película plástica:

- **Ensamble preliminar por sistema de vacío.**
- **Ensamble preliminar por sistema de prensas.**

### **Ensamble preliminar por sistema de vacío:**

Se coloca alrededor de las hojas una junta que se conecta a un sistema de vacío para extraer el aire atrapado en las hojas, mientras se calienta de 80 a 100°C aproximadamente para inducir la adherencia.

### **Ensamble preliminar por sistema de prensa:**

Se calientan las hojas en un horno y se hace pasar a través de unos rodillos o prensas, cuyo objetivo es presionar el parabrisas para inducir la adhesión y expulsar el aire que se encuentre atrapado en la intercapa.

Los hornos utilizados para calentar las hojas pueden ser eléctricos, infrarrojos o con un sistema de convección forzada (aire caliente.) Las prensas pueden ser sólidas o con múltiples cilindros.

### **Sistema 2 hornos – 2 prensas.**

Este acomodo es estándar. La intención de tener 2 hornos es separar y controlar independientemente la eliminación de aire y el sellado. La mayoría de las veces, la extracción de aire ocurre en el primer horno y la primera prensa y el sellado en el segundo horno y la segunda prensa. La diferencia básica entre ambos hornos es la temperatura pues se necesita mayor temperatura para el sellado que para la extracción de aire.

El laminado se calienta en el primer horno de 60 a 85°C y pasa por la primera prensa. En este punto, el control de la temperatura es crítico, ya que de bajas temperaturas superficiales, resultan delaminaciones y a altas temperaturas pueden sellar el parabrisas antes de tiempo, dejando aire atrapado en la intercapa.

Después, el laminado se alimenta al segundo horno. Aquí, la temperatura del cristal alcanza un rango de 65 a 120°C. Posteriormente, el laminado pasa por una segunda prensa para una adhesión final y sellado, para luego llegar a la máquina de inducción, en donde le es colocada la perilla.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Es muy importante tener en cuenta los siguientes factores que afectan la adhesión del PVB al cristal:

**Temperatura del PVB:** si la temperatura del PVB aumenta, también aumenta su adhesión. Si el PVB está caliente al momento de ensamblarlo, las hojas comenzarán a pegarse entre sí, dificultando su manejo.

**Temperatura del vidrio:** la temperatura del vidrio tiene que ser lo suficientemente elevada para iniciar el proceso de adhesión del PVB. Si el vidrio se encuentra muy caliente, se incrementará mucho la adhesión del PVB. Esto puede causar sellado prematuro en el parabrisas al salir de la prensa 1, evitando que se expulse todo el aire, al continuar por proceso normal, ocasionando burbuja.

**Humedad:** si la humedad del PVB aumenta, disminuye su adhesión. Si tenemos baja adhesión, el parabrisas puede presentar problemas de delaminación. Si tenemos alta adhesión, el parabrisas presenta problemas de fragilidad, se hace más frágil.

**Rugosidad del PVB:** mientras menor sea la rugosidad del PVB, aumentará la deaeración. Esta variable depende del proceso de prensado. Algunas prensas utilizan un valor alto de rugosidad y otras, para facilitar el trabajo de la prensa.

**Principio de potencia:** esto se refiere al porcentaje con el cual están funcionando las lámparas del horno. Si el porcentaje está al 100% la lámpara se verá incandescente y la cantidad de calor que producirá será grande. Conforme este porcentaje disminuye, la cantidad de calor será menor.

- **Operación de limpieza de cristal curvado.**
- **Preparación de la operación.**
- ✓ **Al inicio del turno, asegurar la limpieza de su zona de trabajo.**
- ✓ **Preparar la tela (pana) de la siguiente forma:**
  - **Doblar la tela de pana por la mitad, de modo que la cara scanalada quede al aire (lado derecho de la tela al aire) y hacer otros dos dobleces para que queden seis caras útiles para limpiar.**
  - **Humedecer la tela con agua desmineralizada (bidestilada) usando el atomizador hasta el punto en que al pasarla por la superficie del cristal, limpie sin dejar huellas de agua o talco.**

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

• **Operación.**

1. Monitorear al 100 % la superficie del material al mismo tiempo que se limpia. En caso de encontrar partículas extrañas (puntos negros, estaño, vidrio, etc.) o conchas, marcar con crayón la parte exterior (por el lado que no lleva talco.)
2. El material marcado se deja en el transportador para que posteriormente sea separado.

• **Método de trabajo.**

1. Para realizar una buena limpieza en la superficie del cristal, se deberá tomar la tela con la mano extendida, de tal forma que el apoyo que se realice al limpiar sea lo más amplio posible.
2. Limpiar en forma circular de manera continua (no hacerlo en zigzag) y al final deslizar la tela, sin levantarla, hasta afuera de la superficie.
3. Cuando la tela no elimine adecuadamente el talco humedecer en forma periódica usando el atomizador.
4. Cambiar la cara de la tela cuando se sature de talco.
5. Cuando las seis caras de la tela están saturadas de talco, cambiarla por otra nueva.
6. Se deben evitar el choque de las panas sobre el parabrisas durante la operación mediante la coordinación entre los operarios.

Al realizar esta operación, simultáneamente se realiza una inspección visual del 100%.

• **Operación de ensamble por prensas y vacío.**

• **Preparación de la operación.**

- ✓ Al inicio del turno, asegurar la limpieza de su zona de trabajo.
- ✓ Verificar en la hoja de descripción del producto, los requerimientos de la banda sombreada.
- ✓ Limpiarse las manos, utilizando las toallas prehumedecidas, antes de comenzar a trabajar con el PVB.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

• **Operación.**

- ✓ Monitorear al 100 % la superficie del material al tiempo que se ensambla. En caso de encontrar partículas extrañas (puntos negros, estaño, vidrio, etc.) o conchas, marcar con crayón la parte exterior.
- ✓ El material marcado se deja en el transportador para que posteriormente sea separado.
- ✓ Verificar que no se produzca sucio por tinta de sello durante la operación.
- ✓ Monitorear al menos tres veces la localización de la banda sombreada, durante la corrida.

• **Método de trabajo.**

- ✓ Reacomodar el PVB de tal forma que cubra perfectamente toda el área del parabrisas y cuando sea con banda sombreada, ubicarla según lo establecido en la hoja de descripción del producto.
- ✓ Tomar la hoja larga apoyándola por fuera, por los cantos, así como lo menos posible por la parte interior.
- ✓ Colocar la hoja larga sobre la hoja corta formando un sándwich y que al hacerlo queden las hojas al ras sin traslape.

• **Operación de rasurado de excedente de PVB.**

• **Condiciones de proceso.**

- ✓ Después del rasurado, el parabrisas deberá exhibir los siguientes sobrantes (pestañas) dependiendo de la zona especificada:

Línea	Lados largos (superior e inferior)	Lados cortos
	Sim incluir los radios	Incluyendo los radios
Prensas	De 0 a 3 mm aprox.	De 0 a 3 mm aprox.
Vacío	De 0 a 3 mm aprox.	De 0 a 3 mm aprox.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

- **Preparación de la operación.**
  - ✓ Al inicio de turno asegurar la limpieza de su zona de trabajo.
  - ✓ Allegarse las bolsas de polietileno para desecho.
  - ✓ Afilar la charrasca con el esmeril.
  - ✓ Mantener la charrasca filosa, pasándola por la lija periódicamente.
- **Operación.**
  - ✓ Monitorear al 100% la superficie del material. En caso de encontrar tinta de sello. Partículas extrañas (puntos negros, estaño, vidrio, etc.) o conchas, marcar con crayón la parte exterior. En caso de que el PVB presentara algún defecto, desecharlo, sustituirlo por otro y continuar la operación.
  - ✓ El material marcado se deja en el transportador para que posteriormente sea separado.
- **Método de trabajo.**
  - ✓ Iniciar el rasurado del excedente del PVB hundiendo la punta de la charrasca sobre el plástico aproximadamente hasta la mitad de la periferia del parabrisas.
  - ✓ El excedente restante debe ser totalmente rasurado por el otro operador.
  - ✓ Colocar el recorte del PVB en un gancho. Este recorte no deberá presentar contaminación por: polvo, PVB sombreado, PVB de color, grasa, desmoldante, tinta de pluma, etc.
  - ✓ Las bolsas llenas de recorte sombreado, PVB de color, se deberán depositar en la zona de desecho de PVB al final del turno o en algún paro de la línea.
- **Operación de prensado No. 1.**
- **Condiciones de proceso.**

Condición	Especificación
Temperatura interna de horno (°C)	De apagado a 450 ± 100
Temperatura superficial (°C)	80 ± 10
Velocidad de prensa (m/min)	Máximo 13.5

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



- **Preparación de la operación.**
  - ✓ Al inicio del turno, asegurar la limpieza de su zona de trabajo.
  - ✓ Se deberá observar que no existan sellados prematuros durante el proceso debido al exceso de temperatura.
  - ✓ Se deberá asegurar que el horno tenga la condición adecuada para el inicio de la producción, indicada en las condiciones del proceso.
  - ✓ Al inicio de turno, se deberá verificar visualmente que todas las resistencias de los bancos del horno estén encendidas.
  - ✓ Al inicio de turno verificar el estado físico de rodajas.
- **Operación.**
  - ✓ Monitorear las condiciones de proceso por lo menos tres veces por corrida (durante todo su desarrollo) y ajustar cuando se presente alguna variación.
  - ✓ Monitorear de manera visual las características del producto por lo menos tres veces por corrida (al inicio, a la mitad y antes de finalizar), verificando que no se originen sellados prematuros y faltante de PVB por exceso de temperatura.
  - ✓ Monitorear visualmente tres veces por turno (al inicio, a la mitad y antes de finalizar) que todas las resistencias de los bancos del horno estén encendidas.
- **Método de trabajo.**
  - ✓ Poner a funcionar el transportador de ensamble, la prensa y el horno de preadhesión No. 1.
  - ✓ Ajustar el set point de temperatura que corresponda al tipo de PVB que se va a procesar.
  - ✓ Ajustar la inclinación de prensa y el banco de entrada de cuerdo al modelo de parabrisas. Debe lograrse que la rodaja motriz coincida con el borde de la esquina inferior izquierda.
  - ✓ Verificar que la temperatura superficial corresponda a lo especificado.
  - ✓ Ajustar el banco de salida a una inclinación tal que cuando la prensa se incline en sentido del flujo, el extremo inicial se apoye sobre las bandas del banco y el extremo final salga libremente de las rodajas (evitando la caída.)

Contenido según Descripción del proceso de fabricación de un parabrisas.

- ✓ Regular la alimentación de los parabrisas a la prensa, manipulando el control de velocidad del transportador del cuarto de ensamble (espaciar la llegada de los parabrisas a la prensa según se necesite.)
- ✓ Tomar el parabrisas orientándolo de tal forma, que la esquina inferior entre en las rodajas motrices, pudiéndose recorrer hasta dos rodajas (no motrices) en el mismo sentido de este modo se asegura que todo el parabrisas pasará por la prensa.
- ✓ En la operación no dañar el plástico en los cantos del parabrisas.
- ✓ Separar el material que esta marcado con crayón, colocándolo en el carro para material no conforme.
- ✓ Cuando haya algún paro en la producción, se tendrá que depositar el material no conforme (ya inspeccionado) en la tina de desecho.

- **Inspección.**

Al salir el parabrisas de la primera prensa se realiza una inspección visual a 5 piezas dos veces por turno.

- **Operación de prensado No. 2.**
- **Condiciones de proceso.**
  - ✓ Temperaturas.

Condición	Especificación
Temperatura interna de horno (°C)	De apagado a 400 ± 100
Temperatura superficial (°C)	120 ± 10
Velocidad de prensa (m/min)	Máximo 13.5

- **Preparación de la operación.**
  - ✓ Al inicio del turno, asegurar la limpieza de su zona de trabajo.
  - ✓ Se deberá asegurar que el horno tenga la condición adecuada para el inicio de producción. Mínimo 300 °C.
  - ✓ Al inicio de turno verificar estado físico de rodajas.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

• **Operación.**

- ✓ Monitorear las condiciones de proceso por lo menos tres veces por corrida (durante todo su desarrollo) y ajustar cuando se presente alguna variación.
- ✓ Monitorear de manera visual las características del producto por lo menos tres veces por corrida (al inicio, a la mitad y antes de finalizar), verificando que no se originen sellados prematuros por exceso de temperatura.

• **Método de trabajo.**

- ✓ Poner a funcionar el transportador, la prensa y el horno de preadhesión No. 2.
- ✓ Ajustar la temperatura superficial que corresponda al modelo que se va a procesar.
- ✓ Ajustar la inclinación de prensa y el banco de entrada de acuerdo al modelo de parabrisas. Debe lograrse que la rodaja motriz coincida con el borde de la esquina inferior izquierda.
- ✓ Verificar que la temperatura superficial corresponda a lo especificado, en caso de que la temperatura sea más baja, bajar la velocidad del transportador del horno y si es más alta que lo especificado subir la velocidad.
- ✓ Ajustar el banco de salida a una inclinación tal que cuando la prensa se incline en sentido del flujo, el extremo inicial se apoye sobre las bandas del banco y el extremo final salga libremente de las rodajas (evitando la caída.) Girar 180 ° el parabrisas para que la entrada a prensa sea por el radio inferior izquierdo.
- ✓ Tomar el parabrisas orientándolo de tal forma, que la esquina inferior entre en las rodajas motrices, pudiéndose recorrer hasta dos rodajas (no motrices) en el mismo sentido; de este modo se asegura que todo el parabrisas pasará por la prensa.
- ✓ En la operación no dañar el plástico en los cantos del parabrisas.
- ✓ En el caso de parabrisas que tienen poca flecha lateral, se tiene que girar el parabrisas ligeramente de derecha a izquierda para que sea el radio lo que salga al último.
- ✓ Cuando haya algún paro en la producción, se tendrá que depositar el material roto en la tina de desecho.

- **Acciones correctivas.**

- ✓ Cuando al estar pasando una pieza a través de la prensa ésta se quiebra: retirar el desecho (colocándolo en el carro de la zona de rechazo) y verificar la inclinación de la prensa, así como la ubicación de los bancos de entrada y salida.
- ✓ Si ocurre algún paro prolongado en el transportador del horno (1 minuto o más) con el parabrisas en su interior y se sobrecalienta, éste debe ser desechado ya que éstas piezas tienen riesgo de delaminación.
- ✓ En caso de que el material presente faltante de PVB, darle aviso inmediato a los rasuradores de PVB para que corrijan.

- **Inspección.**

Al salir el parabrisas de la segunda prensa se realiza una inspección visual a 5 piezas dos veces por turno.

- **Operación de alimentación de parabrisas al horno de vacío.**
- **Condiciones de proceso.**

- ✓ Las condiciones de proceso que deberán tomarse en cuenta se dan a continuación:

Tabla 1. Parámetros a ajustar.

Parámetro	Condición
Velocidad del transportador del horno de vacío (escala de la perilla reguladora)	$3 \pm 1$
Temperatura de la primera y segunda sección del horno de vacío (°C)	$110 \pm 30$
Presión de vacío (bar)	$0.75 \pm 0.05$

- **Preparación de la operación.**

- ✓ Al inicio del turno, asegurar la limpieza de su área de trabajo.
- ✓ Tomar las mangueras en cantidad y dimensión que correspondan al modelo a procesar y colocarlas dentro del enfriador y en el gancho al pie de línea.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

- ✓ Igualar la velocidad del transportador de ensamble con la velocidad del transportador del horno de vacío.
- ✓ Verificar que la presión de vacío esté dentro de los valores según las condiciones de proceso.
- ✓ Se deberá asegurar que el horno tenga la temperatura adecuada para el inicio de la producción, indicada en las condiciones de proceso.

• **Operación.**

- ✓ Después de subir el material al transportador del horno de vacío, se tiene que verificar que no haya fugas en la unión de la manguera y el parabrisas. Esto se puede hacer desprendiendo ligeramente un lado de la manguera (esta debe estar adherida por el vacío.) En caso de tener fuga, asentar manualmente la manguera pasándole la mano por la periferia y/o revisar la conexión corrigiendo la falla.
- ✓ Monitorear las condiciones de proceso por lo menos tres veces por turno y ajustar cuando se presente alguna variación.
- ✓ Monitorear al 100% la superficie del material al tiempo que se le coloca la manguera. En caso de encontrar partículas extrañas (puntos negros, estaño, vidrio, etc.), cuando sea posible, se deben eliminar, en caso contrario, pedir inspección y retirar la hoja de PVB si resulta rechazada la pieza.
- ✓ Monitorear el vacío en la manguera principal aproximadamente cada 20 válvulas, realizando las siguientes actividades:
  - Conectar la manguera del manómetro a la válvula de succión.
  - Abrir la válvula y tomar la lectura en el manómetro, éste debe indicar una lectura mayor a 35 cmHg.

• **Método de trabajo.**

Después de ajustar las condiciones de proceso y una vez que lleguen las piezas a la alimentación de horno realizar lo siguiente:

1. Colocar la manguera sobre la superficie con el chupón (apéndices) del lado derecho en sentido del flujo.
2. Si existe exceso de PVB que no permita un buen sellado de la manguera, rasurar y retroalimentar a los rasuradores.
3. Colocar manguera en la periferia del parabrisas.
4. Subir la pieza al horno de vacío entre dos postes y centrarla en el transportador.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

5. Conectar los apéndices a las válvulas de vacío.
6. Preparar el siguiente parabrisas para que sea colocado en el horno.
7. Tomar las mangueras frías que se encuentran dentro del enfriador.
8. Separar las piezas que vengan marcadas con crayón, pedir que las inspeccionen, regresarlas a la alimentación o depositarlas en la línea de material de rechazos.

• **Operación de descarga de material ensamblado.**

Cuando el modelo procesado lleve perilla se tendrán que preparar las telas (panas), para la limpieza, de la siguiente forma:

- Doblar la tela de pana por la mitad, de tal forma que la cara acanalada quede al aire (lado derecho de la tela al aire) y hacer otros dobleces para que queden seis caras útiles para limpiar.
- Humedecer la tela con agua desmineralizada (bidestilada) usando el atomizador hasta el punto en que al pasarla por la superficie de cristal, limpie sin dejar huellas de agua o polvo.

• **Operación.**

- ✓ Monitorear al 100% el material que se está procesando. En el caso de detectarse algún defectivo, separar la pieza y pedir que la inspeccionen. En el caso de que cumpla se sigue la operación normal y en caso contrario, se deposita en la tina de material rechazado.

• **Método de trabajo.**

- ✓ Cuando el modelo no lleve perilla, colocar el parabrisas en el carro de autoclave o contenedor.
- ✓ Cuando el parabrisas lleve perilla se procede a limpiar la zona donde ésta se pegará.
- ✓ Cuando el parabrisas lleve perilla se procede a limpiar la zona donde ésta se pegará.
- Limpiar la zona donde se coloca la perilla; para pegarla de manera adecuada, se deberá tomar la tela con la mano extendida, de tal forma que el apoyo que se realice al limpiar sea lo más amplio posible. La frecuencia de cambio de cara de pana será de quince parabrisas por cara como máximo. Para los modelos que lleven perilla de 3M será de cinco parabrisas por cara.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**Contenido seis. Descripción del proceso de fabricación de un parabrisas.**

- Limpiar en forma circular la zona donde será colocada la perilla.
  - Cuando la pana comience a secarse, humedecerla usando el atomizador.
  - Cambiar la cara de la tela cada quince parabrisas, de tal forma que siempre se tenga una superficie limpia.
  - Cuando las seis caras de la tela hayan sido utilizadas, cambiarla por otra nueva.
- √ Después de que se haya limpiado; subir el parabrisas a la plancha de la máquina pega perilla para pegarle el botón.
- **Operación de pegado de perilla.**
  - **Condiciones de proceso.**

Las condiciones de proceso que deberán tomarse en cuenta se dan en los siguientes cuadros y están en función del tipo de adhesivo.

Tabla 1. Parámetros a ajustar en la máquina según el tipo de adhesivo.

Parámetro	Tipo "N" (PT 44)	3M			Acetato WG-21		
		Prensas		Vacío	Prensas		Vacío
		1	2		1	2	
Presión del pistón (Bar*)	3 - 6	4.5 - 7	4.5 - 7	3 - 6	6 - 8	6 - 8	3 - 6
Tiempo de calentamiento con pistón accionado (seg.)	03.00-8.00	0.00-2.50	0-2.5	00.00-03.00	2.00-7.00	2-7	02.00-07.00
Tiempo de enfriamiento con pistón accionado (seg.)	03.00-7.00	0.00-5.00	000.00-005.00	00.00-05.00	0.00-5.00	000.00-05.00	00.00-07.00
Tiempo extra del pistón accionado sin inducción (seg.)	05.00-0.00	0.00-5.00	000.00-005.00	00.00-05.00	0.00-5.00	000.00-05.00	00.00-05.00
% de inducción	50-100	50-100	50-100	50-100	50-100	50-100	50-100

Nota: Bar\* = Kg / cm<sup>2</sup>

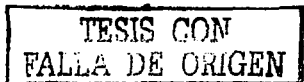
TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

• **Preparación de la operación.**

- ✓ Al inicio del turno, verificar que el pistón haga contacto con la superficie de la base del nido.
- ✓ Al inicio del turno verificar estado físico de topes.
- ✓ Al inicio del turno verificar estado físico del forro de la tabla de apoyo en la máquina pega botón.
- ✓ Verificar si existe alguna desviación y/o aclaración a las condiciones de proceso.
- ✓ Los operadores deberán usar guantes con las puntas de los dedos índice y pulgar recortadas, para así, tener un mejor manejo de material.
- ✓ Por ningún motivo se debe tocar la superficie de los adhesivos.
- ✓ En la operación no dañar el plástico en los cantos del parabrisas.
- ✓ Se debe verificar que las perillas a procesar, cumplan con los requerimientos del acondicionamiento.
- ✓ Sólo usar mylars auxiliares que estén vigentes (sello y firma), de encontrar alguno que no lo esté, separarlo y reportarlo a aseguramiento de calidad.

• **Método de trabajo.**

- ✓ Después de ajustar las condiciones de proceso, se procede de forma normal a pegar las perillas.
- ✓ Monitorear la apariencia de las perillas ensambladas y realizar los ajustes necesarios cuando así se requiera.
- ✓ Se debe tener cuidado de trabajar en los límites establecidos en las condiciones de proceso.
- ✓ Para pegar la perilla a los modelos que presenten black patch, se deberá, alinear y fijar el tope lateral con relación al centro de la plantilla, afinar el centrado de la perilla (en el parche) de manera manual.
- ✓ Al finalizar una corrida, se tendrán que alistar el equipo y el área de trabajo para un nuevo cambio de corrida o para finalizar el turno.





- **Operación.**

- ✓ Monitorear las condiciones de proceso por lo menos tres veces por corrida (durante todo su desarrollo) y ajustar cuando se presente alguna variación, en especial la nivelación nido – pieza.
- ✓ Monitorear de manera visual la apariencia de la huella de la adhesión cristal – perilla y la localización de la perilla por lo menos tres veces por corrida (al inicio, a la mitad y antes de finalizar.)
- ✓ Verificar que el pistón haga contacto con la superficie de la base del nido.
- ✓ Monitorear de manera visual por lo menos cinco veces por corrida (distribuidas a todo lo largo de ella) la posición de la perilla de los modelos que tengan black patch.

- **Inspección.**

Se realiza una inspección de la ubicación del soporte de espejo en el parabrisas. Esta inspección se realiza a 3 piezas de cada modelo con soporte, al inicio, mitad y final de la corrida de cada línea.

- **Inspección del producto.**

Esta inspección se realiza a una pieza cada modelo cada liberación de corrida. Dependiendo de sus requerimientos del modelo, se aplica la metodología de inspección.

**Definiciones:**

Ubicación de soporte para espejo retrovisor: es la distancia que existe entre el borde del cristal y el soporte del espejo retrovisor.

Banda sombreada: es el color azul del plástico en la parte superior de algunos productos.

Herramientas o equipo de medición: cinta métrica (flexometro), regla de precisión (escala metálica.)

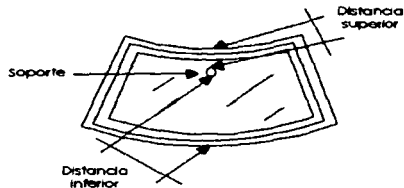
- **Metodología.**

**Ubicación de soporte para espejo retrovisor.**

1. Tomar el producto después de la colocación del soporte para espejo retrovisor.
2. Medir la distancia que existe entre el soporte y el borde del cristal, de acuerdo a lo indicado en la hoja de descripción del producto del modelo correspondiente.

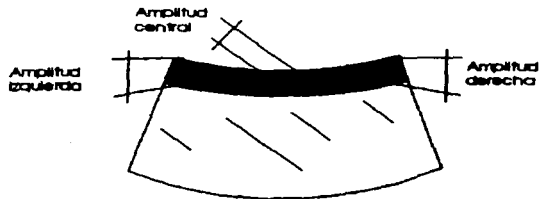
TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

3. Use la herramienta o equipo indicado en el anexo. Ver figura.



**Banda sombreada.**

1. Tomar el producto después de la colocación del plástico sombreado.
2. Medir la amplitud de la banda sombreada en forma paralela a los bordes en los laterales del producto y al centro para el valor central.
3. Use herramienta o equipo de medición. Ver figura.



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**Anexo.**

<b>Característica.</b>	<b>Dispositivo.</b>	<b>Equipo o herramienta de medición.</b>	<b>Condiciones para la evaluación.</b>	<b>Acciones a seguir ante desviaciones.</b>
Banda sombreada.				Si la herramienta o equipo de medición encuentran daños o descalibrados a notificar a metrología para su sustitución.
Ubicación de soporte para espejo retrovisor		Cinta métrica (flexometro)	Zona de inspección iluminada	

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## **AUTOCLAVE.**

La transparencia final, se le da al parabrisas con este proceso. Se colocan dentro de una autoclave estibas de parabrisas en ensamble preliminar. Se utiliza una autoclave por que es necesaria presión y temperatura para inducir el flujo viscoso del polivinil butiral en el ensamble. Sólo al final de este proceso se aprecia la transparencia que la caracteriza a un parabrisas laminado de seguridad.

- **Operación de carga a carros de autoclave en las líneas de prensas y vacío.**
- **Preparación de la operación.**
  - ✓ No dañar manualmente el plástico en el canto del parabrisas.
  - ✓ No deslizar el producto sobre la base del carro.
  - ✓ Verificar la condición física del carro, esto es, observar que: los peines (bases de silicón) estén completos, todas las partes móviles estén en buen estado y no presenten alguna anomalía que ponga en riesgo al material.
  - ✓ Revisar el carro de autoclave antes de usarlo. En caso de existir desperfectos no utilizarlo.
- **Operación.**
  - ✓ Antes de subir el material al carro, verificar que éste no muestre anomalías; de presentar alguna, pedir inspección y depositarla en donde se indique.
  - ✓ En caso de que el material a trabajar no se le vaya a pegar perilla, tomar un carro vacío y alinearlos de forma paralela al transportador de la máquina pega perilla y colocarlo después del banco de salida de la prensa.
  - ✓ En el caso de que el material requiera perilla, alinear el carro de manera transversal a la salida del transportador de salida de la máquina pega perilla.
  - ✓ En ambos casos, se deben seguir los siguientes pasos.
  - ✓ Tomar el parabrisas sin jalar el PVB que pudiera sobrar.
  - ✓ Colocarlos en el carro sin golpear contra la base de silicón y con ninguna parte metálica.
  - ✓ Alinear el parabrisas con respecto al centro del carro y con respecto a los otros, si ya se tuvieran algunos dentro del carro.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

- ✓ Retirar el carro y colocarlo frente a la entrada del autoclave o a la zona de espera.
- ✓ Apretar los tornillos necesarios para asegurar que el producto no se dañe.
- ✓ No deslizar el producto sobre la base de los carros.
- ✓ No dañar manualmente el plástico de los costados del parabrisas.
  
- **Operación de autoclavado.**
- **Condiciones de proceso.**
  - ✓ Presión de vapor en la línea:  $6.9 \text{ Kg/cm}^2$ .
  - ✓ Presión de aire en el tanque acumulador:  $11 \text{ a } 25 \text{ Kg/cm}^2$ .
  - ✓ Cuando la presión del aire en el tanque acumulador sea de  $11 \text{ a } 13.9 \text{ Kg/cm}^2$  se tendrán que alternar las autoclaves.
  - ✓ La autoclave cumple un ciclo de calentamiento- sostenido (recocido)-enfriamiento, el cual le da la característica de transparencia al material procesado. Los ciclos de autoclave están programados dentro de la consola de mando y se ejecutan de manera automática.
  - ✓ Las especificaciones de cada etapa del ciclo se dan a continuación:
    - **Calentamiento.** De la temperatura ambiente hasta  $135 - 155 \text{ }^\circ\text{C}$  según el programa establecido por Ingeniería de procesos; al tiempo que se eleva la presión interior del recipiente de la presión atmosférica a  $14 \pm 1 \text{ Kg/cm}^2$ .
    - **Sostenido (recocido).** Se mantiene de  $15 \text{ a } 20$  minutos con temperatura de  $135 \text{ a } 155 \text{ }^\circ\text{C}$  y con presión interior de  $14 \pm 1 \text{ Kg/cm}^2$ .
    - **Enfriamiento.** Se enfría con presión interior constante de  $14 \pm 1 \text{ Kg/cm}^2$ , hasta que se desfogó a los  $28 - 38^\circ\text{C}$ .
- ✓ Los tiempos del ciclo varían  $\pm 10$  minutos dependiendo del volumen de material procesado y factores como la presión del vapor y temperatura del agua.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

• **Operación.**

- ✓ Formar las cargas que correspondan al autoclave, alineando los carros frente al mismo.
- ✓ Verificar que físicamente la cantidad y modelo correspondan a lo marcado en la etiqueta.
- ✓ Si el autoclave estuviera trabajando, esperar a que termine de desfogar y verificar que el manómetro marque "0" y sacar carga.
- ✓ Quitar el seguro de la tapa. (tornear la tapa)
- ✓ Accionar el botón de girar la tapa y abrirla.
- ✓ Quitar el seguro de la rampa y accionar en el tablero el botón que corresponda a esta operación.
- ✓ Sacar los carros de uno en uno y colocarlos en zona de espera del área de acabado.
- ✓ Para cargar el autoclave, se realizan los pasos antes mencionados pero en sentido contrario.
- ✓ Meter los carros de uno en uno.
- ✓ Levantar la rampa y colocar su seguro.
- ✓ Accionar en el tablero el botón de abatir (girar) la tapa.
- ✓ Cerrar la tapa.
- ✓ Poner seguro de la tapa.
- ✓ Accionar el botón de arranque, para iniciar el ciclo.
- ✓ Vigilar que se cumplan las condiciones de proceso programadas.
- ✓ Trasladar el material procesado a la sección de acabado.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## **INSPECCIÓN FINAL (ACABADO)**

El proceso final del parabrisas consiste en rasurar el excedente de PVB, limpiar su superficie, identificar el material que será reprocesado o su clasificación definitiva y empacar el producto aceptado.

- **Operación de limpieza y rasurado de excedente de PVB, al parabrisas.**
- **Preparación de la operación.**
  - ✓ Abastecer de las herramientas y materiales que se usarán durante el turno, toallas, líquido limpiador, fibra, charrascas, etc.
- **Operación.**
  - ✓ Tomar el parabrisas y colocarlo sobre el banco de trabajo.
  - ✓ Limpiar una cara del parabrisas, verificando visualmente que no queden impurezas adheridas sobre ésta área.
  - ✓ Rasurar el excedente de PVB, de la periferia del parabrisas, verificando visualmente que no quede excedente de PVB.
  - ✓ Voltear el parabrisas.
  - ✓ Limpiar la otra cara del parabrisas, verificando visualmente que no queden impurezas adheridas sobre ésta. Asegurar la limpieza de la periferia de la cara externa del parabrisas, emplear la fibra en caso necesario.
  - ✓ Tomar el parabrisas del banco, llevarlo y colocarlo en un gancho vacío, para inspeccionar al 100% distorsión; evitando alcanzar el gancho si es que ya se le paso o ya esta fuera de su alcance.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



## **Prevención de defectos.**

### **Prevención.**

El enfoque actual de calidad se dirige hacia la prevención, sistema que concentra su energía en el proceso de producción, donde se generan los defectos. En tanto que la detección enfatiza la inspección después del proceso sobre el producto final.

**“La calidad no viene de la inspección sino del mejoramiento continuo del proceso”.**

### **Variación.**

Son las diferencias existentes entre los datos de una característica del proceso.

### **Distribución de proceso.**

Es la forma de describir los resultados de una característica del proceso en forma agrupada en términos de su localización, dispersión y forma.

### **Dispersión.**

Es la separación entre el valor mas pequeño y el mas grande en una distribución.

### **Control (control estadístico)**

Es la condición que describe un proceso en el cual todas las causas especiales de variación han sido eliminadas y únicamente permanecen las causas comunes. Evidenciado por la ausencia de puntos fuera de los límites de control y patrones de comportamiento normal (corridas, adhesiones, etc.) en las graficas de control.

### **Habilidad.**

Es la capacidad que tiene un proceso de cumplir las especificaciones requeridas, esta puede ser estimada por índices ( $C_p$  y  $C_{pk}$ ) que toman en cuenta las características de su distribución como son: centrado y dispersión referenciados a las especificaciones.

### **Estabilidad.**

Es la ausencia de causas especiales de variación en un proceso.

### **Sobreajuste.**

Son los ajustes que se efectúan a un proceso estable, basándose únicamente en los resultados de cada medición efectuada.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

El enfoque hacia la prevención, se debe a que no hay dos productos que sean exactamente iguales, ya que cualquier proceso tiene fuentes de variación. Las diferencias entre los productos pueden ser grandes o tan pequeñas que no puedan medirse, pero siempre estarán presentes. La estrategia de la prevención es observar los elementos que intervienen en el proceso tales como:

1. **Variación de la maquinaria:**  
Baleros gastados, mala lubricación, piezas gastadas.
2. **Variación del material:**  
Dureza, calidad, espesor, color, rugosidad, etc.
3. **Variación en la mano de obra:**  
Cansancio, fuerza aplicada, capacitación, experiencia, etc.
4. **Variación del método:**  
Herramientas no adecuadas, condiciones de proceso no adecuadas, etc.
5. **Variación del medio ambiente:**  
Temperatura, humedad, iluminación.

Para controlar el proceso y reducir la variación, esta debe analizarse en función de las fuentes que la ocasionan, para esto debe hacerse la distinción entre las causas comunes y causas especiales de variación y el tipo de acción que se debe tomar para reducirlas.

#### **Causas especiales.**

Son aquellas que no aparecen en todas las operaciones involucradas.

Ejemplo: un operario nuevo, pantógrafo desnivelado, malla tapada, corte quemada.

El descubrimiento de las causas especiales de variación y sus correcciones responsabilidad de las personas que están directamente relacionadas con la operación, entonces la solución de una causa especial de variación requiere una acción local.

Las causas especiales se detectan fácilmente a través de las graficas de control apareciendo como puntos fuera de control en forma eventual o periódica.

#### **Causas comunes.**

Son aquellas que se atribuyen al sistema y que pertenecen al proceso.

Ejemplo: cambio en la calidad de materia prima, cambio en el proceso, etc. El descubrimiento de una causa común de variación, normalmente es efectuado por las personas directamente relacionadas con la operación y debe comunicarse a las personas que pueden corregirlas, ya que para reducir estas causas es necesario un análisis más detallado. Entonces la solución de las causas comunes de variación corresponde a los departamentos de servicio (ingeniería de proceso, Aseguramiento de la calidad, control de producción, etc.) que son quienes deben tomar acciones sobre el sistema.

### **Control estadístico del proceso.**

El control estadístico del proceso es el uso de técnicas estadísticas, por medio de las cuales podemos analizar el proceso, tomar las acciones apropiadas para reducir su variación, mantener su control y mejorar la habilidad.

El control estadístico del proceso nos permite observar lo que ocurre en el proceso a través del tiempo, no tenemos que esperar para conocer los resultados, es posible obtener esta información rápidamente.

Una vez que se han eliminado las causas especiales de variación y se puede evitar su repetición, es decir que el proceso estable y predecible, se dice que un proceso esta bajo **control estadístico**.

La habilidad del proceso esta determinada por la variación normal originada por las causas comunes, una vez que han sido eliminadas las causas especiales.

La habilidad representa el rendimiento del proceso en si mismo, cuando éste es estable, predecible y se ha demostrado que esta bajo control estadístico. Es necesario evaluar la habilidad del proceso para saber que tanto es capaz de cumplir con las especificaciones y expectativas del cliente y así tomar acciones, esta es la base para la mejora continua.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### **Variables.**

Son aquellas características de un producto o de un proceso que pueden ser medidas y expresadas con algún tipo de unidad. Ej:

<b>Variable.</b>	<b>Unidad</b>
Espesor de cristal.	Milímetro.
Temperatura superficial	Grados centígrados.
Presión del autoclave	Kg/cm <sup>2</sup>
Curvatura central	Milímetros.

### **Atributo.**

Son aquellas características de apariencia, o cumplimiento de un producto al ser comparado contra un patrón, un debe ser, un calibrador pasa, no pasa.

Ej.

- Apariencia de logotipos.
- Sucio.
- Grabado.
- Rayas.
- Color.
- Banda sombreada decolorada.

## **Hojas de Inspección u Hojas de Chequeo.**

Una hoja de inspección, es un formato especial diseñado para coleccionar datos rápidamente. Sobre el cual los resultados de pruebas, inspección u operación son fácilmente descritos con alguna marca; (r), (/, (X), (Δ), (0), etc.

La base del control estadístico es la utilización efectiva de cada técnica y de los datos obtenidos. Los datos reflejan la realidad, por lo que estos datos deben ser correctos y debidamente recolectados.

Los datos deben ser recolectados con un propósito perfectamente claro y que estos reflejen la realidad. Las hojas de inspección sirven para muchos fines, pero el principal es la reunión de datos de tal forma que el aprovechamiento y análisis de estos sea sencillo y automático.

Las hojas de inspección se usan para diferentes propósitos, como:

- Examinar la distribución de un proceso de inspección.
- Examinar artículos defectuosos.
- Ubicación de defectos en el producto.
- Causas de productos defectuosos.
- Verificación y análisis de operaciones (lista de chequeo)

### **1. Hoja de inspección para la distribución del proceso de producción.**

Las dimensiones, el peso, espesor, etc. Se denominan datos continuos, en cualquier proceso que se presentan adquiere importancia la distribución que estos conforman.

Se puede construir un histograma de frecuencias para investigar la distribución que presentan los datos de la característica estudiada, sin embargo para preparar un histograma se reúnen primero una gran cantidad de datos y luego con estos se construye una tabla de distribución de frecuencias, con lo que se duplica el trabajo. Cuando se investiga la distribución de un proceso de producción, basta con determinar la forma de la distribución y su relación con los límites de especificación, por lo que es más sencillo clasificar los datos a medida que se toman. El inconveniente de esta hoja de inspección es que no muestra los cambios a lo largo del tiempo. Por eso en el momento de hacer las marcas hay que cerciorarse de que no haya intervalos. Cuando hay diferencias entre las maquinas, materiales u operarios (es decir cuando las condiciones que tienen influencia sobre los datos son distintas), lo mejor es utilizar una hoja para datos de la misma fuente u origen. Si se emplea una sola hoja para datos de diferente origen se debe emplear marcas diferentes de tipos o colores.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Una vez completa la hoja se debe verificar lo siguiente:

1. ¿Es la distribución acampanada? ¿Tiene uno o dos picos? ¿Se encuentra cargada más hacia algún lado? ¿Aparecen valores aislados?
2. Examine la relación que existe entre la distribución y los límites de especificación. ¿Esta situada la distribución al centro de los límites? ¿Sale de los límites? Determinar el porcentaje que sale de los límites.

**2. Hojas de inspección de ubicación de defectos.**

En la mayoría de los productos se tienen problemas de defectos relacionados con la apariencia como rayas, burbujas, poros, etc. Esta clase de hoja es sumamente útil ya que se pueden ubicar los defectos, es por esto que se debe llevar un esquema o dibujo del producto dividido en secciones iguales para facilitar la estratificación de defectos por tipo, zona, forma, etc. Este tipo de hojas de inspección permite adoptar medidas rápidamente y es un instrumento importante para el análisis del proceso.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## Distribución de Frecuencias.

### 1. Distribución de frecuencias.

Es una técnica de agrupación de datos, en intervalos o categorías de clase. El procedimiento para organizar los datos en distribuciones de frecuencias es:

1. Determine el rango ( R ) de la variable:  $R = V_{max} - V_{min}$
2. Determine la amplitud (A) de cada clase.  $A = R / K$

Donde: K es un valor que depende de "n" y se determina de acuerdo con la siguiente tabla.

N	K
Menor a 50 ( $n < 50$ )	5 a 7
50 a 100 ( $50 \leq n < 100$ )	6 a 10
100 a 250 ( $100 \leq n < 250$ )	7 a 12
250 o más. ( $n \geq 250$ )	10 a 20

El valor R / K se expresara siempre en las mismas unidades de los datos que se están manejando, es decir se redondeara el numero.

3. Obtenga los límites o fronteras de cada clase.

$$X^* = V_{min} - (1/2).$$

Donde: U = valor de la unidad decimal mínima de los datos.

Para calcular la frontera inferior (Fi) y la frontera superior (Fs) de cada clase, se calcula de acuerdo a lo siguiente:

Intervalo	Fronteras	
	F <sub>i</sub>	F <sub>s</sub>
1	$X^*$	$X^* + A$
2	$X^* + A$	$X^* + 2A$
3	$X^* + 2A$	$X^* + 3A$
4	$X^* + 3A$	$X^* + 4A$
•	•	•
•	•	•
•	•	•
r	$X^* + (r - 1)A$	$X^* + rA$

El número de clases o intervalos que se construyan debe ser tal que el valor máximo (Vmax) de los datos quede comprendido dentro del último intervalo.

4. Determinar el punto medio o marca de clase de cada uno de los intervalos usando:

$$X1 = (F_1 + F_2)/2$$

Donde:  $F_1$  y  $F_2$  son las fronteras inferior y superior del intervalo correspondiente.

5. Determine el número de datos (frecuencia  $F_i$ ) que queden dentro de clase, esta frecuencia es llamada frecuencia absoluta.

La suma de las frecuencias absolutas de todos los intervalos es igual al número de datos (n).

$$f_1 + f_2 + f_3 + \dots + f_r = n$$

6. Determine la frecuencia relativa (h) de cada clase, que es el porcentaje o fracción de datos que queda en esa clase de acuerdo a:

$$Hi = ( f/n ) (100).$$

La Suma de las frecuencias relativas es igual a 100%.

7. Determina la frecuencia absoluta acumulada ( $f_i$ ), que se calcula sumando las frecuencias absolutas desde la primera clase hasta la última clase.

$$F_i = f_1 + f_2 + f_3 + \dots + f_r$$

La suma de las frecuencias absolutas acumuladas es igual al número total de datos (n).

8. Calcule la frecuencia relativa acumulada ( $Hi$ ), dividiendo la frecuencia absoluta acumulada de la clase entre el número total de datos (n) y al resultado multiplíquelo por 100.

$$Hi = ( F / n ) (100).$$



### **Estratificación.**

A cada categoría se le llama estrato.



Estratificación es la clasificación de datos o elementos en una serie de grupos con características semejantes o similares, con el propósito de poder analizar mejor la situación y analizar la causa principal más fácilmente.

Cuando se tienen artículos defectuosos en un proceso de producción, estos se pueden clasificar o estratificar de acuerdo a:

1. La maquina o equipo en el que fueron producidos:
  - Tipo de anillo de corte, pantógrafo utilizado, horno de curvado, tipo de molde, mesa de pintado, tipo de autoclave, etc.
2. Materia prima:
  - Proveedor de cristal, proveedor de pintura, tipo de PVB (poli vinyl butiral.)
3. Mano de obra:
  - Operario, turno, línea.
4. Método de operación:
  - Velocidad, temperatura, programa.
5. Material:
  - Modelo, color de PVB, PVB expandido o no, etc.

Los estratos pueden ser:

- a) Cualitativos (de cualidad). Tipo de defecto, zona de incidencia, etc.
- b) Cuantitativos (de cantidad). Número de defectos, número de piezas.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### Diagrama de Pareto.

En este proceso se presentan una serie de problemas que requieren solución como son: productos defectuosos, fallas de maquinaria, costos elevados, defectos.

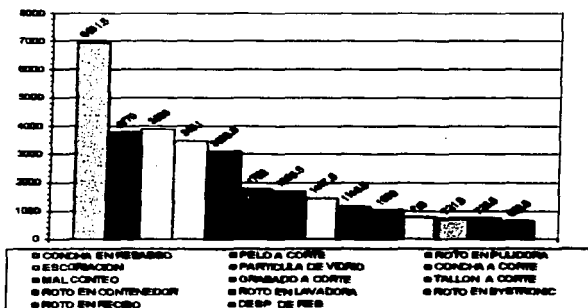
Cada problema o defecto es provocado generalmente por varias causas por lo que resulta difícil saber como atacarlos, pero no todos los problemas tienen la misma importancia y no es posible resolverlos todos al mismo tiempo, algunos son más importantes que otros, por lo que debemos asignar prioridades y resolver primero los más importantes.

El primer paso en el análisis de un problema consiste en la elaboración de un diagrama de Pareto.

Un diagrama de Pareto es una grafica de barras o columnas verticales que se representan en forma ordenada, descendente de izquierda a derecha de acuerdo a su importancia en costo o magnitud, la frecuencia de ocurrencia de los problemas o los defectos.

A continuación se muestra un diagrama de Pareto correspondiente al número de piezas defectivas generadas al producir un lote de 16,000. Piezas en el departamento de corte.

DEFECTIVO EN CORTE PORMES



En eje horizontal del diagrama aparecen los factores que hacen que las hojas se consideren defectivo.

Cada barra representa un tipo diferente de defecto; y su altura la frecuencia del defecto, localizándose el de mayor importancia a la izquierda y el de menor importancia a la extrema derecha.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## **Medidas de tendencia central y medidas de dispersión.**

### **Media aritmética X.**

El promedio es un valor representativo de un conjunto de datos. Como tales valores tienden a situarse al centro de conjunto de datos, el promedio se conoce como medida de tendencia central.

La medida aritmética, media o promedio de un conjunto de N numero  $X_1, X_2, X_3 \dots X_N$  se define como:

$$X = (X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_N) / N = (\Sigma X_i) / N$$

### **Mediana X.**

La mediana es otra medida de tendencia central que resulta ser, en algunos casos, un mejor parámetro que la media aritmética, ya que dentro de algunos grupos de datos existe alguno que se aleja demasiado de la mayoría.

La mediana de un grupo de datos ordenados en orden de magnitud es:

- Si el número de datos es impar, el dato que ocupe la posición central.
- Si el número de datos es par, el promedio de los datos centrales.

### **Rango (R)**

El rango es una medida de dispersión que proporciona la amplitud dentro de la cual se encuentran la totalidad y datos de las observaciones. El rango de un conjunto de números es la diferencia entre el mayor y el menor de todos ellos.

### **Desviación estándar**

Es una serie de N números  $X_1, X_2, X_3, \dots, X_N$ . La desviación estándar representada por S se define como la raíz cuadrada del cuadrado medio de las desviaciones y se representa como sigue:

$$S = \sqrt{\frac{\Sigma (X_i - \bar{X})^2}{N}}$$

S = desviación estándar muestral.

$\sigma$  = desviación estándar potencial.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## **GRAFICAS DE CONTROL.**

Las graficas de control fueron desarrolladas por el Dr. Walter Shewhart en 1924, son graficas que muestran el comportamiento de un proceso en el tiempo.

Las graficas de control son herramientas sencillas que emplean métodos de cálculo simples que nos ayudan a diferenciar las causas especiales (debidas al operario, material, turno.) De las comunes (debidas al proceso mismo de producción.)

### **Beneficios de graficas de control.**

Son herramientas simples y efectivas para lograr el control. El trabajador las puede manejar en su área de trabajo. Dan información confiable acerca de la operación para tomar acciones o no tomarlas.

Dan evidencia acerca de si un proceso ha esta operando bajo control, nos ayudan a predecir el desempeño del proceso.

A través de los datos de las graficas pueden anticiparse las mejoras que se requieren en el tema para: Incrementar el porcentaje de productos que satisfagan las expectativas del cliente (mejoras en calidad), disminución en piezas desechadas o enviadas a proceso / retrabajo (disminución de costos.)

Proporcionan un lenguaje común para la comunicación sobre el comportamiento del proceso entre los diferentes turnos, entre supervisor u trabajador, entre los diferentes departamentos (aseguramiento de calidad, mantenimiento de moldes, control de producción, e ingeniería de proceso.)

### **Tipos de graficas de control.**

Existen diferentes graficas de control, su uso esta en función de la característica a observar y del tipo de proceso a controlar. El proceso a controlar puede depender de:

Una **variable**.- característica que puede ser medida y expresada en unidades de: distancia, masa, tiempo y temperatura.

Un **atributo**.- característica cualitativa, normalmente de apariencia; color, presencia o no de algo (etiqueta, empaque y tornillos)

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Las graficas de control más utilizadas son:

Variables.		Atributos.	
X - R	Promedio y rango.	P	Porcentaje de unidades defectuosas.
X - R	Medianas y rango.	NP	Cantidad de unidades defectuosas
S - R	Desviación estándar y rango.	C	Numero de defectos por unidad.
X - R	Lecturas individuales.	U	Cantidad de defectos por unidad.

### GRAFICAS DE CONTROL $\bar{X} - R$ . (Medidas y rangos)

Este tipo de grafica es conocida como grafica de control por variables, debido a que la mayoría de los procesos y sus resultados tienen características que son medibles. Presión, espesor, temperatura y levantamiento.

La porción  $\bar{X}$  de una grafica muestra cualquier cambio en el valor promedio del proceso, mientras que la proporción R muestra cualquier dispersión o variación del proceso.

#### Pasos para la construcción y análisis de una grafica de control $\bar{X} - R$

##### Paso N° 1.

Seleccione la frecuencia y tamaño de muestra (toma de datos.)

Las muestras (subgrupos) deben estar formadas por 5 o 10 valores (piezas) producidas bajo condiciones similares e intervalos cortos (de 0.5 horas a 2 horas) y el número de subgrupos debe ser de 20 a 25. los datos de medición de la característica deben ser registrados y agrupados de acuerdo a la fecha, turno y hora de la toma de datos.

##### Paso N° 2.

Calcule el porcentaje defectuoso.

$$P = \frac{\text{Numero total de piezas defectuosas.}}{\text{Numero de piezas inspeccionadas.}} (100)$$

Se deben registrar por lo menos 25 subgrupos.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**Paso N°3.**

Grafique los valores del porcentaje defectuoso de los subgrupos.

- Grafique los valores de (P) de cada subgrupo, unir los puntos para visualizar mas fácilmente las tendencias.
- Si hay algún punto mas alto que los otros, confirme que los cálculos sean correctos.

**Paso N°4.**

Calcule el porcentaje promedio (P)

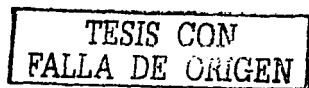
$$P = \frac{\text{Numero total de piezas defectuosas.}}{\text{Numero total de piezas inspeccionadas.}} (100)$$

**Paso N°5.**

Calcule los limites superior e inferior de control para promedios.

$$L.S.Cp = P + 3$$

$$L.I.Cp = P - 3$$



Donde n = al tamaño de muestra tomado de cada subgrupo.  
Si el valor de L.I.C resulta negativo este se tomara igual a cero.

**Paso N°6.**

Trace las líneas del promedio y los limites de control en las graficas.

- Indique el promedio (P) con una línea continua.
- Indique los limites de control con líneas punteadas.

## **X-R.**

En algunos casos, es necesario que los controles de proceso estén basados en lecturas o valores individuales, en lugar de sub-grupos.

Tal es el caso: de pruebas destructivas sobre materiales muy costosos, de características fisicoquímicas de algunas sustancias (pH y pureza de concentración) que son relativamente homogéneas en cualquier punto.

Para su uso se deben tomar en cuenta cuatro aspectos.

1. Este tipo de graficas no son tan sensibles a los cambios en el proceso como las graficas  $\bar{X} - R$ .
2. Se deben interpretar con mucho cuidado si la distribución del proceso no es simétrica.
3. Estas graficas no muestran la repetibilidad de pieza a pieza o de lote a lote. Por esta razón si es de interés observar y conocer la variabilidad y la repetibilidad, la otra opción es usar graficas  $\bar{X} - R$  con tamaño de subgrupos pequeños (de dos a cuatro lecturas) aunque se requiere un tiempo mayor para completar los subgrupos.
4. Debido a que solo se tiene una lectura o valor por subgrupo, la media ( $\bar{X}$ ) y la desviación estándar ( $\sigma$ ) pueden variar considerablemente, (aunque el proceso sea estable) hasta que el numero de lecturas o valores sea mayor o igual a 100.

Pasos para construcción de lecturas individuales.

### Paso N° 1.

Las lecturas (X) son registradas de izquierda a derecha de la grafica.

### Paso N° 2.

Cualquier rango (R) entre las lecturas que es la diferencia entre el primer y segundo valor, el segundo y tercero, tomando el valor absoluto de la diferencia. El número de rangos obtenidos será menor en uno que los valores de las lecturas tomadas (25 lecturas dan 24 rangos).

### Paso N° 3.

Calcule la media y el rango promedio de los datos usando las siguientes formulas:

$$\bar{X} = (X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_N) / n$$

$$R = (R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_{n-1}) / (n - 1)$$

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



**Paso N° 4.**

Calcule los límites de control para las lecturas individuales y para los rangos.

$$L.S.C. = \bar{X} + E_2 R$$

$$L.I.C. = \bar{X} - E_2 R$$

$$L.S.C.R = D_4 \bar{R}$$

$$L.S.C.R = D_3 \bar{R}$$

Donde los valores de las constantes  $E_2$ ,  $D_3$  y  $D_4$  se encuentran en la siguiente tabla y dependen del número de lecturas que se toman para sacar el rango.

N	$E_2$	$d_2$	$D_3$	$D_4$
2	2.66	1.128	*	3.267
3	1.772	1.693	*	2.574
4	1.454	2.059	*	2.282

\* No existe limite inferior de control de rangos para número de lecturas menores a 7 por lo tanto se tomara como cero.

**Paso N°5.**

Seleccione una escala adecuada tanto para la porción de lecturas como para la de rangos, de tal manera que pueda contener los valores mas altos encontrados en las lecturas, rangos y de los límites calculados respectivos.

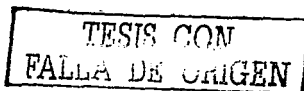
**Paso N°6.**

Grafique los puntos de valores individuales y de rangos e indique los valores de promedios y límites de control respectivos.

**Paso N°7.**

**Interpretación de la grafica de control.**

Porción de rangos: los puntos fuera de los límites de control muestran existencia de causas especiales. Note que los rangos sucesivos están correlacionados, debido a que tiene un punto en común, se debe tener cuidado al interpretar tendencias.



Porción de valores individuales: se deben analizar puntos fuera de límites de control, dispersión de puntos y tendencias o patrones. Si la distribución del proceso no es simétrica las graficas pueden mostrar causas especiales sin que estas existan realmente.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## **GRAFICA (NP) PARA CANTIDAD DE UNIDADES DEFECTUOSAS.**

La gráfica (NP) mide la cantidad de unidades defectuosas en una muestra inspeccionada. La grafica (NP) y (P) son adecuadas para las mismas situaciones.

A continuación se indican los pasos para la construcción y aplicación de la grafica (NP):

### Paso No. 1.

Obtención de datos.

Los tamaños de muestras inspeccionadas deben ser iguales y además lo suficientemente grandes para permitir la aparición de varios defectos en cada una de ellas. Preferentemente el tamaño de una muestra debe ser mayor a 50.

### Paso No.2.

Grafique los datos.

Registre y grafique el numero de unidades defectuosas de cada subgrupo ( $\bar{NP}$ ).

### Paso No.3.

Calcule el promedio de unidades defectuosas ( $\bar{NP}$ )

$$\bar{NP} = \frac{\text{suma de la cantidad de unidades defectuosas de c/uno de los subgrupos.}}{\text{Numero de subgrupos}}$$

### Paso No.4.

Calcule los límites de control superior e inferior para unidades defectuosas.

$$L.S.C.NP = \bar{NP} + 3 \sqrt{NP (1 - \bar{NP} / n)}$$

$$L.S.C.NP = \bar{NP} - 3 \sqrt{NP (1 - \bar{NP} / n)}$$

n = es igual al tamaño de la muestra.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**Paso No. 5.**

Trace las líneas del promedio  $\bar{NP}$  y los límites de control en las graficas.

- Indique el promedio (NP) con una línea continua.
- Indique los límites de control de líneas punteadas.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## **GRAFICA (C) PARA NÚMERO DE DEFECTOS.**

La grafica (C) mide el número de defectos (discrepancias) en un lote inspeccionado. La grafica (C) requiere de tamaños de muestra constante.

Esta grafica se usa principalmente en dos situaciones:

- a) Donde las discrepancias se atribuyen a través de un flujo mas o menos continuo del producto (defectos en el rollo de PVB, burbujas en un parabrisas.), y donde se pueda expresar el promedio o la relación de defectos (ejemplo: Numero de defectos por cada lote de parabrisas.)
- b) Donde los defectos provenientes de las diferentes fuentes (líneas, operaciones) pueden encontrarse en una inspeccionada (los defectos en una estación de inspección de línea donde cada parabrisas puede tener uno o más defectos.

A continuación se indican los pasos para construcción y aplicación de la grafica (C)

### Paso No. 1.

Obtención de datos.

Los tamaños de muestras inspeccionadas ( numero de parabrisas de un lote, longitud de un rollo de PVB etc.) deben ser constantes, de manera que los valores graficados de (C) reflejen los cambios en el desarrollo de la calidad.

### Paso No. 2

Grafique los datos.

Registre y grafique los defectos por unidad de cada subgrupo (C).

### Paso No.3.

Calcule el número de defectos promedio del proceso (C).

$$\bar{C} = \frac{\text{La suma del numero de defectos de cada subgrupo.}}{\text{Numero de subgrupos}}$$

### Paso No. 4.

$$L.S.C = \bar{C} + 3 \sqrt{\bar{C}}$$

$$L.S.C = \bar{C} - 3 \sqrt{\bar{C}}$$

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**Paso No. 5.**

Trace las líneas del promedio C y los límites de control en las graficas.

- Indique el promedio (C) con una línea continua.
- Indique los límites de control con líneas punteadas.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## GRAFICA (U) PARA CANTIDAD DE DEFECTOS POR UNIDAD.

La grafica (U) mide la cantidad de defectos (discrepancias) por unidad de inspección en subgrupos cuyos tamaños pueden ser variables. Es similar a la grafica (C), con la diferencia de que la cantidad de defectos se expresa sobre una base unitaria. Las graficas C y U son adecuadas para las mismas situaciones, pero se deberá utilizar la grafica U si:

- La muestra incluye más de una unidad.
- El tamaño de la muestra varía entre subgrupos.

A continuación se indican los pasos para construcción y aplicación de la grafica:

### Paso No. 1

El tamaño de la muestra puede variar entre subgrupos. El cálculo de los límites de control se simplifica en la medida en que la variación de los subgrupos no exceda el 25% del tamaño de muestra promedio.

### Paso No. 2

Registre y grafique los defectos por unidad de cada subgrupo (U).

$U = \text{Cantidad de defectos encontrados.}$

Tamaño de la muestra.

### Paso No. 3

Calcule la cantidad de defectos promedio por unidad de proceso.

$U = \text{Cantidad total de defectos de subgrupos.}$

Numero de subgrupos.

### Paso No. 4

Calcule los límites de control.

$$L.S.C. = \bar{U} + 3 \sqrt{\bar{U} / n}$$

$$L.S.C. = \bar{U} - 3 \sqrt{\bar{U} / n}$$

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Donde  $n$ : Tamaño de muestra promedio.

**Paso No. 5**

Trace las líneas del promedio  $\bar{U}$  y los límites de control en las graficas.

- Indique el promedio ( $U$ ) con una línea continua.
- Indique los límites de control con líneas punteadas.

**Interpretación del proceso a través de las graficas de control.**

El objeto de analizar una grafica de control es identificar cuales son las causas comunes y causas especiales de variación del proceso, y con esto tomar alguna acción apropiada cuando se requiera.

**Para el caso de graficas  $X - R$ .**

Analice el conjunto de datos en la grafica de rangos ( $R$ ) primeramente y después los datos en la grafica de promedios ( $\bar{X}$ ).

**1. Punto fuera de los límites de control**

Circule todos los puntos que caen fuera de los límites de control. La presencia de puntos fuera se debe a causas especiales (fallas Locales) por lo que se requiere encontrar rápidamente dicha causa especial.

**Los puntos fuera de los límites de control son indicativos de:**

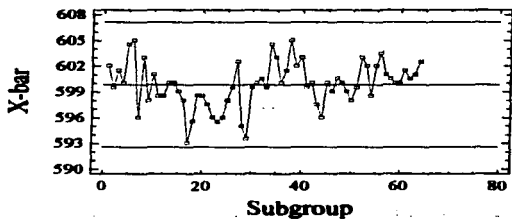
- El límite de control esta mal calculado o los puntos están mal agrupados.
- La variación pieza a pieza ha empeorado.
- El sistema de medición ha cambiado (diferente inspector o calibrador)

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



**Proceso dentro de control.**

**X-bar Chart for Gramaje**

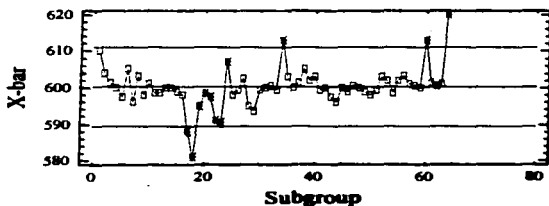


UCL = 607.08  
CTR = 599.80  
LCL = 592.51

**Puntos fuera de control.**

(Puntos fuera de los límites de control.)

**X-bar Chart for Gramaje**



UCL = 611.11  
CTR = 600.15  
LCL = 589.19

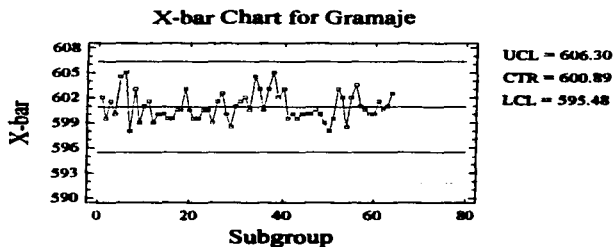
TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## 2. Adhesión a las líneas de control.

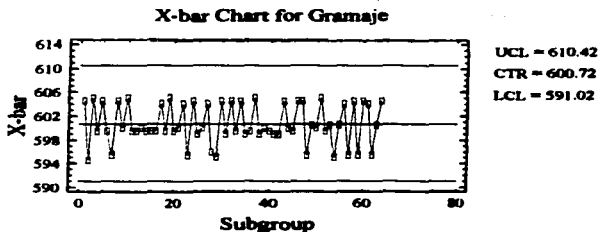
- Se conoce como adhesión a la línea central cuando las dos terceras partes ubicados se encuentran agrupados junto a la línea central dentro del tercio medio.
- Se conoce como adhesión a los límites de control cuando una tercera parte de los datos graficados se encuentran agrupados dentro de los tercios exteriores.

Divida la distancia que hay entre el L.S.C y L.I.C en tres partes iguales.

Proceso con adhesión a la línea central.



Proceso con adhesión a los límites de control.



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**Si existe adhesión se debe verificar lo siguiente:**

- Los límites de control han sido mal calculados o los puntos mal graficados.
- Los datos han sido alterados (los valores que se alejan mucho del promedio fueron alterados u omitidos.)
- Pueden haberse mezclado en el subgrupo de datos de factores diferentes (maquinas, materiales, mano de obra diferentes.)

### **3. Series.**

Una serie es una sucesión de puntos que indican la iniciación de una tendencia o desplazamiento de un proceso.

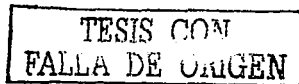
- **Corrida:** cuando siete o más puntos consecutivos se alinean hacia un lado promedio.
- **Tendencia:** cuando siete o más puntos consecutivos tienen valores crecientes (tendencia ascendente) o valores decrecientes (tendencia descendente)

Una serie hacia arriba del rango promedio (R) puede significar:

- a) Mayor dispersión de los resultados por:
  - Causa irregular (funcionamiento del equipo)
  - Cambio en los materiales (un nuevo material)
- b) Cambio en el sistema de medición (se cambio el inspector o el calibrador).

Una serie por abajo del rango promedio (R) puede significar:

- Menor variación en los resultados (buena condición que hay que estudiar para su mejor aplicación.)
- Un cambio en el sistema de medición.



**4. Recalcule los límites de control.**

Una vez identificadas y corregidas las causas especiales de variación, deberán recalcularse los límites de control para excluir el efecto de los puntos fuera de control. Omite solo tres puntos fuera de control cuyas causas ya fueron identificadas y corregidas, de las gráficas X y R recalcule y grafique los valores  $\bar{X}$  - R y estos valores ya modificados deberán ser usados para recalcular los límites de control en las gráficas.

**ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE GRÁFICAS DE CONTROL.**

SUBTÍTULO	X	R
<p><b>TENDENCIAS.</b> (seis puntos consecutivos)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desgaste de maquinaria.</li> <li>• Fatiga de operario.</li> <li>• Acumulación de defectivo.</li> <li>• Condiciones ambientales desfavorables.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Variación en la habilidad del operario.</li> <li>• Fatiga del operario.</li> <li>• Cambio en los subprocesos.</li> <li>• Cambios en la materia prima.</li> </ul>
<p><b>PERIODICIDAD.</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Variables que se repiten en ciclos.</li> <li>• Fatiga del operario.</li> <li>• Diferencias en el sistema de medición.</li> <li>• Cambio rotativo de maquinas y/o operarios.</li> <li>• Combinación de montaje de otros procesos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mantenimiento preventivo.</li> <li>• Fatiga del operario.</li> <li>• Herramientas desgastadas.</li> </ul>
<p><b>PUNTOS FUERA DE LOS LÍMITES DE CONTROL.</b> (un punto fuera en 35, dos fuera de 100)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El límite de control está mal calculado.</li> <li>• Cambio en el sistema de medición (operario y/o calibrador)</li> <li>• Control excesivo.</li> <li>• Diferencias grandes y sistemáticas en la calidad del material.</li> <li>• Mezcla de dos o más procesos diferentes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El límite de control está mal calculado.</li> <li>• Puntos mal agrupados o mal graficados.</li> <li>• Cambio en el sistema de medición (operario y/o calibrador)</li> <li>• Datos mal tomados o alterados.</li> <li>• Mezcla de materiales de calidad diferente.</li> <li>• Mezcla de dos o más operarios o maquinas.</li> <li>• Mezcla de datos en condiciones diferentes.</li> </ul>

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

<p><b>ADHESIÓN A LA LÍNEA CENTRAL.</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Los límites de control están mal calculados</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Los límites de control están mal calculados.</li> <li>• Los puntos fueron mal graficados.</li> <li>• Los valores altos fueron alterados u omitidos.</li> <li>• Mezcla de datos diferentes (maquinas, materiales y operarios)</li> </ul>
<p><b>ADHESIÓN A LOS LÍMITES DE CONTROL.</b> (3 de 7 o 4 de 10)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Los límites de control han sido mal calculados.</li> <li>• Los puntos mal graficados.</li> <li>• Mezcla de dos o mas factores diferentes (mezcla de lotes, materias primas etc.)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Los límites han sido mal calculados.</li> <li>• Los puntos mal graficados.</li> <li>• Mezcla de dos o mas factores diferentes (mezcla de lotes, materias primas etc.)</li> </ul>
<p><b>CORRIDAS.</b> (Es anormal cuando se tienen 7 puntos consecutivos.)</p>	<p>a) Por arriba de la línea central.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• El promedio del proceso ha cambiado.</li> <li>• Cambio en el sistema de medición (inspector, operario o calibrador)</li> </ul> <p>b) Por debajo de la línea central.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• El promedio del proceso ha cambiado.</li> <li>• Cambio en el sistema de medición (inspector, operario o calibrador)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mayor variación.</li> <li>• Funcionamiento irregular del equipo.</li> <li>• Un material nuevo.</li> <li>• Cambio en el sistema de medición. (inspector, operario o calibrador)</li> <li>• Menor variación. (Desviación positiva es necesario estudiarla.)</li> <li>• Cambio en el sistema de medición (inspector, operario o calibrador.)</li> </ul>

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

### **Diagrama de Causa – Efecto.**

El diagrama de causa – efecto: “esqueleto de pescado”, o diagrama de Ishikawa, es una técnica organizada y racional del análisis que ayuda a la resolución de problemas, que al ser utilizada por un grupo enfoca y dirige la atención hacia un objetivo central.

Las acciones a seguir vienen de la participación de todos los integrantes permitiendo a si el intercambio de ideas y experiencias.

Los diagramas de causa y efecto nos permiten analizar los factores que intervienen en la calidad de un producto, estableciendo las relaciones existentes entre los efectos o características de calidad (dimensiones, porcentaje de defectivos etc.) y sus causas (materia prima, capacitación o mano de obra.)

#### **Condiciones para iniciar un diagrama de causa y efecto.**

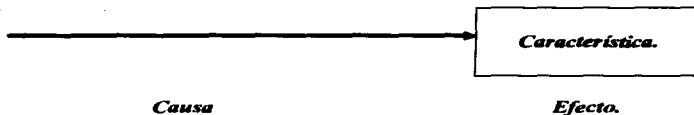
1. Deben participar todas las personas que estén involucradas o relacionadas, miembros del departamento, área o sección sin importar el puesto o jerarquía. (Área de calidad, producción, materiales y recursos humanos.)
2. Definir un coordinador o moderador del grupo.
3. Seleccionar las características más importantes, en base a un diagrama de pareto, y la que tenga mayor posibilidad de resolverse en base al apoyo de la gerencia.
4. Se escribirá en papeles grandes o en un pizarrón la lista, de posibles causas.
5. Se discutirá libremente acerca de las características y causa por medio de la tormenta de ideas.
  - Todos los participantes deben sugerir ideas, el coordinador debe preguntarle a todos.
  - El coordinador preguntara de menor a mayor nivel jerárquico, para enriquecer al máximo las opiniones y no condicionar.
  - El coordinador deberá enfatizar que al emitir una opinión, esta no se debe cuestionar, contradecir o justificar, ya que el objetivo es vaciar todas las ideas y escribirlas en la lista.
  - El coordinador deberá preguntar a todos los participantes si existe alguna otra opinión o idea, si es posible se ira al área del problema y se observará detenidamente, con el objeto de enriquecer mas la lista de factores que influyen en la característica de calidad.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### Elaboración de un diagrama Causa – efecto.

A continuación se describen los pasos para elaborar el diagrama.

1. Seleccionar la característica de calidad que se desea controlar y mejorar.
2. Trazar una flecha gruesa de izquierda a derecha y escribir la característica de calidad a la derecha de su punta.

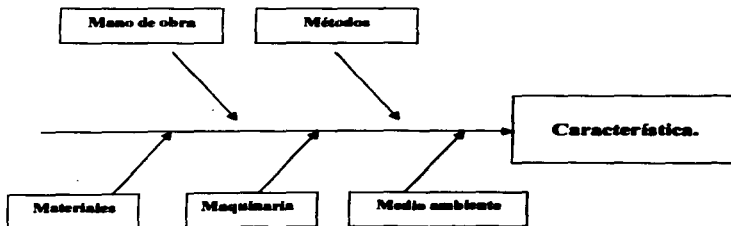


*Causa*

*Efecto.*

3. En base a la lista ordenada de la tormenta de ideas, clasificar y reordenar las causas para decidir las ramas principales, agrupando los factores o causas, que puede ser bajo los siguientes grupos:

- Mano de obra (operarios, inspectores, revisadores, supervisores.)
- Materiales (materia prima, componentes, materiales directos.)
- Maquinaria (equipo, herramienta, contenedores, instrumentos.)
- Métodos (métodos de trabajo, instrucciones, método de proceso.)
- Medio ambiente (condiciones climatológicas y de trabajo.)



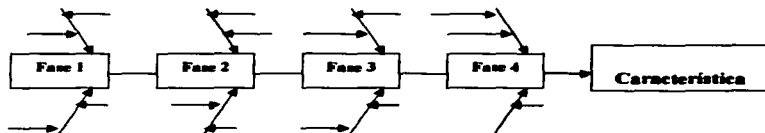
TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

4. Subdividir las ramas principales por medio de flechas pequeñas anotando los factores que pueden ser considerados como causas de las causas principales, y a su vez sobre estas otras, causas más pequeñas.
5. Para analizar se debe verificar y preguntar si todas las causas de variación están incluidas en el diagrama.
6. Al analizar se deberá estratificar y desarrollar un plan de trabajo para probar cada causa y posteriormente se propondrán "soluciones" basadas en los resultados de la investigación, cada miembro es responsable de inspeccionar los hechos, las características y el proceso.

#### Tipos de diagramas de causa – efecto.

En función del método empleado para la elaboración del diagrama existen tres tipos básicos:

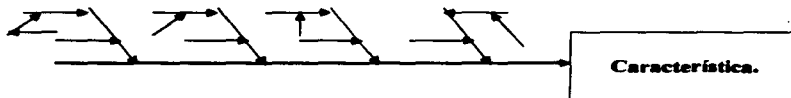
1. **Análisis de dispersión.**- su base de construcción es preguntarse ¿por qué el o la...? Su forma igual a la del diagrama anterior, su ventaja es el desglose de las dispersiones, establece una clara relación entre los factores, su desventaja es que toma la forma que deciden quien lo está haciendo, existe el riesgo de omitir algunos factores.
2. **Clasificación del proceso en fases.**- su base de construcción es ¿qué problema podría ocurrir en esta fase del proceso? Y todas las causas, aspectos o factores que pueden causar el problema son agrupados en ramas, causas y sub – causas sobre la etapa del proceso correspondiente.



Como puede observarse, con este tipo de diagrama también pueden ser identificadas causas potenciales generadas en el flujo de los materiales en cada una de las operaciones de las distintas fases, lo que nos puede ayudar a prevenir posibles problemas en el proceso.

**Enumeración de causas.**- como su nombre lo indica se elabora un listado mostrando la relación entre las causas y efecto, el diagrama obtenido se asemeja bastante al del tipo de análisis de dispersión. Su ventaja esta en que se obtienen diagramas muy completos, su desventaja es que es difícil dibujar, ya que es complicado ubicar ramas secundarias.





**Beneficios de uso de diagramas de causa – efecto.**

- **Nos ayuda a detectar las causas de variación en las características.**
- **Nos ayuda a determinar el tipo de información y datos que deben obtenerse.**
- **Ayuda a prevenir problemas.**
- **Favorece el trabajo en grupo.**
- **Adquisición de nuevos conocimientos.**
- **Muestra el nivel de conocimiento del proceso.**
- **Se puede utilizar para analizar cualquier tipo de problema (calidad, seguridad y productividad.)**

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### **Graficas Arcoiris.**

Este tipo de graficas es adecuada para procesos en los cuales son frecuentes y normales los montajes, ajustes y cambios de herramientas.

La característica interesante de las graficas arcoiris en comparación con las graficas  $\bar{X} - R$  son los tamaños de subgrupos pequeños (generalmente dos piezas cada media hora), el hecho de que no se requieren cálculos y que los resultados de las muestras son anotados directamente y comparados contra los límites de especificación mucho mas rápido que contra los límites de las graficas  $\bar{X} - R$ .

#### **Condiciones para su uso.**

Las siguientes condiciones deben ser cubiertas antes de que se usen este tipo de graficas.

- a) La distribución de frecuencias debe aproximarse a la curva de distribución normal. (especificaciones bilaterales)
- b) El proceso debe estar bajo control estadístico y centrado cercanamente a la media de la especificación.
- c) El proceso debe ser hábil con un  $cpk = 1$

#### **Uso de la carta.**

Una vez que las condiciones anteriores han sido cubiertas, la carta se usa de la siguiente forma:

- a) Las especificaciones son registradas en los espacios de límite superior de especificación, especificación nominal, y límite inferior de especificación.
- b) Los límites superior e inferior de precaución son calculados a partir de la siguiente formula: límite de precaución  $\pm 0.25$  por tolerancia total.
  - Después de cada ajuste o montaje verifique 100% hasta que los valores de 5 piezas consecutivas caigan en la banda o porción central verde, sino es así ajuste hasta que se cumpla lo anterior.
  - Una vez cumplido los de las cinco piezas verifique dos muestras cada media hora y represente con un punto sobre la misma columna cada uno de los valores encontrados.
  - Verifique la acción a tomar de acuerdo al diagrama de flujo adjunto.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

- Cuando veinticinco subgrupos consecutivos de dos muestras cada uno caigan en la banda o porción central verde reduzca la frecuencia de muestreo.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### **Autocontrol de Calidad.**

Cuando el trabajo se organiza de tal manera que permita que un operario tenga dominio completo sobre el logro de resultados planeados, se puede decir que esta en un estado de autocontrol y se le puede responsabilizar de los resultados que obtenga.

Sin embargo antes que dicha persona pueda llegar a este estado, se necesitan satisfacer varios requisitos.

1. Conocimiento de lo que "se supone debe lograr", por ejemplo: especificaciones, programas, calidad de material etc.
2. Conocimiento de lo que "esta logrando", por ejemplo: el grado de cumplimiento con las especificaciones, las fechas reales de entrega, calidad del material producido por turno.
3. Medios para regular lo que esta haciendo en caso de fallar la obtención de objetivos. Estos medios deberán incluir la autoridad y la habilidad para regular, ya sea a través de:
  - a) Variar el proceso sometido a la autoridad de la persona.
  - b) Variar su propia conducta.

Si no se dan estos requisitos, la persona no estará en estado de autocontrol y no se puede responsabilizar de las fallas.

Aun sin los requisitos anteriores satisfechos, la persona podría aun obtener el 100% de resultados debido a razones que se discuten a continuación:

1. Controlabilidad: esta palabra se usa para identificar donde se encuentra la habilidad de satisfacer especificaciones. Cuando hemos satisfecho todos los requisitos de autocontrol, los defectos de calidad que resulten se dice que son defectos controlables por el operador.

Si cualquiera de los requisitos de autocontrol no han sido satisfechos, se dice que los defectos de calidad son defectos controlables por el supervisor o la administración.

2. Efectos de la falta de auto control: la falta de autocontrol: la falta de autocontrol en el operario, significa que la responsabilidad por los efectos producidos, esta compartida o recae en otra parte.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Por ejemplo, las necesidades de autocontrol se pueden satisfacer como sigue:

Necesidades de autocontrol.	Proporcionadas por la administración a:
a) Conocimiento de lo que se supone debe lograrse.	a) Inspección.
b) Conocimiento de lo que se esta logrando.	b) Producción via inspección.
c) Medios para regular.	c) Producción.

En el grado en que estos criterios no sean suministrados, no se puede responsabilizar al operario por los resultados. En el caso extremo de que el operador se dedica meramente a suministrar materia prima a la maquina, no se debe pretender que de alguna manera este esta involucrado en el control de calidad. Sin embargo, esto no detiene a algunos supervisores o administradores de "pretender". La excusa que dan, es el hecho de que cualquier operador esta en posición de contribuir a la mala calidad por el mal manejo de materiales.

1. Conocimiento de la que se supone "debe lograrse".

**El operario obtiene conocimiento de lo que se supone debe lograr de una variedad de fuentes.**

- a) Adecuación al uso apropiado del producto: esta la fuente ideal y se presenta en su mejor forma cuando la falta de adecuación al uso del producto se le informa al operario a través del usuario (quejas, pruebas etc. Siguiendo proceso o estación de trabajo).
- b) Especificaciones de producto: las especificaciones son ampliamente utilizadas pero se deben tomar algunas precauciones:

**Claridad:** Las especificaciones deberán suministrar información no conflictiva entre si.

**Prioridad:** Indicar con exactitud las prioridades dentro de las múltiples características de las especificaciones.

**Razón:** Explicar los "por que", las razones que existen detrás de las características de las especificaciones y los propósitos del producto.

**Suministro:** Suministrar estándares contra los cuales poder medir la calidad, los supervisores deberán proporcionarlos a los operarios.

**Entrenamiento:** entrenar a los operarios.

- c) Especificaciones del proceso Vs. Especificaciones del producto (temperatura, tiempo de ciclo Vs. Dureza y forma).

Quando el resultado (calidad de producto) no se puede observar hasta después de varias operaciones, no es práctico proporcionar especificaciones

de producto a los operarios, sino criterios de evaluación del proceso, tales como: lecturas de amperímetros, lecturas de presión en válvulas etc. Por ejemplo, en el proceso de endurecimiento del acero, las unidades de medición son completamente diferentes a aquellas utilizadas en el producto, las variables del proceso son: temperatura y tiempo de ciclo, etc. Y del producto: tamaño de grano, grano de dureza.

**2. Conocimiento de lo que se "esta logrando".**

**Las fuentes de información son Observación personal:**

- a) Observación personal: juzgar la calidad a través de los sentidos.
- b) Mediciones inherentes al proceso: muchos procesos están diseñadas para incluir instrumentación para mediciones.
- c) \*Mediciones efectuadas por el operador: en muchos procesos es factible la medición del mismo por el operador.
- d) \*Mediciones efectuadas por inspectores de control de calidad para proveer de información a los supervisores de producción y así mantener el proceso bajo control.

**\*NOTA:** Depende del parámetro a medir.

Los pasos a seguir:

**Actividad:**

- Medir producto o proceso.
- Registrar la información.
- Analizar la información.
- Decidir la acción a tomar.
- Tomar la acción correctiva.

**Llevada a cabo por:**

- Operario o inspector de control de calidad.
- Operario o inspector de control de calidad.
- Inspector, supervisor y operario.
- Supervisor de producción y producción.
- Supervisor de producción y producción.

**1. Habilidad para regular.**

Cuando el producto o proceso falle en cumplir especificaciones, el operador deberá ser capaz de cambiar el proceso de tal forma que elimine la falla. Este cambio puede consistir en:

- a) Variar las condiciones tecnológicas del proceso, por ejemplo: incrementar la presión del aire, añadir más concentrado.
- b) Variar el componente humano: por ejemplo: dar golpes mas ligeros con el martillo, suministrar mas presión al buril del torno manual.

**Variables:**

Son aquellas características de un producto o de un proceso que pueden ser medidas y expresadas con algún tipo de unidad.

Ejemplos:

**Variable.**  
Espesor de cristal.  
Temperatura superficial  
Presión de autoclave.  
Curvatura central.

**Unidad.**  
Milímetros.  
Grados centígrados.  
Kg. / cm<sup>2</sup>  
Milímetros.

**Atributo:**

Son aquellas características de apariencia, o cumplimiento de un producto al ser comparado contra un patrón, un debe ser, un calibrador pasa no pasa.

Ejemplos:

- Apariencia de logotipo.
- Sucio.
- Grabado.
- Rayas.
- Color.
- Banda sombreada decorada.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### **Estudio de habilidad.**

El estudio de habilidad es un método analítico, que permite predecir y determinar la habilidad, capacidad y consistencia de una maquina y/o proceso, para producir mas eficientemente en costo, tiempo y dentro de especificaciones. Así como prevenir problemas dentro del proceso y reclamaciones en campo.

Los estudios de habilidad son aplicable a cualquier operación/maquina/proceso que afecte características de: seguridad, funcionalidad, costo, apariencia y durabilidad.

Los estudios deben ser efectuados:

- Antes y después de aceptar un equipo nuevo.
- Para determinar la factibilidad de fabricación de un equipo nuevo.
- Para establecer la interrelación de las 5 M's.
- Para evaluar y validar cambios en el proceso (materias primas, condiciones de operación, herramientas etc.)...
- Para verificación y optimización de proceso.
- Para analizar operaciones/maquinas/procesos que estén produciendo fuera de especificación.

#### **Tipos de estudios de habilidad.**

- Estudios de habilidad de maquina- son aquellos que se deben efectuar sobre maquinas en forma individual.
- Estudio preliminar de habilidad del proceso- estos estudios proporcionan una información temprana para saber si un proceso nuevo o modificado es capaz de producir partes que cumplan especificaciones.
- Estudios de habilidad de proceso- estos estudios proporcionan una evaluación del proceso, operando bajo condiciones reales donde quedan incluidos todos los factores que contribuyen a su variación como: materias primas, mano de obra, maquinas, métodos y medio ambiente.

#### **Condiciones necesarias para efectuar un estudio de habilidad.**

- El proceso debe encontrarse bajo control estadístico (estable) puntos dentro de los límites de control y distribuidos sin tendencias.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



- Hacer todos los ajustes y correcciones antes de efectuar el estudio y durante este.
- El estudio se debe de llevar a cabo bajo condiciones estables y normales de producción.
- Utilizar instrumentos de medición y/o prueba calibrados.
- Medir con precisión de 1/10 de la tolerancia especificada.
- Registre los valores de las mediciones en el orden en que se efectúan, con el propósito que ante una discrepancia pueda determinarse la posible causa, al ser correlacionada con las condiciones de proceso.
- Identifique y retenga las piezas evaluadas.
- En el caso de estudios de habilidad de maquina, evalúe cuando menos 30 piezas consecutivas o mas si se sospecha de alguna anomalía.
- Para estudios preliminares, evalúe cuando menos 60 piezas tomadas al azar de 150 piezas producidas.
- Para estudios de habilidad del proceso evalúe como mínimo 5 piezas por día de por lo menos 25 días de producción. Establezca un sistema de muestreo que asegure que todos los factores que contribuyan a su variación queden incluidos.
- Para cualquiera de los tres tipos de estudio se deberán elaborar histogramas de frecuencia u otra técnica, para analizar la forma de la distribución, si el análisis indica distribuciones no normales es necesario utilizar técnicas avanzadas para determinar su habilidad.
- Cualquier evento fuera de lo común regístrelo.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### **Distribución de la probabilidad normal.**

Cuando en un histograma el polígono de frecuencias adquiere el perfil de una campana, se le conoce como curva de distribución normal, curva normal o campana de Gauss.

Características:

- La curva tiene un solo pico. Es unimodal.
- Es una distribución de probabilidad continua.
- La media de la población queda al centro de la curva.
- Es simétrica a ambos lados de la media, debido a su simetría; la media, mediana y moda de la población coinciden al centro y tienen el mismo valor.
- Las dos colas se extienden indefinidamente en ambas direcciones y son asintóticas.
- El área bajo la curva es la probabilidad y tiene un valor total de 1 o referido en porcentaje de 100%.
- Para definir una distribución normal en particular, son necesarios los parámetros:

A) Media poblacional  $\mu$ .

B) Desviación estándar poblacional  $\sigma$ .

Calculo de habilidad.

Cualquier proceso bajo control estadístico puede ser descrito por una distribución, y esta ayuda a estimar el porcentaje de partes que cumplen o están fuera de especificación, ya que la distribución puede variar en:



**Localización**

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Dispersión



Forma

Con valores obtenidos de Z y usando la tabla de áreas bajo la curva, localizamos las unidades y las décimas en la primera columna de la izquierda y las fracciones centesimales en la hilera superior en la intersección de ambos valores encontraremos el valor del área "A". De esta manera obtendremos dos valores  $A_2$  y  $A_1$  y el área total.

$$A_T = A_2 + A_1$$

Por lo tanto la habilidad del proceso es:

$$H = 100 - 100(A_T)$$

**CRITERIO.**

Para:  $\pm 3\sigma$

Para:  $\pm 4\sigma$

Para:  $\pm 3$

Para:  $\pm 4$

**PROCESO BILATERAL.**

La habilidad debe ser 99.73%

La habilidad debe ser 99.94%

**PROCESO UNILATERAL.**

La habilidad debe ser 99.87%

La habilidad debe ser 99.99%

Calcule la  $C_p$  y  $C_{pk}$  (índices de habilidad).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

La habilidad de un proceso puede ser potencial o real.

- La habilidad potencial se identifica con el símbolo CP y esta definido; el cociente de la variación de las especificaciones entre la variación natural del proceso. Nos indica que tan dentro o fuera de especificaciones se encuentra el proceso.

$$C_p = \frac{\text{VARIACION ESPECIFICADA O PERMITIDA}}{\text{VARIACION TOTAL DEL PROCESO}} = \frac{L.S.E. - L.I.E.}{6\sigma}$$

NOTA: para procesos unilaterales no se debe calcular Cp.

- La habilidad real del proceso se identifica como Cpk y se define como un índice de centrado de la variación de las especificaciones. Nos indica la posición real del proceso con respecto a la especificación.

$$C_{pk} = \frac{Z_{min.}}{3} \cdot \frac{Z_{min.}}{4} \cdot \frac{Z_{min.}}{5}$$

$$C_{pk} = C_p (1-K).$$

Donde:

$$K = (2D) / (L.S.E. - L.I.E).$$

$$D = |M - \bar{X}|$$

$$M = (L.S.E. + L.I.E) / 2$$

**Criterio.**

Cp y Cpk $\geq 1$	Para $\pm 3\sigma$
Cp y Cpk $\geq 1.33$	Para $\pm 4\sigma$
Cp y Cpk $\geq 1.67$	Para $\pm 5\sigma$

- Si son menores a 1 quiere decir que la maquina / proceso no es capaz de producir todas las partes dentro de especificación y nos indica errores y rechazos.
- Con valores entre 1 y 1.33 es necesario estar alerta, ya que aunque no hay partes fuera de especificación puede haber problemas en el corto plazo.
- Con valores mayores a 1.33 nos asegura un proceso dentro de control.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Todas las causas planteadas al principio de este trabajo se clasificaron en causas asignables y causas fortuitas, recordando:

**Causas asignables**

**Causas fortuitas**

**Asignables.**

Hecha la clasificación de las causas, se dedujo que las causas asignables son atribuibles a la falta de una filosofía de calidad. Por lo que se propone una implantación de un sistema de calidad estricto, por ejemplo con círculos de calidad en donde los trabajadores voluntarios con funciones similares al equipo de mejoramiento que aplicando técnicas de control de calidad resuelven problemas de su área o de sus puestos de trabajo.

**Fortuitas.**

Estas causas son precisamente el objetivo de esta tesis, no podemos eliminarlas del todo sin embargo para poder tener el menor número de defectos debemos contrarrestar dichas causas.

Las soluciones que a continuación se plantean son una propuesta para el mejoramiento del proceso:

**Penetración de aire:**

- 1.1.1.1 Proveerse de un dispositivo que permita medir la presión entre las rodajas montadas y en la prensa.
  - 1.1.2.1 Probar con diferentes durezas en rodajas.
  - 1.1.3.1 Desarrollar pistón neumático para tener control de la presión.
- 1.2.1.1 Cambiar a rodajas mas anchas.
- 1.3.1.1 Desarrollar el control en base a temperatura superficial en horno 2.
  - 1.3.1.2 incrementar temperatura a la salida de los hornos bajando velocidad en el transportador.
- 1.4.1.1 Definir e implementar en hornos la limpieza de los arillos.
  - 1.4.2.1 pendientes.
  - 1.4.3.1 evitar traslape en ensamble.
- 1.5.1.1 Igual que 2.
- 1.6.1.1 Evaluar sistema actual de limpieza y corregir lo necesario.
  - 1.6.2.1 Medir humedad de producto terminado en zona de burbuja y correlacionar con procesos anteriores.
  - 1.6.3.1 Detectar fuentes de fuentes de contaminación y corregir.
- 1.7.1.1 Medir humedad en producto terminado en zona de burbuja.
  - 1.7.2.1 Detectar fuentes de contaminación y corregir.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

- 2.1.1.1 Asegurar que el PVB se corte a una temperatura menor a 18°C para que entre al ensamble lo más cercano a la temperatura del cuarto.
  - 2.1.2.1 Revisar frecuencia de afilado de charrascas.
  - 2.1.3.1 Evaluar la operación de rasurado.
- 2.2.1.1 Reducir la temperatura del PVB después de la expansión.
  - 2.2.2.1 Diseñar un dispositivo que mantenga el PVB en contacto con cono y mesa fría.
    - 2.2.3.1 Cambiar sistema de tracción y control de velocidades de las secciones de la línea.
    - 2.2.4.1 Habilitar sistema de preacondicionamiento de PVB antes de la expansión.
    - 2.2.4.2 Rehabilitar sistema de control de temperatura de rodillos calientes de ambas líneas.
- 2.3.1.1 Evaluar operaciones y/o proveer de mejores medios para el manejo de PVB.
- 2.4.1.1 Evaluar operación.
  - 2.4.2.1 Asegurar regulación en el control de temperaturas superficial del vidrio, encontrar y definir condiciones de proceso adecuadas a la nueva formulación de PVB.
  - 2.4.3.1 Evaluar operaciones. Proveer los medios para evitar el contacto excesivo de operarios con ensamble.
- 3.1.1.1 Revisar programas de autoclave, revisar desarrollo real de perfil y definir e interpretar el proceso.
  - 3.1.2.1 Revisar calibración de instrumentos.
  - 3.2.1.1 igual a 3.1.1
  - 3.2.2.1 Igual a 3.1.2
- 4.2.1.1 Pendiente.

### **Aire atrapado**

- 5.1.1.1 Analizar factibilidad de mecanizar la operación.
  - 5.1.1.2 Evaluar operación. Encontrar la mejor técnica de manejo.
  - 5.2.1.1 Habilitar equipo y control que permita fijar y obtener las condiciones de calentamiento para los diferentes modelos de manera fácil y rápida.
  - 5.2.1.2 Agrupar modelos por tamaño y asignar a cada grupo las condiciones de calentamiento específicas.
  - 5.3.1.1 Monitorear temperatura de vidrio en la alimentación de ensamble y vacío. Debe estar entre 21°C y 41°C.
  - 5.4.1.1 Rediseñar soportes que tengan el mínimo de contacto con el vidrio.
- 8.1.1.1 Mantener las condiciones de proceso en el curvado.
  - 8.1.1.2 Medir separación de hojas de cristal y definir cual es el valor óptimo requerido (<0.12") para generar acciones o cambios en los homos que aseguran este parámetro.
- 9.1.1.1 Instalar equipo de refrigeración para bajar la temperatura del aire de enfriamiento del PVB en el cono se requiere el aire entre 2 y 4 °C.
- 9.2.1.1 Evaluar la factibilidad de utilizar tablas con un aditamento curvo sobre el cual se adapte la forma del PVB expandido abarillado.
- 10.1.1.1 Habilitar en el control una velocidad menor después de la mitad del parabrisas.

- 10.2.1.1 Reducir espacio ente rodajas (mas rodajas o mayo espesor) en las zonas de incidencia de burbuja, en prensa 1 y 2.
- 10.3.1.1 Igual que 1.1.1.
- 10.3.2.1 Incrementar la presión ente rodajas hasta el punto que no se vea afectado defectivo por rotura.

En contacto con el proceso nos pudimos dar cuenta de que poniendo énfasis en las causas arriba mencionadas se puede contrarrestar el efecto de estas dentro del proceso.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**Gitlow, Oppenheim & Oppenheim.**  
**Quality Management: Tools and Methods for improvement.**  
**IRWIN**  
**Montclair U.S.A**

**Gutierrez Alcantara Flor Monica.**  
**Los Atractores.**  
**Ingenieria en Computacion.**  
**Enep Aragon.**  
**Tesis.**  
**1999**

**Manual de productividad.**  
**Martínez Cosgalla Juan.**  
**Instituto Politécnico Nacional.**

**Ishikawa Kaoru.**  
**Introducción al control de calidad.**  
**Ed. Díaz de Santos.**  
**España.**

**Deming W. Edwards.**  
**Calidad, productividad y competitividad.**  
**Ed. Díaz de Santos**  
**España.**

**Juran J.M.**  
**Juran y la planificación para la calidad.**  
**Ed. Díaz de Santos**  
**España.**

**Juran J.M.**  
**Juran y el liderazgo para la calidad.**  
**Ed. Díaz de Santos**  
**España.**

**Manuales de procedimientos.**  
**Hojas de instrucción.**  
**Crinamex S.A. de C.V.**

**Douglas C. Montgomery.**  
**Control Estadístico de la calidad.**  
**Grupo Ed. Iberoamerica**

**Enciclopedia Microsoft® Encarta® 2002.**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**