



UNIVERSIDAD DE CHILE  
Facultad de Arquitectura y Urbanismo  
Escuela de diseño



Disglass

## “El vidrio como material estructurante del mobiliario en Chile”

Seminario de Procesos de producción y materiales Industriales II

Profesora: Paola de la Sotta L.

Integrantes: Flavia Maass Aguilera – Camila Toro Canabes

24 de Noviembre de 2009

Santiago, Chile

<b>Indice</b>		1.2 Normalización	
		1.3 Tecnologías aplicadas	
Resumen	3	2.-Mobiliario curvo en vidrio en Chile	29
Palabras Claves	5	2.1 Etapas del proceso productivo	
Introducción	7	2.2 Tecnologías aplicadas	
Relevancia del proyecto	9	2.3 Normalización	
Objetivo General	10	2.3 Costos de producción	
Objetivos Específicos	10	2.4 Limitantes de diseño para la producción de mobiliario en vidrio	
Resultados Esperados	11	2.4.1 Estructurales	
Metodología de Investigación	13	2.4.2 Fabricación	
<b>Capítulo I: Mobiliario curvo en vidrio</b>	<b>14</b>	2.4.3 Económicas	
1.-Mobiliario curvo en vidrio en el mundo	14	3.- Conclusiones	35
1.1 Etapas del proceso productivo		<b>Capítulo II: Propuesta línea de diseño mobiliario curvo</b>	<b>36</b>
		1.- Estudio caso mobiliario producido en Glasstech	36
		1.1 Cálculos estructurales del mobiliario	
		1.2 Tecnologías aplicadas en su fabricación	

2.- Línea de diseño para mobiliario curvo	57	3.- Análisis de aplicación de nanotecnologías sobre el mobiliario curvo	80
2.1 Propuesta conceptual		3.1 Beneficios de su aplicación	
2.2 Propuesta formal		3.2 Procesos para su aplicación	
2.2.1 Propuesta 1		3.2.1 Tipo de reacción de los gases sobre el vidrio	
2.2.1.1 Características		3.2.2 Tipo de material a depositar sobre el vidrio	
2.2.1.2 Análisis de stress		3.2.3 Maquinaria utilizada para la deposición	
2.2.1.3 Fabricación		3.2.4 Etapa de inclusión en el proceso de producción	
2.2.1.4 Uso		3.2.5 Costos de producción de la técnica	
2.2.2 Propuesta 2		3.3 Impacto medio ambiental	
2.2.2.1 Características		4.- Conclusiones	100
2.2.2.2 Análisis de stress		5.- Bibliografía	102
2.2.2.3 Fabricación			
2.2.2.4 Uso			
2.2.3 Propuesta 3			
2.2.3.1 Características			
2.2.3.2 Análisis de stress			
2.2.3.3 Fabricación			
2.2.3.4 Uso			

## **Resumen**

Este seminario, se condujo sobre la base de la indagación y la experimentación teórica, y tiene como propósito reflejar los avances tecnológicos y estructurales que se pueden aplicar al VIDRIO para que este se transforme en material estructurante para el desarrollo de mobiliario curvo.

Así se trata de responder y eliminar los prejuicios que se han formado popularmente sobre la resistencia mecánica que este material pierde al ser curvado, de esta manera se pretende ampliar el espectro de posibilidades que maneja el diseñador industrial al momento de diseñar y elegir el material soportante.

Nos introduciremos al tema, explicando el desarrollo tecnológico y las etapas del proceso productivo por las que se somete el vidrio al transformarse en mobiliario curvo en Chile y el mundo, pasando por la normalización hasta llegar un análisis más complejo identificando las limitantes para el diseño que el vidrio al ser curvado.

Luego analizaremos un caso específico de mobiliario curvo de la empresa chilena Glasstech, a través de diferentes metodologías de cálculos estructurales. El resultado nos otorgará las condiciones particulares que adquiere el vidrio al curvarse, además de los cambios de resistencia que sufre al utilizarse además como soporte estructural.

Como último punto, este seminario concluye con el desarrollo de una línea de diseño de mobiliario curvo consecuente y ejemplificadora de los datos y criterios expuestos en este estudio, explorando muchas de las variables estéticas y estructurales que el vidrio ofrece, para definir quizás, un movimiento con tendencia al desarrollo del mobiliario curvo en vidrio y la aplicación de nuevas tecnologías para aumentar su resistencia.

## Palabras Claves

- **Mobiliario curvo en vidrio**

En el mobiliario curvo en vidrio se ve reflejada la interacción del diseño y tecnología, en el que ambas se unen para generar productos donde predominen las características de pureza y transparencia que le otorga el vidrio como material principal, para manipularse como material estructurante.

- **Materiales nanoestructurados**

Son materiales con átomos agrupados ordenadamente en agrupaciones de tamaño nanométrico, los cuales son la base para construir estructuras mayores de este tipo de materiales.

Los materiales convencionales tienen un tamaño de grano que va desde los micrómetros a cientos de milímetros y contiene cientos de billones de átomos cada uno. Con un tamaño de grano nanométrico tan sólo contiene 900 átomos cada uno.

Como el tamaño del grano es pequeño, hay un significativo incremento en la fracción de intercaras y fronteras de grano por volumen. Dicho de otra forma, los granos nanoestructurados son entre mil y cien veces más pequeños que los de un material común, y además, dentro del mismo volumen poseen el 0.001 por ciento de átomos. Esta característica influye en las propiedades físico-químicas del material. Usando una variedad de métodos de síntesis, es posible producir materiales nanoestructurados en forma de películas delgadas, envolturas de materiales, en polvos y prácticamente con cualquier forma.

- **CVD**

Chemical vapor deposition o deposición química en fase de vapor es una técnica de deposición de materiales nanoestructurados, que consiste en la reacción de una mezcla de gases previamente seleccionado en el interior de una cámara al vacío (reactor) los cuales al reaccionar depositándose sobre un material inicial (sustrato), formando de una capa delgada a nivel

nanométrico (imperceptible a la vista) o en polvo de un material formado por los gases introducidos sobre la superficie del sustrato. Los subproductos de la reacción son evacuados hacia el exterior mediante un sistema de alta velocidad de bombeo.

- **Recubrimientos funcionales**

Los recubrimientos son capas de material que modifica la superficie de un sustrato dependiendo de su grosor, composición y morfología superficial ofrecerán unas propiedades u otras.

Se habla de recubrimientos funcionales cuando el recubrimiento ofrece una propiedad distinta que dota al sustrato de alguna función deseada.

## Introducción

A medida que han transcurrido los años, el diseño industrial ha ido adquiriendo cada vez mayor transparencia en su expresión formal, ya sea con la utilización de vidrio y otros materiales como polímeros traslúcidos, para así dar la percepción espacial interior-exterior en el objeto. También se ha llegado a utilizar el vidrio en proyectos de menor escala como material principal de estructuramiento, un ejemplo de esto es el mobiliario curvo en vidrio.

Para introducirnos en este último campo es necesario el conocimiento de la utilización del vidrio como material estructural, comprensión que aún no a sido adquirida en su totalidad por el diseño industrial ni por gestores de este tipo de empresas, ya que no existe ninguna norma que regule la proyección de este tipo de objetos tan frágiles (espesores, curvaturas, etc.) en el diseño de mobiliario curvo, olvidando que este producto interactúa

directamente con el usuario, por lo que es necesario establecer ciertos criterios que velen por la seguridad de éstos.

Debido a la morfología que posee el vidrio se pueden identificar ciertas limitantes que generan que el campo del mobiliario tenga un desarrollo restringido como lo son: la falta de tecnologías aplicadas en sus procesos productivos y la carencia de interés por medio de los gestores de un mayor desarrollo de este campo de aplicación.

La nanotecnología es un área científica de rápido crecimiento a nivel mundial. Muchos la consideran la base de la próxima revolución industrial que ya está iniciando. Es posible que en pocos años ningún país pueda escapar a investigar y desarrollar las nanotecnologías. Actualmente su aplicación en forma de recubrimientos delgados sobre los materiales iniciales, ofrece una o más propiedades distintas, que dotan al sustrato de alguna función deseada.

Es por dichas razones, que hemos impulsado el desarrollo de este seminario el cual contempla la posible introducción de un nuevo proceso productivo en el sistema del mobiliario curvo en vidrio, el cual vendrá a aportar a este objeto cualidades de resistencia en directa relación con la forma proyectada de éste. Para esto es debido identificar y analizar, las deficiencias que posee el vidrio al curvarse y ser utilizado como material estructural para el diseño de mobiliario, además de determinar la etapa o lugar dentro de su sistema productivo para intervenir. Concluyendo así, en el tipo de tecnología que produciría una mejora considerable en el producto final del mobiliario curvo en vidrio.



## **Relevancia del proyecto**

El fin de esta investigación es incentivar el desarrollo de este tipo de empresa para así superar el gran nivel de desventaja en su desarrollo productivo, con respecto a los demás países, por la falta de inclusión de tecnologías aplicadas en esta área, además del poco interés en su desarrollo.

Al reconocerse una gran deficiencia en la normalización existente dentro del mobiliario en vidrio, la cual excluye a cualquier producto que contenga formas curvadas, nos da pie para comenzar una investigación de esta índole que pretende ser un medio para dar comienzo al desarrollo productivo de ésta área.

Es por esto que nuestra labor como diseñadores industriales es poder establecer los criterios básicos para afrontar el diseño del mobiliario curvo en vidrio, instaurando juicios para el desarrollo de éste en formas curvas que permitan ampliar más las áreas de trabajo en vidrio. Además es de vital importancia la determinación de factores que son excluidos de los

principales empresas productoras como los son los temas de funcionalidad, ergonomía y resistencia.

Como profesionales del área debemos identificar u determinar nuevos tipos de tecnología que produzcan una mejora considerable en el producto final del mobiliario curvo en vidrio, como es el carácter de resistencia que pierde el vidrio al ser curvado. Es por esta razón que además de identificar y desarrollar un área de trabajo nuevo para el diseño industrial debido a carencias del material y de tecnologías, proponemos la inclusión de una nueva etapa dentro del proceso productivo del mobiliario curvo, donde la característica de resistencia del producto, la cual se pierde al curvar el material, es posible su total recuperación a través de la introducción de deposiciones de material nanoestructurado sobre el material ya curvado.

### **Problema de investigación:**

### **La fragilidad y poca libertad formal del vidrio como material estructurante en el mobiliario**

#### **Objetivos Generales**

- Analizar las condiciones estructurales que hacen del vidrio curvo una estructura soportante
- Identificar y analizar el sistema productivo del mobiliario curvo en vidrio para la inclusión de un nuevo proceso productivo de recubrimiento de materiales nanoestructurados sobre el vidrio.
- Ampliar el proceso productivo en el vidrio, a partir de la inclusión de tecnologías para la proyección de nuevos productos.

#### **Objetivos Específicos**

- Exponer y analizar las limitantes del vidrio en el sistema productivo del mobiliario.

- Determinar las condiciones de diseño estructural en vidrio, relacionando los criterios estructurales de este al ser curvado.
- Exponer y analizar el comportamiento del vidrio curvo en un mobiliario específico.
- Establecer y desarrollar una línea de diseño que recoja los criterios estructurales antes expuestos, para que sea utilizado como ejemplo para el desarrollo de nuevos proyectos en vidrio
- Determinar el tipo de tecnología que produce una mejora considerable en la resistencia en el producto final de mobiliario curvo en vidrio.
- Establecer los requisitos necesarios que posee y requiere el vidrio para la inclusión de nuevas tecnologías.
- Identificar y analizar la etapa de introducción de la Nanotecnología en el proceso productivo del mobiliario curvo en vidrio en Chile.

## Resultados Esperados

A partir de lo investigado se reconoce una gran deficiencia en la normalización existente, ya que toda la información presente es para productos de vidrio en forma plana, excluyendo a cualquier producto que contenga formas curvadas.

Es por esto que como diseñadores debemos establecer los criterios básicos para afrontar el diseño del mobiliario en vidrio, instaurando criterios para el desarrollo de este en formas curvas que permitan ampliar más las áreas de trabajo en vidrio. Respecto a los productos curvos del área de mobiliario, Glasstech utiliza referentes del exterior, en donde ocupa la información de ellos para producirlos, por lo tanto las normas no están presentes en estos productos. Además no incluyen dentro de su proceso productivo tecnologías que otorguen resistencia y seguridad al mobiliario, como lo es el laminado y templado, debido que éstas sólo son aplicables a objetos planos.

Dentro de los muebles producidos en el país, éstos son sólo resultado de concursos en donde se especializan

solamente en la estética del producto, dejando atrás los temas de funcionalidad, ergonomía y resistencia.

Además es de vital importancia determinar tipos de tecnología que produzcan una mejora considerable en el producto final del mobiliario curvo en vidrio, como es el carácter de resistencia que pierde el vidrio al ser curvado, además de su imposibilidad de ser sometido a procesos que le otorgan tal característica como el proceso de templado y laminado, ya que son exclusivos productos planos.

Es por esta razón que además de identificar y desarrollar un área de trabajo nuevo para el diseño industrial debido a carencias del material y de tecnologías, proponemos la inclusión de una nueva etapa dentro del proceso productivo del mobiliario curvo, donde la característica de resistencia del producto la cual se pierde al curvar el material, es recuperada a través de la deposición química en fase de vapor de un material nanoestructurado sobre el mobiliario curvo de vidrio.

A partir de esto concluimos que la inclusión de recubrimientos funcionales sobre el vidrio, otorgarían al material inicial el aumento de su resistencia y por ende de su durabilidad. Esto puede ser un gran aporte para ampliar el campo de diseño y desarrollo del mobiliario en vidrio, ya que le otorgaría al vidrio mayor libertad para la proyección de su aspecto formal, como por ejemplo formas curvas y orgánicas, que antes jamás se pudiesen podido desarrollar, sin que este perdiera resistencia al estar cubierto por capas duras nanométricas.

Además de ampliar el campo del mobiliario, la introducción de nuevas tecnologías otorgará las herramientas necesarias para que el diseño industrial se pueda desarrollar de manera más amplia en la proyección de objetos formalmente insospechados e improbables de resistir su uso en este material tan traslúcido y frágil.

## Metodología de Investigación

En esta investigación se realizará una metodología de tipo mixta, a través de investigación documental, (consulta a libros, páginas web, papers, etc.) para entender y analizar la resistencia del vidrio al ser curvado ,además de qué manera la aplicación de materiales nanoestructurados sobre mobiliario curvo beneficiaría su resistencia y uso., investigación de campo, por medio de visitas a terreno a empresas relacionadas con la producción de mobiliario en vidrio y entrevista a profesionales, académicos, universidades, instituciones o empresas relacionadas con el tema tanto de la producción de mobiliario en vidrio como expertos en el tema de la aplicación de materiales nanoestructurados.

También se realizará en algunos casos investigación de tipo comparativa para conocer y evidenciar los procesos y características que encontremos en las áreas como procesos productivos de mobiliarios en vidrio y empresas que apliquen la técnica CVD en alguno de sus procesos productivos.

Posibles empresas a investigar producción mobiliario en vidrio

- Glasstech

Empresas, instituciones relacionadas con la aplicación de materiales nanoestructurados

- Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica – CONICYT
- Centro para la Investigación Interdisciplinaria Avanzada en Ciencia de los materiales de la Universidad de Chile.
- El Programa Iniciativa Científica Milenio- ICM
- Chile Innova. Programa de desarrollo e innovación tecnológica.

Profesionales del área

Fernando Maass Artigas, Doctor en Física Aplicada y Electrónica.

## **Capítulo I: Mobiliario curvo en vidrio**

### **1.-Mobiliario de vidrio en el mundo**

El mobiliario es el conjunto de muebles; son objetos que sirven para facilitar los usos y actividades habituales en casas, oficinas y otro tipo de locales. Normalmente el término alude a los objetos que facilitan las actividades humanas comunes, tales como dormir, comer, cocinar, descansar, etc., mediante mesas, sillas, camas, estanterías, muebles de cocina, etc. El término excluye utensilios y máquinas.

El mobiliario de vidrio es donde se ve reflejada la interacción de diseño y tecnología, en el que ambas se unen para generar productos en donde predominen las características de pureza y transparencia que le entrega el vidrio como material principal, otorgándole un estilo moderno, sofisticado e innovador.

El vidrio es un material único: frágil y fuerte a la vez. Si se utiliza de forma correcta permite generar diversas formas atractivas para el mobiliario.

La utilización de éste material data de los años 1937 con la aparición de la silla de vidrio para el jardín de Jacques André y Jean Prouvé en la ciudad de París. En 1987 aparece la silla “Ghost” diseñada por Cini Boeri y Tomu Katayanagi.

La empresa Fiam es una de las más importantes de mobiliario de vidrio en el mundo. Nace en 1973 por Vittorio Livi. El objetivo de Livi fue darle un protagonismo principal al vidrio en el diseño de mobiliario. Esto se hizo posible por medio de la mezcla de la artesanía y de la tecnología desarrollando así muebles a través de la técnica del vidrio curvado. En la actualidad Fiam fabrica mobiliario contemporáneo utilizando la transparencia del cristal, su pureza y su fuerza. Sus creaciones son siempre originales combinadas con la innovación tecnológica del cristal curvado y

la gran calidad de este material. El cristal no sirve solo como complemento de decoración sino es el protagonista. El cristal curvado representa un desafío a las leyes físicas, tiene plasticidad, puede ser moldeado. Muchos grandes diseñadores contemporáneos han contribuido al diseño de Fiam Italia como: Cini Boeri, Tomu Katayanagi, Ron Arad, Enzo Mari, Makio Hasuike, Philippe Starck, Christophe Pillet, Vico Magistretti, Rodolfo Dordoni. Mirando los productos de Fiam se perciben los 7.000 años de historia que el cristal cuenta y se ve en transparencia el futuro de este mágico material. Fiam es el testigo de esta historia y el protagonista del futuro.

### **1.1.- Etapas del proceso productivo**

#### **Corte y trazado**

En la gran mayoría de las empresas internacionales de vidrio el proceso parte por el

corte y trazado ya que el vidrio llega en forma de lámina, es decir, la producción de vidrio es aparte.

Este proceso parte con la introducción de datos a la computadora, la cual maximiza automáticamente los cortes dentro de la plancha de cristal, a continuación, el robot automático toma el cristal de su forma vertical y lo deposita en la mesa de corte, para su trazado, este robot tiene la capacidad de levantar hasta 5 toneladas.

Una vez en la mesa se procede al corte, con una ruleta adiamantada y a su posterior participación en la mesa de fragmentado en la cual los cambios de nivel de las placas de la mesa posibilitan una fragmentación adecuada, la movilidad del cristal sobre la mesa depende de una cámara de aire que hace que el cristal “flote” sobre ella permitiendo ser movilizada con gran facilidad.

Una excepción que tiene el sistema, es el corte de las láminas de cristal laminado, que por tener un film de polivinil butiral (PVB), se debe cortar con

una doble ruleta adiamantada, más una alcohol para disolver tal film.

### **Perforado**

Este proceso se realiza con una máquina avellanadora y perforadora, que a través de un par de brocas adiamantadas realizan los trabajos de perforado, avellanado y destajado.

Estas brocas son adiamantadas y recambiables, según los requerimientos dimensionares de los orificios y de los grosores de los cristales. El funcionamiento de estas mismas es en forma alternada y vertical, es decir en un cristal de 6mm, la broca superior baja y perfora 3 mm, mientras la inferior sube y perfora los 3 mm faltantes, esto siempre acompañado de un chorro de agua saliendo del centro de la broca que actúa como lubricante.

Las dimensiones mínimas para estos procesos son de 3 mm de espesor, para asegurar una buena terminación.

Este proceso también se ocupa una perforadora manual, esto en los casos que la placa de cristal sea tan pequeña que no alcance a fijarse en la mesa de trabajo, este sistema también opera con una broca adiamantada y agua.

Este proceso es usado comúnmente, cuando se han considerado sistemas de uniones metálicas, tales como perfiles de aluminio, arañas y pernos.

El avellanado es la aplicación superficial del diámetro de la perforación que permite, que las uniones entre el cristal y los elementos metálicos queden a plomo, permitiendo que quede una terminación lisa.

El destajado son cortes menores que alteran la geometría regular del elemento y que permite cortes especiales y aplicaciones con molduras.



### **Pulido**

Este proceso permite un trabajo de terminación de los bordes de cristales con variadas formas, evitando la peligrosidad de los cantos vivos y ajustándose con encuentros de distintas materialidades.

Para comenzar se inserta una planilla prediseñada al computador, la cual contiene los datos de la forma deseada, a continuación una muela (broca especial) comienza a leer el borde de cristal, bajo un chorro de agua, y a moldear la forma.

Los tipos de pulido que se les entrega la vidrio son:

- Tripe wave (triple ola)
- Redondo
- Plano

### **Biselado**

Este proceso es similar al del pulido, ya que se incorporan datos en un computador y éste ejecuta a través de muelas de biselado los datos que se

incorporan los ángulos en grados, dependiendo del espesor del cristal.

Los ángulos pueden variar entre 4 y 45 grados.

### **Templado**

Básicamente hay dos métodos para templar un vidrio: química y térmicamente, aunque el de uso más habitual es el segundo.

#### **Templado químico**

El templado químico consiste en sumergir el vidrio en una solución salina, a temperatura elevada y con alta concentración de iones de potasio. Estos iones reaccionan con los iones de sodio propios del vidrio y toman su lugar; y como son más grandes en volumen provocan un estado de compresión en las capas superficiales del vidrio. La profundidad de vidrio afectado es bastante baja, por lo que se recomienda el uso de vidrios delgados para garantizar un templado homogéneo. La capacidad

resistente aumenta 20 veces con respecto al vidrio convencional, llegando a admitirse una tensión de tracción sin rotura de hasta 100000 N/cm<sup>2</sup>.

En caso de rotura el vidrio no se deshace, sino que se parte como el vidrio ordinario aunque después de soportar mucho mayor esfuerzo. Es posible cortarlo y manufacturarlo tras el templado, ya que el corte no produce ninguna tensión. En estas zonas modificadas el vidrio no quedará templado sobre un ancho de unos 20 mm. Los vidrios templados químicamente no se utilizan habitualmente en construcción, están recomendados en laboratorios donde se exige una gran capacidad mecánica al vidrio, pero no se puede colocar el templado térmico debido a la característica de que al fracturarse lo hace en pedazos diminutos de entre 0.5 y 2 cm<sup>2</sup> que podrían saltar hasta las probetas de investigación.

### **Templado térmico**

El principio del templado térmico consiste en recalentar los vidrios ya cortados, tratados con capas especiales o esmaltados si es el caso, hasta una temperatura aproximada a los 700 °C en un horno industrial. Inmediatamente son enfriados bruscamente por medio de aire soplado, con lo que las superficies exteriores se contraen, solicitándolas a compresión. El corazón del vidrio mantiene una alta temperatura y tiende a enfriarse más lentamente.

El temple consigue comprimir de forma permanente las dos caras del vidrio, a la vez que tracciona el interior. Pretensa el vidrio, de manera que se crea un sistema de tensiones que aumentan la resistencia mecánica del producto acabado. En el proceso, las tensiones de compresión de ambas caras del vidrio se compensan con las de tracción que aparecen en el interior y estas tensiones

prevalecen y confieren un estado de pretensado que hace al vidrio más resistente.

La tensión máxima de rotura cuadruplica la del vidrio sin temprar llegando a resistir 20.000 N/cm<sup>2</sup>; pero el propio proceso de temple no permite un control absoluto de la uniformidad de la temperatura, por lo que la tensión de cálculo ronda los 5.000 N/cm<sup>2</sup>.

### **Tipos de hornos de templado – Thermoendurecido térmico**

#### **Vertical**

Consistía en suspender la lámina desde arriba por medio de unas tenazas metálicas que iban sobre una guía que atravesaba la cámara de calentamiento que estaba a 650-700 °C y la zona de templado/enfriamiento. Hablamos en pasado porque la técnica ya ha superado los inconvenientes que tenía que el vidrio fuera

colgado: no templaba correctamente hojas delgadas, no garantizaba un templado homogéneo y además dejaba visibles las antiestéticas marcas de las tenazas. La evolución tecnológica dio paso al horno horizontal.

#### **Horizontal**

Este sistema está equipado con rodillos de sílice dispuestos en paralelo, sobre los que pasa el vidrio a una velocidad de unos 20 mm/segundo, dependiendo de la longitud del horno y el espesor del vidrio. Los equipos modernos realizan el templado sobre un cojín gaseoso, que calienta los volúmenes por ambos lados mientras se deslizan entre los túneles del horno. Con este procedimiento obtenemos vidrios sin dilataciones remanentes de volumen y conseguimos temprar hojas de incluso 3 mm de grosor. Presenta no obstante la antiestético propiedad de la irisación, además de posibles curvaturas u ondulaciones: si en el momento en

que el vidrio pasa al estado viscoso la temperatura superficial no es uniforme, tendremos de aumentarla para conseguirlo, con lo que el vidrio se deformará más fácilmente y podrán aparecer curvaturas que provoquen distorsiones en las imágenes vistas en reflexión, u ondulaciones producidas por los rodillos del horno, cuando éste alcanza la temperatura de reblandecimiento.

Durante el enfriamiento también pueden aparecer problemas si éste no se hace uniformemente, ya que una de las caras se contraerá más alcanzando la rigidez antes que la otra, lo que también provocará una curvatura en la pieza.

Dentro de los hornos horizontales merecen una mención especial los nuevos hornos de convección forzada - radiación:

Se trata de un horno de doble cámara, en la primera de las cuales se consigue un calentamiento gradual hasta los 300°C, gracias a la convección forzada, de manera que a la salida de

la cámara el vidrio tenga la misma temperatura en toda su superficie, estando en las mejores condiciones para pasar a la segunda cámara, en la que se procede de forma habitual. La novedad reside en que el vidrio entra en el horno de 700°C con una temperatura uniforme en su masa de 300°C, por lo que el choque térmico es menor y los riesgos de curvatura se eliminan considerablemente. El resultado es una mejora en el aspecto estético de las fachadas de los edificios, una más homogénea distribución de las tensiones superficiales y un incremento de la capacidad mecánica.

### **Curvado**

Se obtiene mediante el calentamiento del cristal, hasta su punto de plasticidad, dándole la forma deseada mediante moldes.

El proceso en la colaboración del vidrio plano en un horno eléctrico horizontalmente sobre un molde, el cual es fabricado previamente con una matriz de fierro con una capa de fibra de cerámica resistente al calor que actúa como desmoldante.

A continuación cuando la plasticidad del cristal, mediante calentamiento (aproximadamente  $590^{\circ}$  –  $630^{\circ}$ ), su peso propio hará que se adapte y tome la forma del molde, esto se logra en un tiempo aproximado de 10 a 12 minutos y con una aplicación de calor en 27 zonas distintas del horno según sea necesario.

El proceso termina una vez enfriado el cristal, de forma lenta a fin de evitar tensiones internas en su estructura molecular.

### **Curvado y templado**

El proceso de curvado templado se consigue mediante un proceso de calentamiento, curvatura y rápido enfriamiento. El proceso de calentamiento parte al introducir el vidrio en hornos que alcanzan una temperatura de  $706^{\circ}$  C. Luego se somete el vidrio a un enfriamiento brusco mediante soplates de aire forzado (choque térmico).

El resultado es una transformación estable de la estructura molecular del vidrio que produce unas tensiones permanentes que incrementan la resistencia mecánica a la flexión, compresión e impacto del vidrio.

## 1.2 Normalización

Aunque la incorporación del vidrio como material estructural permite conseguir efectos estéticos importantes en las estructuras modernas, su comportamiento frágil, debido a la inevitable presencia de microgrietas en su superficie y la posibilidad de una eventual rotura con resultados imprevisibles, exige aplicar métodos de cálculo rigurosos para alcanzar los niveles de seguridad exigidos en las normas de edificación habituales en otros materiales convencionales. Por tanto, dado que la resistencia del vidrio, como material frágil, depende estrechamente de la presencia de defectos en su superficie, del tamaño del elemento y de la sollicitación aplicada, el diseño y cálculo de elementos estructurales de vidrio deben estar basados indiscutiblemente en consideraciones probabilísticas y en criterios de la Mecánica de Fractura. Recientemente en España el Ministerio de Fomento promovió un ambicioso programa para desarrollar el nuevo Código Técnico Español en la Edificación, relativo tanto al dimensionamiento de materiales

convencionales como a nuevos materiales. En este marco de trabajo, se planteó la necesidad de formular una norma para el cálculo de elementos de vidrio y se ofreció al grupo de investigación de los autores de este artículo la oportunidad de colaborar con el Instituto de Ciencias de la Construcción “Eduardo Torroja” (CSIC) en la definición de las bases de cálculo y las aplicaciones estructurales del vidrio monolítico y laminado bajo condiciones de seguridad.

El cálculo de la resistencia de los materiales frágiles se puede plantear bajo dos perspectivas diferentes, correspondientes a un modelo basado en las tensiones críticas del material y a otro modelo basado en los tamaños máximos de defecto. Aunque ambos modelos se fundamentan esencialmente en las mismas hipótesis, difieren en los parámetros de referencia considerados para establecer el criterio de rotura del material. Una vez caracterizado experimentalmente el material, ambos procedimientos permiten determinar la probabilidad de fallo de placas de vidrio para diferentes relaciones geométricas, sollicitaciones de carga y condiciones de apoyo.

A partir de lo analizado se realizó un estudio de algunas normas extranjeras actualmente vigentes, concretamente las normas americana ASTM E 1300-02, italiana UNI 7143-72, francesa NFP 78-201-1 y neozelandesa NZS 4223. A través de su análisis se busca comprender la concepción poseen diferentes países para trabajar el vidrio de diversas formas y cual es el grado de rigurosidad con el cual se trabaja cada una.

#### **Norma americana ASTM E 1300-02**

La norma ASTM E 1300-02 “Standard Practice for Determining Load Resistance of Glass in Buildings”, que se encuentra en un continuo proceso de desarrollo, presenta un procedimiento de cálculo de resistencia de vidrios monolíticos, laminados y aislantes en placas rectangulares de espesor determinado, apoyadas en un único borde (placa en voladizo), en dos bordes (viga simplemente apoyada), en tres y cuatro bordes, sometidas a una carga lateral uniforme de corta o larga duración para una probabilidad de fallo dada del 8‰ o con la opción de cambiar a otros valores.

Esta norma, basada en el modelo de rotura de Beason, que relaciona la resistencia del vidrio con la condición de su superficie, presenta doce ábacos para la selección del espesor de placas de vidrio monolítico en un rango de 2,5 mm a 22 mm.

De las normas consultadas, la ASTM es la más completa debido a la consideración de una gran variedad de tipos de vidrio, condiciones de apoyo y duración de la solicitación aplicada. Sin embargo, como puntos débiles es necesario mencionar que en esta norma no se especifican claramente los factores parciales de seguridad del material y de las cargas, no se tratan diferentes geometrías de placas, ni tipos de solicitación y no se establece un modelo probabilística para el vidrio laminado.

#### **Norma italiana UNI 7143-72**

La norma UNI 7143-72 “Vetri piani. Spessori dei vetri piani per vetrazioni in funzione delle loro dimensioni, dell’azione de vento e del carico neve”, que permite la selección del espesor necesario en placas de vidrio de

fachadas y cubiertas, está basada en la teoría elástica general de placas de Timoshenko (13), incluyendo un factor de corrección que tiene en cuenta el coeficiente de Poisson del material. Para este cometido, se presentan cuatro ábacos para placas rectangulares de vidrio monolítico básico, apoyadas en sus cuatro bordes y expuestas a una carga lateral uniforme de viento o nieve. Mediante un factor de corrección basado en la relación de tensiones admisibles, la norma permite también seleccionar el espesor en placas de otros tipos de vidrio, diferentes al básico monolítico. En estos ábacos el rango de cargas considerado es de 490 Pa a 1230 Pa.

Entre las ventajas de la norma italiana se encuentran la sencillez de uso y la posibilidad de cálculo de placas en posiciones distintas a la vertical. Sin embargo, presenta como inconvenientes su antigüedad, pues se trata de una norma editada en 1972, y que no está basada en el cálculo de los estados límites. Asimismo se detectan importantes limitaciones en el uso de geometrías, curvaturas, tipos de cargas aplicadas y condiciones de apoyo de las placas, y no se especifica la probabilidad

de fallo, dando resultados de dimensionamiento excesivamente conservadores.

### **Norma francesa NFP 78-201-1**

La norma NFP 78-201-1 “Travaux de miroiterie vitrerie”, publicada en 1993, está también basada en la teoría elástica general de placas de Timoshenko y ofrece la posibilidad de seleccionar el espesor de placas planas de vidrio monolítico con dos, tres o cuatro bordes apoyados, expuestas a carga de viento o carga de nieve para el caso de placas de cubierta.

Entre sus principales ventajas se encuentran la simplicidad de uso, la posibilidad de calcular distintos tipos de vidrio, incluido el vidrio laminado y el vidrio aislante mediante factores tabulados, y la consideración de diferentes condiciones de apoyo.

Además, como ocurría con la norma italiana, tampoco existe en este caso una especificación clara de la probabilidad de fallo, el cálculo para curvaturas de la placa, ni el cálculo que está basado en el principio de los estados límites.



### **Norma neozelandesa NZS 4223**

The NZS 4223 “Glazing in Buildings. Part-4 Dead, Wind and Snow Loadings” se trata de una norma moderna que, en base a los estados límites de carga, permite realizar el cálculo del espesor mínimo necesario de placas de distinto tipo de vidrio, tanto en posición vertical como inclinada, y con condiciones de apoyo a lo largo de dos o cuatro de sus bordes. Para la realización de este cálculo, la norma presenta doce ábacos combinando seis tipos distintos de vidrio con las dos condiciones de apoyo antes mencionadas.

Como aciertos más notables de esta norma se pueden apuntar la amplia selección de tipos de vidrio disponibles, la posibilidad de dimensionar placas verticales e inclinadas y la aplicación de la teoría de los estados límite. Sin embargo, sus resultados son conservadores debido a las simplificaciones adoptadas y, por otro lado, en su procedimiento de cálculo no aparecen especificados ni la probabilidad de fallo, ni los factores de seguridad considerados.

### **1.3 Tecnologías aplicadas**

En las empresas de mobiliario de vidrio mundiales la gran mayoría de maquinarias son CNC (control numérico computarizado), las cuales permiten un acabado perfecto y una fabricación más rápida.

Las principales máquinas utilizadas son:

#### **Canteadora bilateral**

Para pulido de canto plano y canto curvo.

Resultados óptimos de canteado por diez muelas de tasa (o periféricas) por cada lado para canteado y pulido con ajuste automático de canto y ángulo.



### **Taladro y fresadora**

Taladro fresadora pórtico, CNC, CAD, con dos cabezales de taladro y un cabezal de fresado y cambiador automático de herramienta.



**Bisel recto automático:** Para el biselado de grandes producciones.



**Mesa corte CNC:** Para corte de vidrio en grandes series y despieces rápido de planchas.



**Bisel de formas:** Manual para biselado de curvos y formas; pulidos con formas, pulidos especiales, siempre manual.



**Cantos pulido automática:** Para el pulido de cantos de vidrio de distintos espesores y medidas.



**Hornos de fusing:** Para el decorado fundido, secado de pinturas y curvado de vidrio



**Cabina arenadora automática:** Para el mateado, grabado y decorado de vidrio.



**Cortadora, canteadora y fresadora CNC:** Para el corte por sierra o fresa de vidrios laminados y monolíticos de hasta 38 m/m de espesor. Corta interiores y exteriores; a su vez los pule en mate o con brillo. Taladra en distintas inclinaciones con distintos espesores. Pule en distintos acabados: canto redondo, canto trapezoidal, pecho paloma doble y triple, escribe en fino y grueso. Todos estos trabajos los prepara mediante la copia automática de las plantillas por láser y su precisión es total ya que lleva a su vez incorporado un

medidor de herramientas apoyado también en láser para medir el desgaste de los útiles y fresas.



### Horno de templado para vidrio plano



### Hornos de templado curvo



## 2.-Mobiliario curvo en vidrio en Chile

### 2.1 Etapas del proceso productivo

Para ver las etapas para la producción de mobiliario curvo de vidrio en Chile se tomará como referente la industria Glasstech, por ser la que desarrolla la más amplia gama de procesos el en vidrio.

Procesos que se realizan en Glasstech

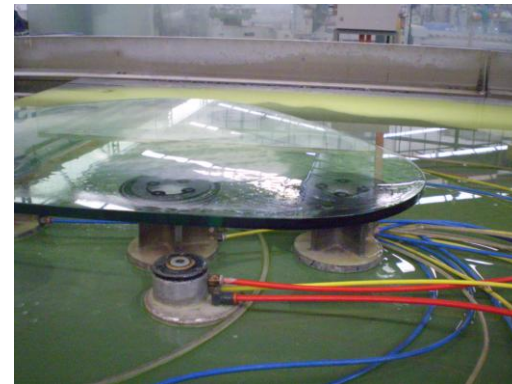
- Corte y trazado



- Pulido



- Biselado



- Curvado



Una de las características importantes a considerar, es que estos trabajos en el cristal son combinables entre sí, y posteriormente se pueden aplicar otros procesos como el templado, termoendurecido, laminados y decorados.

Los cristales que trabaja Glasstech son de origen nacional (Lirquén) e internacional (Estados Unidos, Bélgica), y entre las tipologías existentes se cuenta con:

- Cristales (de color, reflectivos)
- Laminados

- Espejados

Estos cristales son traídos en tamaño jumbo (5,5 x 3,6 m entre los espesores 3 – 10 mm), y almacenados en forma vertical en las bodegas.

El proceso productivo ausente en esta empresa es la etapa de templado curvo, ya que Glasstech para producir sus artículos mobiliarios de vidrio sólo utiliza la etapa de curvado dejando el vidrio con sus características iniciales.

## 2.4 Tecnologías aplicadas

Glasstech consta con una variedad de máquinas CNC las cuales le permiten una producción más específica y acelerada.

- Tabla de corte CNC
- Abellanadora perforadora
- Pulidora CNC forma horizontal
- Pulidora CNC forma vertical
- Biseladora rectilínea
- Pulidora corte especial
- Horno de curvado
- Horno de templado
- Máquina de serigrafía

## 2.3 Normalización

El Instituto Nacional de Normalización (INN) ha publicado varias normas que tratan acerca de las formas de ensayos de diferentes productos en vidrio, además de su uso seguro en las construcciones.

Existen normas que procuran generar en la producción del vidrio un control adecuado de los equipos de inspección y ensayo, además del seguimiento y medición de la mayoría de las etapas involucradas en los procesos, como lo es normalización de los procedimientos de calidad.

### **Procedimientos de calidad (INN):**

- **NCh 135/4:** Vidrios planos- Ensayos- Inspección visual
- **NCh 135/5** Vidrios planos- Ensayos- Rotura por impacto de una esfera de acero
- **NCh 135/6** Vidrios planos- Ensayos- Rotura por impacto de una bolsa de lastre

- **NCh 135/7** Vidrios planos de seguridad- Ensayos- Fragmentación por impacto de un punzón
- **NCh 135/8** Vidrios planos de seguridad, laminados- Resistencia a la temperatura y humedad

En el proceso productivo de cualquier estructura plana hecha en vidrio, existen normas donde se explicita que la seguridad debería ser el factor prioritario para seleccionar un vidrio para áreas en la que se puedan producir accidentes

#### **Instrucciones técnicas (INN)**

- **Nch 135** Vidrios planos de seguridad para su uso en Arquitectura. Clasificación y requisitos
- **NCh 135/1** Vidrios planos de seguridad para uso en Arquitectura. Práctica recomendada para su empleo

- **NCh 135/2** Vidrios planos de seguridad para uso en Arquitectura. Especificación y aplicación en áreas susceptibles de impacto humano
- **NCh 135/5** Vidrios laminados planos para uso en Arquitectura- Vidrios que se emplean en posición vertical, sustentados en sus cuatro bordes- Práctica recomendada para el cálculo de espesor
- **NCh 2620** Vidrios laminados planos para uso en Arquitectura- Definiciones, Especificaciones y métodos de ensayo



## **2.4 Costos de producción**

### **2.4 Limitantes de diseño para la producción de mobiliario en vidrio**

#### **2.4.1 Estructurales**

Como la empresa no consta con la etapa de curvado-templado, los muebles curvos producidos quedan con las características de fragilidad iniciales del vidrio, incluso mayores, ya que el vidrio como cualquier otro material disminuye su resistencia al ser curvado en ángulos mayores.

A partir de esto Glasstech le aporta mayor resistencia al producto final, aumentándole el grosor al vidrio inicial (de 8 a 19mm). En conclusión al no existir una técnica que le aporte resistencia al material la empresa está obligada a utilizar elevados grosores para sus productos.

Otro factor estructural, que adolece Glasstech para realizar sus mobiliarios curvos, es la falta de criterios ergonómicos para sus diseños, teniendo muchas veces

criterios antropométricos absurdos, lo cuales no se encuentran dentro de las medidas antropométricas chilenas, ya que la mayoría de sus diseños son copiados de otros ya existentes en diversos países. Por la misma razón que ocupan diseños del extranjero, los criterios para su uso, muchas veces no se adecuan a la funcionalidad que le otorga el usuario chileno.

#### **2.4.2 Fabricación**

Debido a la falta de tecnología en sus maquinarias los procesos de fabricación en Glasstech son limitados ya que el horno de curvatura permite solo curvar en un ángulo de 90°, además de también estar limitados por las dimensiones del vidrio, las cuales generalmente no sobrepasan el 0,5 metros para el alto su curvatura. Además el horno no le permite realizar contra curvas, debido a que no invierten dinero para el desarrollo de nuevas matrices.

### 2.4.3 Económicas

La falta de interés por parte de la empresa dentro del rubro de mobiliario curvo hace que se produzca una menor inversión para el desarrollo de esta área.

Al no existir una inversión adecuada, no es posible realizar líneas de diseño para el mobiliario, consideraciones ergonómicas, integrar nuevas tecnologías para aumentar su resistencia, entre otros factores.

### 3.- Conclusiones Capítulo I

A partir del análisis realizado a los procesos productivos del mobiliario curvo en vidrio, tanto del mundo como los producidos en nuestro país podemos concluir que existe una gran diferencia entre ambos, ya que en otros países hay mayor interés por el desarrollo de estas áreas por lo que se invierte más para la integración de nuevas tecnologías en sus procesos productivos, mejorando el resultado de su producto final y otorgándole cualidades que el vidrio pierde al ser curvado, como lo es su resistencia.

Otro factor de gran importancia es la falta de normalización existente dentro del mobiliario curvo, la cual es casi nula. Éticamente como diseñadoras industriales consideramos que si se está diseñando un producto que está en estrecha relación con el usuario, además de ser fabricado con un material de alta fragilidad y peligrosidad ante su fractura, es absolutamente necesario tener en consideración que éste tipo de productos sea normalizado tanto en su

diseño (cálculos estructurales y aspectos ergonómicos), como en cada etapa de su proceso productivo.

## Capítulo II: Propuesta línea de diseño mobiliario curvo

### 1.- Estudio caso mobiliario producido en Glasstech

La empresa en que se centrará el estudio es Glasstech. Esta empresa en particular constituye la principal productora de mobiliario de vidrio en Chile, razón por la cual se ha escogido como referente.

Glasstech consta con más de 50 años en el mercado en Chile, en donde principalmente se dedica a la fabricación de piezas de vidrio de una gran variedad de formas y tamaños, la cual va desde la creación de grandes ventanales arquitectónicos hasta pequeños mobiliarios para el hogar.

El proceso que se requiere dentro del área de cristales en esta empresa está dada por:

### Robot Automático/ Bodega de cristales

A través del robot automático, el cual es único en el país, se ingresan los datos correspondientes al corte del cristal, luego el robot selecciona de acuerdo a espesor, color y tamaño, por último la lámina es puesta en la mesa de corte.



**Mesa de corte Automática para cristales monolíticos y cristales laminados**

Mediante una rulina -rueda tipo diamantada, cristales monolíticos y laminados son cortados en forma horizontal y vertical. La rapidez y limpieza del corte automático favorece la calidad y entrega del producto.



dos abezales -superior e inferior- , los cuales al trabajar se juntan en el centro.



**Pulidora de formas**

Cristales con amplia variedad de formas son pulidos en sus cantos con esta máquina.



**Perforadoras para sacados rectos y avellanados**

Estas máquinas tienen la función de perforar el cristal de manera recta o avellanada. Para ello, cuenta con

### **Biseladora de formas**

Al ingresar la información requerida, todos los Cristales y Espejos con formas, son biselados con esta máquina.



### **Pulidoras y biseladoras rectilíneas para cristales de tamaños Estándar y Jumbo**

Estas máquinas tienen la función de pulir y biselar los cristales; previo a esto, el operario digita en un computador los grados de inclinación que debe tener la máquina para biselar.



### Pulidora para cortes especiales con forma

A través de un controlador numérico, esta máquina puede cortar variadas formas, pulir, biselar y trabajar distintos tipos de cantos. Los espesores de un cristal, son, con un mínimo de 6mm y un máximo de 20 mm .



### Horno para curvar cristales

El cristal curvo se procesa en un horno que puede llegar a los 650° de temperatura, mediante la plasticidad del cristal, la curva se obtiene por gravedad de su peso sobre una matriz o molde. Una vez que el producto ha tomado su forma se deja enfriar lentamente, esto con el fin de evitar tensiones en su estructura molecular.



Dentro del área de mobiliario Glasstech se dedica principalmente a la producción de muebles rectos y curvos. Los muebles rectos generalmente son unidos por piezas como bisagras, herrajes o pegados mediante la técnica UV y los muebles curvos normalmente son de una sola pieza.

Esta empresa se centra en las normas de seguridad respecto a sus productos arquitectónicos, como ventanales, puertas, etc., además dentro de su proceso productivo se les aplican tecnologías de seguridad como el proceso de templado y laminado. Respecto a los productos curvos del área de mobiliario, Glasstech utiliza referentes del exterior, en donde ocupa la información de ellos para producirlos, por lo tanto las normas no están presentes en estos productos. Además no incluyen dentro de su proceso productivo tecnologías que otorguen resistencia y seguridad al mobiliario, como lo es el laminado y templado, debido que éstas sólo son aplicables a objetos planos.

Dentro de los muebles producidos en el país, éstos son sólo resultado de concursos en donde se especializan

solamente en la estética del producto, dejando atrás los temas de funcionalidad, ergonomía y resistencia.

### Muebles Curvos

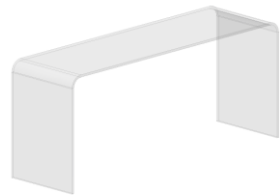
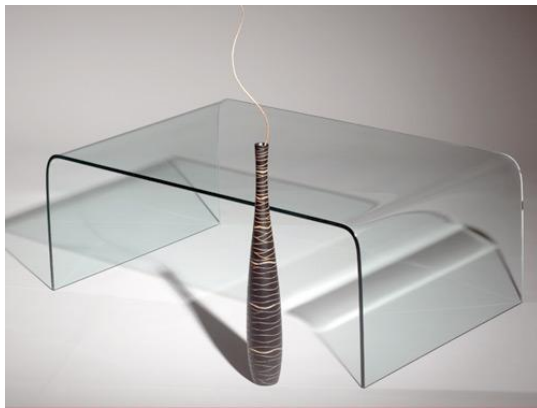




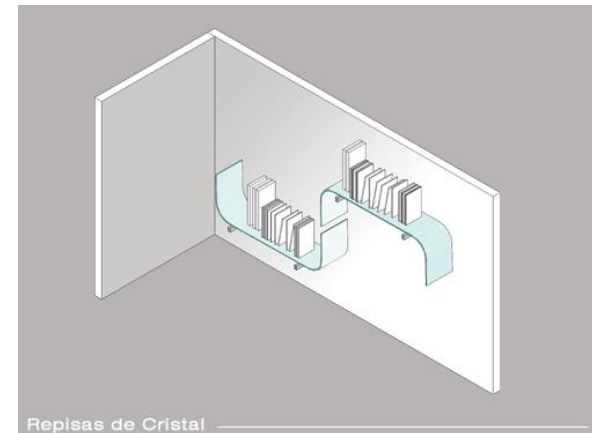
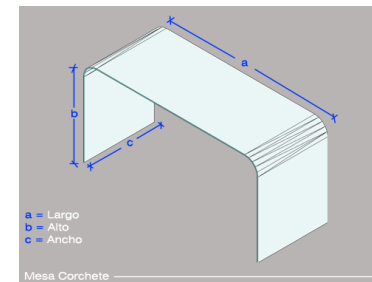
## 1.1 Cálculos estructurales del mobiliario

El mueble que se eligió para el análisis estructural es la mesa corchete, la cual mide 1,2 m de largo, 0,50 m de alto y 1,35 m de ancho.

Su espesor varía entre 10mm a 18 mm.

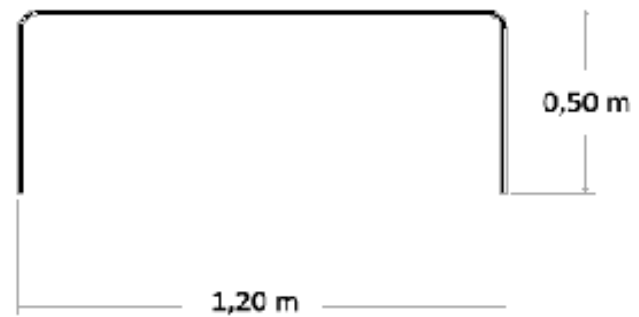
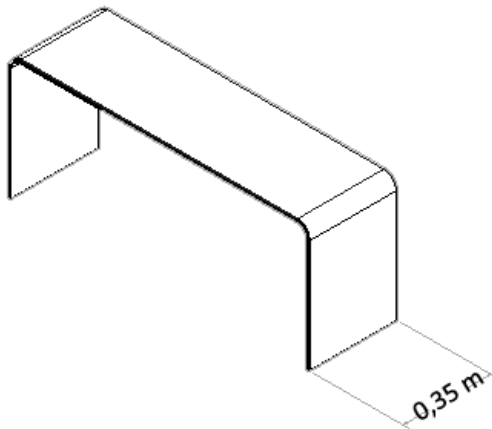


Para este modelo Glasstech no tiene clara su funcionalidad específica ya que en es su muestrario lo identifica como una mesa y a la misma vez como una repisa.



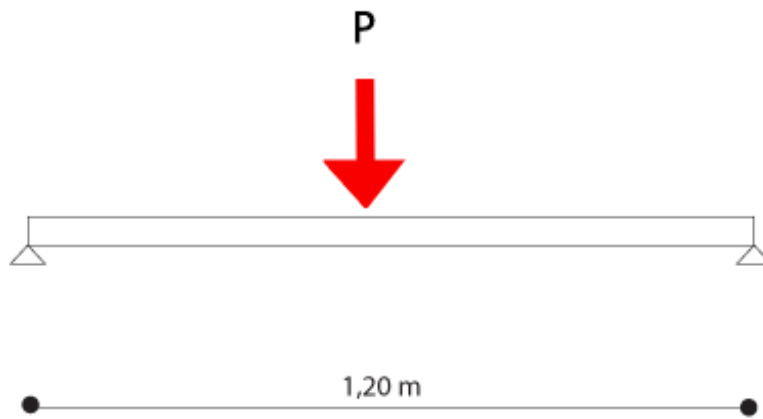
### Datos generales

Densidad del vidrio	2500 Kg/m <sup>3</sup>
Resistencia admisible a la flexión	450 kg/cm <sup>3</sup>
Elasticidad	720.000 kg/cm <sup>3</sup>



### Cálculo de pieza de grosor 10 mm

#### Determinación de la carga



Para el largo del mueble se analizará tomando como supuesto un despliegue de éste teniendo como resultado un 2,2 m de largo.

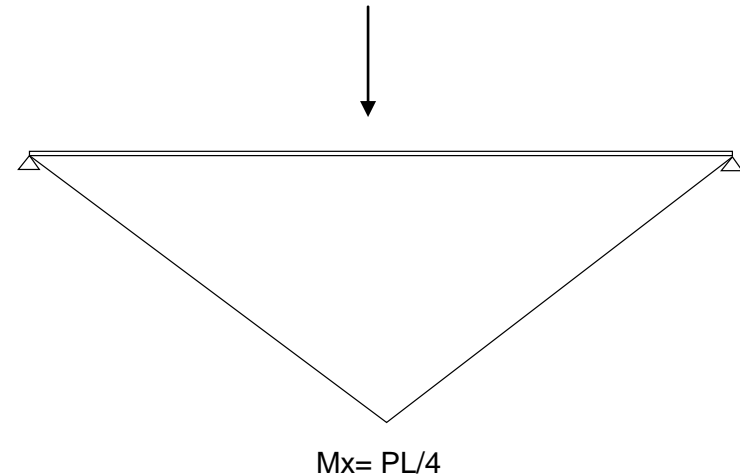
$$0,5\text{m} + 1,2\text{m} + 0,5\text{m} = 2,2\text{m}$$

Peso propio:  $2,2\text{m} \times 0,35\text{m} \times 0,01\text{m} \times 2500 \text{ kg/m}^3 = 19,25 \text{ kg}$

Sobrecarga de uso:  
80kg

q total:  
 $99,25 \approx 100 \text{ kg}$

#### Determinación del momento



Momento máximo:  $100 \times 120/4 = 3000 \text{ kg/cm}$

Inercia =  $bh^3/12$

$I = 35 \times 1^3 / 12$

$I = 2,92 \text{ cm}^4$

Momento flector (W) = Inercia / distancia a la fibra neutra

$$W = 2,92 / 0,5$$

$$W = 5,84 \text{ cm}^3$$

Trabajo a flexión = Momento máximo / Momento de inercia

$$F_{adm} = 3000 / 5,84$$

$$450 \text{ kg/cm}^2 \geq 513 \text{ kg/cm}^2$$

**La tensión a la que está sometida la carga es mayor a la que puede resistir, por lo tanto, existirá un quiebre. Se recomienda aumentar el grosor del vidrio.**

## **Análisis de pieza en Autodesk Inventor**

### **Geometría y malla**

El ajuste Relevancia que aparece más abajo ha controlado la finura de la malla que se ha utilizado en este análisis. Como referencia, un valor de -100 produce una malla gruesa, soluciones y resultados rápidos que puede incluir incertidumbre significativa. Un valor de +100 genera una malla fina, tiempo de solución más largos y una incertidumbre menor en los resultados. El valor de relevancia predeterminado es cero.

Cotas del cuadro delimitador	1200 mm 500,0 mm 350,0 mm
Masa de la pieza	16,34 kg
Volumen de la pieza	7,495e+006 mm <sup>3</sup>
Valor de relevancia de malla	0
Nodos	3135
Elementos	396

Las cotas del cuadro delimitador representan longitudes en las direcciones globales X, Y y Z .

## Datos de material

Las siguientes asunciones sobre el comportamiento de los materiales se aplican a este análisis:

- Lineal: la tensión es directamente proporcional a la presión.
- Constante: la temperatura de todas las propiedades es independiente.
- Homogénea: las propiedades no cambian en todo el volumen de la pieza.
- Isotrópica: las propiedades de los materiales son idénticas en todas las direcciones.

Propiedad	Valor
Módulo de Young	6,8e+004 MPa
Coefficiente de Poisson	0,19
Densidad de masa	2,18e-006 kg/mm <sup>3</sup>
Límite de elasticidad	6,865e+004 MPa
Resistencia máxima a tracción	0,0 MPa

## Cargas y restricciones

Las siguientes cargas y restricciones actúan sobre regiones específicas de la pieza. Las regiones se han definido mediante la selección de superficies, cilindros, aristas y vértices.

Nombre	Tipo	Magnitud	Vector
Fuerza 1	Fuerza de superficie	800,0 N	2,584e-013 N -800,0 N 0,0 N
Restricción fija 1	Restricción fija de superficie	0,0 mm	0,0 mm 0,0 mm 0,0 mm

Nombre	Fuerza	Vector	Momento	Pares de vector
Restricción fija 1	800,0 N	3,597e-007 N 800,0 N -3,505e-007 N	1,532e-003 N·mm	1,517e-003 N·mm -1,912e-004 N·mm -1,051e-004 N·mm

## Resultados

La tabla siguiente muestra todos los resultados estructurales que el análisis ha generado. La sección siguiente proporciona cifras que muestran cada resultado sobre la superficie de la pieza.

El coeficiente de seguridad se ha calculado utilizando el equivalente máximo de la teoría de fallo de tensión para materiales dúctiles. El límite de tensión del material se ha especificado a partir del límite de elasticidad de dicho material.

Nombre	Mínima	Máxima
Tensión equivalente	6,275e-002 MPa	12,17 MPa
Tensión principal máxima	-1,562 MPa	12,18 MPa
Tensión principal mínima	-12,91 MPa	1,533 MPa
Deformación	0,0 mm	3,017 mm
Coeficiente de seguridad	15,0	N/D

## Figuras

FIGURA 1  
Tensión equivalente

Tensión equivalente  
Tipo: Tensión equivalente  
Unidad: MPa  
19-11-2009 12:03

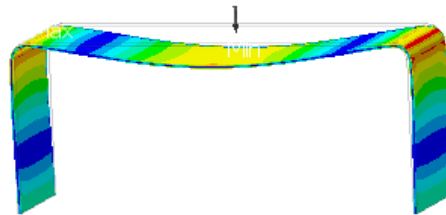
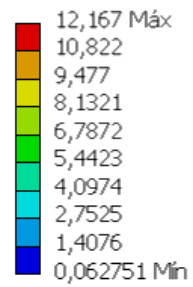


FIGURA 2  
Tensión principal máxima

Tensión principal máxima  
Tipo: Tensión principal máxima  
Unidad: MPa  
19-11-2009 12:03

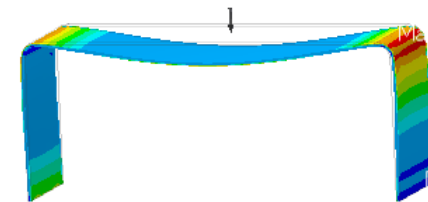
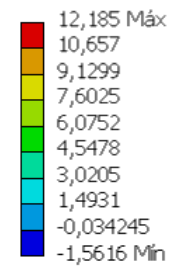


FIGURA 3  
Tensión principal mínima

Tensión principal mínima  
Tipo: Tensión principal mínima  
Unidad: MPa  
19-11-2009 12:03

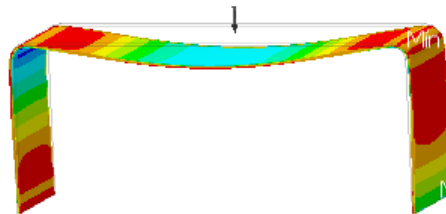
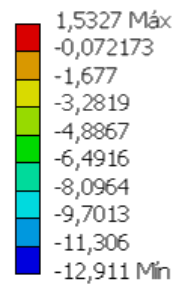


FIGURA 4  
Deformación

Deformación  
Tipo: Deformación  
Unidad: mm  
19-11-2009 12:03

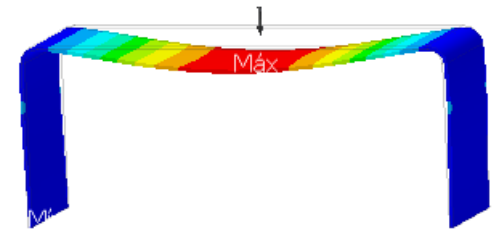
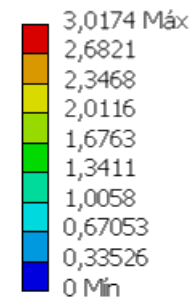
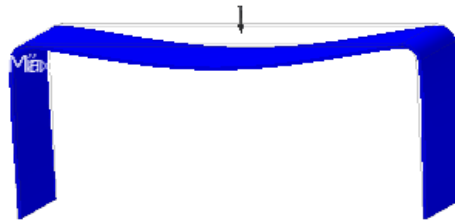
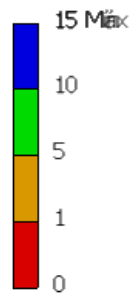


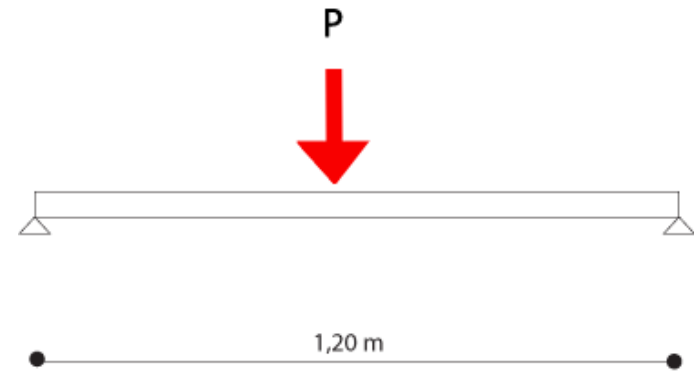


FIGURA 5  
Coeficiente de seguridad

Coeficiente de seguridad  
Tipo: Coeficiente de seguridad  
19-11-2009 12:03



### Cálculo de pieza de grosor de 18 mm



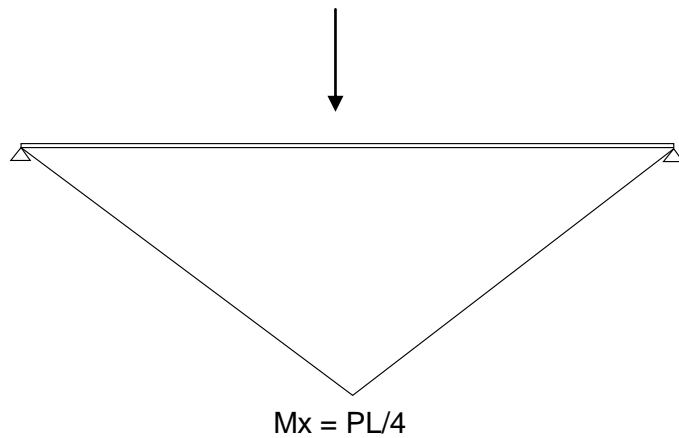
### Determinación de la carga

Peso propio:  $2,2\text{m} \times 0,35\text{m} \times 0,018\text{m} \times 2500\text{kg/m}^3 = 34,65 \text{ kg}$

Sobrecarga de uso: 80kg

q total: 114,65 kg

### Determinación del momento



Momento máximo:  $114,65 \times 120/4 = 3439,5 \text{ kg/cm}$

Inercia =  $bh^3/12$   
 $I = 35 \times 1,8^3 / 12$   
 $I = 17,01 \text{ cm}^4$

Momento flector (W) = Inercia / distancia a la fibra neutra

$W = 17,01 / 0,9$   
 $W = 18,9 \text{ cm}^3$

Trabajo a flexión = Momento máximo / Momento de inercia

$F_{adm} = 3439,5 / 18,9$

$450 \text{ kg/cm}^2 \geq 181,98 \text{ kg/cm}^2$

**La tensión a la que está sometida la carga es menor a la que puede resistir, por lo que soporta perfectamente a las tensiones a la que se encuentra expuesta.**

Dado a estos resultados la pieza a diseñar tendrá como mínimo 18 mm de grosor.

## Análisis del mismo mobiliario en Autodesk Inventor

### Geometría y malla

El ajuste Relevancia que aparece más abajo ha controlado la finura de la malla que se ha utilizado en este análisis. Como referencia, un valor de -100 produce una malla gruesa, soluciones y resultados rápidos que puede incluir incertidumbre significativa. Un valor de +100 genera una malla fina, tiempo de solución más largos y una incertidumbre menor en los resultados. El valor de relevancia predeterminado es cero.

Cotas del cuadro delimitador	1200 mm 500,0 mm 350,0 mm
Masa de la pieza	29,24 kg
Volumen de la pieza	1,341e+007 mm <sup>3</sup>
Valor de relevancia de malla	0
Nodos	2947
Elementos	372

Las cotas del cuadro delimitador representan longitudes en las direcciones globales X, Y y Z.

## Datos de material

Las siguientes asunciones sobre el comportamiento de los materiales se aplican a este análisis:

- Lineal: la tensión es directamente proporcional a la presión.
- Constante: la temperatura de todas las propiedades es independiente.
- Homogénea: las propiedades no cambian en todo el volumen de la pieza.
- Isotrópica: las propiedades de los materiales son idénticas en todas las direcciones.

Propiedad	Valor
Módulo de Young	6,8e+004 MPa
Coefficiente de Poisson	0,19
Densidad de masa	2,18e-006 kg/mm <sup>3</sup>
Límite de elasticidad	6,865e+004 MPa
Resistencia máxima a tracción	0,0 MPa

## Cargas y restricciones

Las siguientes cargas y restricciones actúan sobre regiones específicas de la pieza. Las regiones se han definido mediante la selección de superficies, cilindros, aristas y vértices.

Nombre	Tipo	Magnitud	Vector
Fuerza 1	Fuerza de superficie	800,0 N	2,584e-013 N -800,0 N 0,0 N
Restricción fija 1	Restricción fija de superficie	0,0 mm	0,0 mm

Nombre	Fuerza	Vector	Momento	Pares de vector
Restricción fija 1	800,0 N	1,788e-007 N 800,0 N -4,602e-007 N	0,3378 N·mm	1,477e-003 N·mm -3,071e-005 N·mm -0,3378 N·mm

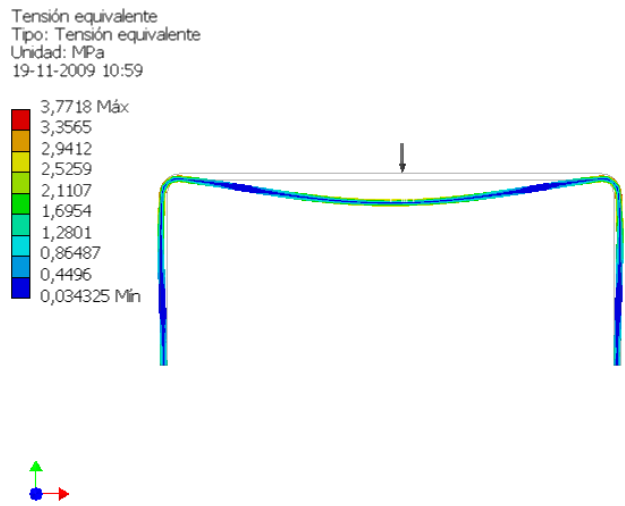
## Resultados

La tabla siguiente muestra todos los resultados estructurales que el análisis ha generado. La sección siguiente proporciona cifras que muestran cada resultado sobre la superficie de la pieza.

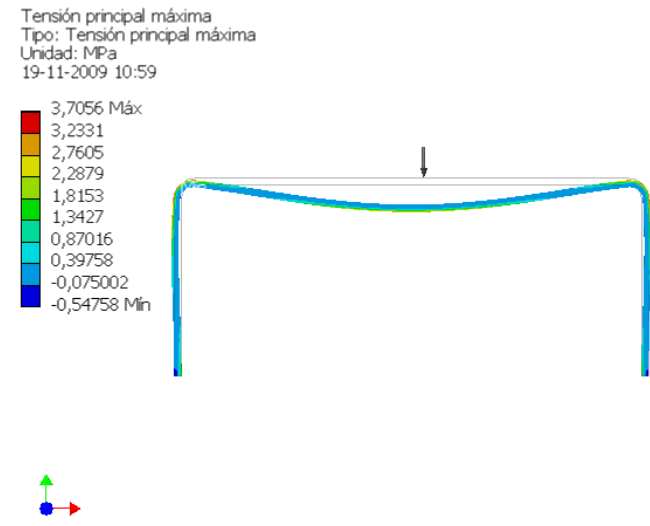
El coeficiente de seguridad se ha calculado utilizando el equivalente máximo de la teoría de fallo de tensión para materiales dúctiles. El límite de tensión del material se ha especificado a partir del límite de elasticidad de dicho material.

<b>TABLA 5</b>		
<b>Resultados estructurales</b>		
<b>Nombre</b>	<b>Mínima</b>	<b>Máxima</b>
Tensión equivalente	3,432e-002 MPa	3,772 MPa
Tensión principal máxima	-0,5476 MPa	3,706 MPa
Tensión principal mínima	-3,97 MPa	0,4497 MPa
Deformación	0,0 mm	0,5088 mm
Coeficiente de seguridad	15,0	N/D

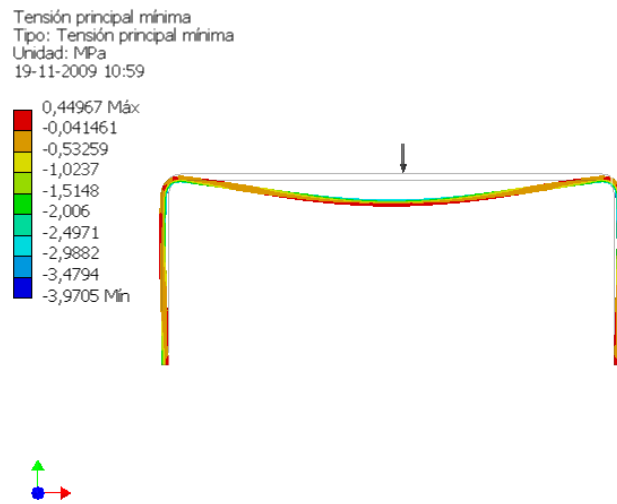
**Figura 1**  
**Tensión Equivalente**



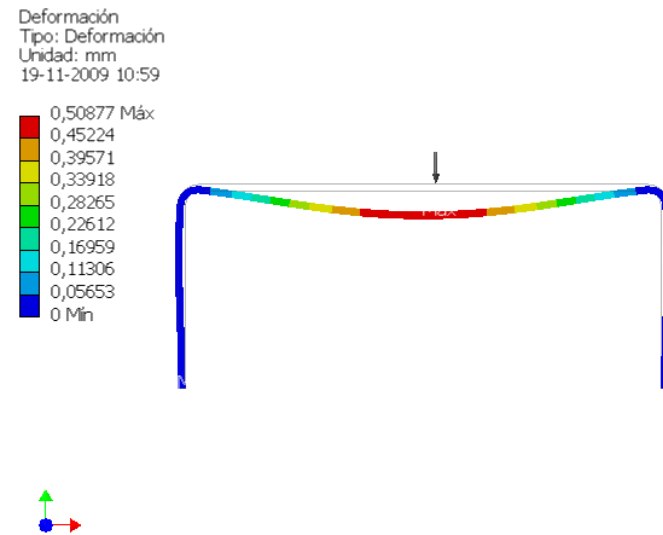
**Figura 2**  
**Tensión Principal Máxima**



**Figura 3**  
**Tensión Principal Mínima**

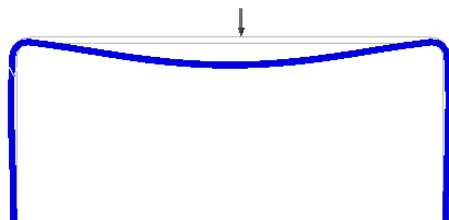
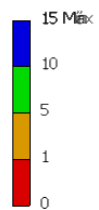


**Figura 4**  
**Deformacion**



**Figura 5**  
**Coefficiente de seguridad**

Coefficiente de seguridad  
Tipo: Coeficiente de seguridad  
19-11-2009 10:59

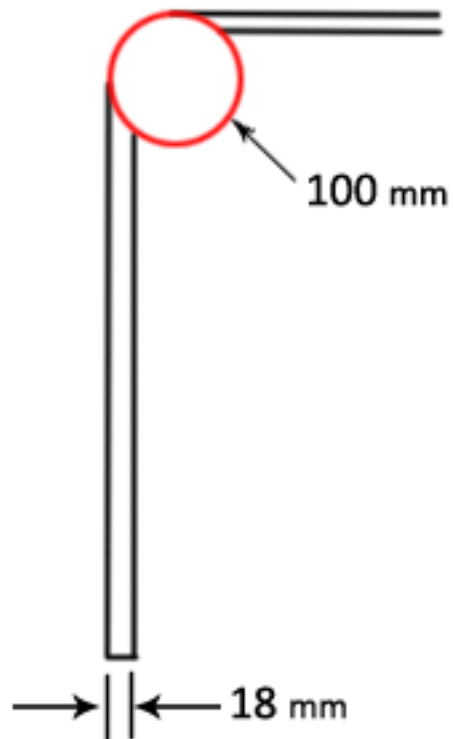




## 2.- Línea de diseño para mobiliario curvo

### 2.1 Propuesta conceptual

Mediante el estudio del modelo de la empresa Glasstech, se obtuvo como resultado que 18 mm es el grosor mínimo que deben tener los modelos futuros y una curvatura que la construye un círculo de 100 mm, para que pueda resistir una fuerza de 80 kg.



### 2.2 Propuesta formal

Con las características anteriores se proponen 3 modelos para una línea de diseño.

#### 2.2.1 Propuesta 1

##### 2.2.1.1 Características

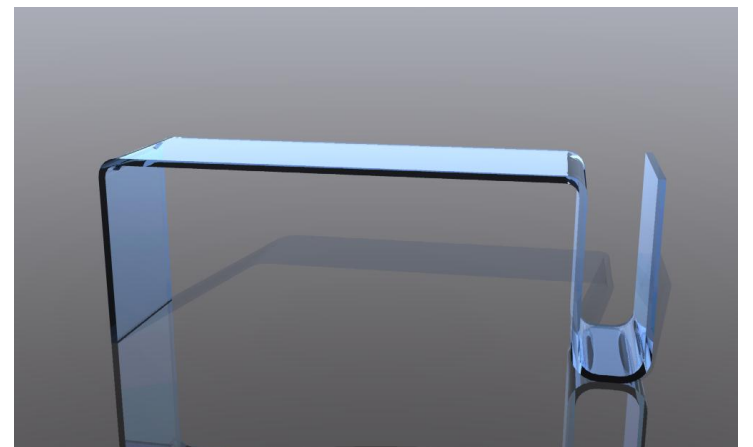
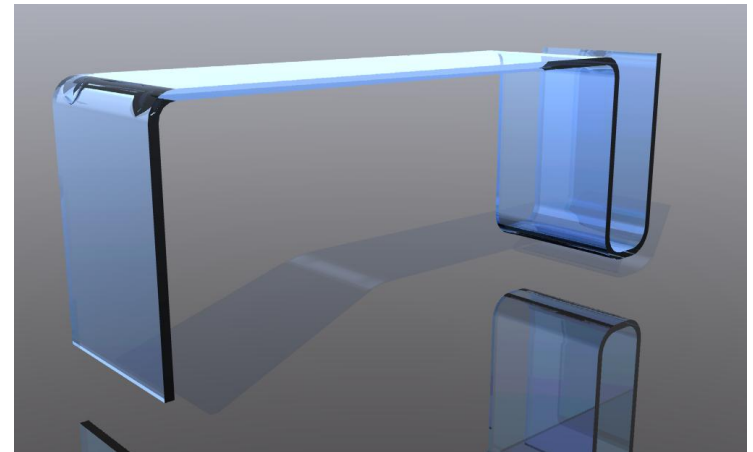


Curvatura externa: Círculo de 100 mm

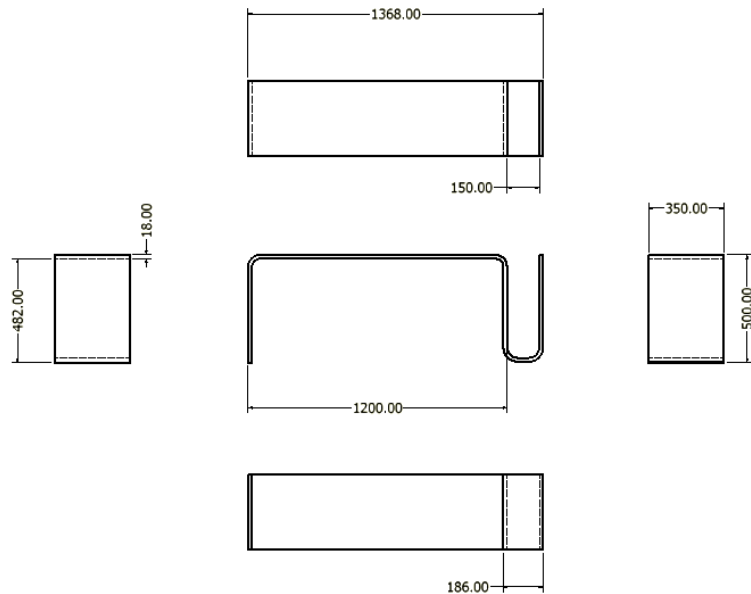


Curvatura interna: Círculo de 65 mm

### Propuesta formal



## Planos



## 2.2.1.3 Análisis de stress mediante Autodesk Inventor

### Geometría y malla

El ajuste Relevancia que aparece más abajo ha controlado la finura de la malla que se ha utilizado en este análisis. Como referencia, un valor de -100 produce una malla gruesa, soluciones y resultados rápidos que puede incluir incertidumbre significativa. Un valor de +100 genera una malla fina, tiempo de solución más largos y una incertidumbre menor en los resultados. El valor de relevancia predeterminado es cero.

TABLA 1  
Pieza1 Estadísticas

Cotas del cuadro delimitador	1368 mm 500,0 mm 350,0 mm
Masa de la pieza	37,35 kg
Volumen de la pieza	1,713e+007 mm <sup>3</sup>
Valor de relevancia de malla	0
Nodos	2868
Elementos	355

Las cotas del cuadro delimitador representan longitudes en las direcciones globales X, Y y Z .

### Datos de material

Las siguientes asunciones sobre el comportamiento de los materiales se aplican a este análisis:

- Lineal: la tensión es directamente proporcional a la presión.
- Constante: la temperatura de todas las propiedades es independiente.
- Homogénea: las propiedades no cambian en todo el volumen de la pieza.
- Isotrópica: las propiedades de los materiales son idénticas en todas las direcciones.

Propiedad	Valor
Módulo de Young	6,8e+004 MPa
Coeficiente de Poisson	0,19
Densidad de masa	2,18e-006 kg/mm <sup>3</sup>
Límite de elasticidad	6,865e+004 MPa
Resistencia máxima a tracción	0,0 MPa

### Cargas y restricciones

Las siguientes cargas y restricciones actúan sobre regiones específicas de la pieza. Las regiones se han definido mediante la selección de superficies, cilindros, aristas y vértices.

Nombre	Tipo	Magnitud	Vector
Fuerza 1	Fuerza de superficie	800,0 N	2,584e-013 N -800,0 N 0,0 N
Restricción fija 1	Restricción fija de superficie	0,0 mm	0,0 mm 0,0 mm 0,0 mm

Nombre	Fuerza	Vector	Momento	Pares de vector
Restricción fija 1	800,0 N	1,999e-007 N 800,0 N -	4,751e+005 N·mm	-8,757e-005 N·mm 2,832e-004 N·mm -
		2,115e-007 N		4,751e+005 N·mm

Nota: los datos del vector corresponden a los componentes globales X, Y y Z.

## Resultados

La tabla siguiente muestra todos los resultados estructurales que el análisis ha generado. La sección siguiente proporciona cifras que muestran cada resultado sobre la superficie de la pieza.

El coeficiente de seguridad se ha calculado utilizando el equivalente máximo de la teoría de fallo de tensión para materiales dúctiles. El límite de tensión del material se ha especificado a partir del límite de elasticidad de dicho material.

Nombre	Mínima	Máxima
Tensión equivalente	1,976e-009 MPa	3,897 MPa
Tensión principal máxima	-0,5728 MPa	3,827 MPa
Tensión principal mínima	-4,134 MPa	0,5259 MPa
Deformación	0,0 mm	0,4986 mm
Coeficiente de seguridad	15,0	N/D

## Figuras

FIGURA 1: TENSION EQUIVALENTE

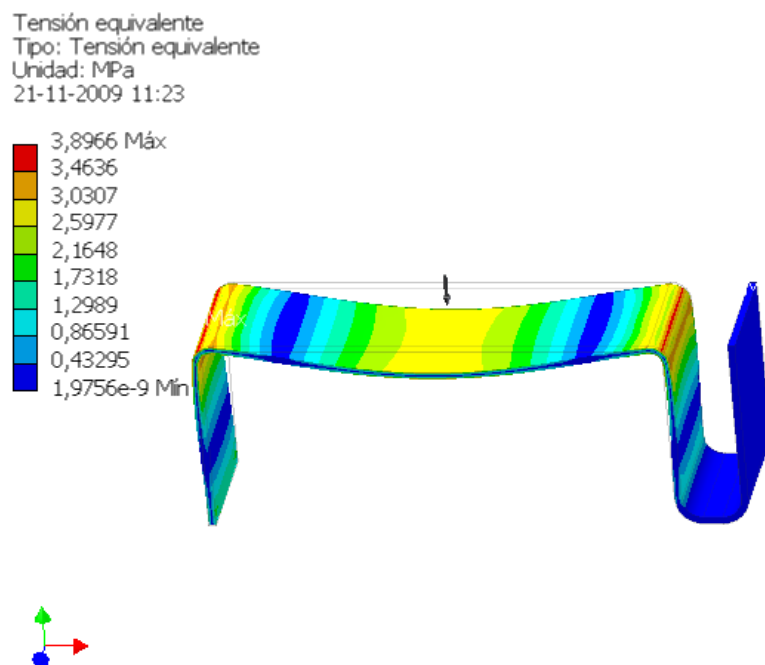


FIGURA 2: TENSION PRINCIPAL MAXIMA

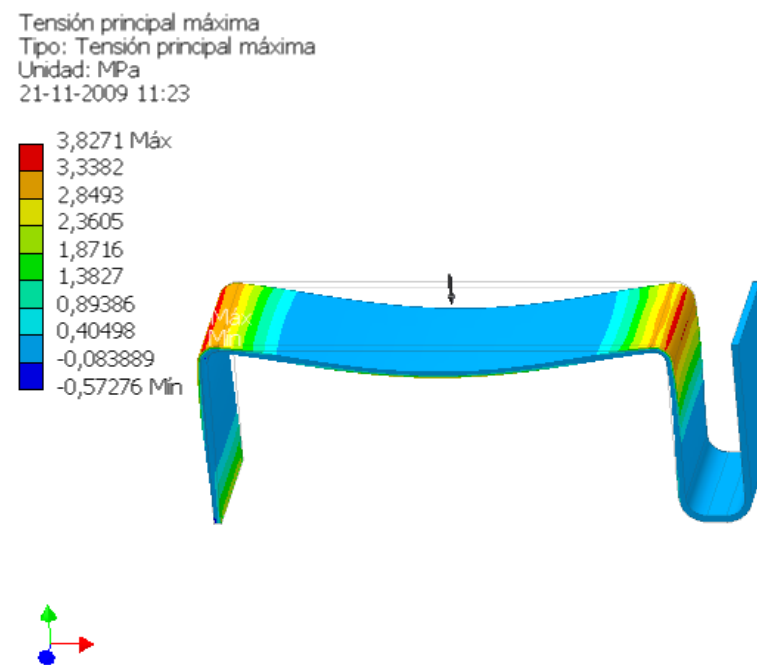


FIGURA 3: TENSION PRONCIPAL MINIMA

Tensión principal mínima  
Tipo: Tensión principal mínima  
Unidad: MPa  
21-11-2009 11:23

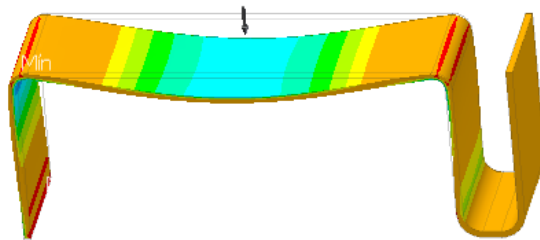
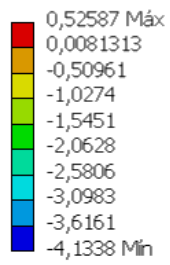


FIGURA 4: DEFORMACION

Deformación  
Tipo: Deformación  
Unidad: mm  
21-11-2009 11:23

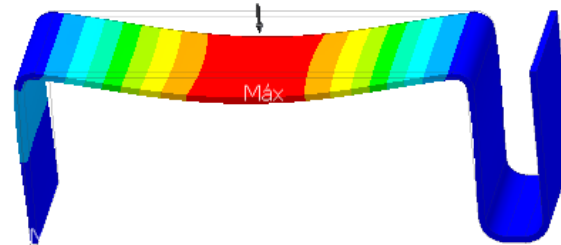
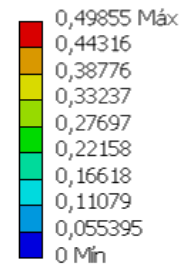
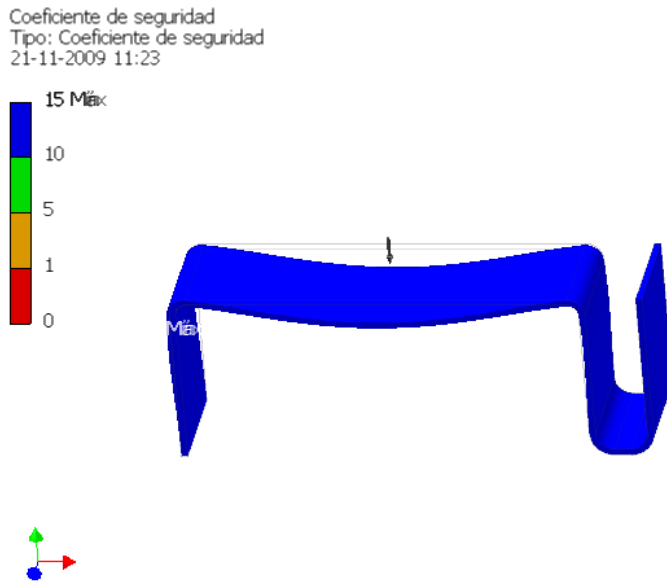


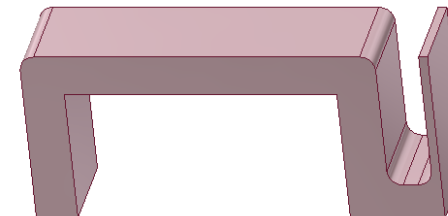
FIGURA 5: COEFICIENTE DE SEGURIDAD



### 2.2.1.4 Fabricación

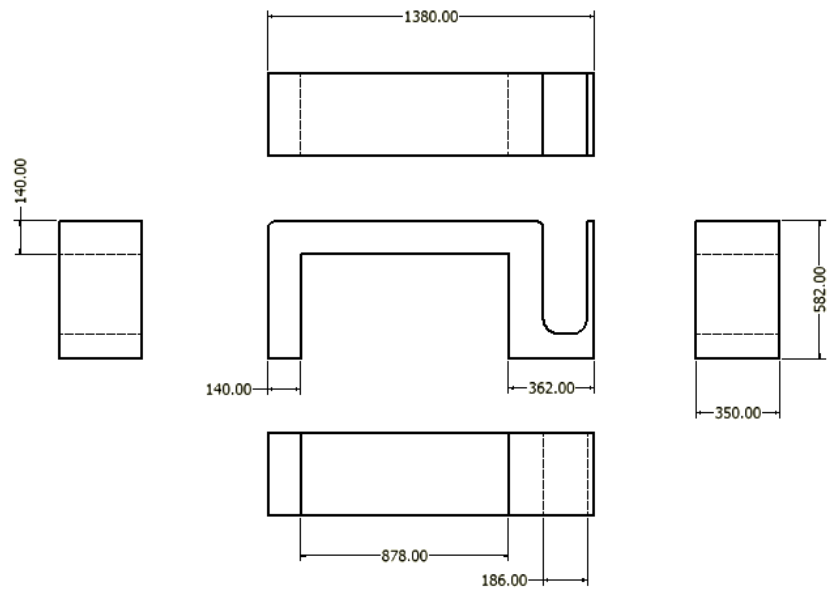
El producto curvado se obtiene mediante el calentamiento del cristal plano hasta su punto de plasticidad, que por consecuencia de su propio peso hará que se adapte y tome la forma de un molde. El proceso concluye una vez enfriado el mismo en forma lenta, para no alterar su estructura molecular.

#### Molde

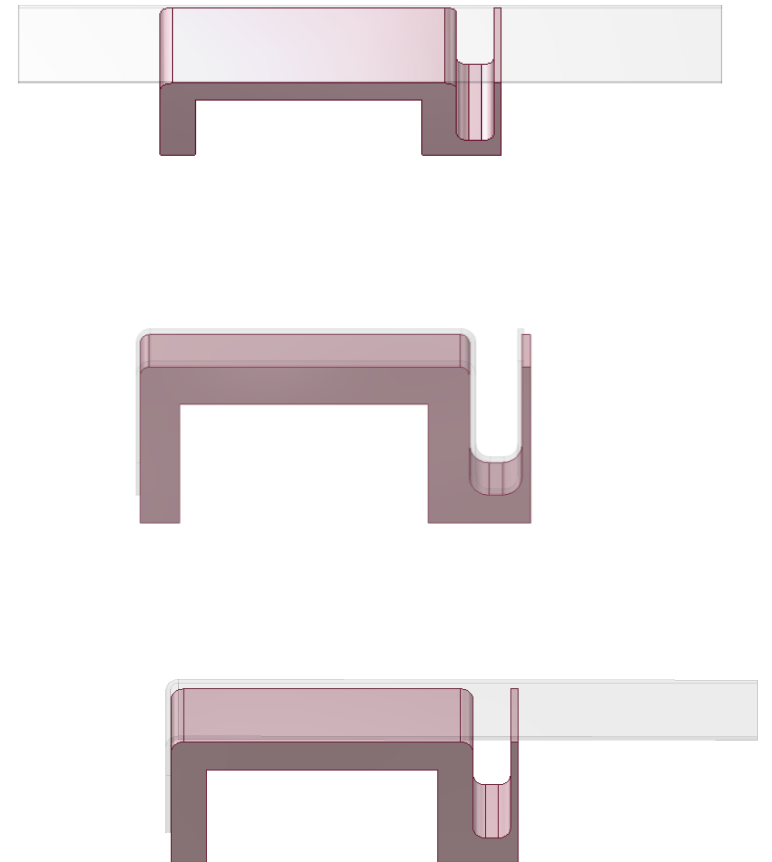




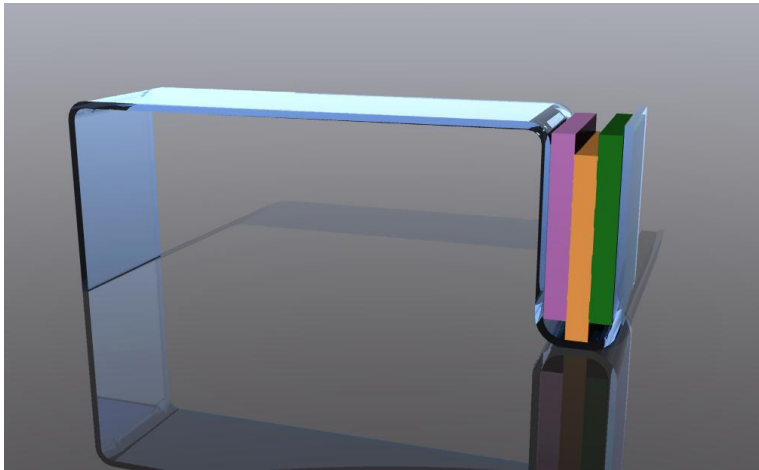
## Planos



## Proceso

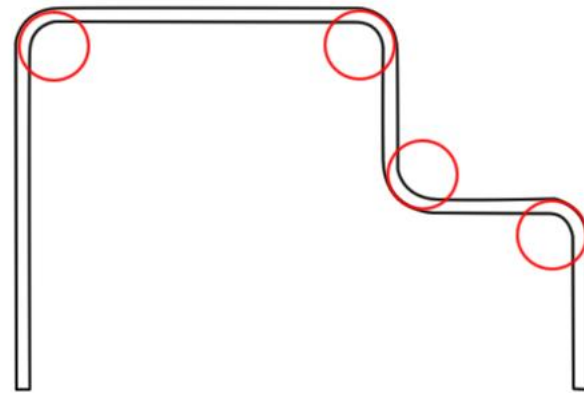


#### 2.2.1.4 Utilización

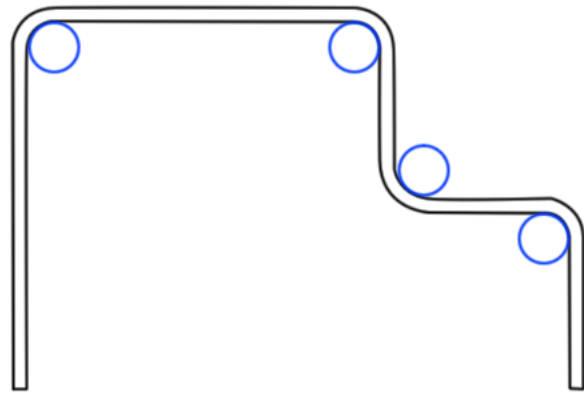


#### 2.2.2 Propuesta 2

##### 2.2.2.1 Características

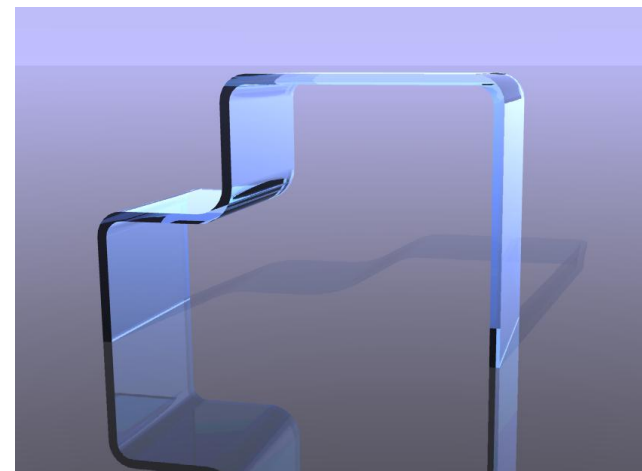
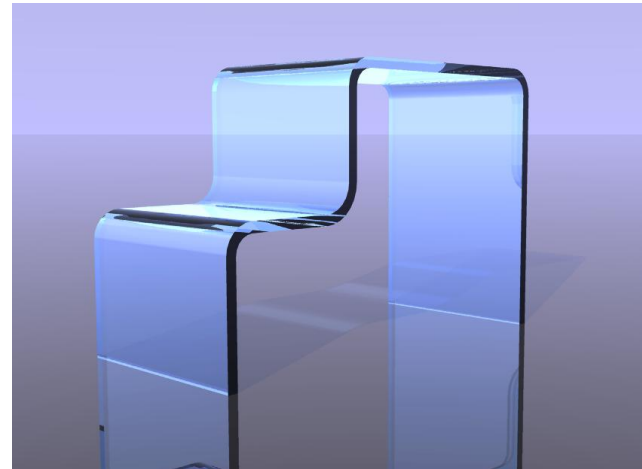


Curvatura externa: Círculo de 100 mm de diámetro

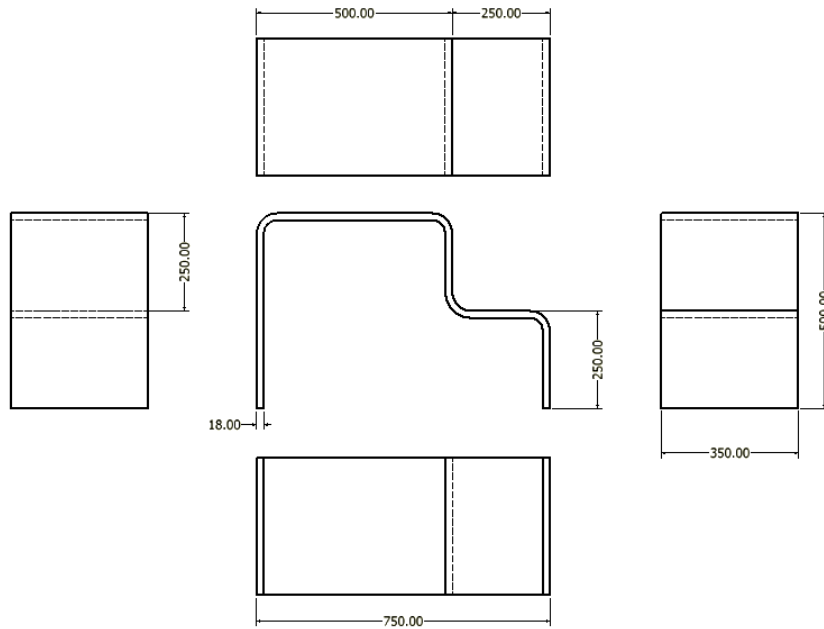


Curvatura interna: Círculo de 65 mm de diámetro

### Propuesta formal



## Planos



### 2.2.2.2 Análisis de stress mediante Autodesk Inventor

#### Geometría y malla

El ajuste Relevancia que aparece más abajo ha controlado la finura de la malla que se ha utilizado en este análisis. Como referencia, un valor de -100 produce una malla gruesa, soluciones y resultados rápidos que puede incluir incertidumbre significativa. Un valor de +100 genera una malla fina, tiempo de solución más largos y una incertidumbre menor en los resultados. El valor de relevancia predeterminado es cero.

TABLA 1  
Pieza7 Estadísticas

Cotas del cuadro delimitador	750,0 mm 500,0 mm 350,0 mm
Masa de la pieza	22,47 kg
Volumen de la pieza	1,031e+007 mm <sup>3</sup>
Valor de relevancia de malla	0
Nodos	4026
Elementos	536

Las cotas del cuadro delimitador representan longitudes en las direcciones globales X, Y y Z.

### Datos de material

Las siguientes asunciones sobre el comportamiento de los materiales se aplican a este análisis:

- Lineal: la tensión es directamente proporcional a la presión.
- Constante: la temperatura de todas las propiedades es independiente.
- Homogénea: las propiedades no cambian en todo el volumen de la pieza.
- Isotrópica: las propiedades de los materiales son idénticas en todas las direcciones.

Propiedad	Valor
Módulo de Young	6,8e+004 MPa
Coefficiente de Poisson	0,19
Densidad de masa	2,18e-006 kg/mm <sup>3</sup>
Límite de elasticidad	6,865 MPa
Resistencia máxima a tracción	0,0 MPa

### Cargas y restricciones

Las siguientes cargas y restricciones actúan sobre regiones específicas de la pieza. Las regiones se han definido mediante la selección de superficies, cilindros, aristas y vértices.

Nombre	Tipo	Magnitud	Vector
Fuerza 1	Fuerza de superficie	800,0 N	4,263e-013 N -800,0 N 0,0 N
Restricción fija 1	Restricción fija de superficie	0,0 mm	0,0 mm 0,0 mm 0,0 mm

Nombre	Fuerza	Vector	Momento	Pares de vector
Restricción fija 1	800,0 N	5,721e-008 N 800,0 N -6,509e-008 N	1,e+005 N·mm	-2,707e-005 N·mm -2,562e-005 N·mm -1,e+005 N·mm

## Resultados

La tabla siguiente muestra todos los resultados estructurales que el análisis ha generado. La sección siguiente proporciona cifras que muestran cada resultado sobre la superficie de la pieza.

El coeficiente de seguridad se ha calculado utilizando el equivalente máximo de la teoría de fallo de tensión para materiales dúctiles. El límite de tensión del material se ha especificado a partir del límite de elasticidad de dicho material.

Nombre	Mínima	Máxima
Tensión equivalente	2,216e-002 MPa	3,014 MPa
Tensión principal máxima	-0,4871 MPa	2,317 MPa
Tensión principal mínima	-3,424 MPa	0,4525 MPa
Deformación	0,0 mm	0,1362 mm
Coeficiente de seguridad	2,278	N/D

## Figuras

FIGURA 1: TENSION EQUIVALENTE

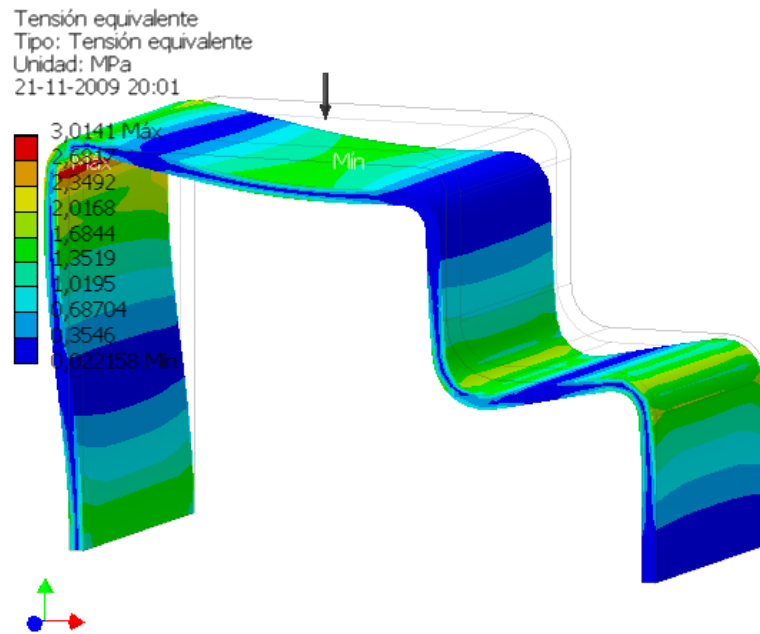


FIGURA 2: TENSION PRINCIPAL MAXIMA

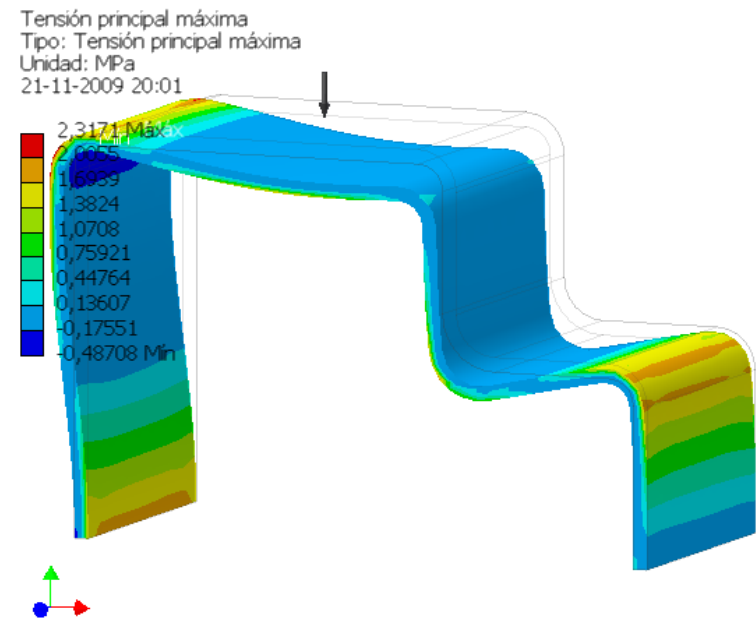


FIGURA 3: TENSION PRONCIPAL MINIMA

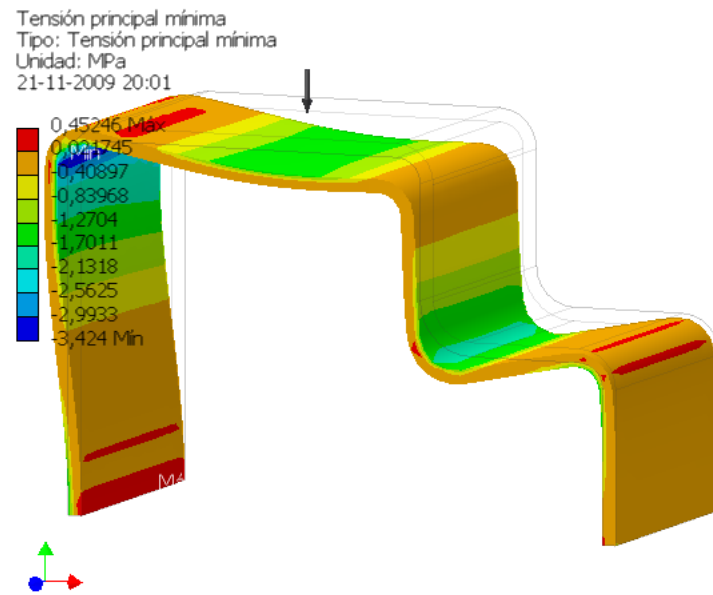


FIGURA 4: DEFORMACION

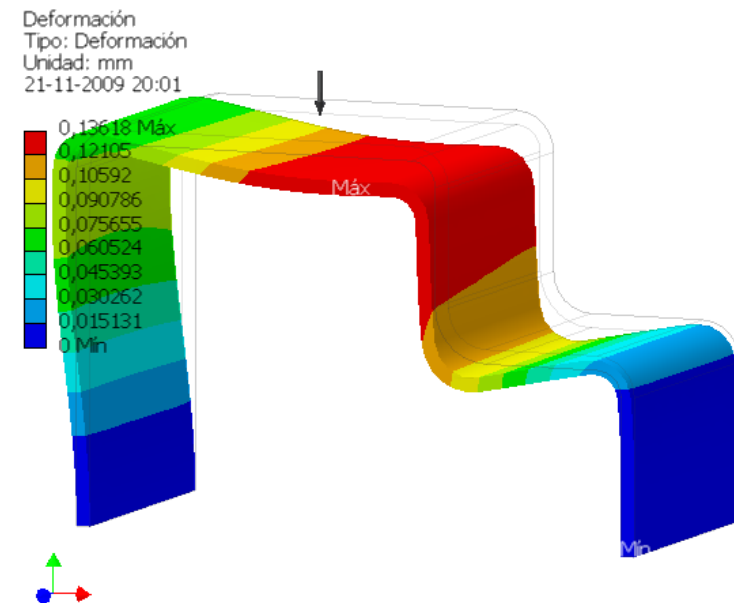
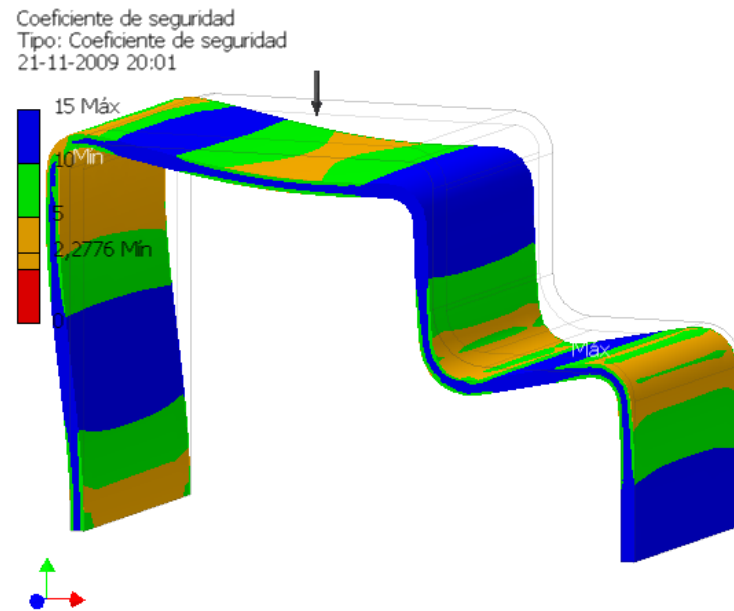


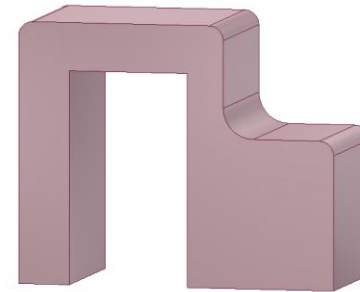


FIGURA 5: COEFICIENTE DE SEGURIDAD

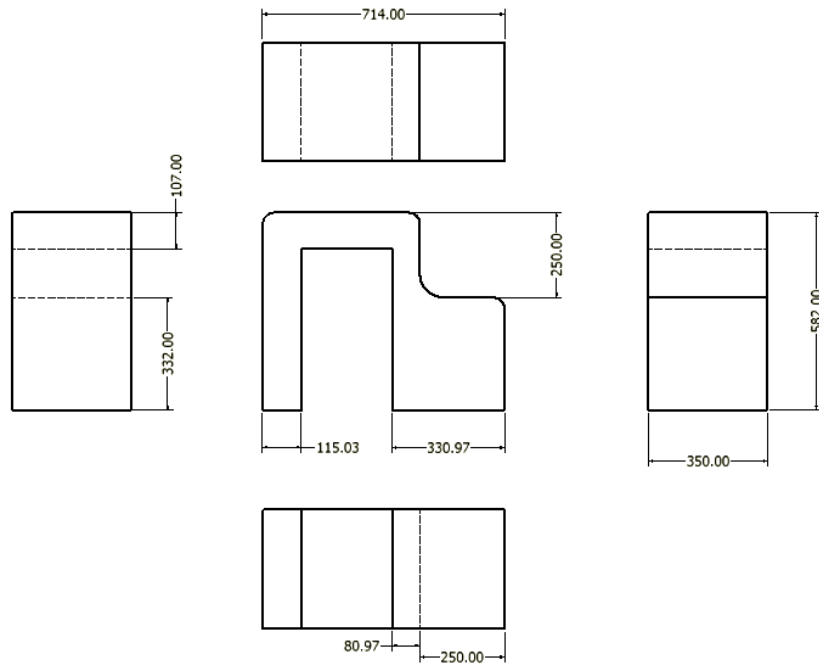


### 2.2.2.3 Fabricación

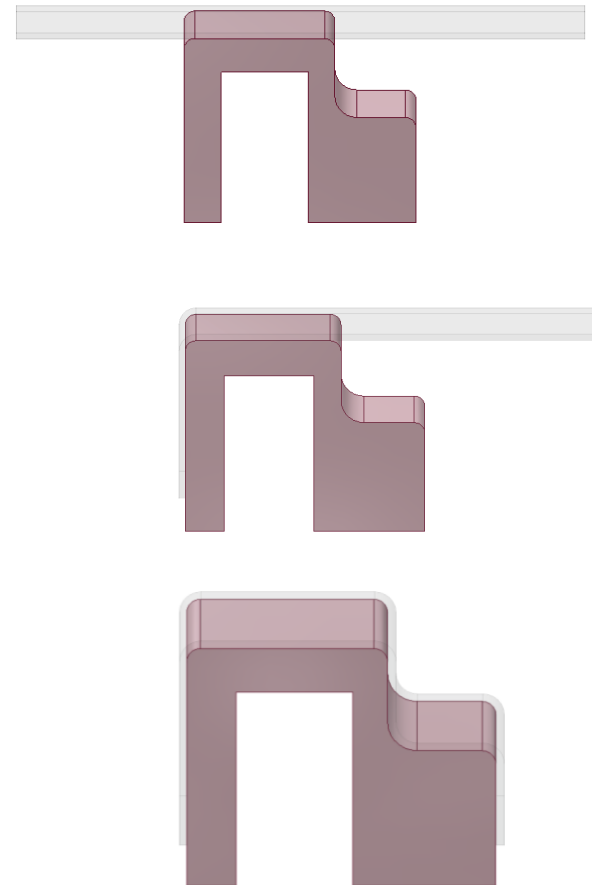
#### Molde



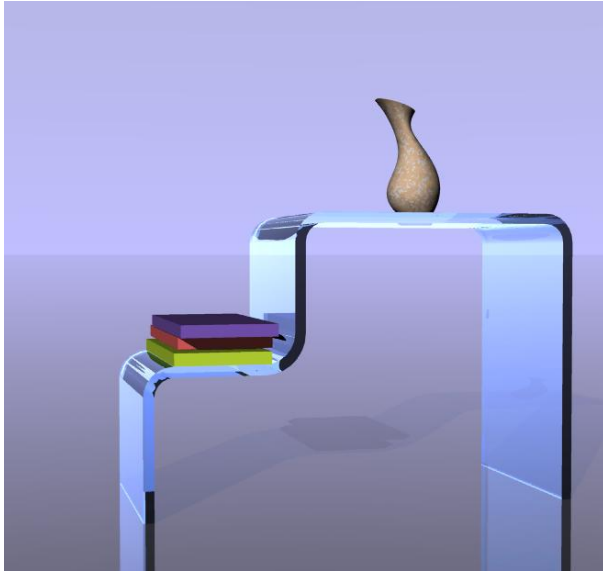
## Planos



## Proceso



#### 2.2.2.4 Utilización



#### 2.2.3 Propuesta 3

##### 2.2.3.1 Características

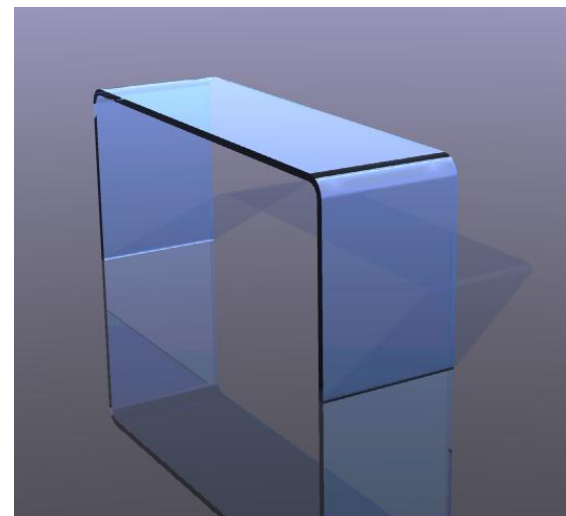
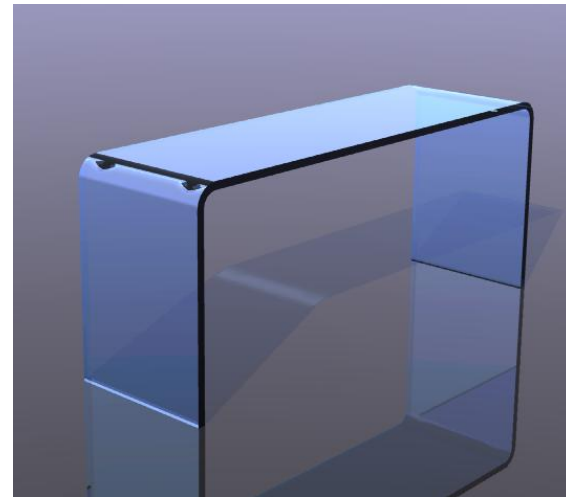


Curvatura externa: Círculo de 100 mm de diámetro

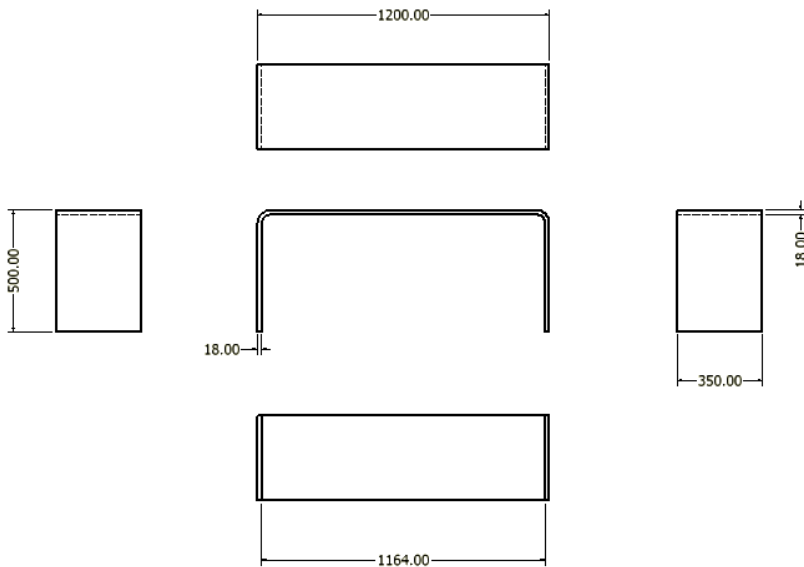


Curvatura interna: Círculo de 65 mm de diámetro

### Propuesta formal



## Planos



### 2.2.3.2 Análisis de stress mediante Autodesk Inventor

El análisis de esta pieza se encuentra dentro del capítulo 2.1 ya que es la pieza original analizada.

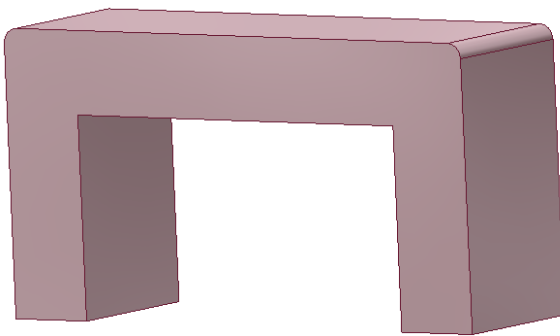
### 2.2.3.3 Fabricación

Para producir esta pieza dentro de la empresa Glasstech se ocupa como matriz piezas separas de cerámica que no demuestra como resultado una buena terminación. Por lo mismo se creará un nuevo molde.

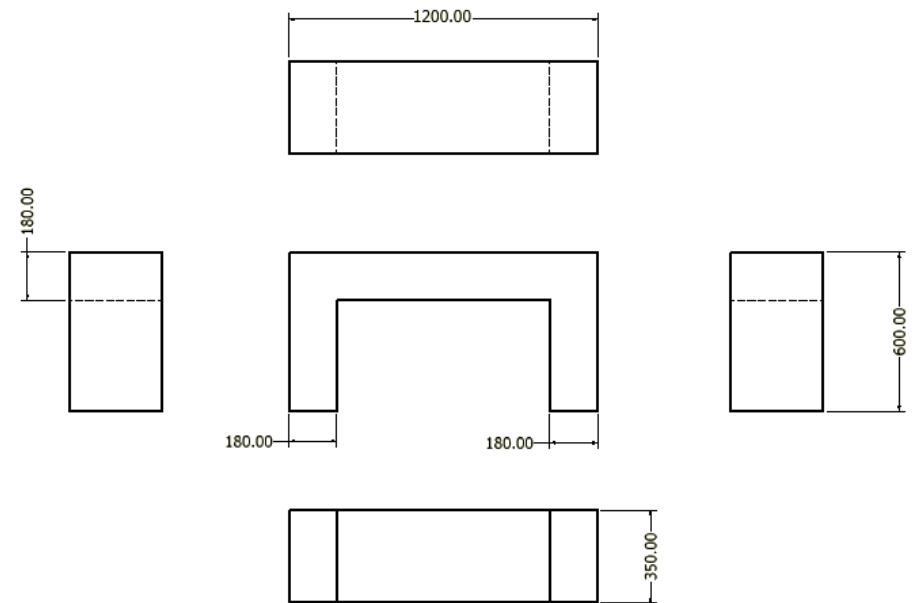


Molde ocupado en Glasstech.

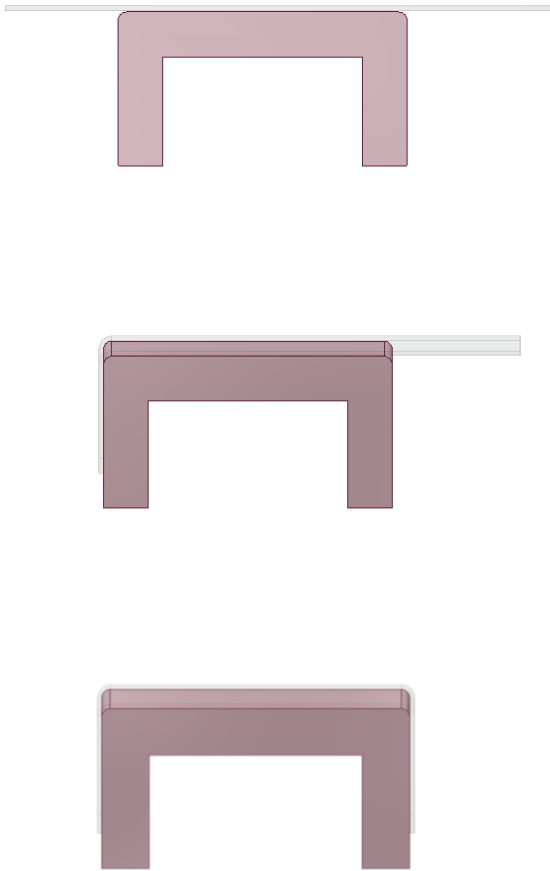
## Molde



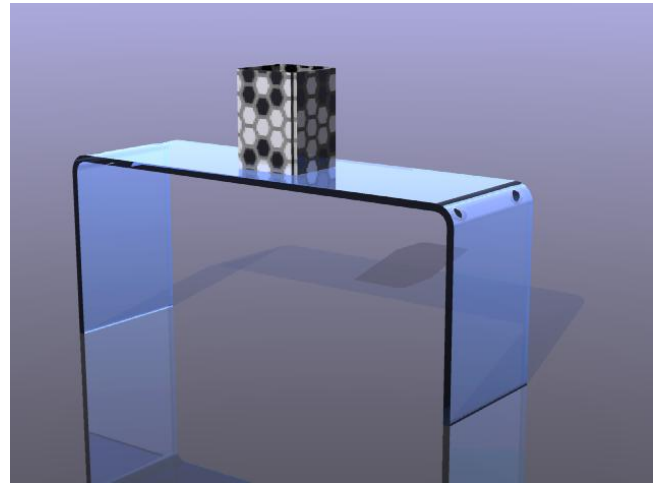
## Planos



## Proceso



## 2.2.3.4 Utilización



### **3.- Análisis de aplicación de nanotecnologías sobre el mobiliario curvo**

Las soluciones de la nanotecnologías a través de la Ingeniería Avanzada de Superficies pasan por modificar la Composición y estructura superficial de los materiales tratados, ya sea mediante la creación de un recubrimiento (con espesores típicos de unas pocas micras) o mediante la introducción de nuevos elementos dentro de la superficie, a profundidades a veces tan reducidas como décimas de micra. El control de estos procesos, en buena medida ya industriales, requiere el empleo de equipos que trabajan en alto vacío, fuentes de iones, evaporadores o reactores asistidos por plasma. Los espesores comparativamente reducidos de estos tratamientos se deben a que un mayor conocimiento de los procesos de deterioro superficial permite conocer con exactitud en número de capas atómicas implicado en cada caso, diseñándose luego el tratamiento adecuado para actuar a dicha profundidad. Los métodos modernos de modificación superficial más

relevantes como son la implantación iónica y los recubrimientos por PVD v CVD.

Hay dos aspectos a considerar en el ámbito del recubrimiento de superficie con materiales nanoestructurados: En primer lugar la composición y estructura superficial del sustrato o material inicial antes del tratamiento. Este aspecto interesa particularmente a quienes aplican los tratamientos y requiere el uso de equipos sofisticados y de gran costo. Su empleo en la industria se reserva a las ocasiones en que es absolutamente necesario. El segundo aspecto es el de la caracterización de propiedades, como por ejemplo los ensayos tribológicos (desgaste, fricción) o de corrosión. Es preciso hacer notar que apenas existen ensayos normalizados para cuantificar la resistencia al desgaste o los cambios de dureza de los modernos tratamientos de superficie, aunque se han desarrollado equipos de mediciones extraordinariamente sensibles, capaces de detectar cambios en las primerísimas capas superficiales, y están en marcha programas internacionales destinados a diseñar ensayos normalizados.



Para el caso de nuestra investigación proponemos la modificación de la superficie del vidrio a partir un recubrimiento de capas delgadas (a nivel de micras) que vendrá a aportarle al vidrio la resistencia que este pierde al pasar por el proceso productivo de curvado.

A partir del análisis de variados papers de investigación acerca de recubrimientos, dilucidaremos la forma de aplicación que se debiese optar para que el vidrio mejorare su resistencia dentro de su proceso productivo al transformarse en mobiliario curvo

### **3.1 Beneficios de su aplicación**

Encontrar propiedades novedosas en una escala nanométrica es sólo el primer paso. El próximo es hacer uso de este conocimiento. Lo que resultaría más provechoso sería la capacidad de fabricar objetos con precisión atómica los cuales permitirían que los científicos elaboren materiales con propiedades ópticas, magnéticas, térmicas, con grandes resistencias, eléctricas mejoradas o incluso nuevas. Y aún sólo

conocer los defectos en la escala atómica de un material puede proponer mejores formas de producción. La nanotecnología tiene aplicaciones tan amplias que afectará verdaderamente a todas las industrias a través del mejoramiento de materiales y productos existentes, así como mediante la creación de materiales completamente nuevos.

Esta investigación viene a aportar los conocimientos para que se de comienzo en las empresas de producción de materiales, al trabajo y aplicación de las nanotecnologías en los materiales, ya que en el caso de nuestro país éstas necesitan mostrarse más abiertas en cuanto a las nanopartículas que se pueden introducir en sus productos. Este rechazo instintivo se debe al no conocimiento de las maravillas que le puede aportar los recubrimientos de materiales nanoestructurados a sus materia prima, cambiando en casi un 80% su condición física.

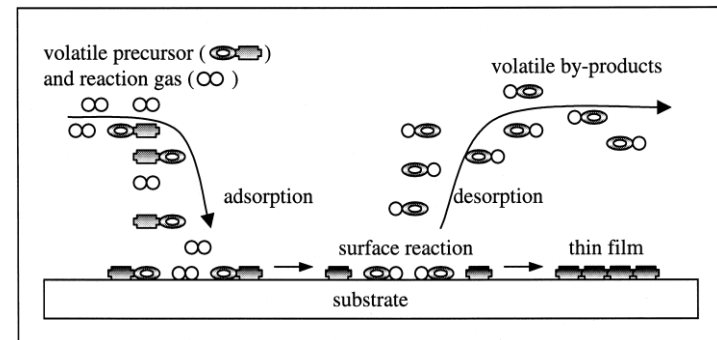
En nuestro caso particular de investigación, la industria de producción de mobiliario curvo en vidrio, la deposición de material nanoestructurado vendrá a aportar la resistencia requerida aún en mayor escala

que la que necesita el material, es decir, la aplicación de este recubrimiento vendrá a otorgar más resistencia que la que necesita el material para usado como mobiliario, lo que da la posibilidad de poder ser trabajado a mayor escala, ya sea por ejemplo como una estructura de soporte a grandes cantidades de gente. A partir de todo esto se abre el espectro para el trabajo en el vidrio, dándole mas libertad al diseñador para trabajar con formas más orgánicas pero aportándole más resistencia al vidrio que la que éste mismo no tiene propiamente.

### 3.2 Procesos para su aplicación

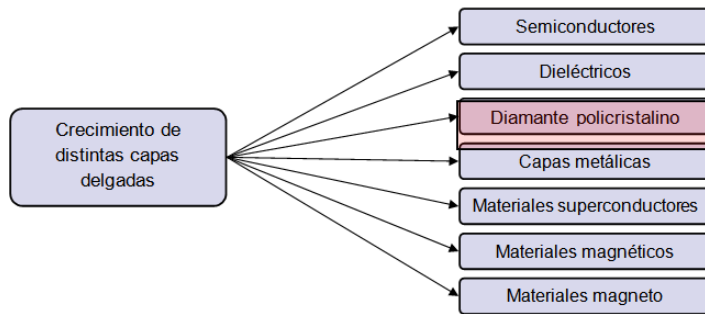
La técnica de CVD consiste en la reacción de una mezcla de gases en el interior de una cámara de vacío (reactor) que se depositan sobre un material inicial (sustrato) formando de una capa delgada o en polvo de un material sobre la superficie del sustrato. Los subproductos de la reacción son evacuados hacia el

exterior mediante un sistema de alta velocidad de bombeo.



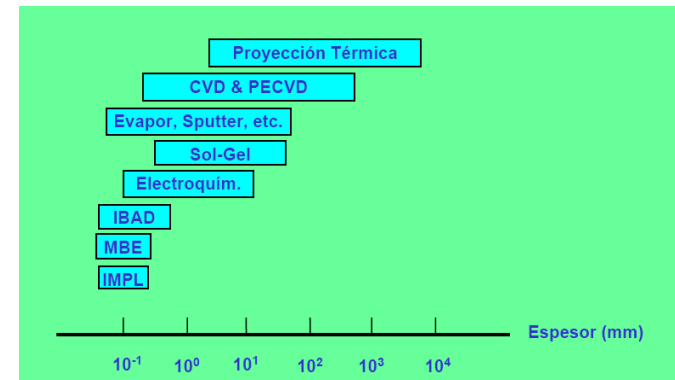
En la figura se ve una representación esquemática de la reacción química CVD que se produce en la superficie de la pieza que se está depositando (Substrato). Los compuestos volátiles (precursor o gas de reacción) pueden adsorberse en el sustrato y reaccionar en la superficie, o reaccionar en la fase de gas cerca del sustrato calentado. Los productos de descomposición de esta reacción son los subproductos volátiles.

Con las técnicas en fase de vapor se pueden crecer capas delgadas (del orden de las micras) con distintas propiedades, tales materiales pueden ser:

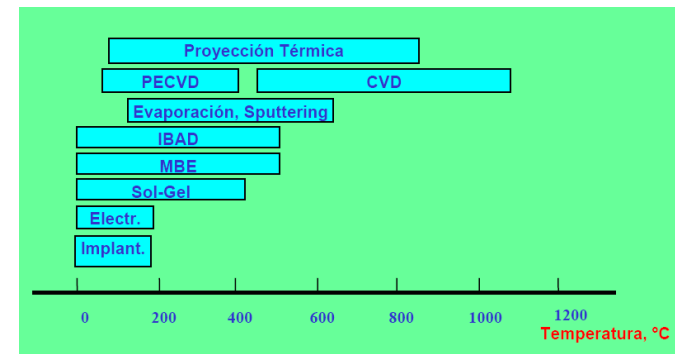


Uno de los inconvenientes más serios de las técnicas de CVD es que la reacción de deposición requiere temperaturas altas (por encima de unos 500° C) con objeto de activar las especies de reacción y obtener así depósitos con una velocidad razonable, es por esta razón que se propone la utilización de dicha técnica asistida por plasma para que el tipo de reacción de los gases sobre el sustrato sea mucho más homogénea y a más bajas T°.

- Rango de espesores que otorga la técnica CVD



- Rango de T° de deposición de la técnica CVD



<sup>1,2</sup>Dr. ALBELLA, J.M. "Tema 0: Recubrimiento en láminas delgadas. Propiedades y Aplicaciones". Preparación y caracterización de recubrimientos y capas delgadas. Insto. de Ciencia de Materiales de Madrid, 2007

### 3.2.1 Tipo de reacción de los gases sobre el vidrio

#### **Fundamento de las técnicas de CVD asistidas por plasma (o láser):**

La presencia de una descarga eléctrica en forma de plasma (o la iluminación con láser o otra fuente de radiación de longitud de onda adecuada) en un reactor de CVD provoca la excitación de especies gaseosas a estados más energéticos y por tanto más reactivos. Con ello se aumenta la velocidad de formación del depósito para una temperatura dada, y hace posible la obtención de depósitos a temperaturas mucho más bajas que en sistemas convencionales de CVD.

#### **Requerimientos básicos de un equipo de CVD asistido por plasma (o láser)**

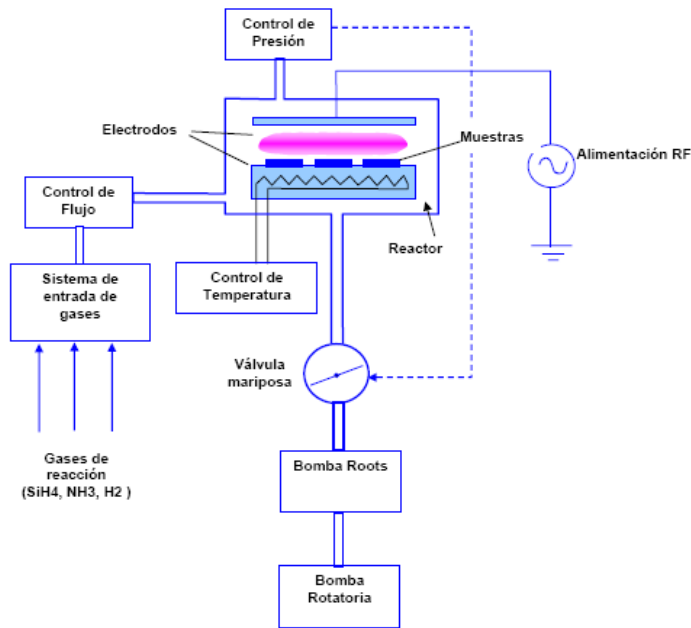
- Sistema de transporte de los gases de reacción al reactor (incluye gases de purga, control del flujo de gases, etc.)

- Reactor + Sistema de activación de gases: Horno + descarga eléctrica (o sistema de iluminación por láser, radiación UV, etc.).
- Equipo de medida y control de la presión de los gases, temperatura, etc. en el reactor.
- Equipo de vacío (para evitar reacción de los gases con la atmósfera del aire y extracción de subproductos de la reacción)

Etapas principales en el proceso de deposición en las técnicas de CVD asistidas por plasma:

- a) Reacciones primarias entre e- y los reactantes
- b) Formación de especies excitadas (iones, radicales libres, etc.)
- c) Transporte hacia la superficie
- d) Reacción de absorción sobre la superficie del substrato
- e) Difusión y nucleación o bien desorción

- **Esquema** de un sistema convencional de PACVD para la obtención de películas de  $\text{Si}_3\text{N}_4$  (ver página siguiente),



3

Las características más destacadas de las técnicas de PACVD son:

- Reacción de deposición a temperaturas bajas (generalmente por debajo de 300 °C).
- El trabajo a presiones bajas permite la obtención de recubrimientos 'conformes' en piezas de geometría compleja.
- Posibilidad de depositar una gran variedad de materiales (común a otras técnicas de CVD).
- Muy utilizada en la preparación de capas para circuitos de microelectrónica.
- La excitación a frecuencias elevadas (técnicas de RF y de ECR) permite trabajar con presiones < 1mTorr, e incluso en la configuración de plasma remoto.

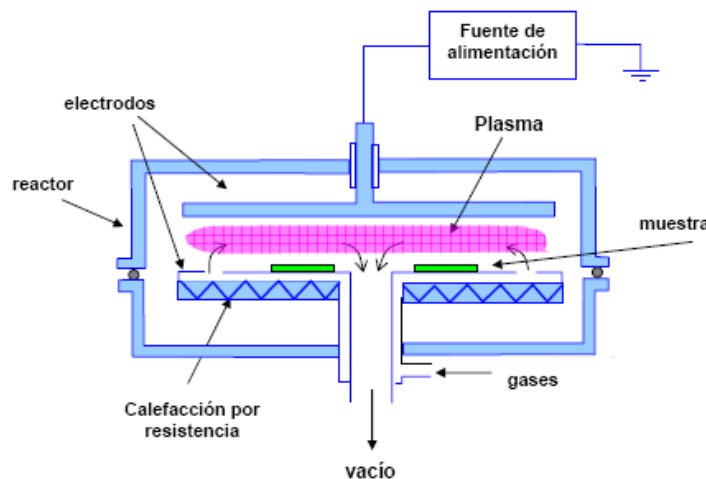
• Limitaciones:

- Factibilidad de la reacción

<sup>3</sup> Dr.ALBELLA, J.M. "Tema 8: Técnicas de CVD asistidas por plasma y láser". Preparación y caracterización de recubrimientos y capas delgadas. Insto. de Ciencia de Materiales de Madrid, 2007.

- Cinética de reacción compleja (el plasma excita diversas especies de reacción dando lugar a una gran variedad de reacciones paralelas.
- Formación de subproductos, reacción homogénea (polvo)
- Posibilidad de daño por la radiación del plasma..

**Reactores de CVD Asistidas por Plasma de corriente alterna:**



**• Reactores de radiofrecuencia (rf):**

- Basados en la descarga eléctrica entre dos electrodos
- Configuración radial con dos electrodos plano-paralelos
- Presión de la descarga 0.1-10 mTorr
- Fuente de alimentación de RF(13.56 Mhz)
- Temperatura: 30-300°C
- Aplicación: capas de SiO<sub>2</sub>, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, etc.
- Esquema de un reactor convencional de PACVD de radiofrecuencia (RF)

<sup>4</sup>Diagrama de reacción CVD asistida por plasma de corriente alterna (RF)

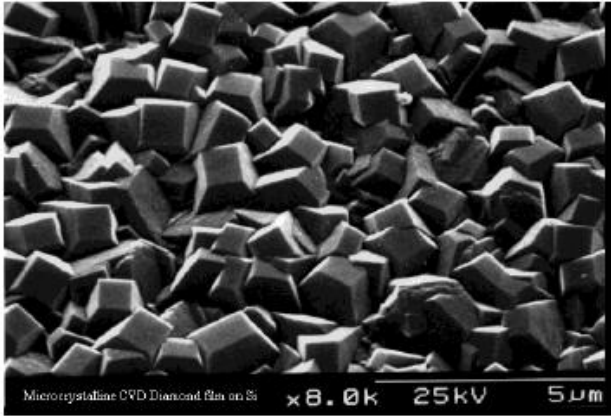
4 DR.ALBELLA, J.M. “Tema 8: Técnicas de CVD asistidas por plasma y láser”. Preparación y caracterización de recubrimientos y capas delgadas. Insto. de Ciencia de Materiales de Madrid, 2007.

### 3.2.2 Tipo de material a depositar sobre el vidrio

#### **Material Tipo Diamante (Diamond Like Carbon – DLC)**

La mayor parte de los esfuerzos de investigación científica relacionada con tecnologías de diamante CVD se han concentrado en los últimos diez años. Estos esfuerzos de investigación han llevado a que las aplicaciones más obvias del diamante, tales como herramientas de corte y sumideros térmicos ya hayan alcanzado el mercado. Dada la alta tasa de progreso, no debería pasar mucho tiempo antes de que esta tecnología comience a tener un impacto significativo en muchas áreas de la vida moderna. Sin embargo, varios temas deben ser resueltos antes de que esto suceda. Es necesario aumentar las tasas de crecimiento de las

películas (por uno o más órdenes de magnitud) sin que ésta pierda calidad. Las temperaturas de deposición deben ser reducidas por varios cientos de grados permitiendo que materiales con bajo punto de fusión puedan ser cubiertos. Esto llevaría a que se incremente el número de sustratos sobre los cuales se puede depositar una capa de diamante. Se necesita aumentar el tamaño de las áreas de sustrato, nuevamente, sin perder uniformidad o calidad en la película. Para aplicaciones electrónicas se requieren en forma urgente películas de diamante monocristalinos en conjunto con técnicas confiables para imprimir patrones y doparlas (tipo n y p). El control de las propiedades mecánicas es lejos mejor que el de las propiedades electrónicas donde la suavización explotable y la heteroepitaxis aún son evasivas.



Las oportunidades para explorar las películas de diamante continúan impresionando a los trabajadores en el campo, aunque los desafíos son igualmente impresionantes. La experiencia a partir de la teoría y de extensivos experimentos hace más creíble el hecho que se puedan crear películas de alta calidad de manera eficiente.

recubrir piezas completas hasta sus recovecos

- No afecta las dimensiones de la pieza al ser recubierta

En el presente se está desarrollando una gran cantidad de trabajo en todo el mundo para resolver estos temas y se está progresando día a día. De continuar así, el futuro del diamante CVD será “brillante”.

Algunas características del material tipo diamante son:

- Alto coeficiente de conductividad térmica (5 veces superior al Cobre)
- Altamente resistente a la corrosión salina y ácida
- Resistencia a altas T° (hasta 400°C)
- Altamente resistente al desgaste por abrasión
- Bajo coeficiente de roce cinético (parecido al teflón) puede usarse como lubricante
- Transparente al Infrarrojo
- Se puede depositar en grandes superficies y

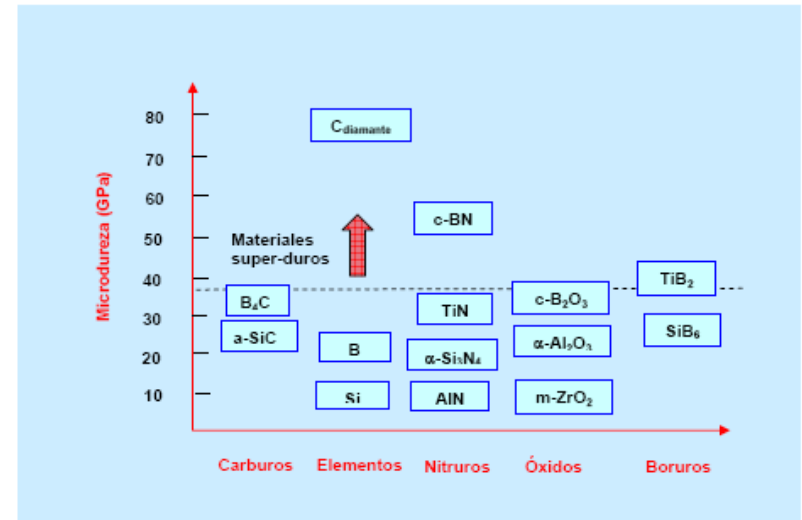
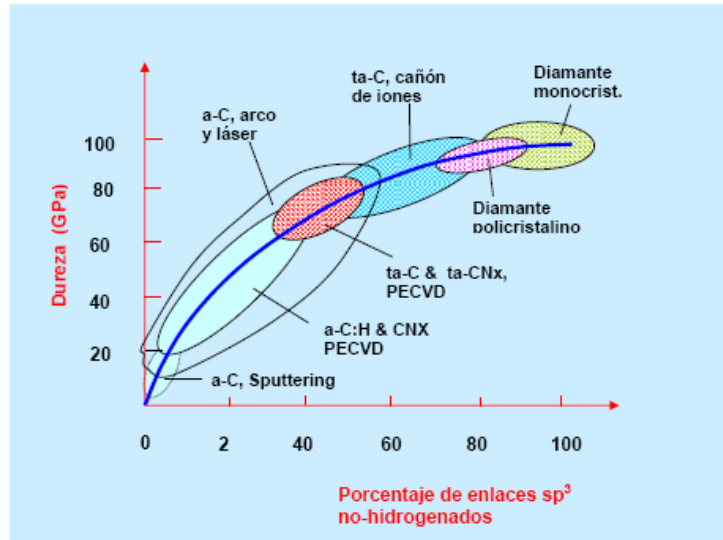


El procedimiento de obtención de capas de diamante y de DLC mediante técnicas de CVD está basado en la reacción de pirólisis del metano. La molécula de metano tiene una alta estabilidad térmica, por lo que para conseguir la deposición de películas de carbono utilizando metano como gas de partida, normalmente se requieren temperaturas muy elevadas.

Como ya se ha mencionado, la aplicación de un plasma permite conseguir velocidades de deposición altas a temperaturas que en ausencia de la descarga es prácticamente imposible conseguir depósito. Por este motivo las películas DLC se obtienen mediante PACVD

en mezclas de metano (10-40% en hidrógeno) a temperaturas inferiores a 300° C. Recientemente se ha detectado que la sustitución parcial o total de hidrógeno por argón durante el proceso de deposición de películas DLC favorece la formación de nanocristales de diamante en la película de carbono amorfo.

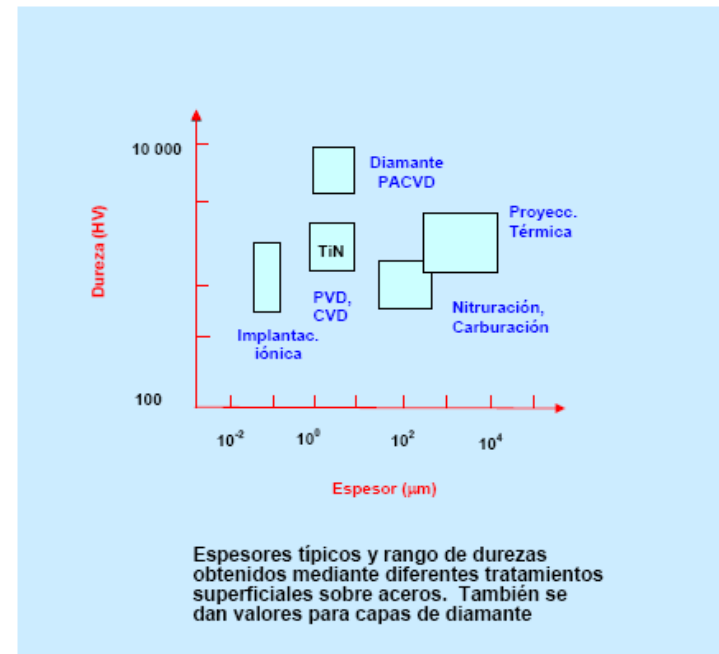
Las propiedades de las películas DLC varían según el contenido de Hidrógeno. Los recubrimientos libres de Hidrógeno son generalmente los más duros, resistentes al desgaste y transparentes: su densidad es más próxima a la del diamante.

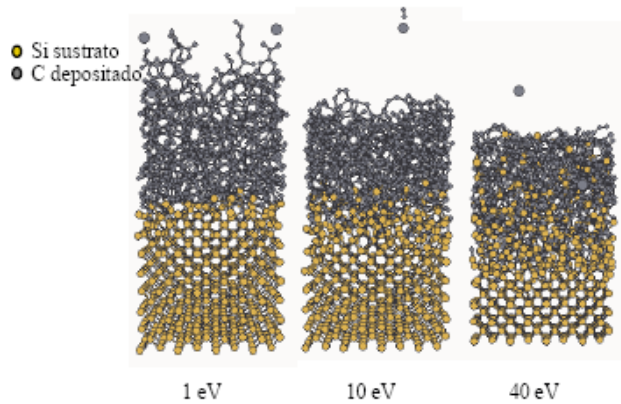


Rangos de microdureza del material tipo diamante (C diamante)

TABLA 1. MATERIALES DEPOSITADOS POR CVD Y SUS APLICACIONES.

APLICACIONES	MATERIALES TÍPICOS
a) <u>Mecánicas:</u>	
Resistencia al desgaste	C (diamante y cuasi-diamante)
	BN, B <sub>4</sub> C, SiC, AlN, Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> TiN, TiC, TiB <sub>2</sub> CrSi <sub>2</sub> , MoSi <sub>2</sub> , Mo <sub>2</sub> C, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , ZrO <sub>2</sub> , BeO
Baja fricción	MoS <sub>2</sub> , BN, BaF <sub>2</sub> /Ca <sub>2</sub>
Reducción de la corrosión	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> , SiO <sub>2</sub>
Protección térmica	CaSi <sub>4</sub> , MgAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub> , MgO, ZrO <sub>2</sub> (estabilizado, Mg o Ca)
b) <u>Eléctricas y magnéticas:</u>	
Ferro- y piezoeléctricos	BaTiO <sub>3</sub> , PbTiO <sub>3</sub> , LiNbO <sub>3</sub>
Ferrimagnéticos	FeO <sub>y</sub> , Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , CrO <sub>2</sub>
c) <u>Ópticas:</u>	
Absorción selectiva	BaF <sub>2</sub> /ZnS, CeO <sub>2</sub> , CdS, SnO <sub>2</sub>
Antirreflexión	SiO <sub>2</sub> , Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
Guías de onda y fibras ópticas	SiO <sub>2</sub>
Sensores	SiO <sub>2</sub> , SnO <sub>2</sub> , ZrO <sub>2</sub>
d) <u>Electrónicas</u>	
Semiconductores	Si, GaAs, GaP, CdS
Aislantes	SiO <sub>2</sub> , Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>
Conductoras	Al, Cu, Au, W, SiTi <sub>2</sub> , SiCo <sub>2</sub> , SiCr, SiTa <sub>2</sub>



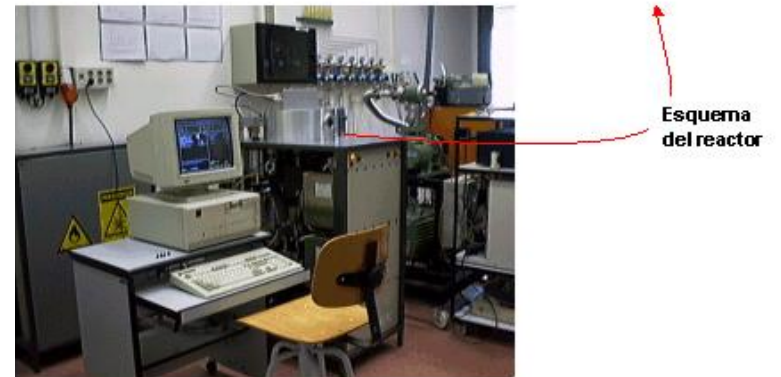
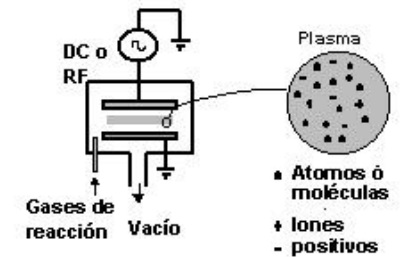


5

La imagen muestra la simulación donde el DLC se adhiere al vidrio a través proceso de CVD

### 3.2.3 Maquinaria utilizada para la deposición

La maquinaria utilizada para el tipo de deposición escogida CVD asistido por plasma de radiofrecuencia (PACVD rf) es el tipo de deposición química que mas favorece al material escogido para depositar sobre el vidrio, que es el DLC.



<sup>5</sup> HALAC, BURGOS y REINOSO, “Simulación de crecimiento de películas delgadas de carbón amorfo sobre sustratos de silicio” 2003

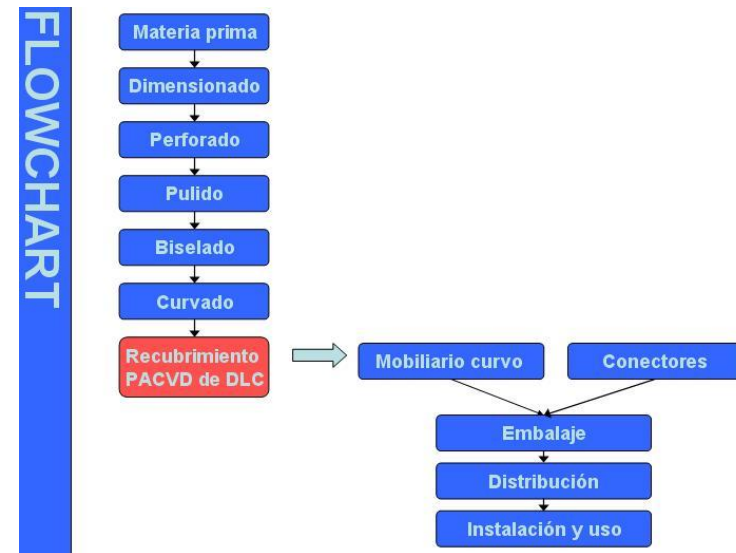
### 3.2.5 Etapa de inclusión en el proceso de producción

Luego del análisis del sistema productivo del mobiliario curvo en vidrio, se definieron las mejores opciones de aplicación de nanotecnologías en su proceso. Para ello se estudiaron cómo y qué tipo de material nanoestructurado es el que requiere el vidrio para recuperar y aumentar a cabalidad su resistencia, definiéndose así el proceso de deposición del material como el PACVD asistido por radio frecuencia y el material nanoestructurado depositado, que sería el DLC.

A partir de la definición de estos procesos proponemos definir también el lugar de inclusión de esta nanotecnología dentro del proceso productivo del mobiliario curvo de vidrio.

Como ambas etapas, la de análisis del sistema productivo del mobiliario y la de aplicación de materiales nanoestructurados, ya fueron estudiadas y definidas, se propone la inclusión de una nueva fase dentro del sistema productivo del mobiliario en vidrio la cual se

basará en la aplicación del material nanoestructurado ya analizado. A continuación mostraremos en el esquema la etapa de inclusión de este proceso:



La razón de la inclusión del proceso productivo en dicha posición es debido a la falta de tecnología que existe para otorgarle resistencia al mobiliario después de su etapa de curvado.

### 3.2.6 Costos de producción de la técnica

A continuación presentamos los datos aproximados en lo que se tendría que invertir para poder recubrir el vidrio de material nanoestructurado. Existe un elevado costo de inversión, específicamente en las maquinarias, ya que son de alta calidad y tecnología, pero los precios de deposición como los gases y la energía son de muy bajos costos para con los beneficios que se obtendrá con el material.

<b>ELEMENTOS Y MAQUINARIA</b>	<b>VALOR UNICO</b>	<b>VALOR AL MES</b>
Laboratorio con agua y sistema de potencia eléctrico		300.000
Pirómetro óptico	3.240.000	
Confección de reactor (tres)	9.000.000	
Análisis de Microscopia	10.000.000	
Espectrómetro de masas	5.100.000	
Equipo de vacío	10.000.000	
Válvulas y conexiones de vacío	10.000.000	
Fuentes de potencia	10.000.000	
Medidores de vacío	2.000.000	
Medidores de Flujo	5.000.000	
Gases	500.000	
Reactivos	1.000.000	
Herramientas	1.000.000	
Seguridad	2.000.000	
Secretaria	200.000	
Operador	500.000	
Estanterías Laboratorio	2.000.000	
Extractor de aire potente	200.000	
Computador para laboratorio	1.000.000	
Fungibles	2.000.000	
Acceso a base de datos		150.000

### 3.3 Impacto medio ambiental

El interés de la sustancia gris parece estar decayendo ante el surgimiento de preocupaciones más serias sobre la posible toxicidad de las nanopartículas, ya que se ha demostrado lo nocivo que es para los peces y los ratones.

Ken Donaldson, profesor de Toxicología Respiratoria de la Universidad de Edimburgo, sostiene que es probable que las nanopartículas y los nanotubos sean muchos más que tóxicos que su sustancia homóloga de tamaño mayor, ya que las partículas de menores dimensiones tienen una mayor área de superficie y son mucho más reactivas. Al ser tan diminutas, éstas podrían penetrar las células y eludir el sistema inmune humano. Cuando se inhala las partículas finas de carbono pueden entrar en la sangre y en el cerebro.

No obstante en el año 2004 un informe de la Royal Society en Gran Bretaña sostenía que, en la mayoría de los casos, la exposición de la gente sería limitada: cuando se usasen nanopartículas como materia prima, ingredientes o aditivos en un producto, habitualmente

estarían contenidas en un compuesto o sujetadas a una superficie. En efecto, se han usado materiales nanoscópicos durante años. Si los gobiernos, la industria y los científicos siguen tomando el asunto en serio, la creación de nuevas nanopartículas no parece ser más riesgosa que la creación de nuevas sustancias químicas.

Además las partículas ya nos rodean por doquier: el aire está repleto de ellas, desde el tubo de escape de los motores diesel hasta el humo de cigarrillo, el spray para el pelo, las velas y las tostadas. La gente crea y usa toda clase de sustancias químicas tóxicas y nefastas a diario.

Lo principales, que en lo referido a la nanotecnología, los puntos de vista de los grupos ambientalistas, grupos a favor de los pobres y grupos antiempresariales no son iguales. Por ejemplo dos grandes grupos ambientalistas, Environmental Defence y Greenpeace, se muestran cautelosamente optimistas sobre la tecnología. Doug Parr, líder científico de Greenpeace, tiene ciertas inquietudes, incluidos los riesgos sanitarios y ambientales de las nanopartículas y su uso potencial

con fines militares. Pero el alcance mismo de la nanotecnología dificulta su objeción. Como explica Parr: “Aún no contamos con una política nanotecnológica; y si no se puede con un campo tan diverso”. Y agrega: “ Admitimos cada vez más que puede generar cosas buenas”. Una de las predicciones de Parr es que los nuevos materiales podrían rebajar los costos de las células fotoeléctricas y hacer viable e incluso lucrativa la energía solar.

De hecho, la nanotecnología tiene varios beneficios ambientales en potencia, lo que complica la oposición por parte de agrupaciones ecologistas desde un principio como ocurrió con los transgénicos. Además de este ahorro de energía, las nanopartículas especializadas o los materiales porosos podrían utilizarse para eliminar la toxicidad y contaminación de las aguas, la tierra e incluso el aire. Y los ecologistas difícilmente puedan acusar a la tecnología de hacer algo “antinatural” cuando los humanos han modificado sustancias para crear nuevos materiales desde la Edad de Bronce.

Los temores de que el público rehace la nanotecnología han permitido que ciertos grupos incursiones en una nueva táctica: avisar a los científicos, empresas y gobiernos que, si quieren una aceptación generalizada de su tecnología, deben “democratizarla”. El significado exacto de esto no queda claro, salvo sus intenciones de servirse de la opinión pública a lo efecto de sus propias cuestiones.

De hecho, nadie sabe realmente qué es lo que la gente quiere de la nanotecnología. Según dos encuestas realizadas en los Estados Unidos y Gran Bretaña, la mayoría ni siquiera la conoce. Y aunque es poco probable que la rechacen en el acto una vez que la conozcan, los grupos de presión seguramente podrían cambiar su opinión en algún aspecto. Las compañías que se dedican a las aplicaciones nanotecnológicas de nuevos productos deberán tenerlo en cuenta.

Por lo tanto se puede decir que los efectos positivos que entrega la nanotecnología son:



— Contribución a la reducción del consumo de materiales.

— Reducción del consumo de energía y de emisiones tóxicas. El empleo de recubrimientos ha contribuido a un aumento significativo de la eficiencia de las turbinas de gas generadoras de electricidad o aeronáuticas, debido a que permite que operen a mayores temperaturas.

El aumento de la eficiencia resulta en una correspondiente disminución de emisiones por KW producido o por Km de vuelo respectivamente. Lo mismo ocurre en el transporte marítimo (turbinas marinas).

También, en el sector de transporte terrestre, el empleo de recubrimientos que disminuyen la fricción ha tenido un impacto importante en la reducción del consumo de combustible por Km.

Por otra parte, el uso de recubrimientos facilita el empleo de materiales más ligeros como, por ejemplo, al aumentar la resistencia al desgaste de componentes fabricados de aleaciones de aluminio, mucho más ligeros que los aceros pero con poca resistencia al

desgaste, contribuyendo de esta manera al correspondiente ahorro de combustible. De forma menos directa, gracias al uso de recubrimientos específicos, es posible fabricar los mencionados componentes de aleaciones de aluminio o también de magnesio, ya que dichos recubrimientos protegen los moldes de acero empleados para su manufactura que, de no llevar protección, reaccionarían con la aleación fundida.

— Efecto barrera frente a agentes “dañinos” medioambientales.

El empleo de recubrimientos para el empaquetado de alimentos tiene como finalidad impedir o retardar el paso del O<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O medioambientales con la finalidad de mantener la frescura y la calidad del alimento por mayor tiempo. Se emplean capas finas de Al, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> o SiO<sub>2</sub>. Otro ejemplo es el empleo de capas muy finas como filtros para radiaciones dañinas como por ejemplo la ultravioleta, en la protección para gafas, cristales arquitectónicos y cabinas de aviones.

Los efectos negativos que pueda tener la nanotecnología es que como cualquier proceso industrial, la deposición de recubrimientos conlleva algunas interacciones negativas con el medioambiente, por ejemplo, la descarga de residuos que estos procesos puedan generar, la toxicidad y/o peligrosidad de los productos químicos empleados o resultantes, tales como solventes orgánicos, metales pesados, etc. Sin embargo, afortunadamente, la legislación referente a todos estos aspectos es cada vez más restrictiva y como consecuencia se están realizando esfuerzos para mejorar los tratamientos de residuos, para reemplazar aquellos procesos que resulten demasiado negativos para la salud y el medioambiente o para encontrar procesos alternativos con impactos mínimos.

Esta situación se ilustra con dos ejemplos:

— Aplicación de pinturas en la industria del automóvil.

En esta industria, la aplicación de pinturas se realiza a gran escala. Algunos de los problemas con sus respectivas soluciones se detallan a continuación:

- Preparación superficial. Las superficies a recubrir se preparan tradicionalmente mediante chorreado con arena. Esta, puede causar problemas respiratorios a los trabajadores y por esta razón se ha comenzado a reemplazar por otros abrasivos menos tóxicos. Un ejemplo muy reciente es el uso de partículas de CO<sub>2</sub> sólido (hielo seco) que no dejan residuo alguno ya que se evaporan después de haber cumplido su misión.

- Reemplazo de disolventes orgánicos tóxicos.

La gran mayoría de las pinturas empleadas en esta industria se basan en solventes orgánicos que, como es bien conocido, no solo son perjudiciales para la salud de los trabajadores, sino que también para el medio ambiente causando, entre otras cosas, la destrucción de la capa de ozono. En la actualidad ya se ha comenzado a reemplazar dichas pinturas por otras hidrosolubles, sólidas o con menor contenido de VOC (compuestos orgánicos volátiles).

- Reemplazo de pigmentos tóxicos. Gran parte de los pigmentos constitutivos de las pinturas son muy tóxicos

(CrVI, plomo, mercurio, estaño, etc.) y, por esta razón, han comenzado a reemplazar por sales de zinc, bario y calcio, pigmentos vegetales, etc., de mucha menor toxicidad.

— Reemplazo del cromo duro. Los recubrimientos de cromo duro poseen una gran resistencia al desgaste y a la corrosión medioambiental y, en consecuencia, tienen un gran número de aplicaciones en las industrias aeronáutica, automotriz, componentes de funcionamiento hidráulico, válvulas, herramientas, componentes de imprentas, etc. Se depositan por electrodeposición a partir de Cr (VI), una especie muy cancerígena y que por lo tanto está sujeta a una legislación cada vez más restrictiva en cuanto a los límites de exposición y de descarga de efluentes permitidos. Por esta razón, su producción está alcanzando precios inadmisibles y en algunos casos se ha prohibido su uso. Ha sido necesario, en consecuencia, dedicar grandes esfuerzos a nivel mundial para buscar alternativas al uso de estos recubrimientos con tan buenas prestaciones pero que

representan un impacto muy negativo tanto para la salud.

#### 4.- Conclusiones

A partir de lo planteado e investigado durante nuestro seminario concluimos en la real importancia que tiene incluir nuevas tecnologías en los procesos productivos de la industria del vidrio, debido a la fragilidad que en este se genera al pasar por el proceso de curvado.

En Chile, todo lo que es un reto para la investigación y desarrollo de un material, gran parte de ella se deja de lado, es por esto que nos quedamos estancados frente al uso y aplicación de nuevas tecnologías con respecto a otros países. Es dicho motivo el cual nos motivó al desarrollo de este seminario, el cual muestra de manera documental a través del análisis de las condiciones estructurales, las cuales hacen al vidrio una estructura soportante, sus deficiencias como material, y la falta de conciencia y normalización que posee el proceso productivo de curvado. Por esta razón ponemos en relevancia lo que vendría a aportar las aplicaciones de material nanoestructurado sobre éste, ampliando su capacidad de resistencia de sobre

manera, hasta casi poder comportarse como otro material, similar al acero en su resistencia.

A partir de todo lo investigado podemos develar también que esta investigación da pie para que en el ámbito del diseño industrial se conozcan las nanotecnologías y sus posibles aplicaciones, ya que como diseñadores industriales debemos ser precursores de las nuevas tecnologías, pues a través de ellas podemos mejorar desde un proceso productivo hasta la vida de todos nosotros.

En este seminario se mezclaron temas de distinta índole desde procesos productivos, estructurales, de diseño hasta el área físico-química las cuales se preocupan de generar estas nuevas tecnologías. Todo esto se fusionó en esta investigación con el fin de crear conciencia al diseñador industrial frente a la importancia que tiene el conocer y ampliar los procesos productivos dentro de una empresa, además de complementar estos conocimientos con las herramientas digitales de validación estructural. Es por esto que se propuso una

nueva línea de diseño a partir de las restricciones establecidas dentro del proceso de análisis del vidrio curvo como mobiliario.

A través de la nueva línea de diseño para mobiliario curvo en vidrio, fortalecemos y dejamos establecidas las bases para demostrar la importancia de validar el diseño desde la etapa de concepción de un producto. Para ejemplificar esto tomamos el caso del mobiliario curvo, como diseñadores industriales debemos considerar que si se está diseñando un producto que está en estrecha relación con el usuario, además de ser fabricado con un material de alta fragilidad y peligrosidad ante su fractura, es absolutamente necesario tener en consideración que éste tipo de productos sea normalizado tanto en su diseño (cálculos estructurales y aspectos ergonómicos), como en cada etapa de su proceso productivo.

Acerca de las proyecciones que nos entrega el seminario realizado, sacamos a nuestro favor la capacidad de profundizar una investigación

multidisciplinar frente a una problemática y llevar a cabo resultados concretos, siendo en nuestro caso una nueva línea de diseño y un nuevo proceso productivo, los cuales quedan en su etapa inicial, dejando la oportunidad de ampliarse y completarse. Queda abierta la oportunidad de desarrollo de esta línea de diseño, además de la posible aplicación de los materiales nanoestructurados sobre el vidrio.

## Bibliografía

- Libro: “Los vidrios: propiedades, tecnologías de fabricación y aplicaciones”. Autor: Eduardo A. Mari. Editorial Américalee, Buenos Aires
- Seminario Arquitecto Universidad de Chile, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, 2001, “Vidrios y Cristales”. Autor: Sebastián Pino Martínez.
- Seminario Arquitecto Universidad de Chile, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, 2003, “Criterios para el diseño estructural en vidrio”. Autor: Cristian Muñoz Vergara.
- Seminario Arquitecto Universidad de Chile, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, 1998, “Sistemas de piel inteligente en edificios de oficina”. Autor: Hernán Sánchez Marre.
- Catálogo de productos Glasstech (Glasstech SA)
- Apuntes aplicación nanotecnologías, Doctor Fernando Maass Artigas, Doctor en Física Aplicada y Electrónica
- Libro: “El futuro de la tecnología”. Colección finanzas y negocios. The Economist 2008
- Tesis Arquitecto Universidad de Chile, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, 1999, “Estructuras en vidrio”. Autor: Sebastián Dawson

## Paginas Web

- AGC, Flat Glass Europe

<http://www.agc-flatglass.eu/AGC-Flat-Glass-Europe/English/Homepage/News/Press-room/Press-Detail-Page/page.aspx/979?pressitemid=1330>

- Artículo “Cerámica y Vidrio” ,Síntesis de materiales cerámicos mediante técnicas químicas en fase vapor (CVD)

<http://boletines.secv.es/upload/20090422111831.20034227.pdf>

- Universidad de Chile, Facultad de ciencias físicas y matemáticas, “Recubrimientos duros de materiales”.  
<http://www.cec.uchile.cl/~mpilleux/id42a/.../12RecubrimientosDuros.doc>
- Revista “Cerámica y Cristal”  
<http://www.ceramicaycristal.com.ar/ciencia.htm>
- Enciclopedia de Salud y seguridad en el trabajo  
<http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/EnciclopediaOIT/tomo3/84.pdf>
- Técnicas asistidas por plasma y láser  
<http://www.icmm.csic.es/fis/documentos/Tema08.pdf>
- Recubrimientos y láminas delgadas. Propiedades y Aplicaciones, Dr. J.M. Albella, 2003.  
[http://www.icmm.csic.es/fis/espa/cursos\\_f.html](http://www.icmm.csic.es/fis/espa/cursos_f.html)