



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Diseño de amortiguadores como
Ingeniero practicante de
diseño en Bilstein**

INFORME DE ACTIVIDADES PROFESIONALES

Que para obtener el título de
Ingeniero Mecánico

P R E S E N T A

Alejandro Eduardo Rivera Torres

ASESOR DE INFORME

M.I. Mariano García Del Gállego



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2023

Diseño de amortiguadores como Ingeniero practicante de diseño en Bilstein

Índice

Agradecimientos	1
Introducción.....	2
Objetivo del informe.....	2
Descripción de la empresa.....	3
Antecedentes	4
Amortiguadores	6
Función de los resortes	6
Funcionamiento del amortiguador	7
Interacción resorte-amortiguador	7
Amortiguadores hidráulicos.....	8
Amortiguadores de gas presurizado	8
Tecnologías de Bilstein.....	9
Recubrimiento de zinc y níquel	9
Tecnología Bilstein Triple C	9
Hilos de cuerda redondeados BILSTEIN	9
Tecnología BILSTEIN Monotubo / Invertido.....	10
Pistón amplio Bilstein para todo terreno	10
Tecnología Bilstein de tubos gemelos.....	11
Suspensión Bilstein de aire.....	11
Tecnología de Presión de Gas Bilstein.....	11
Depósito remoto y giratorio Bilstein	11
Ajuste Bilstein de 1 vía	12
Ajuste Bilstein de 2 vías.....	12
Ajuste de altura Bilstein	12
Cuerpo roscado con rango ajustable.....	12

Anillo de presión Bilstein de altura ajustable para modificar recorrido	13
Descripción de funcionamiento de amortiguador de dirección.....	14
Diseño de Amortiguadores en Bilstein	14
Descripción de mis actividades en Bilstein como Product Engineer Trainee	16
Organigrama del Área de Diseño de Producto en Bilstein Poway, CA.....	17
Transferencias de diseños de Poway a PSMA	18
Amortiguador de dirección para Ford Superduty F-250.....	24
Amortiguador de casa rodante.....	31
Conclusiones	33
Glosario	35
Bibliografía.....	36

Agradecimientos

Agradezco primero a mi Familia, quienes me han apoyado y acompañado en cada etapa de mi desarrollo profesional; especialmente a mis padres, mi hermano, mi tío Alejandro, mi novia Alejandra, mis primas/os y mis amigos Rodolfo y Jaime. Gracias por su apoyo incondicional, por su ejemplo, por ser una gran motivación e inspiración y por confiar y creer en mí.

A mis amigas/os quienes me ayudan a mantener los pies en la tierra y me han apoyado en las buenas y en las malas. Gracias por el crecimiento que hemos tenido juntos, por su confianza, por las valiosas experiencias y por su invaluable amistad.

Compañeras/os de las cuales a algunas tengo la dicha de poderles llamar amigas/os que en el proceso de volverse ingenieros me ayudaron a formarme también.

A los proyectos estudiantiles Baja SAE y Formula SAE, principalmente a UNAM Motorsports, y cada una de las personas con las que tuve el gusto de trabajar en este gran proyecto.

Gracias por complementar mi formación como ingeniero, por enseñarme a trabajar bajo presión y en equipo, por darme la oportunidad de representar a mi querida Universidad haciendo algo que me apasiona, por la oportunidad de trabajar con grandes personas y aprender de ellas, por las grandes lecciones y experiencias y por la familia que tuve como equipo. Pertener a este equipo cambió mi vida profesional y personal. El tiempo que participé en este proyecto fue el periodo más exhaustivo de mi carrera universitaria y sin duda ha sido uno de los mejores momentos de mi vida.

Alejandro Trejo García y José Luis Salamanca Rubio gracias por su invaluable amistad, las buenas experiencias y las grandes lecciones que me dejaron. Siempre los recordaré con mucho afecto.

Agradezco a los profesores que buscan enseñar más allá de su materia buscando el progreso del alumnado y de la Facultad, a los profesores que apoyan los proyectos de la Facultad y principalmente agradezco a mis sinodales por además ayudarme con su asesoría, tiempo, dedicación y paciencia para el desarrollo de este trabajo.

A Bilstein y mi jefe Justin Smith por la oportunidad de trabajar y crecer con ellos, por el aprendizaje y por haber creído en mí. A la familia Bonner y Naomi Aguirre por toda la ayuda durante mi estancia en Poway, gracias por hacer de este periodo una experiencia única.

Durante mi carrera tuve la fortuna de contar con el apoyo de muchas personas, no tengo palabras suficientes para agradecerles. Soy el reflejo de todos ustedes que me ayudan a crecer y sin ustedes no hubiera podido lograr esta meta tan significativa en mi vida.

Agradezco cada una de las lecciones, experiencias y el aprendizaje que tuve durante mi formación como ingeniero.

Gracias.

“Por mi raza hablará el espíritu”.

Introducción

Objetivo del informe

El presente informe se desarrolló con el fin de describir las actividades que realicé durante 6 meses de empleo como Pasante de Ingeniero de Producto en ThyssenKrupp Bilstein of America en la planta de Poway, California, en los Estados Unidos de América.

Como parte introductoria y antecedentes de este informe explicaré brevemente acerca de la historia de la empresa, el funcionamiento simplificado de un amortiguador, función de sus principales componentes y finalmente las tecnologías que han diferenciado a Bilstein dentro de la industria automotriz.

Posteriormente presentaré el método de trabajo y procesos de diseño que aprendí y apliqué a las diferentes actividades que desarrollé dentro de Bilstein para desempeñar mi cargo de Ingeniero de Producto.

Las actividades principales que desarrollé dentro de la empresa fueron las siguientes:

- Actualización de diseños para planta de San Miguel de Allende (Transferencias de Poway, California a la Planta de San Miguel de Allende (PSMA), Guanajuato en CAD con Softwares CATIA y SolidWorks)
- Diseños para amortiguadores OE
- Nuevo diseño de amortiguador de dirección (Heavy Duty F-250)
- Nuevo diseño de amortiguador para casa rodante

Cada uno de estos diseños eran preaprobados por los jefes de área en conjunto con las oficinas de Alemania, asignados a un Ingeniero de Producto de mi área, revisado por un ingeniero con mayor experiencia del área y por el jefe para finalmente ser aprobado para manufacturarlo.

Así como también desarrollé otras actividades dentro de la empresa como la remodelación de una vitrina para presentar piezas manufacturadas en la planta además de la organización y distribución de una bodega asignada para almacén de prototipos físicos (Archive room).

Las actividades que realicé dentro de la empresa tuvieron una relación directa con los conocimientos que obtuve de la carrera de Ingeniería Mecánica. Gracias al conocimiento que adquirí dentro de la Facultad de Ingeniería, y de los proyectos en los que participé donde pude desarrollar otras aptitudes y habilidades, pude desempeñar de manera óptima mis actividades laborales.

Por privacidad de la empresa, algunas imágenes usadas para mostrar un diseño o ejemplificar los proyectos y trabajos desarrollados fueron modificadas para no mostrar el diseño en su totalidad o datos de los cálculos realizados.

Finalmente presentaré un apartado de conclusiones en el cual describiré las lecciones aprendidas durante mis labores dentro de la empresa y áreas de oportunidad tanto de los procesos de diseño como de mi desempeño laboral.

Descripción de la empresa

ThyssenKrupp Bilstein of America

Bilstein es una empresa de amortiguadores de alta tecnología que busca satisfacer las altas demandas de la dinámica vehicular, seguridad y confort del automovilismo en diferentes categorías de este, ya sea de uso deportivo, laboral o comercial.

La empresa fue fundada en Alemania en 1873 por August Bilstein. Inicialmente vendían accesorios y marcos para ventanas bajo el nombre de “AUBI”.

En 1927 la empresa comenzó a moverse hacia la industria automotriz gracias a la experiencia de la compañía y el conocimiento técnico de Hans Bilstein (hijo de August Bilstein, fundador de la empresa) obtenido en Estados Unidos.

Junto con la empresa Berlina “Levator-hebezeug-Fabrik” de poleas incursionaron en la industria automotriz. Un año después proveyeron el primer amortiguador plateado con cromo para producción en masa.

Los amortiguadores tradicionales de aceite, en condiciones de cargas extremas, solían presentar burbujas dentro del aceite, causando una reducción en su fuerza de amortiguamiento y, por lo tanto, un mal desempeño.

En 1954, Bilstein encontró la solución a este problema e introdujo el primer amortiguador monotubo con gas presurizado en una producción en serie en conjunto con Mercedes-Benz, el cual fue una importante contribución a la seguridad vehicular.

En 1988, con el objetivo de crecer y posicionarse mejor en el mercado, Bilstein se volvió una división de *ThyssenKrupp Technologies AG**1.

Hace 50 años, Bilstein incursionó en el automovilismo deportivo instalando amortiguadores de gas presurizado en un Mercedes-Benz en el rally de Monte Carlo. Desde entonces, Bilstein ha tenido una participación importante en las mejores categorías y equipos del automovilismo (WRC, Nascar, F1, etc.) como se muestra en la *Ilustración 1*, dentro de estas categorías ha tenido importantes victorias como las *24 horas de Nürburgring*, campeonatos de F1 y WRC.



*Ilustración 1 Bilstein en las 24 hrs. De Nürburgring *2. ©Bilstein of America.*

Actualmente BILSTEIN ofrece la más amplia variedad de amortiguadores en la industria, sus amortiguadores son instalados como equipo original en marcas importantes como BMW, Porsche, Mercedes-Benz, Maserati, entre otras, y continúa teniendo una importante participación en diferentes categorías del automovilismo deportivo.

- Off Road
- Light truck
- Tuning
- OE replacement (Original Equipment)
- AM (Aftermarket)
- Heavy duty
- Motorsports

*1 ThyssenKrupp AG es una empresa de la industria siderúrgica alemana y es la más importante en el país dedicada a la fundición y forja del acero.

Esta empresa transnacional opera a través de tres divisiones corporativas: acero, bienes de inversión y servicios. La primera se dedica a la producción de acero de construcción y acero inoxidable. La segunda división se divide a su vez en tres segmentos: ascensores, industria automotriz (partes para ensamblaje) y tecnología (herramientas, productos para refinerías y puertas industriales). La tercera división se ocupa de la manufactura de productos de ingeniería.

*2 <https://www.bilstein.com/us/wp-content/uploads/2019/06/24hour.jpg>

Antecedentes

Ante la evolución de la velocidad y potencia de los autos actuales, el desarrollo de suspensiones se ha vuelto de suma importancia, esta se encarga de equilibrar el movimiento relativo entre la masa no suspendida con la masa suspendida además de optimizar el contacto del neumático con la superficie por la que transita el vehículo.

Dentro de la suspensión, el sistema de amortiguador con resorte juega un papel importante en la dinámica del automóvil. En la *Ilustración 2* se puede observar la instalación y empaquetamiento del sistema para optimizar espacio de instalación y el peso del sistema.

El objetivo de los amortiguadores es reducir de manera controlada las vibraciones de las llantas hacia el chasis provocadas por un camino disparejo o por cambios de dirección, entre mayor sea la reducción de las vibraciones mejor será su desempeño. Se debe hacer todo lo posible para evitar que estas vibraciones se transmitan al chasis del automóvil con el fin de reducir los efectos reflejados en el manejo al pasar por encima de una roca, obstáculo o un camino irregular y así evitar el desbalanceo del automóvil, garantizar un contacto óptimo y una buena tracción en el camino. Los amortiguadores pueden contar con un resorte, el cual actuará durante la compresión y el amortiguador al momento de la extensión.

En el automovilismo, los amortiguadores son uno de los principales componentes para garantizar un rendimiento óptimo del auto.



Ilustración 2 Amortiguador Bilstein monotubo montado en suspensión de un automóvil. ©Bilstein of America.

Los arreglos de amortiguadores pueden ser configurados dependiendo de los resultados deseados para mejorar el rendimiento del auto, como es el caso de la dureza del resorte del amortiguador con el que se puede incrementar la temperatura del automático si este tiene mayor rigidez o si la

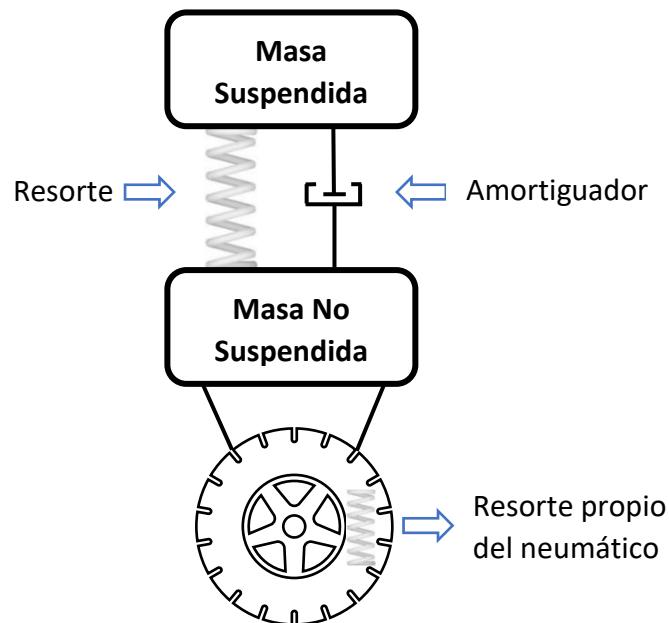


Ilustración 3 Esquema simplificado de suspensión de un auto

temperatura del amortiguador está siendo un factor que afecte el rendimiento se podría implementar un amortiguador con reserva separada, con la que se puede tener un mejor control de la temperatura y por lo tanto, mejor rendimiento en la dinámica del automóvil. Todas estas modificaciones dependen de las condiciones en las que se maneje, el reglamento de la competencia, tipo de manejo deseado y poder adquisitivo, entre otros factores. En la *Ilustración 3* podemos observar un esquema simplificado de la interacción de un sistema de amortiguador resorte simple en conjunto con el sistema de suspensión de un automóvil.

Amortiguadores

El funcionamiento del amortiguador es muy similar al efecto que ocurre dentro de una jeringa con émbolo. Se tiene un tubo con un fluido dentro de este, el tubo cuenta con un émbolo adentro de este. Al presionar este émbolo, el fluido se hace pasar por un orificio. Al pasar el fluido por este orificio ejerce una fuerza contraria a la aplicada sobre el émbolo, esta fuerza dependerá del tamaño del orificio por el que pasa el fluido y del fluido en cuestión. De esta manera el movimiento del émbolo será un movimiento más uniforme y controlado.

De la misma manera, los amortiguadores cuentan con un émbolo con vástago y una válvula por donde pasa el fluido (gas o aceite). Al presentarse un movimiento en la llanta, este se transfiere a través de la suspensión haciendo que el amortiguador se comprima y extienda, moviendo el émbolo dentro de este y por lo tanto desplazando el fluido que se encuentra dentro del tubo, dando como resultado un movimiento más controlado entre las masas no suspendidas y las masas suspendidas.

Un componente importante dentro de la configuración de amortiguación es la válvula (valvestack), la cual controlará en gran medida que tan rápido pasa el fluido a través de esta. La válvula tiene una geometría diseñada para actuar diferente a compresión y extensión, además de contar con diferentes discos montados sobre la válvula, los cuales se diseñan para flexionarse como consecuencia de la presión ejercida por el fluido. Estos discos se pueden configurar para flexionarse más o menos dependiendo del diseño modificando el grosor, diámetro y material de cada disco.

Función de los resortes



Ilustración 4 Ejemplo de instalación de Sistema Amortiguador-Resorte. ©Bilstein of America

Un resorte es un sistema mecánico que almacena energía, este contribuye al amortiguamiento de los efectos de los desniveles de la carretera y los impactos de la carretera, transformándolos en vibraciones. El resorte trabaja en conjunto con los neumáticos.

El sistema de amortiguador-resorte (ejemplo de este sistema instalado mostrado en la *Ilustración 4*) forma un vínculo importante entre los componentes individuales de la suspensión, conectando las masas suspendidas y no suspendidas en el vehículo.

Las masas no suspendidas incluyen los componentes del vehículo situados entre la carretera y el resorte, es decir, las ruedas, el freno y partes de la suspensión y la dirección de las ruedas. Todos los demás componentes del vehículo se clasifican como masas suspendidas e incluyen la carrocería, transmisión y las partes restantes de la suspensión y la dirección.

Una regla básica para la suspensión es que cuanto menor sea la relación entre la masa no suspendida y la masa suspendida, mayor será la comodidad.

Funcionamiento del amortiguador

Los amortiguadores son un sistema mecánico disipador de energía con el cual se reducen y ralentizan las vibraciones de los resortes o muelles, por lo que técnicamente se denominan correctamente amortiguadores de vibraciones. Los amortiguadores convierten la energía cinética en energía térmica mediante la fricción del fluido, esto causa que el flujo de aceite se ralentice por los conductos de la válvula dentro del amortiguador como se puede observar en la *Ilustración 5*. Los pasos de la válvula en el amortiguador están diseñados para garantizar que las vibraciones transmitidas por el resorte se reduzcan desde el principio. Los amortiguadores pueden calentarse entre 100°C y 120°C en el proceso.

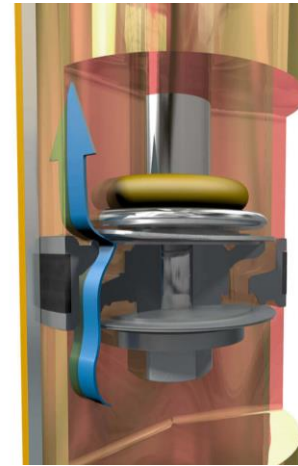


Ilustración 5 Representación de funcionamiento interno del amortiguador.
©Bilstein of America

Interacción resorte-amortiguador



Ilustración 6 Ejemplo de la posición montaje de resorte en amortiguador.
©Bilstein of America.

Cuando un automóvil pasa por encima de un objeto, el movimiento del neumático hacia el chasis primero tiene un impacto en el resorte, el cual idealmente no debe verse obstaculizado por una amortiguación excesiva por parte del amortiguador. Cuando un automóvil pasa por encima de una roca en la carretera, por ejemplo, el obstáculo empuja la rueda hacia la salpicadera o su alojamiento en el sentido del eje principal del amortiguador. En el proceso, el resorte se comprime. Durante este proceso el amortiguador se encuentra en su etapa de compresión. Una vez que el resorte ha nivelado el obstáculo, el amortiguador debe atenuar el movimiento del resorte, el cual libera su tensión con gran fuerza. En este proceso el amortiguador se encuentra ahora en su etapa de extensión.

La etapa de compresión (compresión del resorte y el amortiguador) es normalmente cerca del 25% de la fuerza de amortiguación. La etapa de extensión (cuando el resorte separa el amortiguador) es normalmente cerca del 75% de la fuerza de amortiguación.

Un resorte con una constante de resorte más alta (resorte deportivo) solo funcionará de la mejor manera en conjunto con un amortiguador deportivo o de alto rendimiento apropiado. En la *Ilustración 6* se muestra la posición de resorte de compresión en su extensión natural durante su montaje en un amortiguador.

Amortiguadores hidráulicos

Los amortiguadores hidráulicos rara vez se utilizan en la industria automotriz actual. Desde un punto de vista técnico, este tipo de amortiguador es una mala solución, porque el aceite contiene aproximadamente un 10% de aire. Bajo grandes cargas, las moléculas de aire y aceite se pueden separar, generando formación de espuma y por lo tanto cavitación, lo que da como resultado una caída notable de la fuerza de amortiguación; en viajes largos por carreteras y autopistas, se puede presentar una pérdida de hasta un 35% de la fuerza de amortiguación. Eso significa que las ruedas tendrían un mal contacto con la superficie en carretera; sólo después de un periodo de reposo el amortiguador recupera toda su fuerza y el vehículo vuelve a su rendimiento de conducción original.

Amortiguadores de gas presurizado

Con los amortiguadores de presión de gas no se presenta cavitación y, por lo tanto, no se presenta pérdida de fuerza de amortiguación. El uso de nitrógeno asegura que el aceite del amortiguador esté bajo presión permanentemente, evitando así la formación de espuma, incluso bajo grandes cargas. Como resultado, el rendimiento de conducción de un automóvil equipado con amortiguadores de presión de gas se puede definir con precisión y permanece estable de manera confiable, sea cual sea la situación, esto se refleja como una ventaja sustancial en términos de seguridad.

Los amortiguadores de presión de gas están disponibles con tecnología de uno o dos tubos. El sistema monotubo, es la tecnología preferida en el automovilismo y en los autos deportivos comerciales. El área efectiva, comparativamente más grande del pistón de trabajo, asegura una mayor fuerza de amortiguación y, por lo tanto, un mejor manejo. La descarga óptima de energía térmica al ambiente significa que se puede lograr un alto rendimiento constante y el diseño robusto proporciona seguridad en condiciones de terrenos difíciles con ajustes flexibles.

En general, si el vehículo está equipado originalmente con amortiguadores hidráulicos, el cambio a amortiguadores de presión de gas optimizará la estabilidad de conducción, la adherencia a la carretera, la comodidad, la diversión al volante en autos deportivos y la seguridad de cualquier vehículo normal. Dependiendo del desempeño que se busque para el vehículo se elegirá el amortiguador adecuado para tener el mejor desempeño del auto.

**³Información para antecedentes de funcionamiento de resorte y amortiguadores obtenida de sitio web (mostrado en Bibliografía) de Bilstein Basic Know-how.*

Tecnologías de Bilstein

Bilstein ha desarrollado diferentes tecnologías para amortiguadores con el objetivo de satisfacer las necesidades de cada cliente y cubrir cada escenario posible de automovilismo y conducción de vehículos comerciales. Estas tecnologías se han desarrollado para mejorar el desempeño dinámico del auto dependiendo de las condiciones de manejo, garantizando un buen funcionamiento en diferentes condiciones de terreno, fácil configuración y modificación, un tiempo de vida útil prolongado y una buena apariencia de los amortiguadores.

Algunas de las tecnologías principales desarrolladas para **prolongar el tiempo de vida útil** de los amortiguadores son las siguientes:

Recubrimiento de zinc y níquel

Bilstein zinc and nickel coating



Los amortiguadores están todo el tiempo expuestos al medio ambiente y en algunos escenarios en condiciones muy difíciles donde están en contacto con nieve, tierra o minerales que pueden deteriorar los materiales del amortiguador y llegar a oxidarlos o dañarlos, deteriorando el funcionamiento de estos y dándoles un aspecto no deseado. Para evitar este desgaste, los amortiguadores cuentan con revestimientos níquelados o de zinc.

Tecnología Bilstein Triple C

Bilstein-Triple-C-Technology®



En el caso de *coilovers* que se encuentren expuestos a condiciones más extremas o terrenos donde se presenta mayor corrosión debido a sal (como es el caso de autos que se utilizan en dunas) presente en el medio ambiente, se aplica un recubrimiento de tres capas. El primer recubrimiento de zinc garantiza una adhesión al material base y una protección anticorrosiva duradera, el recubrimiento intermedio transforma la capa inferior de zinc en una superficie completamente sellada, y el tercer recubrimiento da un buen acabado para una máxima protección contra el desgaste mecánico y la corrosión. Esta tecnología ha sido sometida a pruebas de resistencia a la brisa salina, con lo cual se garantiza un buen desempeño de los amortiguadores incluso en condiciones ambientales difíciles.

Hilos de cuerda redondeados BILSTEIN

Bilstein Round Threads



Algunos amortiguadores cuentan con cuerdas en el tubo para montaje o roscas para ajuste de altura de este, Bilstein desarrolló hilos de cuerda redondos para evitar los bordes afilados, con lo cual se evita desgaste causado por efectos ambientales como la suciedad o la sal de la carretera. De esta manera el amortiguador se puede ajustar de forma suave y segura incluso mientras el amortiguador está montado.

Cada categoría de automovilismo requiere diferente **desempeño** de la dinámica del auto por lo que se han diseñado diferentes tipos de amortiguadores con diferentes funciones y configuraciones como las que se muestran a continuación.

Tecnología BILSTEIN Monotubo / Invertido

Bilstein Monotube / Upside-down technology



Este tipo de amortiguador fue lo que diferenció a Bilstein de otras empresas en sus inicios, fue una gran aportación al automovilismo y continúa siendo uno de los principales productos solicitados para amortiguadores. La tecnología monotubo proporciona una mayor fuerza de amortiguación debido a la mayor superficie del pistón. Esto da como resultado un manejo mejorado, un rendimiento constante y una vida útil más prolongada. La gran flexibilidad de instalación permite a los ingenieros encontrar la posición de montaje óptima. BILSTEIN también utiliza tecnología de monotubo invertido que permite instalar el vástago del pistón en la parte inferior del cuerpo del tubo del amortiguador. Un tubo de cromo resistente al desgaste se mueve hacia arriba y hacia abajo libremente al incorporar cojinetes de baja fricción. Tanto fuerzas axiales como laterales se distribuyen en un área mayor que en los sistemas de doble tubo, y aumenta la resistencia a torsión de la conexión entre la rueda y la carrocería del vehículo.

Pistón amplio Bilstein para todo terreno

Bilstein Large Off-Road Piston



El diseño de pistón todo terreno permite una conducción más fina y controlada en terrenos accidentados. Esto se debe a su mayor área de superficie del pistón, que amplía la capacidad de amortiguación del amortiguador y genera un rendimiento más consistente y afinado en condiciones extremas. La capacidad de aceite también aumenta, lo que permite un mayor enfriamiento y durabilidad a largo plazo. Este tipo de pistón es utilizado principalmente en automovilismo deportivo en series Off-Road, un ejemplo de la categoría se muestra en la *Ilustración 7*.



Ilustración 7 Lucas Oil Off Road Racing Series (Pro 2). ©Bilstein of America.
<https://www.bilstein.com/us/wp-content/uploads/2020/09/2020-loorrs-rnd6-beat-3-1024x682.jpg>

Tecnología Bilstein de tubos gemelos

Bilstein twin-tube technology



Los amortiguadores de doble tubo utilizan tecnología de doble pared, donde el pistón divide la cámara de aceite interior en dos cámaras de trabajo. Bajo carga, el pistón empuja el aceite hacia abajo a través de la cámara de trabajo interior y hacia arriba hacia la cámara exterior. Durante el rebote, el aceite fluye hacia atrás a través de la válvula del pistón para crear un efecto de amortiguación. Esta tecnología mejora el control de la temperatura del aceite dentro del amortiguador.

Suspensión Bilstein de aire

Bilstein Air Suspension



La presión para contrarrestar fuerzas de la cámara de aire asegura una conducción suave y nivelada incluso con grandes cargas. Este sistema permite al conductor seleccionar entre modo deportivo y confort además de que el sistema es capaz de reaccionar ante una carga con las características óptimas de amortiguación en milisegundos.

Tecnología de Presión de Gas Bilstein

Bilstein Gas-Pressure Technology



Los amortiguadores de aceite tradicionales, cuando se someten a una tensión extrema, pueden provocar la formación de espuma de aceite, lo que provoca una reducción en la potencia de amortiguación. Esta tecnología se refleja en una suspensión y absorción de impactos más confiables bajo cualquier carga, y una mayor seguridad en la conducción del automóvil.

Depósito remoto y giratorio Bilstein

Bilstein remote & swivel reservoir



Este tipo de amortiguador también cuenta con una cámara de gas, pero, a diferencia de los monotubos con gas, en lugar de tener la cámara de gas en el cuerpo del amortiguador, la cámara de gas está ubicada en un depósito separado. Esta tecnología presenta tres principales ventajas, aprovechamiento de espacio gracias al pequeño espacio de instalación (ventaja ideal para coches deportivos), aumento de recorrido de las llantas y mejor control de temperatura del amortiguador gracias a su mayor capacidad de almacenamiento de aceite, lo cual permite una mayor disipación de calor, eliminando el rendimiento reducido debido al sobrecalentamiento y mejorando el tiempo de vida útil.

Las tecnologías principales que se muestran a continuación fueron desarrolladas para tener un mayor rango de **ajuste** y poder modificar el amortiguador de manera eficaz y sencilla.

Ajuste Bilstein de 1 vía Bilstein 1-Way Adjustment



Construido con tecnología monotubo de alto rendimiento, el ajuste *Bilstein de 1 vía* proporciona un ajuste de la fuerza de amortiguación simplemente girando una perilla de ajuste de fácil acceso. Este mecanismo cuenta con 10 posiciones diferentes con los que se experimenta una conducción diferente en cada uno de los diferentes pasos. Al ajustar el rebote y la compresión al mismo tiempo, las características de conducción se pueden ajustar a las necesidades de cada tipo de conducción requerido.

Ajuste Bilstein de 2 vías Bilstein 2-Way Adjustment



El ajuste de amortiguación bidireccional de Bilstein es un sistema utilizado principalmente en categorías deportivas. Tanto las fuerzas de rebote como las de compresión se pueden ajustar de forma independiente mediante dos perillas de fácil acceso. De 1 (suave) a 10 (duro), el ajuste bidireccional permite hasta 100 variaciones con diferencias notables en cada uno de los pasos. Este sistema permite una gran versatilidad en la configuración del amortiguamiento del automóvil y por lo tanto en la dinámica de este.

Ajuste de altura Bilstein Bilstein ride height adjustment



Bilstein también cuenta con sistemas para levantar o bajar la altura de un auto. Estos sistemas suelen ser usados principalmente para personas que modifican sus autos, ya sea estéticamente o para mejorar el desempeño. Aunque este sistema sea implementado con fines estéticos, cada uno de estos kits debe garantizar un buen desempeño dinámico.

Cuerpo roscado con rango ajustable Threaded Body adjustable range



El cuerpo de amortiguador roscados ajustable brinda flexibilidad de configuración. El roscado redondo combinado con resortes deportivos con una óptima precarga fija permiten un ajuste rápido y fácil del desplazamiento del amortiguador.

Anillo de presión Bilstein de altura ajustable para modificar recorrido Bilstein snap ring ride height adjustment



Se colocan varias ranuras en el tubo para el anillo de presión donde se coloca el asiento del resorte esto permite un ajuste sencillo de la altura de manejo del vehículo. Los amortiguadores con tecnología de anillo de presión de altura de manejo ajustable son una opción más económica a los demás sistemas de ajuste de altura.

Todos los amortiguadores y tecnologías son sometidos a procedimientos de prueba y medición de criterios objetivos que incluyen seguridad, frenado, comportamiento de la dirección, conducción, dinámica y comodidad.

Uno de los sistemas más modernos que ha desarrollado Bilstein es el BILSTEIN 5-way EVO, el cual fue diseñado específicamente para autos de competencias. Este sistema cuenta con dos configuraciones de fábrica, una para competencias de rally y otra para competencias de pista GT. Este sistema ha sido utilizado por el equipo “Mercedes-AMG Team HRT Bilstein” en la categoría GT3 en el auto Mercedes-AMG GT3 Evo, el cual se muestra en la *Ilustración 9*. Este amortiguador se caracteriza por la confiabilidad de la presión constante de gas, las altas velocidades de reacción del amortiguador y la facilidad de ajuste del sistema con 5 pasos para compresión y 5 para extensión.



Ilustración 9 Auto de Bilstein en 24 horas de Nürburgring. ©Bilstein of America
<https://www.bilstein.com/int/en/blog/24-hour-race-at-the-nurburgring-2020-bilstein-teams-aim-for-top-positions/>

Información de Tecnologías obtenida de sitio web de Bilsten. Para más información de cada una de estas tecnologías, consultar:

<https://www.bilstein.com/int/en/technology-and-knowledge/>

Descripción de funcionamiento de amortiguador de dirección

Algunas compañías automotrices han tenido desarrollos importantes en automóviles tipo todo terreno con el objetivo de satisfacer la demanda de autos que puedan utilizar en caminos con malas condiciones de terreno, uso recreativo o categorías deportivas que se llevan a cabo en terrenos difíciles. En este tipo de caminos sinuosos, con desniveles pronunciados y obstáculos en el camino como rocas, es común que el volante sea difícil de maniobrar o incluso puede llegar a causar lesiones en el conductor en caso de un movimiento brusco del volante debido a algún impacto con algún objeto en el camino o por los desniveles de este. Es por esto que se desarrolló un amortiguador específicamente para la dirección del automóvil. Su función es atenuar los movimientos bruscos que se pueden presentar en el volante por efectos del movimiento de las llantas en caso de un golpe o cambio de dirección abrupto. Algunas de estas empresas ya ponen este dispositivo de fábrica en camionetas o autos desarrollados para terrenos sinuosos o competencias todo terreno. Bilstein cuenta con amortiguadores para dirección OE y AM.

Diseño de Amortiguadores en Bilstein

En todas las empresas y especialmente empresas tan grandes como Bilstein, las tareas de la empresa son distribuidas entre diferentes equipos de diseño, administración y logística.

En el caso de los diseños, cada proyecto cuenta con diferentes equipos para su desarrollo, incluso con equipos en diferentes países que van desarrollando diferentes etapas de diseño.

Dentro de la planta de Poway, California, se encuentra el departamento de Aftermarket y Motorsports, en este departamento desarrollamos diseños para Off-Road de competencia, amortiguadores aftermarket principalmente y amortiguadores OE.

En el desarrollo del producto considerando las siguientes 8 etapas de diseño:



Mis labores tuvieron aportaciones desde la etapa de Problema hasta Reporte Técnico desarrollando el producto a la par con otros departamentos como el de manufactura, pruebas y logística.

Para llevar a cabo las tareas que se me asignaban ocupaba herramientas para bases de datos como Oracle y SAP, en el cual se tenía documentación de todos los diseños con número de partes y especificaciones como quien fue el responsable de cada diseño, pasos que se realizaron, BOM y lugar y fecha de diseño. Estas bases de datos son de acceso para todas las plantas por lo que, además

de ser una herramienta de suma importancia para el orden y desarrollo de cada producto, facilita la comunicación entre diferentes equipos y diferentes plantas.

Otras herramientas con las que desarrollé mi trabajo fueron hojas de cálculo de Excel y softwares de CAD^{*4}, CATIA y SolidWorks, usando CATIA principalmente.

El tiempo es un factor importante en cualquier empresa dedicada a diseño y producción por lo que es un beneficio contar con este tipo de herramientas tanto para comunicación del equipo como para ahorrar recursos monetarios y tiempo en los diseños desarrollados. El diseño asistido por computadora nos permite realizar cualquier modelo antes de manufacturarlo y revisarlo meticulosamente para verificar empaquetamiento, tolerancias, ajustes, posibles colisiones, etc., además de poder realizar el modelo de manera rápida y eficiente, podemos compartir estos modelos de manera eficaz entre todas las plantas involucradas. Algunas de las piezas diseñadas en este software fueron realizadas mediante procesos iterativos hasta obtener el producto deseado. La mayoría de los proyectos que realicé ya tenían una intención objetiva de diseño por lo que era más sencillo llegar al diseño final.

Una de las principales herramientas que contribuye a realizar los diseños en menor tiempo es la amplia base de datos con la que cuenta Bilstein, esta incluye piezas, ensambles y diseños anteriores, por lo que utilicé en diferentes proyectos partes y ensambles compatibles para los nuevos diseños. En algunos modelos tuve que realizar ligeras modificaciones a las piezas o ensambles, sin embargo, el desarrollo del producto se lleva a cabo de manera más eficiente que si la hubiera realizado desde cero, además de que estas nuevas piezas modificadas serán posiblemente partes que se podrán utilizar en futuros diseños lo cual ayudará a proyectos futuros.

Los conocimientos y aptitudes que obtuve dentro de la Facultad fueron de gran importancia en el trabajo que desarrollé pues me ayudaron a desempeñar de manera óptima las labores que me fueron asignadas. Principalmente me ayudaron las aptitudes que desarrollé durante la carrera como lo son: trabajar bajo presión, buena comunicación de equipo y proactividad.

Mis conocimientos ingenieriles, técnicos y de software facilitaron en gran medida mis labores. Durante los diseños que realicé apliqué conocimientos de dibujo técnico, materiales, diseño, CAD, administración y de procesos de manufactura principalmente, los cuales obtuve durante mi carrera y participación dentro de proyectos de la DIMEI.

Por otra parte, considero importante estar en constante aprendizaje para mejorar mi desempeño tanto laboral como personal. En el caso de mi aprendizaje y mejoramiento dentro de Bilstein, principalmente consistió en aprender a utilizar mejor el software de CAD usado por la empresa, CATIA. Aunque los principios de diseño los conocía, no estaba tan familiarizado con este programa por lo que tuve que aprender a usarlo mejor para poder cumplir con las fechas de entrega de cada proyecto. Otro aspecto que tuve que desarrollar fueron las especificaciones de dibujo, aunque existen simbologías y notas de dibujo estandarizadas, la empresa hacía uso de algunas simbologías diferentes, es decir únicas para Bilstein por lo que tuve que aprender a representar los modelos como los solicitaban.

^{*4}Los softwares de CAD son herramientas de diseño de modelos sólidos y paramétricos basados en operaciones con una interfaz gráfica donde se pueden crear modelos sólidos en tres dimensiones totalmente asociativos con o sin restricciones mientras se utilizan relaciones para capturar la intención de diseño.

Descripción de mis actividades en Bilstein como Product Engineer Trainee

Mis labores como Product Engineer Trainee consistieron principalmente en actualizar modelos para su manufactura en la Planta de San Miguel de Allende, proyectos a los cuales los llamamos “Transferencias”, diseño de amortiguadores AM y diseño de amortiguadores OE, cada una de estas labores estaba compuesta por diferentes procesos de diseño y documentación. Estos consistían en las siguientes actividades:

- Transferencias de diseños de Poway a PSMA
 - Creación de artículos en Oracle
 - Modificación de CAD y/o planos de diseño
 - Actualización o modificación de piezas de diseños
 - Actualización de BOM en SAP
 - Actualización de configuración de válvula
 - Crear Hoja de datos
 - Reporte de avances en plataforma de Lista de avances (Tracking list Smart Sheet)
 - Revisión de proyecto
 - Documentación (Folder de proyecto, subir archivos de CAD, DWG y hojas de cálculo a base de datos)

- Diseños para nuevos productos
 - Solicitud de creación de número de serie nuevo en base de datos
 - Creación de artículos en Oracle
 - CAD y planos de diseño
 - BOM en SAP
 - Configuración de válvula
 - Crear Hoja de datos
 - Reporte de avances
 - Revisión de proyecto
 - Solicitud de manufactura de prototipo (si era requerido)
 - Prueba de prototipo en dinamómetro
 - Documentación (Folder de proyecto, subir archivos de CAD, DWG, resultados de pruebas y hojas de cálculo a base de datos)

- Diseño de piezas
 - Planos y CAD
 - Documentación

- Archivar proyectos finalizados y aprobados

- Organización y distribución de “Archive Room” para prototipos físicos (*Ilustración 10*)

- Remodelar vitrina de piezas de taller de manufactura (vitrina mostrada en la *Ilustración 10*)

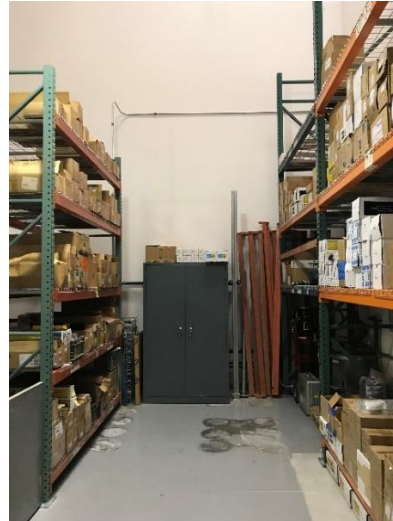
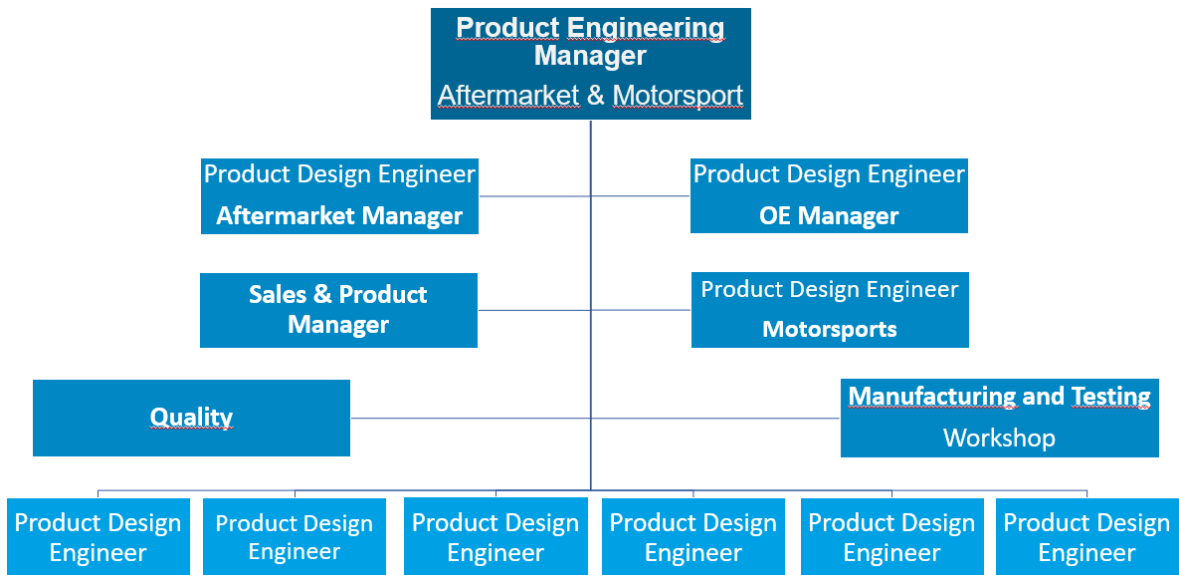


Ilustración 10 Vitrina de piezas manufacturadas en planta de Poway y Archive Room remodelados

Organigrama del Área de Diseño de Producto en Bilstein Poway, CA.



El área de diseño Diseño de Producto estaba compuesta por 15 ingenieros distribuidos para proyectos de Aftermarket, Original Equipment y productos para competencia (Motorsports),

La asignación y coordinación de los proyectos estaba a cargo el Product Engineer Manager, quien a su vez se apoyaba de un responsable de cada área para cada proyecto.

Nuestro equipo estaba en constante comunicación con el equipo de Calidad, Manufactura y Ventas, aunque nosotros no desarrollábamos trabajos directamente para dichos departamentos.

Transferencias de diseños de Poway a PSMA

La manufactura en México ha ido incrementando en los últimos años en calidad y oferta para la industria automotriz, debido a esto muchas empresas importantes en esta industria han empezado a instalar plantas en el país.

Bilstein cuenta con una planta, relativamente nueva, instalada en México, San Miguel de Allende, donde ahora manufacturan muchos de los productos que antes se manufacturaban en sus diversas plantas de Estados Unidos.

Esta planta cuenta con maquinaria diferente a la que se usa en otras plantas, por lo que se realizan transferencias de nuevos y viejos diseños con las especificaciones que se adecuan a las capacidades de manufactura de esta nueva planta.

Esta fue la principal actividad que desarrollé durante mi trabajo en Bilstein y consistía en actualizar diseños para cumplir con los requisitos y especificaciones de manufactura de la Planta de San Miguel de Allende (PSMA).

Se me asignaba cada uno de estos proyectos mediante una lista de avances en una plataforma utilizada por la empresa (Tracking list smart sheet). En esta hoja (muy similar a una hoja de Excel) se mostraba cada una de las transferencias con cada uno de los cambios requeridos, la persona a quien se le asignaba cada una de estas tareas y el estado de cada una de ellas.

Cada proyecto que se me asignó en esta lista mostraba mi nombre en cada una de las labores asignadas, como se puede observar en la *Ilustración 11*, además de que recibía un correo automático como notificación de cada asignación.

Algunas de las labores que se me asignaron dentro de la lista de avances fueron:

- Crear artículos
- Actualizar o crear base de datos de diseño en SAP
- CAD y planos (CAD/DWG)

Material Description	Articles Assigned to	Articles Status	CAD/DWGs Assigned to	CAD/DWGs Status
Express	AR Alex Rivera	APPROVED	APPROVED	RELEASED
Express	AR Alex Rivera	APPROVED	APPROVED	RELEASED
Ford F250	AR Alex Rivera	APPROVED	APPROVED	RELEASED
GM	AR Alex Rivera	APPROVED	APPROVED	RELEASED
Jeep	AR Alex Rivera	APPROVED	APPROVED	RELEASED
Jeep	AR Alex Rivera	APPROVED	APPROVED	RELEASED
Ford	AR Alex Rivera	APPROVED	APPROVED	RELEASED
Ford	AR Alex Rivera	APPROVED	APPROVED	RELEASED
Ford	AR Alex Rivera	APPROVED	APPROVED	RELEASED
Nissan	AR Alex Rivera	IN CHECK	APPROVED	RELEASED
Nissan	AR Alex Rivera	IN CHECK	APPROVED	RELEASED
RAM	AR Alex Rivera	IN CHECK	APPROVED	RELEASED
RAM	AR Alex Rivera	IN CHECK	APPROVED	RELEASED
Freightliner	AR Alex Rivera	APPROVED	APPROVED	RELEASED
Spartan	AR Alex Rivera	APPROVED	APPROVED	RELEASED
GM	AR Alex Rivera	IN RECHECK	AR Alex Rivera	IN CHECK
Nissan	AR Alex Rivera	APPROVED		IN WORK
Ford	AR Alex Rivera	IN RECHECK	IN WORK	IN CHECK
Ford	AR Alex Rivera	IN RECHECK	IN WORK	DENIED
Ford	AR Alex Rivera	APPROVED	AR Alex Rivera	IN REWORK
				IN RECHECK
				RELEASED

Ilustración 11 Tracking List / Lista de avances. ©Bilstein of America

Los estados de avance o actualizaciones se indicaban bajo las siguientes etiquetas:

“In Work” (Trabajando en): Para hacer saber al equipo de trabajo que estaba enterado de mi asignación y que ya había comenzado a trabajar en esa asignación.

“In Check” (En revisión): Estado que indicaba que alguno de los ingenieros con mayor experiencia estaba revisando el trabajo.

Con el fin de evitar errores en los diseños, ya fueran modelos de CAD, planos u hojas de datos de la válvula, se revisaban por 2 o 3 ingenieros diferentes, dependiendo de la complejidad del proyecto.

“Denied” (Rechazado): Estado para indicar que hubo algún error en el trabajo realizado. En este caso, la persona que realizó la revisión enviaba un correo con las correcciones o si era una corrección de mayor complejidad se hacía personalmente la revisión y aclaración.

“In Rework” (Trabajando en correcciones): Estado para indicar que estaba trabajando en las correcciones requeridas.

“In Recheck” (En revisión de nuevo): Estado para indicar que había terminado de realizar las correcciones y se estaba revisando de nuevo.

“Approved” (Aprobado): Estado para indicar que el trabajo ya había sido revisado las veces requeridas para ese trabajo y había sido aprobado.

“Released” (Liberado): Estado para indicar que el proyecto había sido aprobado, archivado y enviado a la planta que lo había solicitado. Este estado podía ser usado únicamente por ciertas personas con autorización para modificar este estado.

Este documento es una herramienta “simple” para agilizar y tener una buena comunicación entre el equipo inmediato de trabajo. Ahorra tiempo para asignar tareas y es muy claro para los demás miembros del equipo de trabajo el estado en el que está cada uno de estos proyectos, lo cual es de suma importancia para terminar los proyectos en el menor tiempo posible.

En ocasiones algún proyecto se asignaba con prioridad. En estos casos cada una de las personas involucradas en ese proyecto iba revisando el avance de los demás mediante esta plataforma y si tu asignación dependía de alguien más o mi asignación dependía de otra ingeniera o ingeniero, podíamos solicitar que lo terminara antes de sus demás proyectos para sincronizar los avances y desarrollar el modelo de manera eficiente y así entregarlo en tiempo.

Cada uno de estos proyectos contaba con un número de control interno para evitar confusiones con modelos similares, así mismo se abría una carpeta para cada proyecto donde se mostraba la documentación clara de cada uno de los cambios realizados, planos, BOM e impresiones de pantalla mostrando el archivo documentado dentro del sistema de base de datos de la empresa. Dependiendo la complejidad y extensión del desarrollo del proyecto era el número de folders e información que se anexaba.

Las carpetas de cada documento llevaban etiqueta del nombre y tipo del proyecto, como se puede observar en el ejemplo de la *Ilustración 12*. Con motivo de diferenciar el tipo de proyecto, se elegían folders de diferentes colores dependiendo el tipo de proyecto, proyectos nuevos con color blanco y transferencias con color azul.

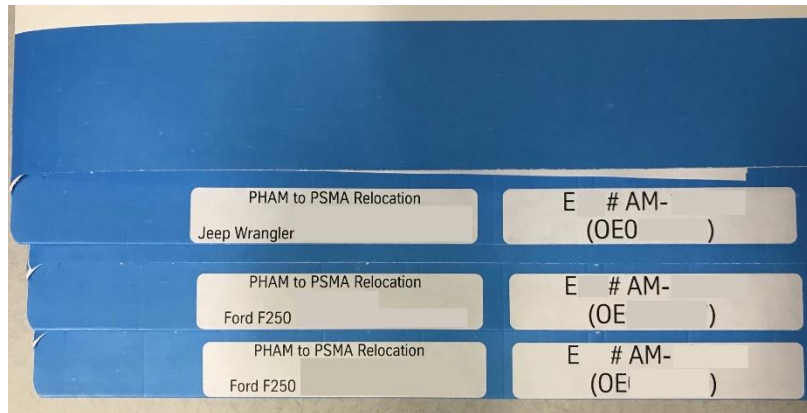


Ilustración 12 Ejemplo de carpetas utilizadas. ©Bilstein of America.

Esta carpeta contenía diferentes folders dentro para separar claramente las modificaciones realizadas y piezas creadas (por ejemplo, “VSE prototypes” (si había usado una pieza actualizada se generaban nombres VSE hasta que se le asignaba un número de pieza nuevo dentro del sistema), “Reference” (Si había utilizado algunas piezas de otros modelos o me había basado en otro modelo), “R&D Documents” (Este apartado incluía todas las partes nuevas del modelo), etc.). En concreto, cada carpeta tenía el mismo orden para facilitar la revisión de este.

En cualquier empresa es importante llevar un orden y control de los proyectos y documentación, es debido a esto que Bilstein tiene tantos sistemas de orden, desde el color de los folders y el orden de estos con etiqueta hasta su registro en base de datos mediante Oracle y SAP, además de juntas en caso de que haya que aclarar alguna cuestión de los proyectos en persona o en caso de proyectos urgentes o cambios relevantes. Siempre hay una comunicación directa e indirecta, (en persona y por otros medios como es el caso de un chat interno de la empresa) dentro del equipo para cumplir con las fechas de entrega establecidas y realizarlos de la mejor manera y lo más rápido posible.

Los artículos son una base de datos en una plataforma de *Oracle* donde se tiene una breve descripción del amortiguador y sus componentes, como ejemplo de estos artículos se muestran las *Ilustraciones 13 y 14*. En este se muestra la planta donde será manufacturado, tipo de acabado que tendrá, sus componentes, una descripción de algunas magnitudes del amortiguador, tipos de sujeciones, las hojas de cálculo creadas en este proyecto y los modelos y planos realizados para el diseño de este producto.

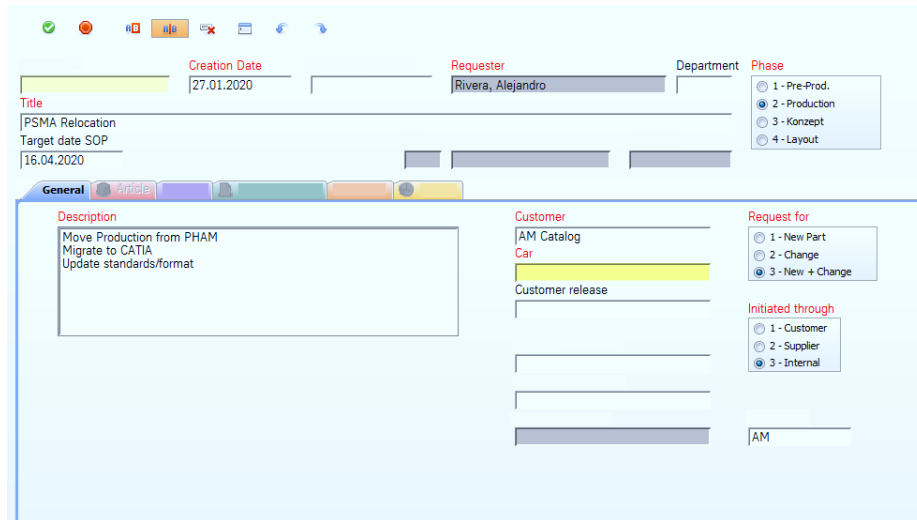


Ilustración 13 Ejemplo de artículo con número de proyecto para transferencia. ©Bilstein of America.

Cada ensamble general está compuesto por 2 ensambles principales, Tube Assembly (Ensamble del Tubo) y Piston Rod Assembly (Ensamble del vástago pistón), el cual a su vez contiene el ensamble de la válvula. Dentro de los artículos básicamente se describían las características principales de estos 2 ensambles y el ensamble general.

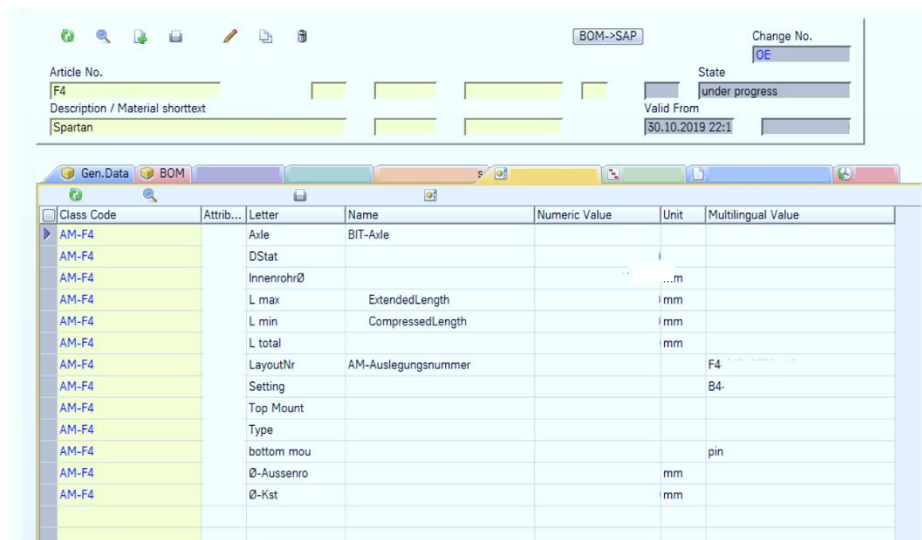


Ilustración 14 Ejemplo de artículo creado en base de datos con partes de ensamble. ©Bilstein of America.

Los artículos eran muy útiles al momento de buscar piezas compatibles con un nuevo proyecto, podías filtrar los resultados de una búsqueda por medidas, tipo de tubo o tipo de sujeciones y encontrarlos de manera muy eficiente y así desarrollar el nuevo diseño de manera eficiente.

Los planos de los diseños los realizaba en CATIA con ayuda del modelo 3D, véase la Ilustración 15. Los planos presentaban el ensamble o pieza con una vista de sección para mostrar los componentes y ensambles internos, en ocasiones se incluía una vista de corte, además contenían información de donde sería manufacturado, responsable de elaborar el plano, persona que lo revisó, nombre y

número del proyecto, proyección del modelo, tolerancias, especificaciones de pintura, un área de especificaciones para etiquetas y empaquetado, área de información de fuerzas de compresión y extensión (obtenidas de dinamómetro), BOM y un área con algunas características de volumen de aceite o presión interna.

Cada plano era revisado varias veces por diferentes ingenieros para garantizar que toda la información era correcta.

Aunque Bilstein ya tiene algunas plantillas y ejemplos para basarse en como acotar y mostrar las piezas de los planos, considero que esta parte de mis labores fue más sencilla gracias al conocimiento que tenía por las materias de Dibujo Mecánico e Industrial y CAD/CAM de la Facultad de Ingeniería.

En ocasiones me solicitaron realizar indicaciones o acotaciones muy específicas para denotar algún aspecto muy detallado de ciertos modelos, pero en general esta parte de los proyectos era muy ágil. Otro aspecto que recalcar es que Bilstein maneja todas sus unidades en el Sistema Internacional debido a que es una empresa alemana, aunque debo estar acostumbrado a trabajar con cualquier Sistema de unidades, me es más familiar trabajar con este sistema, lo cual facilitó mis labores en cuanto a realizar planos y por el contrario con mis compañeros que están acostumbrados a trabajar con el Sistema Inglés o Sistema Anglosajón de Unidades.



Ilustración 15 Ejemplo de Planos de Ensamblés. ©Bilstein of America.

Los siguientes puntos se muestran a manera de resumen del desarrollo de un proyecto de transferencia con el mayor número de requerimientos que realicé:

- Notificación por correo y asignación de proyecto en “Lista de avances” (Tracking List) en cada una de las tareas dentro de ese proyecto.

- Registro en base de datos de transferencia de amortiguador con nuevo número para base de datos de Planta de San Miguel de Allende. En este registro se indicaba que piezas eran nuevas y si se usaba alguna ya existente.
- Creación de artículos del amortiguador. Otra base de datos donde indicaba las piezas usadas, estado en el que se encontraba el proyecto (110- Nuevo proyecto, 120- Revisado y en espera de aprobación 230- aprobado y liberado, 250- cancelado, etc...).
- Creación de modelo y piezas requeridas en CATIA y planos del amortiguador y cada una de las piezas creadas, si era el caso. En esta parte es importante revisar que cumpla con las longitudes de extensión y compresión, considerando los cálculos en una plantilla de hoja de datos del amortiguador donde nos muestra si el amortiguador trabajará en condiciones óptimas con estas longitudes de extensión y compresión.
- Actualizar modelo de válvulas en CAD y en sistema. Agregar hoja de datos de válvula en archivo electrónico y físico.
- Ligar cada uno de los modelos y planos creados al archivo del proyecto correspondiente en la base de datos.
- Creación de BOM y ligar este a la carpeta de proyectos.
- Asignar folder azul con etiquetas del nombre y número del proyecto. Llenar con folders con etiquetados correspondientes. El folder contenía una captura de pantalla con el registro del proyecto en la base de datos, impresión de cada uno de los planos en tamaño carta, impresión de planos de materiales de apoyo, hoja de datos de longitudes del amortiguador y hoja de datos de la válvula.

Estas transferencias fueron principalmente los proyectos que me asignaron durante mi periodo de trabajo, sin embargo, el trabajo más importante que tuve fue el desarrollo de un amortiguador de dirección para una camioneta F-250 para Aftermarket.

Amortiguador de dirección para Ford Superduty F-250

Bilstein tiene una amplia gama de oferta de amortiguadores OE, sin embargo, en el trabajo que estuve realizando dentro de la compañía, estuve enfocado principalmente a desarrollar amortiguadores AM.

En Estados Unidos se tiene un mercado fuerte de “pick-ups”, una fuerte competidora dentro de este mercado es la camioneta Ford Superduty F-250, la cual cuenta con un amortiguador para la dirección para evitar movimientos no deseados en esta que pudieran causar algún accidente o lesión en caso de manejar por un camino sinuoso o con posibles obstáculos como rocas, lo cual es una situación común cuando se maneja en terrenos sin pavimentar o por gusto en terrenos sinuosos.

Este proyecto fue el más importante para mí ya que yo era el principal responsable del proyecto y fue el desarrollo de un producto nuevo para la empresa.

El diseño de un amortiguador AM, suele comenzarse utilizando versiones anteriores del mismo modelo que haya sido diseñado dentro de la empresa para acortar el tiempo de diseño. En este caso se puede solicitar una compra para tener el amortiguador original, tomar medidas de este y tener un punto de partida para el diseño.



Este diseño fue el primero que desarrollamos para ese modelo en específico, por lo que tuve que tomar medidas del equipo instalado en una camioneta stock, es decir, sin modificaciones y con OE.

Bilstein cuenta con un departamento responsable de rentar autos para pruebas o medidas si tu proyecto lo requiere. En este proyecto fue requerido utilizar la camioneta para tomar medidas de las sujeciones instaladas de fábrica para la sujeción del amortiguador de dirección.

Una vez obtenidas las medidas pudimos buscar en nuestra base de datos algún amortiguador que nos sirviera de base para poder realizar el diseño, encontramos que el Bilstein B8 5100 (Modelo mostrado en la *Ilustración 16*) era la mejor opción para realizar este proyecto.

El amortiguador B8 5100 es un monotubo de 46 mm de fácil instalación diseñado para terrenos difíciles. Tiene un acabado galvanizado para protegerlo de la corrosión que pudiera ser causada por las condiciones del terreno y ambiente, además de ser un amortiguador que cuenta con configuraciones para diferentes alturas por lo que es apto para diferentes aplicaciones, como en este caso que fue utilizado para el diseño del amortiguador de la dirección.

BILSTEIN B8 5100.

*Ilustración 16.
Modelo utilizado
durante el desarrollo
de diseño.*

El primer paso fue tomar medidas de extensión y compresión, esto es, al girar el volante completamente a la derecha y completamente a la izquierda, con lo que obtuve el recorrido total del amortiguador. Las medidas de extensión y compresión se miden del centro a centro de ambas sujeciones, el amortiguador del que tomé las medidas se muestra en la *Ilustración 17*.

Posteriormente revisé y tomé nota de los componentes del amortiguador, principalmente tipo de cubre polvos y sujeciones “eye ring”.



Ilustración 17 Amortiguador OE medido en F-250 Superduty.

Con las medidas obtenidas, modifiqué el modelo CAD, mostrado en la *Ilustración 18*, y verifiqué en la plantilla de cálculo de la hoja de datos (*Calc. Sheet Layout*) que con la válvula sugerida y las distancias definidas funcionara dentro de rangos óptimos.



Ilustración 18 Modelo 3D en desarrollo en CATIA. ©Bilstein of America.

Las hojas de cálculo son unas plantillas donde se colocan diferentes medidas y características del amortiguador, especialmente partes internas del émbolo y pistón. Esta hoja de cálculo muestra gráficas y resultados claros que nos indican si las cargas y presiones máximas del amortiguador se encuentran en condiciones óptimas de trabajo. Un ejemplo de las hojas de cálculo que utilicé se muestra en la *Ilustración 19*.

Dämpferauslegung		Shock Absorber Layou		V2.3	
Zeichnung/Drawing F4-VSE		Index: 0		Originator: Alejandro Rivera	
Fz. Marke/Make: Ford					
Modell/Model: F250 / F350 Superduty		Comments: 4WD, 17+ Stabilizer, B8 5100 Series			
Achse/Axle: Steering Dan					
Datum/Date: 24-oct-2019		File Name: F4-VSE-01			

Eingaben	Inputs	Einheit	Min	Max
1 Länge	1 Length	mm	0	∞
2 Eingeführte Länge	2	mm	0	∞
3 Kartridglänge	3	mm	0	∞
4 Rohrdurchmesser innen	4 Tube	mm	0	∞
5 Tefelänge Rohr unten (bis Gasbohr)	5	mm	0	∞
6 Kolbenlänge	6 Piston Rod	mm	0	∞
7 Kolbenstangenendurchmesser	7	mm	0	∞
8 Verschiebepaket	8 Seal Package	mm	0	∞
9 Ölwanne	9	mm	0	∞
10 Abstand Ölwanne	10 Stick-out and oilreserve	mm	0	∞
11 Ölwanne	11	mm	0	∞
12 Ölwanne	12	mm	0	∞
13 Länge Zuganschlagpuffer	13 Distance part and rebound bumper	mm	0	∞
14 Durchmesser Puffer (ca. Wert)	14	mm	0	∞
15 Distanzdurchmesser	15	mm	0	∞
16 Volumen Zuganschlagpuffer (ca.)	16	mm ³	0	∞
17 Kolben und Trennkolben	17 Piston and Dividing Piston	mm	0	∞

Werte	Units	Einheit	Min	Max
18 Höhe zylindrischer Anteil Gasraum	18	mm	0	∞
19 Theoretische Temperaturerhöhung	19 Theoretical temperature endurance	202 °C	0	∞
20 Gasdrücke (GPN)	20 Gas pressures	bar	0	∞
21 Fülldruck in Fertigung	21	bar	0	∞
22 Systemdruck bei ausgef. Länge (ca.)	22	bar	0	∞

Gasdruckanalyse					Gas pressure analysis				
100 °C (212 °F)									
Gas V	Gas P	Gas P	Gas P	Gas P	Gas V	Gas P	Gas P	Gas P	Gas P
mm ³	bar	bar	bar	bar	mm ³	bar	bar	bar	bar
74.9	2.2	2.2	2.2	2.2	74.9	2.2	2.2	2.2	2.2
80.2	2.4	2.4	2.4	2.4	80.2	2.4	2.4	2.4	2.4
77.0	2.4	2.4	2.4	2.4	77.0	2.4	2.4	2.4	2.4
76.0	2.4	2.4	2.4	2.4	76.0	2.4	2.4	2.4	2.4
72.4	2.4	2.4	2.4	2.4	72.4	2.4	2.4	2.4	2.4
69.0	2.4	2.4	2.4	2.4	69.0	2.4	2.4	2.4	2.4
67.7	2.4	2.4	2.4	2.4	67.7	2.4	2.4	2.4	2.4
64.6	2.4	2.4	2.4	2.4	64.6	2.4	2.4	2.4	2.4
62.0	2.4	2.4	2.4	2.4	62.0	2.4	2.4	2.4	2.4
59.4	2.4	2.4	2.4	2.4	59.4	2.4	2.4	2.4	2.4
56.0	2.4	2.4	2.4	2.4	56.0	2.4	2.4	2.4	2.4

Ilustración 19 Ejemplo de "Calc Sheet Layout". ©Bilstein of America.

En un amortiguador de dirección se suelen tener cargas menores a las que se tiene en un amortiguador para la suspensión por lo que no hubo complicaciones al momento de realizar la hoja de cálculo.

Sin embargo, dentro del diseño se tuvieron que realizar ajustes. Un perno de las sujeciones no era exactamente de la medida que requería, por lo que tuve que solicitar a departamento de manufactura que lo modificara un poco para poder armar un amortiguador prototipo y realizar pruebas físicas, principalmente para obtener la hoja de datos del comportamiento de las fuerzas en el amortiguador con la configuración de válvula asignada. El plano general donde se puede observar el perno utilizado se muestra en la *Ilustración 20*.

El departamento de manufactura me solicitó el número de proyecto con lo que ellos acceden a la base de datos y toman los planos e información que requieren para construir el prototipo.



Ilustración 20 Plano de ensamble general de Steering Damper F-250. ©Bilstein of America.

Una de las partes medulares para el funcionamiento del amortiguador es el ensamble de la válvula, este se compone de la válvula principal, la cual varía en geometría y forma dependiendo del propósito del amortiguador y por encima y debajo lleva unos discos que varían en número, en espesor y diámetro para dar mayor o menor resistencia al paso del fluido dentro del amortiguador. Los ingenieros más experimentados son quienes definen la configuración de la válvula por medio de hojas de cálculos y plantillas. En este proyecto, me proporcionaron la plantilla, la cual anexé a la base de datos para solicitar la manufactura de esta también. En la *Ilustración 21* se puede observar un ejemplo de las plantillas que utilicé para la configuración de las válvulas.

Base P/N				
Boot Style	Semi Rigid			
Tenon Size				
DESC	DIA	THK	Bypass Slots	Bypass THK
Brake				
Disc	20			
Disc				
Disc	28			
Disc	35			
Disc	36			
Disc	36			
Bypass				0.15
Disc				
Piston				
Check Valve				
Check Spring				
Bypass			4	
Disc				
Disc				
Disc				
Disc				
Disc				
Brake				

Ilustración 21 Ejemplo de plantilla de configuración de válvula. ©Bilstein of America.

Una vez obtenido el prototipo físico, el cual se puede observar en la *Ilustración 24 y 25*, solicité al departamento de pruebas que obtuvieran la gráfica de presiones mediante el dinamómetro del área de manufactura, véase la *Ilustración 22*. Una vez obtenidos estos datos, verifiqué el avance del proyecto con mi jefe, al tener el visto bueno del desarrollo comencé a subir al sistema la documentación requerida (Registro de proyecto nuevo en base de datos [SAP y Oracle], BOM en SAP, Artículos en Oracle, estado de avance del proyecto en Oracle, subir modelos de CAD de piezas y ensambles y planos de piezas y ensambles).

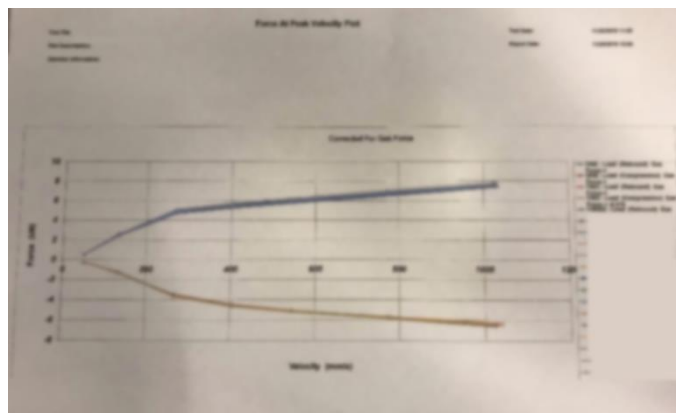


Ilustración 22 Resultados de fuerzas en presión y compresión obtenidas en el dinamómetro. ©Bilstein of America.

La documentación de un proyecto nuevo era muy similar a la de las transferencias, a diferencia de que en los proyectos nuevos se tenía que solicitar abrir una carpeta con el número de proyecto en la base de datos para comenzar a asignar partes y características del proyecto. En la *Ilustración 23* se muestra un ejemplo de la pestaña general de documentación de los proyectos en base de datos.

The screenshot shows a SAP Request for New Project form. At the top, there are icons for save, print, edit, and refresh. The form fields are as follows:

- Request Id:** OE02
- Creation Date:** 30.10.2019
- Requester:** Rivera, Alejandro
- Phase:** Radio buttons for 1 - Pre-Prod. and 2 - Production (selected).
- Title:** New Product release
- State:** under progress
- General Tab:**
 - Description:** New damper & component parts; F4-
 - Request for:** Radio buttons for 1 - New Part (selected) and 2 - New Part.
 - Initiated through:** Radio buttons for 1 - Customer (selected) and 2 - Internal.
 - Affected customer:** (empty field)
 - Affected product line:** B6
 - Affected plants:** (empty field)

Ilustración 23 Solicitud para nuevo proyecto. ©Bilstein of America.

Una vez aprobado el nuevo número de proyecto comencé a realizar el BOM en base de datos de SAP. Si existía alguna pieza nueva dentro de este BOM, se tenía que solicitar crear la pieza. En la mayoría de los casos eran piezas que ya existían en nuestra base de datos por lo que solo se tenía que llenar siguiendo el orden de ensamble.

Una vez que realicé la documentación física y en base de datos, solicité la revisión del proyecto con dos ingenieros con mayor experiencia en la empresa. Esta revisión, al ser un proyecto nuevo es un poco más exhaustiva, lo que implica una revisión de documentos dentro de la carpeta creada y cada información que subí dentro de la base de datos, así como el modelo físico y en CAD.

Realicé las correcciones correspondientes, las cuales no reflejaron un cambio significativo en el proyecto y finalmente, después de la aprobación y firma en portada de carpeta de proyecto de los dos ingenieros que lo revisaron, mi jefe inmediato lo revisó por última vez antes de cambiar el estado del proyecto en el sistema a aprobado y liberado. Cuando este se etiquetó como liberado, entregué todos los archivos físicos y el prototipo a mi jefe para archivar y documentar.



Ilustración 24 Prototipos físicos usados en el proyecto. ©Bilstein of America.



Ilustración 25 Resultado final del Steering Damper F-25.0 ©Bilstein of America.

Amortiguador de casa rodante

Este proyecto fue otro amortiguador nuevo OE y consistió en el diseño de un amortiguador nuevo para una empresa de diseño para casas rodantes.

Mi colaboración en este diseño fue hasta el punto de enviar los prototipos a la empresa que lo solicitó ya que el desarrollo de este producto seguía vigente cuando yo terminé mi periodo de trabajo y debido a esto no pude ver el resultado final, sin embargo, fue un proyecto muy diferente a todos los demás que realicé y se presentaron algunas complicaciones que me parece relevante mencionarlas debido a las lecciones aprendidas.

El nombre de la empresa será omitido por políticas de privacidad de esta.

Al comenzar el diseño, la empresa nos solicitó un amortiguador con ciertas características específicas. Al realizar este diseño y revisarlo en las calculadoras, los resultados mostraban que se presentaría cavitación dentro del amortiguador, es decir que existía formación de burbujas dentro del amortiguador y no funcionaría para las cargas que ellos deseaban usarlo, en este caso, para una casa rodante.

Al presentarse estos resultados, se realizó una junta telefónica con el cliente, el cual nos solicitó continuar el diseño con esa misma configuración y que ellos se encargarían de la configuración de la válvula, a pesar de nuestra sugerencia de permitirnos realizar la configuración de la válvula para que el amortiguador pudiera operar correctamente con las mismas características y extensiones que nos solicitaron. Si deseaban utilizar esa misma configuración de válvula nosotros teníamos que modificar las magnitudes de extensión y compresión para que trabajara en un rango óptimo, sin embargo, no querían esos cambios por el espacio de instalación en su automóvil.

Para continuar con la solicitud del diseño como lo pidió el cliente, tuvimos que agregar una póliza donde se aclaraba que Bilstein no era responsable de esa configuración y por lo tanto no aplicaban garantías del funcionamiento de ese amortiguador solicitado.

Dentro de la solicitud del diseño, se acordó enviar algunos prototipos para que ellos pudieran realizar las pruebas que requerían, revisar el prototipo del amortiguador en físico y realizar pruebas de montaje en su chasis. Sin embargo, cuando recibieron los prototipos hubo una confusión y comenzaron a instalarlos en sus casas rodantes como productos finales.

En los últimos días en que laboré en Bilstein, me hicieron saber que la empresa estaba muy disgustada por los resultados debido a que los amortiguadores habían fallado cuando los montaron en sus automóviles. Uno de mis jefes habló con el responsable de la empresa cliente y les aclaró que lo que se les había enviado eran amortiguadores prototipo para que ellos realizaran pruebas únicamente, nosotros teníamos ese proyecto en proceso de diseño aún por lo que en realidad fue un error interno de su empresa.

Aun siendo error interno de su empresa, ellos eran clientes nuestros por lo que queríamos darle un producto de calidad que cubriera sus necesidades de diseño y que existiera una buena relación para futuros proyectos en los que pudiéramos colaborar de nuevo, sin embargo, fue complicada la comunicación con esta empresa ya que no aceptaban sugerencias sobre el modelo y a pesar de las

advertencias de presencia de cavitación y falla del amortiguador si optaban por esa configuración, lo instalaron como producto final y no hubo corrección alguna a esa configuración.

Aunque desconozco el resultado final del proyecto, me pareció muy interesante debido a las complicaciones que se tuvieron. Considero que la comunicación fue una parte crucial para los resultados de este proyecto.

Me pareció bien que nosotros les dimos las evidencias y advertencias de que no era la mejor configuración para lo que ellos requerían. Por otro lado, considero como otra solución haberles enviado un set de los amortiguadores con la configuración de válvula que nosotros sugerimos para hacer más evidente la solución que proponíamos y que vieran los resultados de ambas configuraciones. Desconozco si esta solución era posible debido a cuestiones de logística, gastos o políticas de la empresa. Sin embargo, considero que hubiera contribuido a cumplir con el producto que solicitó la empresa cliente y a cerrar el trato de ese proyecto, además de que si la empresa queda satisfecha con los resultados es muy probable que vuelva a solicitar diseños futuros con Bilstein.

Conclusiones

Los proyectos en los que tuve oportunidad de participar fueron aprobados en tiempo y liberados para producción. Los diseños que desarrollé serán manufacturados en la Planta de San Miguel de Allende.

Aunque este producto no es equipo original (OE), gracias al desarrollo que Bilstein tiene en sus válvulas, tienen productos AM que en ocasiones son mejores que los OE. De cualquier manera, el haber sido el responsable de este desarrollo de inicio a fin y que haya sido un producto final me llena de satisfacción y de gran orgullo, es una gran satisfacción tener la oportunidad de ver mi trabajo materializado.

Un tema mencionado por uno de mis jefes fue que algunos países muestran preferencia por ciertos artículos producidos en determinado país por lo que la Planta de San Miguel de Allende en ocasiones no es de conocimiento común. Aunque la calidad es igual o mejor que cualquiera de sus demás productos, algunas personas prefieren los productos manufacturados en Estados Unidos de América. Quizá sean cuestiones de nacionalismo o costumbre, pero lo que es un hecho es que poco a poco se ha dado a conocer la calidad de manufactura del país y ha estado ganando la confianza de los consumidores.

La Facultad me enseñó las bases para utilizar un programa de CAD, conocimiento que pude aplicar en este programa de trabajo que desarrollé con Bilstein. En esta empresa el software que se utiliza depende principalmente de sus principales clientes, es decir, para tener mejor compatibilidad al momento de diseñar es preferible utilizar el mismo software para reducir el tiempo en cambiar características de compatibilidad y evitar errores al momento de enviar algún diseño y colocarlo en algún ensamble. Anteriormente la empresa utilizaba Solidworks® debido a que uno de sus principales clientes utilizaba este software, ahora el principal programa de CAD utilizado (el que utilice principalmente) es CATIA®, ambos softwares de la empresa Dassault Systèmes.

Aunque algunas operaciones y controles de interfaz son diferentes, las bases de diseño y de uso de programas de CAD son las mismas, por lo que considero que la educación que recibimos en la Facultad, en mi caso con la materia de CAD/CAM, es óptima para desempeñar un buen papel en un empleo que requiera estas habilidades. Por supuesto que entre más práctica se tenga con el software y aunque sea un breve conocimiento del cambio de interfaz entre diferentes programas será mejor, pero con las bases que nos fueron impartidas es suficiente para tener un buen desempeño.

Por otro lado, la interpretación y creación de los planos fue una de mis tareas principales, con la cual me sentí familiarizado y capaz de realizarlo gracias a los conocimientos adquiridos en la Facultad gracias a la materia de Dibujo Mecánico e Industrial principalmente y proyectos realizados tanto en algunas materias como en capítulos estudiantiles como Baja SAE y Formula SAE.

Estas organizaciones estudiantiles en conjunto con lo aprendido en materias de la Facultad y lecciones de profesores me dieron las herramientas para poder desenvolverme en las diferentes labores que me fueron asignadas en Bilstein.

El trabajo en equipo es una parte medular para desarrollar cualquier proyecto grande, estas bases fueron reforzadas principalmente por mi participación en asociaciones estudiantiles de la Facultad como Formula SAE.

Dentro de la Facultad y Universidad, existen muchas conferencias, cursos y talleres, los cuales me dieron otras herramientas como lenguaje corporal, hablar claramente al momento de exponer y reforzar el idioma de inglés, el cual fue una parte muy importante para poder desarrollar este trabajo y al momento de realizar la entrevista cuando apliqué para este programa.

Otros aspectos que desarrollé dentro de la Facultad que considero que contribuyeron a mi contrato y desempeño dentro de esta empresa son los de ser capaz de comunicarme claramente con compañeros de trabajo, una buena organización de tiempo para llevar a cabo los proyectos en fechas límite y el orden para desarrollar estos, entre otros aspectos.

Con el objetivo de buscar una mejora para generaciones futuras me gustaría hacer énfasis en que los conocimientos técnicos que obtuve dentro del plan de estudios de la carrera de Ingeniería Mecánica me ayudaron a desempeñar mis labores sin problema alguno, considero que los conocimientos que imparte la Facultad son excelentes para desempeñar un trabajo como ingeniero en cualquier empresa, ya sea nacional o internacional. Por otra parte, considero que hacer buen uso de las demás opciones extraescolares que ofrece la Facultad ayudan a complementar los conocimientos de la carrera, incluso sugeriría que fueran parte del plan de estudios, proyectos como Formula SAE, Baja SAE y talleres de liderazgo, manufactura, diseño y mejoramiento de aptitudes ayudan a complementar y aplicar mejor los conocimientos adquiridos en las aulas de la Facultad.

Estoy seguro de que mi formación académica dentro de la Facultad, complementada con Formula SAE y Baja SAE me han dado la capacidad de comprender un problema, ser capaz de observar un panorama general de un problema o situación, ser capaz de analizar y visualizar una solución, tener la capacidad de rediseñar y mejorar la solución cuando se requiera y finalmente poder implementarla para la resolver el problema, proyecto o situación. Aunque algunas materias no estén involucradas directamente en las labores que realicé, considero que cada una de estas materias contribuyó a mi desempeño por todas las lecciones aprendidas en cada una de estas y de los profesores, ya sea desde los conocimientos mismos de la materia hasta administrar mi tiempo y esfuerzo o saber automotivarme.

Con esta experiencia laboral en que comencé a aplicar mis conocimientos adquiridos en la Facultad, me di cuenta de que son una serie de metodologías, hábitos, lecciones morales, lecciones éticas, prácticas, experiencias y habilidades, además de todo el conocimiento de ingeniería aplicada que cada materia nos enseñó, que en conjunto nos hacen profesionistas capaces de contribuir al desarrollo de nuestra sociedad con un gran orgullo de representar a nuestra Universidad.

Glosario

OE | Original Equipment | Se le llama original equipment (OE) al equipo con el que cuenta un móvil directo de fábrica o agencia.

OEM | Original Equipment Manufacturer: Se refiere a fabricante de piezas originales o fabricante original.

AM | Aftermarket | Se le llama Aftermarket a los productos, en este caso amortiguadores, que no son equipo original, es decir, equipo diferente al que tiene el móvil de agencia o de fábrica originalmente. En ocasiones puede darse el caso de que el equipo AM tenga mejor desempeño que el OE.

Masas no suspendidas | Todo aquello que tiene un grado de libertad respecto a la bancada, v. gr. neumáticos, amortiguadores, frenos y rodamientos.

Masas suspendidas | Todo aquello que no tiene ningún grado de libertad respecto a la bancada. Normalmente incluye el chasis, los componentes internos y carga.

Coilover | Tipo de suspensión de automóvil que incorpora un resorte helicoidal montado encima de un amortiguador.

PSMA | Abreviación utilizada dentro de la compañía para indicar Planta de San Miguel de Allende (Plant of San Miguel de Allende).

BOM | Bill of materials (Lista de materiales utilizados en un modelo).

V. gr. | Del latín *verbi gratia* “por ejemplo”.

Bibliografía

Adan Idais (2019), *CSWP [Certified Solidworks Professional]*, (Notas de Curso de impartido para UNAM Motorsports).

Bilstein, *Corporate History*, tomada el 16 de febrero de 2021, de <https://www.bilstein.com/us/en/about-us/history/>

Bilstein, *Tecchnology and knowledge*, tomada el 16 de febrero de 2021, de <https://www.bilstein.com/us/en/technology-and-knowledge/>

Bilstein, *Basic Know-how^{*3}*, tomada el 16 de febrero de 2021, de <https://www.bilstein.com/us/en/technology-and-knowledge/basic-know-how/>

Bilstein, *Bilstein B8 5100*, Tomada el 25 de febrero de 2021, de <https://www.bilstein.com/int/en/product/bilstein-b8-5100/>

Gutiérrez-Benjumea Fernando (2018), *Análisis del comportamiento Dinámico del Automóvil* (Notas de Curso Impartido para UNAM Motorsports en Facultad de Ingeniería).

Mariano García del Gállego (2019), *Diseño y manufactura asistidos por computadora* (Notas de asignatura del Programa de Estudios de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería, Mapa Curricular 2010).

ThyssenKrupp, *The Company Thyssenkrupp*, tomada el 16 de febrero de 2021, de <https://www.thyssenkrupp.com/en/company>

