

UNIVERSIDAD PANAMERICANA
FACULTAD DE INGENIERÍA

Con estudios incorporados a la
Secretaría de Educación Pública

**“ESTANDARIZACIÓN DE PESOS VEHICULARES
USANDO DISEÑO PARA SEIS SIGMA EN LA
INDUSTRIA AUTOMOTRIZ”**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
MAESTRÍA EN INGENIERÍA

P R E S E N T A

JESUS ALFREDO MARTINEZ OJEDA

DIRECTOR DE TESIS:

DR. ROBERTO GONZÁLEZ OJEDA

Índice de Contenido

1	Resumen	6
2	Definiciones	7
3	Introducción	9
4	Antecedentes	10
5	Planteamiento del Problema	14
5.1	Alcance	15
5.2	Situación Actual	15
6	Objetivos	19
6.1	Objetivo General	19
6.2	Objetivos Específicos	19
7	Tesis o Hipótesis	19
8	Revisión del Estado del Arte	20
8.1	Seis Sigma	20
8.2	Diseño para Seis Sigma	20
8.3	Optimización en 8 pasos	22
8.4	Relación Señal/Ruido	22
8.5	Diseño de Experimentos	22
8.6	Arreglos Ortogonales	23
8.7	Análisis Gráfico	23
8.8	Predicción y Confirmación	23
8.9	Regresión Multivariable	26
9	Solución Propuesta	28
10	Implementación	28
10.1	Iteraciones	31
10.2	Regresión Multivariable	39
11	Resultados, Análisis e Interpretación	41
11.1	Transmisión Opcional	41
11.2	Rieles de Carga Cromados	43
11.3	Llantas Opcionales	43
11.4	Análisis con Valores Actualizados	44
11.5	Limitaciones de la Metodología	44
11.6	Regresión Multivariable	45
12	Conclusiones	46

13 Sugerencias para Trabajos Futuros	47
Bibliografía	48
14 Anexo A: Hoja de Implementación del Proyecto	50
15 Anexo B: Fotografías de los Equipos Opcionales	51
16 Anexo C: Tabla de Valores y Gráfica de S/N para 8 Iteraciones	54

Índice de Figuras

1	Requerimientos del CAFE por año.	11
2	Esquema de huella	12
3	Requerimiento de CO ₂ según la huella por año	13
4	Distribución inicial	16
5	Campana de distribución de 6 sigma.	20
6	Ejemplo de S/N para análisis gráfico	24
7	S/N para cada factor y nivel	30
8	S/N para cada factor y nivel en la iteración 2	32
9	S/N para cada factor y nivel en la iteración 3	33
10	S/N para cada factor y nivel en la iteración 4	34
11	S/N para cada factor y nivel en la iteración 5	35
12	S/N para cada factor y nivel en la iteración 6	36
13	S/N para cada factor y nivel en la iteración 7	37
14	S/N para cada factor y nivel en la iteración 8	38
15	Gráficas de la regresión multivariable	39
16	Esquema de motor, transmisión y flechas	41
17	Esquema de interior	42
18	Distribución final	45
19	Comparación de distribución inicial y final	46
20	Transmisión de serie	51
21	Transmisión opcional	51
22	Llanta de serie	52
23	Llanta opcional	52
24	Rieles de carga cromados	53
25	S/N para las iteraciones 1 a 8	55

Índice de Tablas

1	Requerimiento de GHG según la huella para el año 2017.	13
2	Pesos de vehículos pesados en planta	17
3	5 Pasos de diseño en DFSS	21
4	Arreglo ortogonal L18	24
5	Niveles para cada factor	29
6	Arreglo ortogonal con valores sustituidos	29
7	Promedio de S/N para cada factor y nivel	30
8	Comparación de resultados inicial y óptimo	31
9	Valores usados en la iteración 2	31
10	Promedio de S/N para cada factor y nivel en la iteración 2	32
11	Valores usados en la iteración 3	32
12	Promedio de S/N para cada factor y nivel en la iteración 3	33
13	Valores usados en la iteración 4	33
14	Promedio de S/N para cada factor y nivel en la iteración 4	34
15	Valores usados en la iteración 5	34
16	Promedio de S/N para cada factor y nivel en la iteración 5	35
17	Valores usados en la iteración 6	35
18	Promedio de S/N para cada factor y nivel en la iteración 6	36
19	Valores usados en la iteración 7	36
20	Promedio de S/N para cada factor y nivel en la iteración 7	37
21	Valores usados en la iteración 8	37
22	Promedio de S/N para cada factor y nivel en la iteración 8	38
23	Matriz de datos para regresión multivariable	40
24	Valores utilizados en las iteraciones 1 a 8	54

1 Resumen

Este trabajo se enfoca en un método para encontrar datos erróneos en el análisis estadístico de pesos vehiculares en la empresa armadora de autos y camiones ligeros Fiat Chrysler Automobiles (FCA). El problema en cuestión consiste en que al analizar las mediciones de pesos vehiculares obtenidos en plantas de ensamble, normalizarlos (corregirlos a peso base) y hacer un análisis estadístico, se obtiene una distribución muy diferente a lo esperado, así como una desviación estándar superior a lo considerado como aceptable. En el proceso de corrección a peso base se utilizan los cambios de peso ocasionados al agregar o quitar equipo opcional del vehículo, y se asume que uno o varios de ellos pueden ser incorrectos y provocar que la distribución de los datos sea diferente a lo esperado. Dado que existen vehículos que pueden tener más de 50 opciones a elegir en los aditamentos, no resulta fácil determinar cuál o cuáles de ellos podrían tener un valor incorrecto y, por otra parte, obtener mediciones de peso para todos ellos tomaría al menos tres meses y requeriría muchos recursos, tanto económicos como humanos de la empresa. La solución propuesta en este caso es utilizar las herramientas de Diseño Para Seis Sigma (Design for six sigma, DFSS) para determinar cuáles equipos opcionales impactan más en la variabilidad de la muestra, para así poder concentrar los recursos de la empresa en obtener datos correctos para esos equipos, y reducir la variabilidad, lo cual se traduciría en información más confiable para la toma de decisiones. Con el uso de las herramientas de DFSS se encontraron los equipos que más estaban impactando la variabilidad en una muestra determinada, y después de obtener datos confiables para esos equipos, se obtuvo una mejor distribución de datos y una media más cercana al valor confirmado, por lo que se concluye que el uso de estas herramientas resulta efectivo en estos casos.

2 Definiciones

Corrección de peso es la diferencia de peso que provoca la adición de cierto equipo opcional a un vehículo, y puede ser positiva o negativa. Se puede definir también como la diferencia de peso que existe entre un vehículo con cierto equipo opcional y un vehículo sin dicho equipo.

DFSS (Design for Six Sigma o Diseño para Seis Sigma) Es una metodología de diseño de producto que se basa en mejorar la robustez del producto, es decir, reducir su sensibilidad a los factores externos.

EPA (Environmental Protection Agency) es la Agencia de Protección ambiental de los E.U.A.

Equipo Opcional es el equipamiento que se le agrega a un vehículo con un cargo extra al cliente, es decir, que no está incluido en el vehículo de serie, y por lo tanto, su costo no se incluye en el precio de lista.

GHG (Green House Gases) Gases de Efecto Invernadero, son algunos gases presentes en la atmósfera, y considerados dañinos para el medio ambiente y para la salud. Existen principalmente 3 gases de efecto invernadero según la EPA, estos son Dióxido de Carbono, Metano y Óxido Nitroso.

GVWR (Gross Vehicle Weight Rating) es el peso máximo que puede alcanzar el vehículo una vez que se le agrega el peso de pasajeros, combustible, fluidos y carga.

Huella (Footprint) es el área comprendida entre los puntos de contacto de las llantas de un vehículo con el suelo y se expresa en pies cuadrados (ft^2).

IDDOV Es una nemotécnica que se refiere a los pasos de un proyecto para diseñar un producto desde cero mediante la metodología DFSS, estos pasos son Identificar, Definir, Desarrollar, Optimizar y Verificar.

IOV Esta nemotécnica se refiere a los pasos de un proyecto para optimizar un producto existente mediante la metodología DFSS, estos pasos son Identificar, Optimizar y Verificar.

Llenado de línea es la cantidad de combustible que se agrega a un vehículo en la línea de ensamble. Esta cantidad varía debido a diferentes factores como el tipo de vehículo, tipo de combustible o país de destino.

NHTSA (National Highway Traffic Safety Administration) es la Administración Nacional de Seguridad en Autopistas, y depende del Departamento de transporte de los E.U.A.

Nominal the Best (Mejor Nominal) En el DFSS se le llama así al tipo de sistema en el cual no se requiere maximizar la señal, sino que se pretende llegar a cierto valor establecido de la forma más precisa posible.

Peso Base es el peso del vehículo sin pasajeros, sin carga, sin equipo opcional y con combustible y fluidos a nivel máximo.

Retrabajo Es la reparación o modificación que se tiene que hacer a un vehículo después de que éste ha dejado la línea de ensamble. Esto se puede realizar aún estando en la planta de ensamble o en un taller certificado por la armadora automotriz como lo son los distribuidores autorizados.

S/N (Signal to Noise Ratio) Se refiere al cociente de la señal deseada sobre el ruido en un sistema, se expresa en decibeles y proporciona una medida de la variabilidad en el diseño, a mayor S/N menor variabilidad.

3 Introducción

En la última década, el análisis de pesos ha ganado mucha importancia en la industria automotriz debido a su relación directa con la eficiencia en el consumo de combustible. En los Estados Unidos de América, uno de los mercados automotrices más grandes del mundo, las regulaciones en cuanto a economía de combustible y emisiones de gases de efecto invernadero (GHG) son cada vez más estrictas (*Alternative Fuels Data Center*, 2013), tanto que, si algunas armadoras no hicieran cambios considerables en sus vehículos en los próximos 5 años, tendrían que pagar multas del orden de decenas de millones de dólares para seguir en el mercado, lo cual obviamente impactaría su competitividad y podría llevarlos a la bancarrota. Debido a que dichas regulaciones toman en cuenta la huella del vehículo, es decir, el área que ocupa desde una vista superior, no es suficiente el vender autos más chicos (Bolon, 2017), sino que necesitan ser más eficientes, con menor consumo de combustible respecto a su tamaño. Todos los vehículos que se venden en E.U.A. deben estar certificados ante varias dependencias del gobierno de este país como son la EPA o la NHTSA (*40 CFR § 86.1803-01*, 2019).

Para la certificación de un vehículo ante el gobierno de los E.U.A., el fabricante debe conocer el peso del vehículo mucho antes de que este sea construido, para lo cual se utilizan estimaciones basadas en los modelos anteriores y en los cambios que se pretenden hacer al vehículo. Por esto resulta muy importante conocer el peso del vehículo que se encuentra actualmente en producción, y aunque podría parecer una tarea fácil, existen varios factores que hacen que el peso de un vehículo varíe y, por lo tanto, que sea más complicado obtener un valor confiable a través de un análisis estadístico. Además, el certificar un vehículo en un rango de peso erróneo podría resultar en retrabajo para todas las unidades vendidas, multas millonarias y pérdida de credibilidad y prestigio para el fabricante.

4 Antecedentes

El congreso de los Estados Unidos de América aprobó en 1975 la regulación de Corporate Average Fuel Economy (CAFE) después del embargo petrolero árabe que se dió entre 1974 y 1975, con el fin de mejorar la eficiencia de combustible promedio de los autos y camiones ligeros vendidos en ese país (*Corporate Average Fuel Economy CAFE Standards*, 2014). La National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) es la entidad encargada de establecer los límites de esta regulación y de garantizar que las empresas fabricantes de autos cumplan con ellos imponiendo multas y penalizaciones en caso de incumplimiento. El CAFE es un promedio de la eficiencia de combustible de todos los vehículos (autos y camiones ligeros) vendidos por una misma empresa, el cual toma en cuenta la cantidad de autos vendidos de cada modelo y su eficiencia individual. Este promedio lo calcula cada empresa considerando todos los vehículos etiquetados como pertenecientes a ese año, independientemente de cuándo se hayan vendido. El cálculo del CAFE se realiza conforme a la fórmula 1.

$$CAFE(mpg) = \frac{N_a + N_b + N_c + \dots + N_n}{\frac{N_a}{f_a} + \frac{N_b}{f_b} + \frac{N_c}{f_c} + \dots + \frac{N_n}{f_n}} \quad (1)$$

Donde:

mpg = millas por galón

a, b, c, d ... n = diferentes modelos vendidos

N = número de vehículos vendidos de cada modelo

f = eficiencia de combustible reportada para cada modelo

El primer objetivo del CAFE para autos fue de 18 mpg para el año 1978, y se estableció que este subiría cada año hasta llegar a 28 mpg en 1985. Después el objetivo disminuyó a 26 mpg para los años 1986 y 1987 para después regresar a 28 mpg, objetivo en el cual permaneció hasta el año 2011, cuando el congreso de los E.U.A. y los principales productores de autos en ese país acordaron que incrementaría año con año hasta llegar a 54.5 mpg en el año 2025. Lo anterior se muestra en la figura 1 (*Vehicle Fuel Efficiency CAFE Requirements by Year*, 2013).

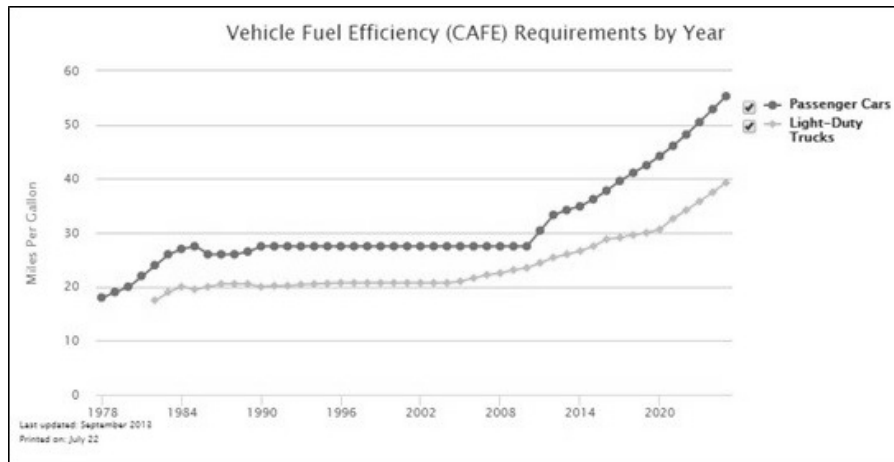


Figura 1: Requerimientos del CAFE por año.

En caso de que una empresa fabricante de autos no cumpla con esta regulación, existe la opción de comprar créditos a otras empresas que hayan excedido este objetivo (que su CAFE sea mayor al objetivo de la regulación para ese año modelo), ya que el gobierno otorga créditos a esas empresas y éstas pueden venderlos. Si aun con esta medida, una empresa no cumple con la regulación se hace acreedora a una multa que va desde los \$5.50 USD por cada décima de mpg que haya quedado por debajo del objetivo, multiplicado por el número total de vehículos vendidos por la empresa en ese año modelo (*CAFE Public Information Center*, 2019). Considerando que una armadora automotriz en E.U.A. puede llegar a vender más de 2 millones de vehículos en un año (*Fiat Chrysler Automobiles N.V. Annual Report and Form 20-F For the year ended December 31, 2019*, 2019), la multa por quedar 0.1 mpg por debajo del objetivo de CAFE podría ser de más de 11 millones de dólares.

Otra regulación que deben cumplir las armadoras automotrices en los E.U.A. es la regulación de Gases de Efecto Invernadero o Green House Gases (GHG). En el año 2009, la EPA encontró que los niveles actuales y proyectados a futuro de seis de estos gases podían ser una amenaza para la salud de las generaciones actuales y futuras (*EPA: Greenhouse Gases Threaten Public Health and the Environment*, 2009), por lo que en 2010, la EPA y la NHTSA publicaron la Light-Duty Vehicle Greenhouse Gas Emission Standards and Corporate Average Fuel Economy Standards Rule (LDV Rule), la cual establece ciertas pruebas obligatorias para obtener los niveles de emisiones de estos gases en los vehículos vendidos dentro de los E.U.A. (*Regulations for Greenhouse Gas Emissions from Passenger Cars and Trucks*, 2019). Con los resultados de estas pruebas se calcula cuántos gramos por milla recorrida emite el vehículo, y se promedian los resultados de cada vehículo con su volumen de ventas, de forma similar al CAFE. Por otro lado se promedia también la huella (figura 2) (*Footprint*

Diagram, 2016) de todos los vehículos que vende la armadora y se obtiene un resultado en ft^2 . Según la huella promedio, y conforme a la figura 3 (*CO2 Passenger Car Standards Curves*, 2017) se determina el valor máximo de CO_2 en g/mi con el que debe cumplir cada armadora que comercializa vehículos en los E.U.A. En la tabla 1 (*Manufacturer Footprint and Standards for Model Year 2017, 2019*) se observan los valores máximos para cada armadora según su huella promedio en el año 2017.

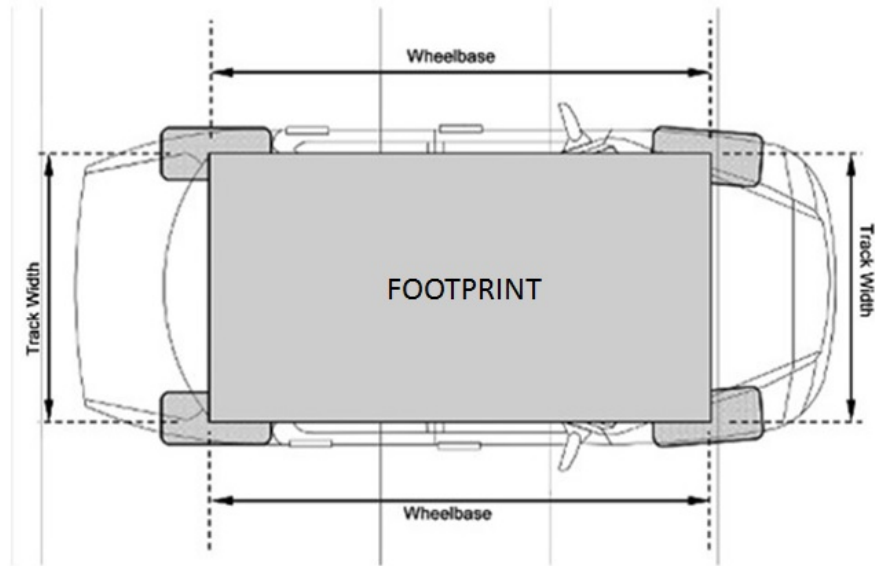


Figura 2: Esquema de huella

El peso del vehículo juega un papel importante en el CAFE, dado que para determinar cuántas mpg puede dar cierto vehículo se llevan a cabo diferentes pruebas de emisiones, en las cuales, la resistencia de los rodillos utilizados se determina en base al rango de peso del vehículo (*How Vehicles Are Tested*, 2018). Debido a esto, si un vehículo se certifica en un rango de peso menor al que realmente le corresponde, la mayoría de las pruebas de emisiones se verán impactadas y se obtendría una eficiencia de combustible diferente a la que realmente tiene el vehículo.

Existen varios ejemplos de empresas automotrices que han tenido que pagar multas por reportar datos erróneos de eficiencia de combustible (*Clean Air Act Vehicle and Engine Enforcement Case Resolutions*, 2018). Uno de ellos es el caso de Hyundai y Kia, que en 2014 tuvieron que pagar 100 millones de dólares al llegar a un acuerdo con la EPA por vender más de 1 millón de vehículos con una eficiencia de combustible menor a la reportada ante esta entidad (*Hyundai and Kia Clean Air Act Settlement*, 2018).

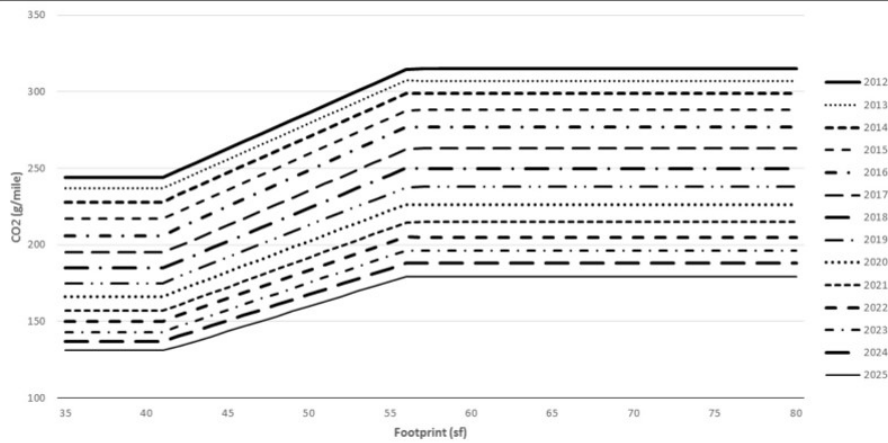


Figura 3: Requerimiento de CO₂ según la huella por año

Manufacturer	Footprint (ft ²)			Standards (g/mi)		
	Car	Truck	All	Car	Truck	All
BMW	46.7	50.6	47.9	221	284	243
BYD Motors	47.9	-	47.9	226	-	226
FCA	47.4	54.1	52.8	225	297	285
Ford	46.9	57.3	52.5	222	308	272
GM	46.6	58.9	53.5	221	315	277
Honda	45.9	49.7	47.1	217	279	240
Hyundai	46.3	49.2	46.5	219	278	223
Jaguar Land Rover	49.0	51.0	50.6	244	287	278
Kia	46.1	50.0	47.2	218	281	237
Mazda	45.5	47.2	46.0	216	268	233
Mercedes	48.5	52.0	50.0	229	290	257
Nissan-Mitsubishi	45.8	51.3	47.6	217	286	243
Subaru	45.1	45.0	45.0	213	258	247
Tesla	53.8	-	53.8	252	-	252
Toyota	45.6	52.6	49.0	216	290	255
VW	45.0	50.2	46.3	213	282	232
Volvo	48.4	51.2	50.0	241	288	270
All Manufacturers	46.2	53.8	49.8	219	295	258

Tabla 1: Requerimiento de GHG según la huella para el año 2017.

Por su parte, FCA también ha llegado a acuerdos con la EPA por los que ha pagado multas del orden de millones de dólares por asuntos relacionados con la eficiencia de combustible. Es por esto que resulta muy importante para las empresas armadoras de autos conocer el peso de los vehículos con la mayor precisión posible.

5 Planteamiento del Problema

En la actualidad, FCA cuenta con básculas vehiculares instaladas en cada una de sus plantas de ensamble, y un promedio de 10 unidades son pesadas diariamente, por lo que existe una muestra considerable de los vehículos producidos en cada planta, sin embargo, a pesar de la cantidad de información que existe, el análisis se torna complejo debido a las diferentes variables que influyen en el peso que se mide en las básculas.

La primera variable es la cantidad de combustible que existe en el tanque al momento de pesar el vehículo. Idealmente, todos los vehículos deberían tener el nivel de “llenado de línea” al momento de ser pesados, sin embargo, no todos los vehículos se pesan inmediatamente después de que salen de la línea de producción, algunos de ellos son llevados a ciertas pruebas o retrabajos antes de ser pesados, e incluso en algunos casos se vuelven a cargar con combustible. Esto provoca que exista cierta variación en el nivel de combustible de los vehículos pesados.

Otra variable que influye en el peso de los vehículos es el clima, o mejor dicho el agua y la nieve. Muchos de los vehículos que se pesan en las plantas han estado almacenados al aire libre, por lo que pueden haber experimentado lluvia o nieve, y algunos de ellos son sometidos a pruebas de agua para verificar que el aislamiento contra la lluvia sea adecuado. El hecho de que el vehículo esté mojado al momento de pesarlo influye en el peso reportado, inclusive cuando el vehículo no aparenta estarlo, existen partes del vehículo, como aislantes de calor y ruido, que absorben agua, y que pueden mantenerla varios días después de que el vehículo estuvo expuesto a la lluvia.

La variable en la que se enfoca este trabajo es el equipo opcional. Hoy en día existe gran cantidad de equipo opcional que puede llevar un vehículo, desde los que no influyen notablemente en el peso, como diferentes tipos de tapetes o colores de los interiores, hasta elementos como asientos automáticos, protectores de caja pickup o ganchos receptores para remolque, que aumentan de manera considerable el peso del vehículo.

Para hacer un análisis estadístico confiable se debe comparar el peso de vehículos en las mismas condiciones, y en este caso, con el mismo equipo opcional, por lo que después de recibir los datos de las básculas de la planta de ensamble se debe realizar una corrección de estos datos para sustraer el peso de las opciones contenidas en cada vehículo al peso reportado en las básculas. Esta corrección se hace de tal forma que se obtenga el peso llamado “Peso Base”, utilizando la fórmula 2.

$$W = S + U - O \quad (2)$$

Donde:

W = Peso Base

S = Peso observado en las básculas

U = Corrección de combustible (llenado de línea a tanque lleno)

O = Peso total del equipo opcional incluido en el vehículo

Idealmente, todos los vehículos pesados y corregidos deberían tener el mismo Peso Base, sin embargo, debido a los factores antes mencionados se tiene una variación considerable en la información obtenida. El peso del equipo opcional, o mejor dicho, el diferencial de peso de cada equipo opcional se obtiene sumando las partes que se añaden a un vehículo base al agregar cierto equipo y restando las partes que se quitan del vehículo base al agregar el mismo.

La complicación al obtener el peso del equipo opcional se debe al peso reportado para cada parte en la base de datos de pesos: este dato es responsabilidad de los ingenieros diseñadores de cada parte y muchas veces no es correcto. Teniendo en cuenta que en un vehículo se tienen aproximadamente 1000 partes finales, si cada una de ellas tuviera un error en el peso de 5%, para un vehículo de 5000 lb se tendría un error de 250lb, lo cual no es aceptable en un reporte entregado a la EPA.

Los valores de desviación estándar aceptables utilizados por el grupo de pesos vehiculares de la empresa son: menor o igual a 10 lb para vehículos con GVWR de hasta 5000 lb, y menor o igual a 15 lb para vehículos con GVWR mayor a 5000 lb. Actualmente, para el vehículo utilizado en este trabajo se están obteniendo valores mayores a estos límites.

5.1 Alcance

Para este estudio se utiliza un vehículo Sport Utility o SUV que tiene una muestra de 73 pesados en planta. Se toma como supuesto que algunos de los pesos de los equipos opcionales son incorrectos serán estos los que se modifiquen. No se modificarán en este caso las correcciones de combustible ni se hacen correcciones para el agua en el vehículo, es decir, el equipo opcional está dentro del alcance, mientras que las correcciones de combustible y de agua se encuentran fuera del alcance.

5.2 Situación Actual

El peso base del vehículo en cuestión presenta actualmente una desviación estándar de 11.88 lb y relación ruido/señal (S/N) de 48.2845 db. La media se

encuentra en 3082.8 lb. En la figura 4 se aprecia la distribución de los valores, y en el diagrama de cajas y bigotes se aprecia que la caja es relativamente grande y los bigotes no son simétricos.

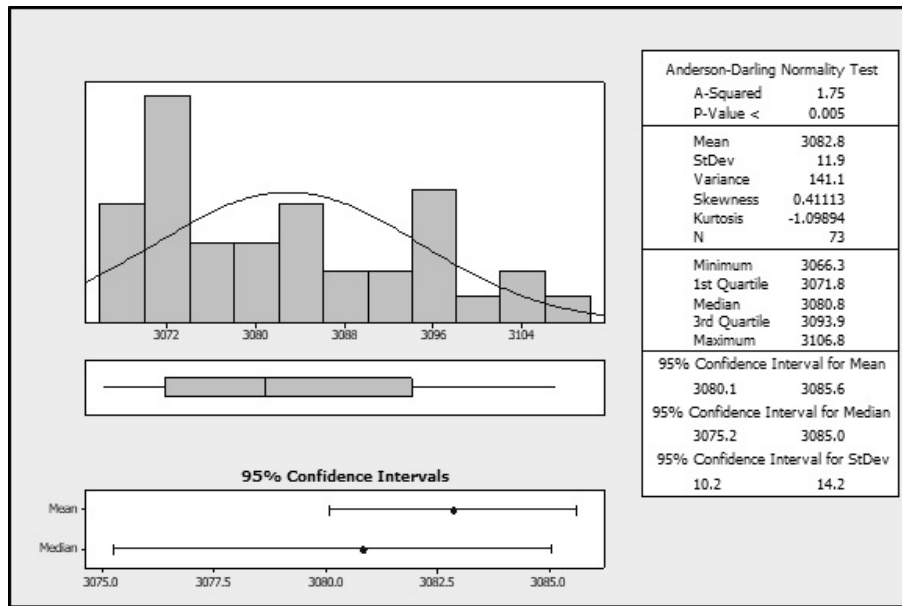


Figura 4: Distribución inicial

Esta distribución de valores excede el límite de desviación estándar, así que no se puede emitir una estimación del peso base. Debido a la importancia de este modelo para un lanzamiento futuro, se decidió fabricar 10 vehículos sin equipo opcional y pesarlos en la planta de ensamble con el tanque lleno de combustible, teniendo cuidado de que se pesaran sin haber estado expuestos a agua o nieve.

Los datos obtenidos de estos 10 vehículos pesados se muestran en la tabla 2, que arroja una una media de 3103.0 lb y una desviación estándar de 2.79 lb.

Con esta información se puede emitir una estimación de peso base, y una predicción de peso del vehículo futuro, sin embargo, el construir 10 vehículos sin opciones con el fin de pesarlos no resulta económicamente viable, dado que es difícil colocar estos vehículos en el mercado y tienen menor margen de ganancia que un vehículo con equipo opcional, además de que se gastan recursos en llenar los tanques de gasolina de los 10 vehículos y en enviar una persona a la planta de ensamble para que supervise que se pesen de forma adecuada. Por esto se busca un método para determinar si alguno de los pesos de opciones usados en estos análisis es incorrecto, de tal forma que se pueda emitir una estimación de peso base sin tener que construir y pesar vehículos sin opciones.

Vehículo	Peso Obtenido en Planta (lb)
1	3104.0
2	3105.7
3	3099.9
4	3099.1
5	3099.6
6	3103.0
7	3103.3
8	3106.6
9	3101.9
10	3106.4
Media	3103
Desv. Est.	2.79

Tabla 2: Pesos de vehículos pesados en planta

La forma más obvia de determinar si el peso de algún equipo opcional es incorrecto, sería pesar todas las partes relacionadas con dicho equipo, para lo cual, se necesitaría viajar a la planta de ensamble o del proveedor para buscar la parte y pesarla. Para cubrir todo el equipo opcional en la muestra se tendrían que pesar aproximadamente 150 partes diferentes, algunas en la planta de ensamble y otras tendrían que pesarse en la planta del proveedor dado que llegan secuenciadas a la planta de ensamble y no se pueden tomar de la línea, y para algunas otras se tendría que esperar hasta que se ordene un vehículo que contenga esa parte para poder encontrarla y pesarla. Esta actividad implicaría costos de viáticos y podría tomar varios meses para concluirse, por lo cual se busca una alternativa más rápida y menos costosa.

Al ser un problema que abarca a todas las áreas de diseño, es difícil solucionarlo de raíz, es decir, es difícil tener pesos correctos en cada parte que se encuentra en la base de datos, por lo que se considera la metodología DFSS para afrontar este problema, ya que, aunque no es una aplicación común para esta metodología, la misma se utiliza para hacer un sistema más robusto ante un factor de ruido que no se puede eliminar, y eso es justo lo que se necesita en este caso.

Analizando los datos y el proceso de corrección a peso base se nota que, si el peso de una opción es incorrecto, este provocará que el peso base normalizado también lo sea en los vehículos que tienen esa opción, y que este se aleje del peso base real, incrementando la variabilidad, y por lo tanto, si se supiera cuál de los pesos está mal y se fuera reduciendo o incrementando su valor hacia

el valor correcto, se iría reduciendo la variabilidad. Este razonamiento puede significar que se puede usar el diseño de experimentos, una de las herramientas de DFSS para analizar este problema, se pueden tomar los pesos de equipo opcional como factores de control, analizando el efecto que tiene la variación de cada uno de estos en la variabilidad de toda la muestra, y determinar cuál de ellos es incorrecto y al mismo tiempo obtener un estimado de su valor real.

Actualmente, la metodología DFSS se utiliza en la empresa principalmente para diseño y optimización de componentes automotrices. Un ejemplo de esto es el diseño de sujetadores (brackets) ya sean metálicos o plásticos para módulos electrónicos, en los cuales se requiere cierta rigidez para controlar las vibraciones y mantener en su lugar el módulo, y al mismo tiempo se pretende utilizar la menor cantidad de material posible con el fin de reducir tanto el costo como el peso del componente. En estos casos se puede hacer un diseño inicial con la geometría básica del sujetador e identificar las características que podrían influir en mayor medida en la rigidez y la durabilidad de éste, como podrían ser el espesor del sujetador, el espesor de una costilla o el material utilizado. Éstas características se pueden utilizar como factores en un diseño de experimentos y se pueden variar sus diferentes valores para obtener diferentes niveles, para después, utilizando un arreglo ortogonal realizar cierto número de pruebas que nos indiquen qué nivel de cada factor es el que nos da mejor desempeño. Las pruebas en este tipo de proyectos se realizan por simulación en un sistema CAE (Computer Aided Engineering o Ingeniería Asistida por Computadora), por lo que no representa un gasto considerable. Con este tipo de análisis se puede obtener un diseño muy robusto con un número reducido de pruebas. Es posible que este análisis se pueda utilizar para otro tipo de problemas como el que tratamos de resolver en este proyecto.

También se contemplan otras metodologías que podrían solucionar el problema en cuestión, como la regresión multivariable, que podría proporcionar un modelo matemático o ecuación que se ajuste a la información proporcionada, y de esta forma determinar si hay algún error en las correcciones utilizadas para normalizar los datos.

6 Objetivos

6.1 Objetivo General

Determinar cuál o cuáles de los pesos de opciones son incorrectos, para así poder confirmarlos y usarlos en el análisis para emitir una estimación del peso base.

6.2 Objetivos Específicos

- Encontrar los equipos opcionales que tienen mayor efecto en la variabilidad del análisis,
- Determinar la existencia de errores en el cálculo de corrección de peso de estos equipos.

7 Tesis o Hipótesis

Usando diseño de experimentos se puede determinar cuál o cuáles de los pesos de los equipos opcionales son incorrectos.

8 Revisión del Estado del Arte

8.1 Seis Sigma

Seis Sigma es una metodología de mejora y optimización de procesos y productos que se basa en reducir la variación para mejorar el desempeño. Esta metodología comenzó en Motorola Corporation a mediados de la década de los 80 y se popularizó después de que General Electric Company la adoptó como una estrategia central de negocios en 1995. El nombre Seis Sigma proviene de terminología estadística, en donde la “desviación estándar” se representa con la letra griega minúscula Sigma (σ). En una distribución normal, la probabilidad de caer en un rango de +/- seis veces sigma a partir de la media es de 0.9999966, lo cual significa tener sólo 3.4 errores por millón como se muestra en la figura 5 (*Six Sigma: 3.4 Defects per Million*, 2014). El programa de Seis Sigma tiene dos partes principales, la primera se enfoca en la mejora de procesos mediante la eliminación de las causas raíz de problemas de variación del desempeño, pero no implica ningún cambio en el diseño del producto. La segunda parte es Diseño para Seis Sigma (Design For Six Sigma o DFSS).

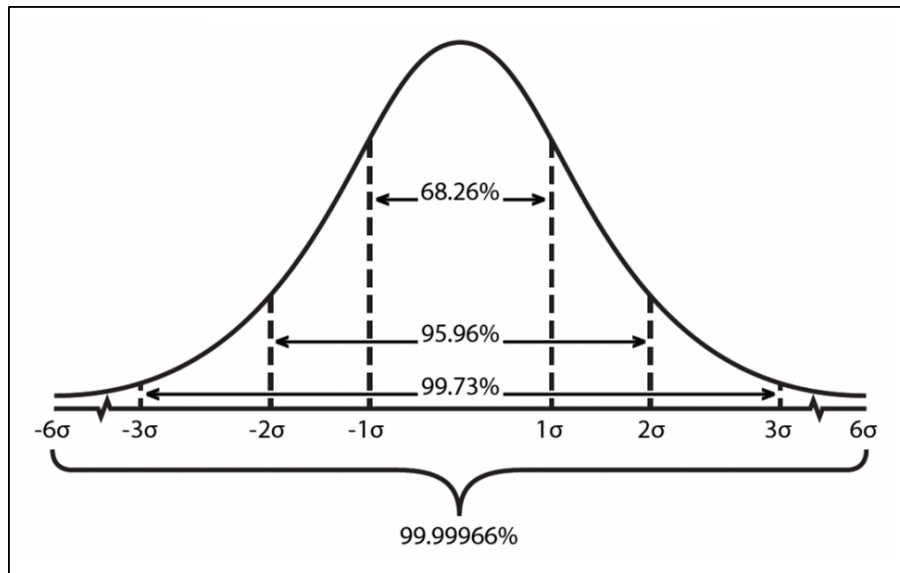


Figura 5: Campana de distribución de 6 sigma.

8.2 Diseño para Seis Sigma

La principal aplicación para esta metodología es el diseño de productos electromecánicos, sin embargo también puede aplicarse al diseño de sistemas computacionales, servicios, procesos operativos, etc. El propósito de DFSS es obtener

“diseño correcto a la primera”, de esta manera, las mejoras continuas se vuelven innecesarias, aunque también se puede aplicar para la optimización de diseños ya existentes. En la actualidad existen muchos procedimientos para la aplicación de DFSS. Algunas compañías dedicadas a consultoría en DFSS han desarrollado sus propios procedimientos internos, e incluso algunas empresas que han adoptado esta metodología han desarrollado sus procedimientos. En este caso se toma como base el procedimiento IDDOV (Identificar, Definir, Desarrollar, Optimizar, Verificar) (Wu, 2000), que se compone de 5 etapas que se pueden ver en la tabla 3.

De las 5 etapas descritas, en el caso de un proyecto IOV que es un proyecto de optimización, sólo se utilizan 3 etapas: Identificar, Optimizar y Verificar.

Identificar Oportunidades	Identificar el caso de negocio Sumario del proyecto Plan de proyecto Equipo para el proyecto.
Definir los Requerimientos	Definir clientes Definir requerimientos de clientes Traducir a requerimientos de ingeniería Traducir a requerimientos funcionales
Desarrollar el Concepto	Generar y evaluar diseños conceptuales Seleccionar diseño conceptual
Optimizar Diseño	Optimizar el producto/proceso Diseño Robusto Optimización de Tolerancias
Verificar Desempeño	Verificar desempeño del producto o proceso

Tabla 3: 5 Pasos de diseño en DFSS

8.3 Optimización en 8 pasos

La metodología DFSS propone 8 pasos para la optimización de diseño robusto, estos pasos son:

1. Definir el alcance para la optimización (¿qué se puede cambiar?, ¿qué NO se puede cambiar?)
2. Identificar la función ideal (¿cuál sería el caso ideal?)
3. Desarrollar la estrategia de ruido y señal
4. Seleccionar los factores de control y niveles de los mismos
5. Ejecutar pruebas y adquisición de datos
6. Análisis de datos
7. Predecir la mejora y confirmarla
8. Documentar

8.4 Relación Señal/Ruido

La Relación Señal /Ruido (S/N) toma en cuenta la relación entre la respuesta y la variabilidad de la información. Es una medida de la fuerza de la señal contra la fuerza del ruido o variabilidad y la meta es siempre maximizar S/N. Para un sistema “Nominal the Best”, es decir, un sistema en donde la señal no se tiene que minimizar ni maximizar, sino que se busca un valor específico, el cálculo de S/N se muestra en la ecuación 3.

$$S/N = 10 \log \frac{\bar{y}^2}{\sigma^2} \quad (3)$$

Donde \bar{y} es el promedio del valor de la señal y σ es la desviación estándar.

8.5 Diseño de Experimentos

El diseño de experimentos comenzó a utilizarse en los años 1930 con el fin de mejorar la producción agrícola en el Reino Unido (Pizdek, 2018). Un producto o un proceso puede tener diferentes variables que afectan el resultado final, y con el fin de mejorar el proceso se puede cambiar el valor de estas variables y verificar el resultado. A las variables del proceso se les llama Factores de Control y a los diferentes valores que pueden tomar estos factores se les conoce como niveles. Un caso ideal sería probar el proceso con todos los factores en todos los niveles posibles, para así encontrar cuál es la combinación de niveles que nos arroja el mejor resultado, sin embargo, esto puede resultar muy complicado

dado el número de experimentos que se tendrían que realizar. Por ejemplo, si en un proceso se tienen 8 factores con 3 niveles cada uno, se tendrían que hacer más de 6,500 experimentos para probar cada factor en cada nivel, y en la mayoría de las aplicaciones esto no es posible, o simplemente no es rentable. El diseño de experimentos se centra en realizar un número reducido de pruebas estadísticamente válidas en donde aparezcan todos los niveles de cada factor, y con esto determinar el nivel óptimo para cada factor del proceso.

Para sistemas con más de 2 factores comúnmente se utiliza el diseño por cuadrados latinos, el cual establece que el número de experimentos requeridos es igual a K^2 donde K es el número de factores (*Diseño de Experimentos: Modelos con varios factores*, 2017). Si tomamos como base este método tendríamos que realizar 64 experimentos, sin embargo existe otra opción desarrollada por Taguchi, la cual se menciona en (Wu, 2000) y se basa en arreglos ortogonales.

8.6 Arreglos Ortogonales

Un arreglo ortogonal es un arreglo de elementos (en este caso números enteros) en el cual todas las combinaciones de cierto número de elementos aparecen el mismo número de veces dentro del arreglo. Los arreglos ortogonales se pueden utilizar para llevar a cabo un cierto número de pruebas representativas, en las cuales se pueda observar el efecto y la interacción de los diferentes factores que se van a variar. Como ejemplo se toma el arreglo $L_{18}(2^1 \times 3^7)$, con el cual se pueden hacer 18 pruebas, evaluando hasta 8 factores, uno de ellos con 2 niveles, y los otros 7 con 3 niveles cada uno como se muestra en la tabla 4.

8.7 Análisis Gráfico

Una técnica utilizada por su practicidad para analizar el efecto de cada nivel en la S/N y en la media es el análisis gráfico que consiste en graficar los promedios de S/N obtenidos para cada factor y nivel. La gráfica para S/N se muestra en la figura 6.

Observando la gráfica fácilmente se puede elegir el nivel que resulta en la máxima S/N (señalado con un círculo) para cada factor de control. Utilizando estos valores se obtendrá un S/N óptimo para este rango de niveles. El mismo procedimiento se sigue para el análisis de la media. Existirán casos en los que cierto nivel maximice la media al mismo tiempo que minimiza la S/N, y en estos casos se deberá analizar qué es lo que se necesita maximizar en el sistema específico.

8.8 Predicción y Confirmación

Una vez realizadas las pruebas se puede hacer una predicción de la S/N y media óptimas que se obtendrán seleccionando los niveles más adecuados para cada

Prueba	Factores							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	2	1	1	1	1	1	1	1
2	2	1	2	2	2	2	2	2
3	2	1	3	3	3	3	3	3
4	2	2	1	1	2	2	3	3
5	2	2	2	2	3	3	1	1
6	2	2	3	3	1	1	2	2
7	2	3	1	2	1	3	2	3
8	2	3	2	3	2	1	3	1
9	2	3	3	1	3	2	1	2
10	3	1	1	3	3	2	2	1
11	3	1	2	1	1	3	3	2
12	3	1	3	2	2	1	1	3
13	3	2	1	2	3	1	3	2
14	3	2	2	3	1	2	1	3
15	3	2	3	1	2	3	2	1
16	3	3	1	3	2	3	1	2
17	3	3	2	1	3	1	2	3
18	3	3	3	2	1	2	3	1

Tabla 4: Arreglo ortogonal L18

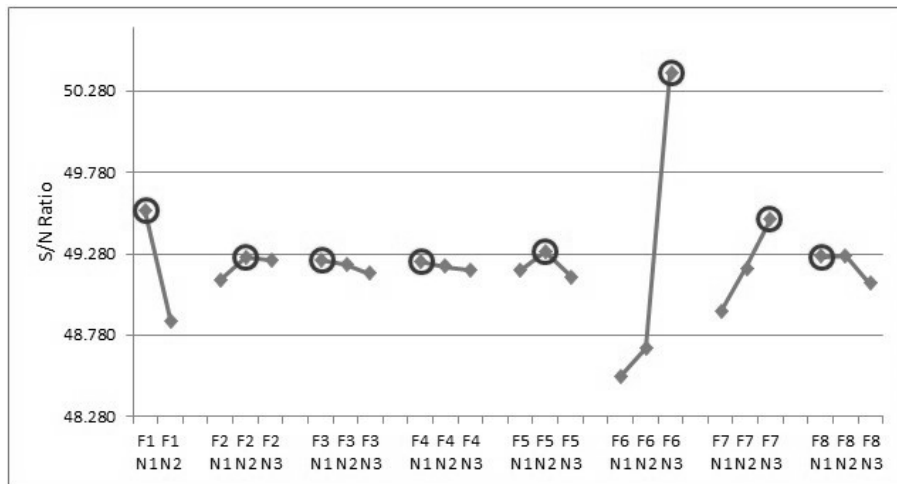


Figura 6: Ejemplo de S/N para análisis gráfico

factor de control. Esto se hace con dos finalidades principales, para analizar si vale la pena realizar la prueba óptima, es decir, si el beneficio es suficiente para gastar aún más recursos en otra prueba; y para comparar ésta predicción con el

resultado de la prueba óptima. En caso de que el resultado de las predicciones sea similar al de la prueba óptima entonces se puede decir que el sistema es estable, tiene una buena aditividad y que no existe una interacción fuerte entre los factores de control. En el caso que no sean similares, se deberá analizar el sistema y los factores de control en busca de inestabilidad e interacciones. Las predicciones para S/N y media se calculan como se muestra en la ecuación 4.

$$\begin{aligned}
 S/N_{opt} = & \bar{T} + (\overline{A_{opt}} - \bar{T}) + (\overline{B_{opt}} - \bar{T}) + (\overline{C_{opt}} - \bar{T}) + (\overline{D_{opt}} - \bar{T}) + (\overline{E_{opt}} - \bar{T}) \\
 & + (\overline{F_{opt}} - \bar{T}) + (\overline{G_{opt}} - \bar{T}) + (\overline{H_{opt}} - \bar{T})
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

Donde $\overline{X_{opt}}$ son los niveles óptimos de los factores de control y \bar{T} es el promedio de S/N en todas las pruebas. La predicción de la media se calcula de la misma forma usando los promedios de la media.

8.9 Regresión Multivariable

Una regresión es una herramienta que permite establecer una relación entre una variable dependiente y una o más variables independientes. Dicha relación se representa en forma de una ecuación. Existen varios tipos de regresiones, entre las cuales se encuentran:

- Regresión multivariable
- Regresión no lineal
- Regresión ortogonal
- Regresión por cuadrados mínimos parciales
- Regresión de Poisson

Para este proyecto se utiliza la regresión multivariable o regresión lineal múltiple, la cual establece la relación entre una variable dependiente y un grupo de variables independientes. El modelo de esta regresión se muestra en la ecuación 5 (*Análisis de Regresión Múltiple*, 2016).

$$Y = a + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \beta_3x_3 + \dots + \beta_nx_n + e \quad (5)$$

Donde:

Y es la variable dependiente o variable a predecir

$a, \beta_1x_1, \beta_2x_2, \dots, \beta_nx_n$ son parámetros desconocidos a estimar

e es el error en la predicción

Para obtener un modelo válido mediante este análisis es necesario primero determinar la correlación entre las variables, para esto se calcula el coeficiente de correlación (R) que muestra el nivel de asociación que existe entre las variables dependiente e independientes. También se calcula el coeficiente de determinación (R^2) que indica porcentualmente el cambio de la variable dependiente respecto a la independiente.

Cuando se agrega más de una variable independiente en el modelo se calcula el coeficiente de determinación ajustado (R_{adj}^2), y conforme se agregan más variables éste coeficiente debe ir creciendo, lo cual indica que cada variable agregada da más valor al modelo, si por el contrario el R_{adj}^2 decrece, significa que esa variable no agrega valor al modelo y probablemente se debe eliminar del análisis.

Al completar el análisis se obtiene un valor de R_{adj}^2 , entre más cercano sea este valor a 1 mejor se ajustará el modelo a la información proporcionada.

Esta herramienta se utiliza en diferentes áreas como la economía para predecir valores de ventas o ganancias en base a indicadores económicos, en biología, para predecir el crecimiento o multiplicación de organismos vivos, y en demografía, para predecir el desplazamiento de población en base a la industria y a la disponibilidad de servicios básicos.

9 Solución Propuesta

Se propone utilizar diseño de experimentos mediante arreglos ortogonales y evaluar los resultados con relación ruido/señal para determinar cuál o cuáles son los equipos opcionales que tienen mayor efecto en la variabilidad y determinar un valor aproximado de su factor de corrección, confirmar dichos factores pesando físicamente las partes involucradas y correr de nuevo el análisis utilizando los valores confirmados.

10 Implementación

Se tiene una muestra de 73 vehículos del mismo modelo y pesados en planta, con diferente contenido de equipo opcional. El total de equipos opcionales diferentes dentro de la muestra es de 13, sin embargo algunos de ellos tienen un valor de corrección de peso muy bajo y están presentes en sólo unos cuantos vehículos, por lo que no se considera que tengan un impacto significativo en la variabilidad del análisis. Por lo anterior se calcula un índice de importancia para los 13 equipos opcionales, para esto se multiplica la corrección de peso de cada uno de ellos por el número de veces que aparecen en la muestra, el resultado indica que hay 8 equipos opcionales que tienen un índice de importancia considerablemente mayor al de los demás, por lo que son utilizados para el diseño de experimentos. Estos equipos opcionales, con su código de identificación son:

DAV = Transmisión opcional
GXR = Sistema de apertura sin llave
HAA = Sistema de aire acondicionado frontal
JPD = Elevadores de vidrios eléctricos
JPH = Seguros eléctricos
MWG = Rieles de carga cromados
TTU = Llantas opcionales
WFP = Rines opcionales

Para la elección del arreglo ortogonal se considera que debe contener por lo menos 8 factores de control, que son los 8 equipos opcionales más significativos en la muestra. Se tienen varias opciones de arreglos como son $L_{16}(2^3 \times 4^4)$, $L_{16}(2^6 \times 4^3)$ o $L_{18}(2^1 \times 3^7)$, de los cuales se descarta inicialmente el $L_{16}(2^3 \times 4^4)$ debido a que sólo tiene 7 factores de control y un factor podría ser determinante en el análisis. También es conveniente tener al menos 3 niveles en cada factor, ya que de esta forma se puede apreciar más fácilmente cuando la S/N alcanza su máximo, lo cual es más complicado cuando se tienen sólo 2 niveles, por lo que descartamos el arreglo $L_{16}(2^6 \times 4^3)$ ya que tiene sólo 2 niveles en 6 de los factores. De esta forma, se elige el arreglo $L_{18}(2^1 \times 3^7)$ con el que se pueden analizar ocho factores de control, variando siete de ellos en tres niveles y uno en dos niveles, completando 18 pruebas. El nivel 2 de cada factor se establece como el nivel inicial, y para obtener el nivel 1 y 3 se suma y resta 1% al valor

inicial respectivamente como se ve en la tabla 5. El arreglo ortogonal con los valores utilizados se presenta en la tabla 6.

	DAV	GXR	HAA	JPD	JPH	MWG	TTU	WFP
1		0.98	21.92	4.78	1.98	10.12	-10.5	-2.46
2	78.32	0.99	22.15	4.83	2	10.22	-10.4	-2.44
3	77.54	1	22.37	4.87	2.02	10.32	-10.3	-2.42

Tabla 5: Niveles para cada factor

	1	2	3	4	5	6	7	8	STD	MEAN	S/N
	DAV	GXR	HAA	JPD	JPH	MWG	TTU	WFP	DEV		
1	78.32	0.98	21.92	4.78	1.98	10.12	-10.5	-2.46	11.79604	3083.234	48.34541
2	78.32	0.98	22.15	4.83	2	10.22	-10.4	-2.44	11.87653	3082.842	48.28524
3	78.32	0.98	22.37	4.87	2.02	10.32	-10.3	-2.42	11.95658	3082.467	48.22583
4	78.32	0.99	21.92	4.78	2	10.22	-10.3	-2.42	11.90499	3083.045	48.26502
5	78.32	0.99	22.15	4.83	2.02	10.32	-10.5	-2.46	11.87304	3082.825	48.28774
6	78.32	0.99	22.37	4.87	1.98	10.12	-10.4	-2.44	11.8534	3082.647	48.30161
7	78.32	1	21.92	4.83	1.98	10.32	-10.4	-2.42	11.90867	3083.011	48.26224
8	78.32	1	22.15	4.87	2	10.12	-10.3	-2.46	11.87583	3082.799	48.28563
9	78.32	1	22.37	4.78	2.02	10.22	-10.5	-2.44	11.8497	3082.681	48.30443
10	77.54	0.98	21.92	4.87	2.02	10.22	-10.4	-2.46	11.77968	3083.732	48.35886
11	77.54	0.98	22.15	4.78	1.98	10.32	-10.3	-2.44	11.84265	3083.511	48.31193
12	77.54	0.98	22.37	4.83	2	10.12	-10.5	-2.42	11.73522	3083.416	48.39082
13	77.54	0.99	21.92	4.83	2.02	10.12	-10.3	-2.44	11.78329	3083.748	48.35624
14	77.54	0.99	22.15	4.87	1.98	10.22	-10.5	-2.42	11.76372	3083.559	48.37015
15	77.54	0.99	22.37	4.78	2	10.32	-10.4	-2.46	11.81274	3083.326	48.33338
16	77.54	1	21.92	4.87	2	10.32	-10.5	-2.44	11.78593	3083.722	48.35423
17	77.54	1	22.15	4.78	2.02	10.12	-10.4	-2.42	11.76022	3083.594	48.37284
18	77.54	1	22.37	4.83	1.98	10.22	-10.3	-2.46	11.81624	3083.292	48.33071

Tabla 6: Arreglo ortogonal con valores sustituidos

Para realizar las 18 pruebas se generó un programa en MSEXcel que realiza las siguientes tareas:

1. Sustituir los valores de la prueba en cada equipo opcional
2. Calcular el peso base para cada vehículo de la muestra
3. Realizar el análisis estadístico para toda la muestra
4. Calcular desviación estándar, media y S/N (mediante la fórmula 3)
5. Promediar los valores de S/N resultantes de todas las pruebas que contengan cierto factor en cierto nivel (factor i en el nivel j, donde i va desde 1 hasta 8 y j va de 1 a 3)
6. Mostrar los resultados (tabla 7)
7. Graficar los valores de S/N (figura 7)

	DAV	GXR	HAA	JPD	JPH	MWG	TTU	WFP
1		48.320	48.324	48.322	48.320	48.342	48.342	48.324
2	48.285	48.319	48.319	48.319	48.319	48.319	48.319	48.319
3	48.353	48.318	48.314	48.316	48.318	48.296	48.296	48.314
Δ	0.07	0.00	0.01	0.01	0.00	0.05	0.05	0.01

Tabla 7: Promedio de S/N para cada factor y nivel

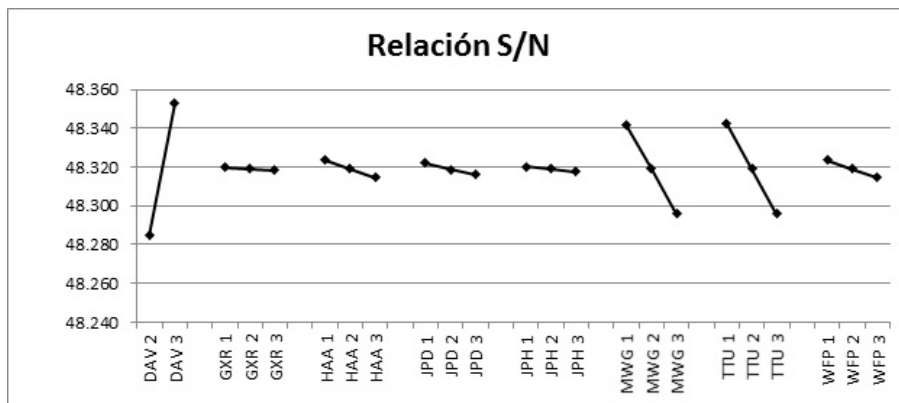


Figura 7: S/N para cada factor y nivel

En la figura 7 se aprecia que los factores que tienen más influencia en S/N son DAV, MWG y TTU, y que los demás factores prácticamente no tienen influencia alguna. Lo anterior se puede interpretar como que los demás factores

están muy cerca del valor real del peso del equipo opcional, mientras que los valores de DAV, MWG y TTU podrían mejorar en cuanto a precisión. Si se hace una prueba con los valores óptimos de esta iteración, es decir DAV3, GXR1, HAA1, JPD1, JPH1, MWG1, TTU1 y WFP1, se obtiene un S/N óptimo para estas condiciones y se puede comparar con el valor que se tenía inicialmente para S/N, es decir con todos los factores en el nivel 2. De dichas pruebas se obtienen los resultados mostrados en la tabla 8.

Prueba	Desviación Estándar	W Promedio (Media)	S/N Ratio
Óptima	11.7062	3083.9396	48.4138
Inicial	11.8774	3082.8330	48.2845
Δ	-0.17	1.11	0.13

Tabla 8: Comparación de resultados inicial y óptimo

Se observa un incremento de S/N aunque muy pequeño (0.13 db), que implica una reducción en la variabilidad, y se puede ver en la figura 7 que la tendencia para los factores DAV, MWG y TTU sugiere que si siguen cambiando esos factores en la dirección adecuada, se podría seguir incrementando el S/N. Para comprobar esto se realizaron más iteraciones con diferentes valores que incrementen S/N.

10.1 Iteraciones

En la segunda iteración, dado el efecto que tuvo el cambio en el valor de DAV, se decidió bajar éste hasta 70.488 lb en el nivel 3, dejando en el nivel 2 el valor original. También en MWG se redujo aún más su valor en la iteración 2, por lo que se utiliza el valor mínimo de la iteración anterior (10.12 lb) en el nivel 1 y a partir de ese se le resta el 2% y 3% para los niveles 2 y 3 respectivamente. Lo mismo se hace para TTU como se muestra en la tabla 9. Los resultados se muestran en la tabla 10 y en la figura 8.

	DAV	GXR	HAA	JPD	JPH	MWG	TTU	WFP
1		0.98	21.92	4.78	1.98	10.12	-10.5	-2.46
2	78.32	0.99	22.15	4.83	2	9.9156	-10.708	-2.44
3	70.488	1	22.37	4.87	2.02	9.8134	-10.812	-2.42

Tabla 9: Valores usados en la iteración 2

En la gráfica de la segunda iteración (figura 8) se aprecia que la S/N sigue incrementando con un valor menor de DAV, y lo mismo sucede en menor medida con MWG y TTU. Para la tercera iteración se disminuye el valor de DAV a 66.572 lb en el nivel 3, conservando el valor original en el nivel 2. Para MWG y

	DAV	GXR	HAA	JPD	JPH	MWG	TTU	WFP
1		48.694	48.698	48.696	48.695	48.654	48.654	48.698
2	48.409	48.693	48.693	48.693	48.693	48.702	48.701	48.693
3	48.977	48.693	48.689	48.691	48.692	48.724	48.725	48.689
Δ	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Tabla 10: Promedio de S/N para cada factor y nivel en la iteración 2

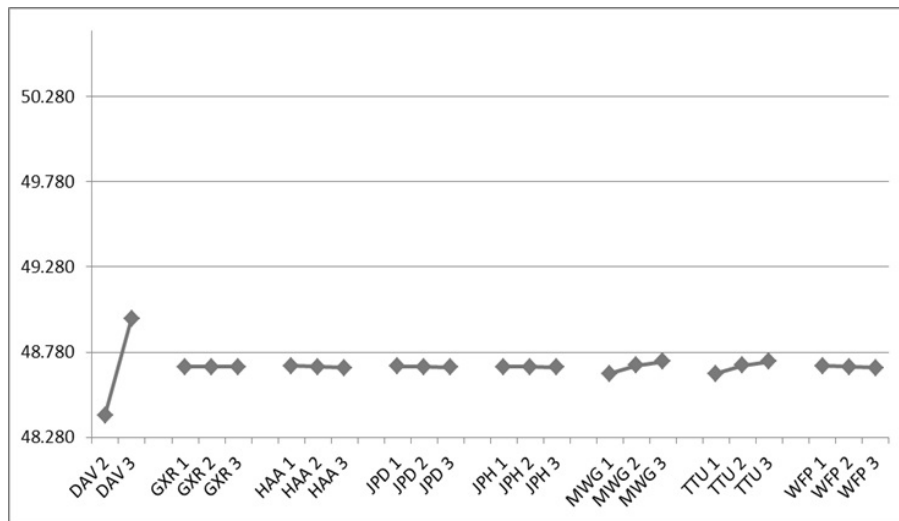


Figura 8: S/N para cada factor y nivel en la iteración 2

TTU se disminuye el valor siguiendo el mismo proceso utilizado para la iteración 2, y estos valores se muestran en la tabla 11 junto con resultados (tabla 12 y figura 9).

	DAV	GXR	HAA	JPD	JPH	MWG	TTU	WFP
1		0.98	21.92	4.78	1.98	9.8134	-10.812	-2.46
2	78.32	0.99	22.15	4.83	2	9.609	-11.02	-2.44
3	66.572	1	22.37	4.87	2.02	9.5068	-11.124	-2.42

Tabla 11: Valores usados en la iteración 3

La S/N sigue aumentando conforme se disminuye el valor de DAV, MWG y TTU (figura 9), por lo que para la iteración 4 se siguió el mismo proceso y se usó un valor de 62.656 lb para DAV. Para MWG y TTU se utilizó el mismo proceso, restar 2% y 3% para los niveles 2 y 3 respectivamente. Los valores utilizados para la iteración 4 se muestran en la tabla 13, y los resultados obtenidos se

	DAV	GXR	HAA	JPD	JPH	MWG	TTU	WFP
1		48.913	48.918	48.915	48.914	48.874	48.875	48.917
2	48.550	48.913	48.912	48.913	48.913	48.921	48.920	48.912
3	49.276	48.912	48.908	48.910	48.911	48.942	48.943	48.909
Δ	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Tabla 12: Promedio de S/N para cada factor y nivel en la iteración 3

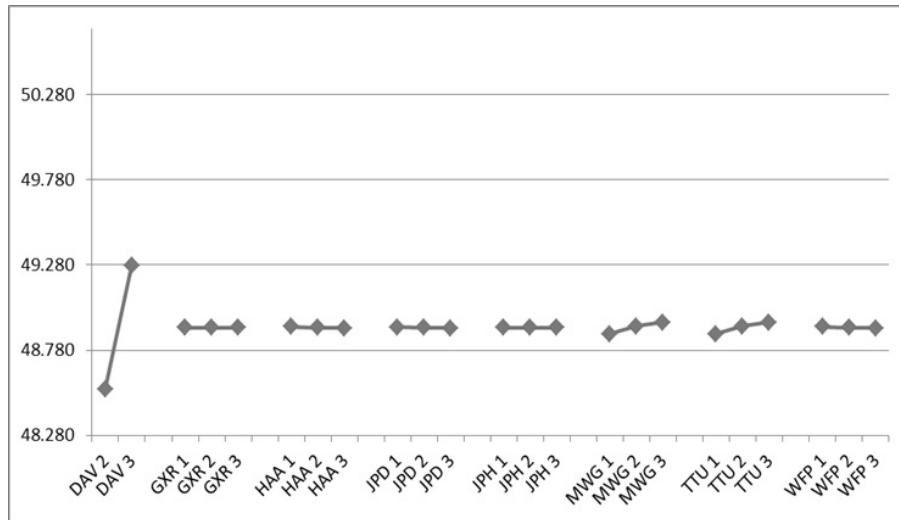


Figura 9: S/N para cada factor y nivel en la iteración 3

muestran en la tabla 14 y en la figura 10.

	DAV	GXR	HAA	JPD	JPH	MWG	TTU	WFP
1		0.98	21.92	4.78	1.98	9.5068	-11.124	-2.46
2	78.32	0.99	22.15	4.83	2	9.3024	-11.332	-2.44
3	62.656	1	22.37	4.87	2.02	9.2002	-11.436	-2.42

Tabla 13: Valores usados en la iteración 4

En la iteración 4 la S/N para DAV aumenta para el valor menor, sin embargo es posible que se haya superado ya el pico de S/N, y que no se esté viendo el valor máximo que alcanzó, por lo que para la iteración 5 se aumenta el valor de DAV a 63.4392 lb, y se usa el valor del nivel 3 de la iteración 4 (62.656 lb) como nivel 2 para la iteración 5. Si con esto el valor de S/N aumenta en el nivel 3, significaría que el pico de S/N quedó atrás y por lo tanto se tendría que aumentar el valor de DAV poco a poco hasta encontrarlo. Para MWG y TTU

	DAV	GXR	HAA	JPD	JPH	MWG	TTU	WFP
1		49.073	49.079	49.074	49.073	49.037	49.037	49.077
2	48.688	49.073	49.072	49.074	49.074	49.082	49.081	49.072
3	49.459	49.073	49.069	49.072	49.072	49.101	49.102	49.071
Δ	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Tabla 14: Promedio de S/N para cada factor y nivel en la iteración 4

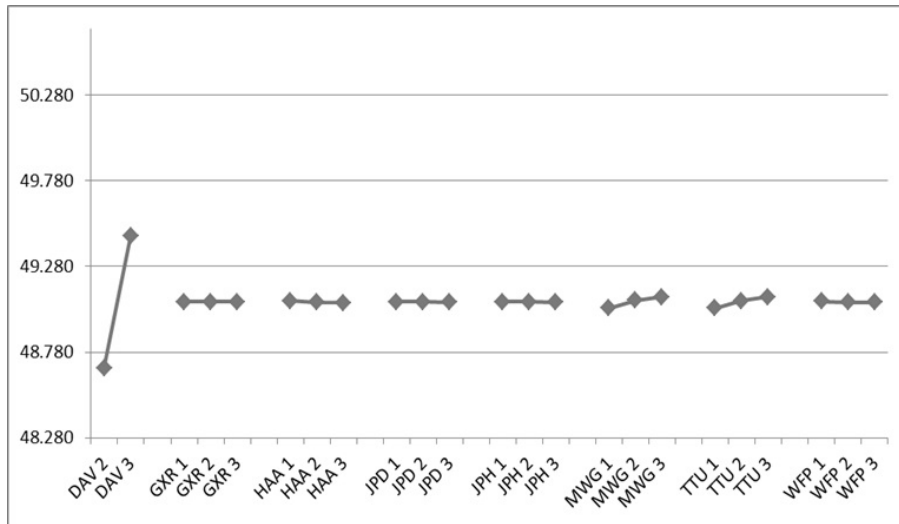


Figura 10: S/N para cada factor y nivel en la iteración 4

se sigue disminuyendo el valor usando el mismo procedimiento de la iteración anterior. Los valores utilizados en la iteración 5 se ven en la tabla 15, y los resultados se ven en la tabla 16 y en la figura 11.

	DAV	GXR	HAA	JPD	JPH	MWG	TTU	WFP
1		0.98	21.92	4.78	1.98	9.2002	-11.436	-2.46
2	62.656	0.99	22.15	4.83	2	8.9958	-11.644	-2.44
3	63.4392	1	22.37	4.87	2.02	8.8936	-11.748	-2.42

Tabla 15: Valores usados en la iteración 5

Analizando la figura 11 se observa que el valor de S/N no cambia para DAV en la iteración 5, es decir, fue el mismo para el nivel 2 y el nivel 3, por lo que se asume que ambos valores están muy cerca del valor máximo de S/N, y al ser despreciable la diferencia entre el S/N de ambos, se puede considerar que el S/N máximo en DAV se alcanza con un valor de 63.4392 lb. Para MWG y

	DAV	GXR	HAA	JPD	JPH	MWG	TTU	WFP
1		49.583	49.585	49.582	49.583	49.549	49.549	49.587
2	49.583	49.583	49.583	49.583	49.583	49.590	49.590	49.583
3	49.584	49.583	49.581	49.584	49.584	49.610	49.611	49.579
Δ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Tabla 16: Promedio de S/N para cada factor y nivel en la iteración 5

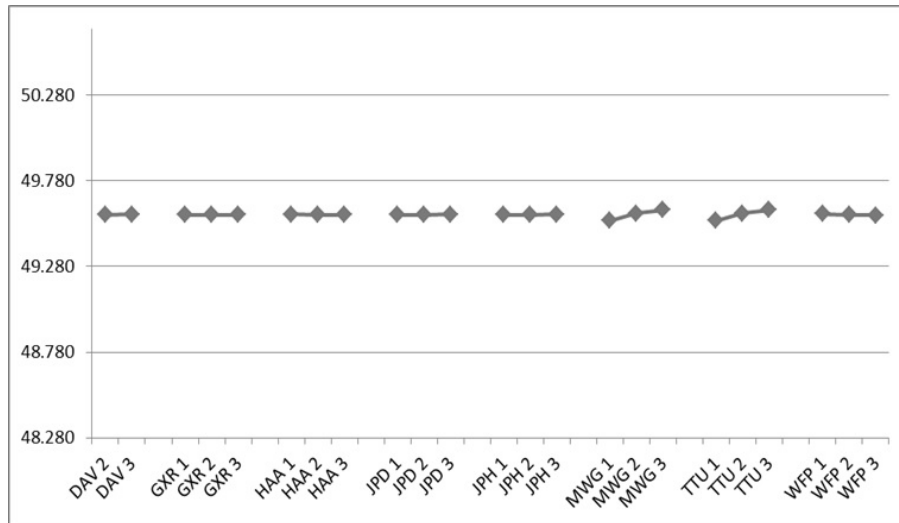


Figura 11: S/N para cada factor y nivel en la iteración 5

TTU la S/N aumentó en la iteración 5 para valores menores. En la iteración 6 se disminuye drásticamente el valor de MWG para analizar si hay un pico cercano, usando el valor menor de la iteración anterior (8.8936 lb) como nivel 1, 5 lb para el nivel 2 y 3 lb para el nivel 3. Para TTU se utilizan los mismos valores que en la iteración anterior, con el fin de analizar el efecto de MWG. Los valores utilizados en la iteración 6 se ven en la tabla 17, y los resultados en la tabla 18 y la figura 12.

	DAV	GXR	HAA	JPD	JPH	MWG	TTU	WFP
1		0.98	21.92	4.78	1.98	8.8936	-11.436	-2.46
2	62.656	0.99	22.15	4.83	2	5	-11.644	-2.44
3	63.4392	1	22.37	4.87	2.02	3	-11.748	-2.42

Tabla 17: Valores usados en la iteración 6

La S/N para MWG aumenta para los valores menores, por lo que se disminuye

	DAV	GXR	HAA	JPD	JPH	MWG	TTU	WFP
1		50.115	50.124	50.118	50.120	49.610	50.097	50.127
2	50.115	50.124	50.123	50.118	50.123	50.264	50.126	50.125
3	50.127	50.124	50.116	50.127	50.120	50.489	50.141	50.112
Δ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0

Tabla 18: Promedio de S/N para cada factor y nivel en la iteración 6

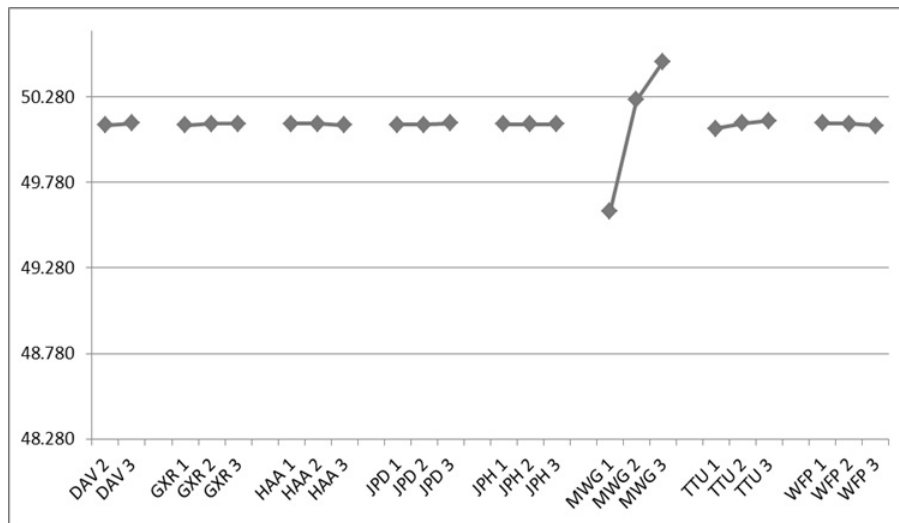


Figura 12: S/N para cada factor y nivel en la iteración 6

el valor a cero en la iteración 7 para analizar si hay algún pico en el S/N. Los valores de TTU siguen siendo los mismos de la iteración anterior. Los valores utilizados en la iteración 7 se muestran en la tabla 19 y los resultados en la tabla 20 y la figura 13.

	DAV	GXR	HAA	JPD	JPH	MWG	TTU	WFP
1		0.98	21.92	4.78	1.98	8.8936	-11.436	-2.46
2	62.656	0.99	22.15	4.83	2	5	-11.644	-2.44
3	63.4392	1	22.37	4.87	2.02	0	-11.748	-2.42

Tabla 19: Valores usados en la iteración 7

En la figura 13 se observa que MWG tiene S/N máxima en el nivel 3 (0 lb). Para comprobar si ese valor es el pico de S/N se utilizan en la iteración 8 -0.1 lb el nivel 1, cero en el nivel 2 y 0.1 lb en el nivel 3. Para TTU disminuyen los valores a -12.2 lb y -12.3 lb para los niveles 2 y 3 respectivamente. Todos los valores utilizados en la iteración 8 se ven en la tabla 21 y los resultados se

	DAV	GXR	HAA	JPD	JPH	MWG	TTU	WFP
1		50.164	50.178	50.170	50.170	49.610	50.153	50.181
2	50.165	50.177	50.175	50.170	50.178	50.264	50.177	50.179
3	50.181	50.178	50.166	50.180	50.171	50.645	50.190	50.160
Δ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0

Tabla 20: Promedio de S/N para cada factor y nivel en la iteración 7

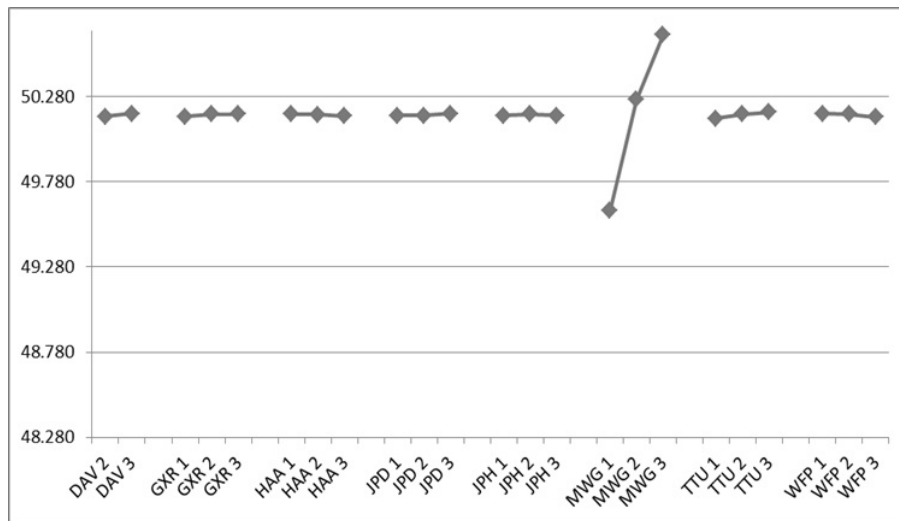


Figura 13: S/N para cada factor y nivel en la iteración 7

presentan en la tabla 22 y en la figura 14.

	DAV	GXR	HAA	JPD	JPH	MWG	TTU	WFP
1		0.98	21.92	4.78	1.98	-0.01	-11.436	-2.46
2	62.656	0.99	22.15	4.83	2	0	-12.2	-2.44
3	63.4392	1	22.37	4.87	2.02	0.01	-12.3	-2.42

Tabla 21: Valores usados en la iteración 8

En la figura 14 se puede ver que el valor de S/N para MWG es estable, y tiene su valor máximo en el nivel 2 (0 lb). La S/N en TTU también es estable y ha alcanzado su máximo en -12.3 lb. Además se observa que todos los factores son estables en esta iteración, por lo que se puede asumir que se han alcanzado los valores óptimos para cada factor y no es necesario realizar más iteraciones.

	DAV	GXR	HAA	JPD	JPH	MWG	TTU	WFP
1		50.646	50.647	50.645	50.645	50.646	50.642	50.647
2	50.627	50.646	50.646	50.646	50.646	50.646	50.648	50.646
3	50.665	50.647	50.645	50.648	50.648	50.646	50.648	50.646
Δ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Tabla 22: Promedio de S/N para cada factor y nivel en la iteración 8

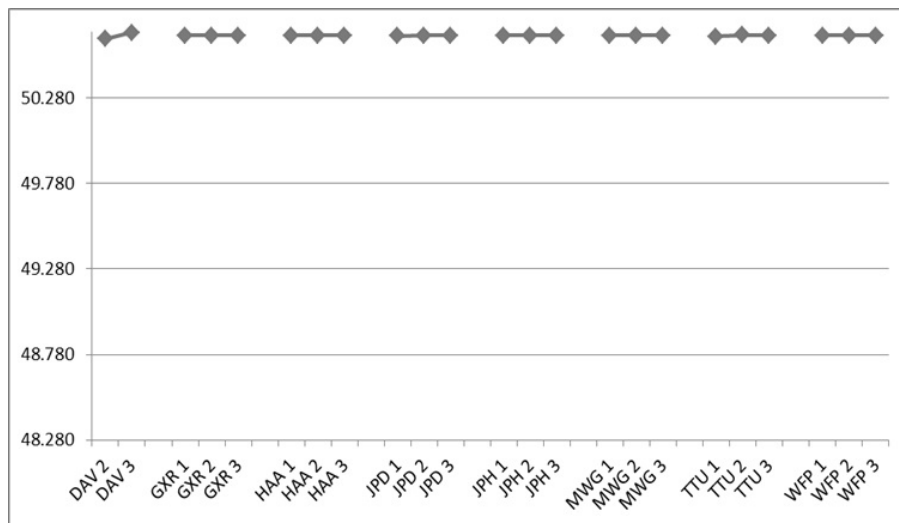


Figura 14: S/N para cada factor y nivel en la iteración 8

10.2 Regresión Multivariable

Otra herramienta que podría funcionar en este análisis es la Regresión Multivariable, la cual arroja una ecuación en la que, idealmente, aparece el peso de cada uno de los equipos opcionales. Para realizar la regresión se necesita una matriz en la que aparezcan los pesos medidos para cada uno de los 73 vehículos de la muestra en una columna y una columna para cada equipo opcional en la que se muestre su estado binario, es decir, si el vehículo tiene esa opción, esa columna mostrará 1, si no la tiene mostrará 0. La matriz se puede ver en la tabla 23. Con los datos de la matriz se programó la regresión usando Minitab y se obtuvieron la ecuación 6 y las gráficas de la figura 15:

$$Pmed = 3066.43 + 71.10DAV + 8.98GTL + 13.3HAA - 1.43MDA - 16.03MWG + 2.63REQ + 1.01RSC \quad (6)$$

En donde:

Pmed es el peso del vehículo medido en las básculas.

DAV - RSC son los códigos de los equipos opcionales.

La constante en esta ecuación (3066.43) representa el peso base sin corrección de combustible, es decir, con llenado de línea. El número que multiplica a cada variable representa el peso de cada equipo opcional. También se observa en la ecuación que sólo hay 7 de los 13 equipos opcionales que incluimos en la matriz, esto debido a que no se pudieron estimar, ya sea porque no aparecían en suficientes vehículos o porque su peso era muy bajo.

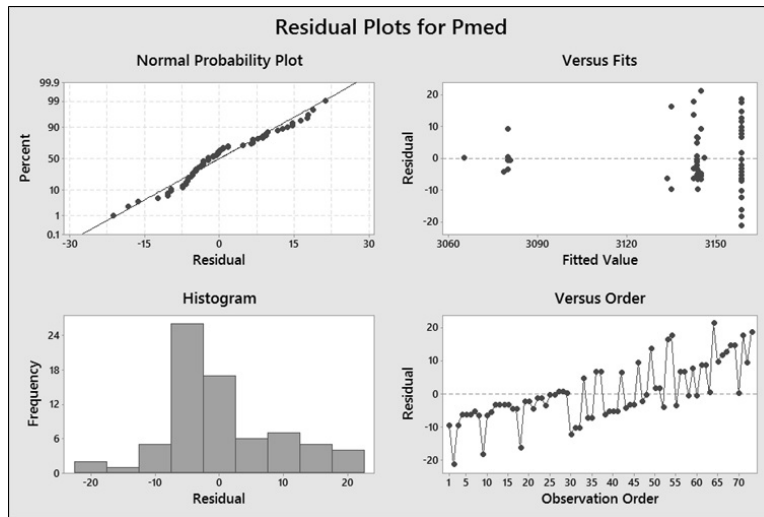


Figura 15: Gráficas de la regresión multivariable

Pmed	DAV	GTL	GXR	HAA	JPD	JPH	MDA	MWG	REQ	RSC	RSP	TTU	WFP
3125	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1
3137	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
3134	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	1	1
3127	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1
3137	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
3136	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1
3138	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
3138	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1
3140	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
3137	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	1	1
3139	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1
3140	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
3140	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
3139	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1
3139	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1
3140	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1
3140	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1
3142	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
3141	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
3141	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
3139	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	1	1
3142	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
3142	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
3140	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	1	1
3143	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
3143	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
3144	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
3144	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
3146	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3146	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
3148	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
3148	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
3148	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
3151	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
3151	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
3150	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
3150	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
3152	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
3153	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
3153	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
3150	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	1	1
3154	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
3155	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
3155	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
3154	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1
3156	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
3158	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
3156	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1
3160	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
3160	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
3074	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
3151	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1
3160	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1
3076	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3165	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
3165	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
3080	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0
3166	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
3079	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3167	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
3167	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
3080	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3166	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1
3168	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
3170	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
3171	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
3173	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
3173	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
3065	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
3176	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
3089	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3177	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0

Tabla 23: Matriz de datos para regresión multivariable

11 Resultados, Análisis e Interpretación

11.1 Transmisión Opcional

En el Anexo C se muestran la tabla de los valores utilizados y la gráfica de S/N para todas las iteraciones.

La reducción tan considerable (78.32 a 63.44 lb) del valor de peso de la transmisión opcional (DAV) sugiere que podría existir alguna inconsistencia en el peso de ese equipo opcional, por lo que se llevó a cabo una investigación para determinar el origen de ese valor. El procedimiento del área de Pesos Vehiculares de FCA consiste en que para calcular el peso de una transmisión opcional es necesario considerar todas las partes que cambian entre un vehículo equipado con la transmisión de serie y un vehículo equipado con la transmisión opcional, como podrían ser, entre otras, la palanca, la consola central, el ensamble de columna de dirección, el ensamble de motor y las flechas, componentes que se muestran en las figuras 16 y 17 incluyendo su localización en el vehículo. Haciendo este análisis se encontró que el valor actual representa únicamente la diferencia de peso entre las dos transmisiones (estándar y opcional), por lo que faltaría considerar otras partes.

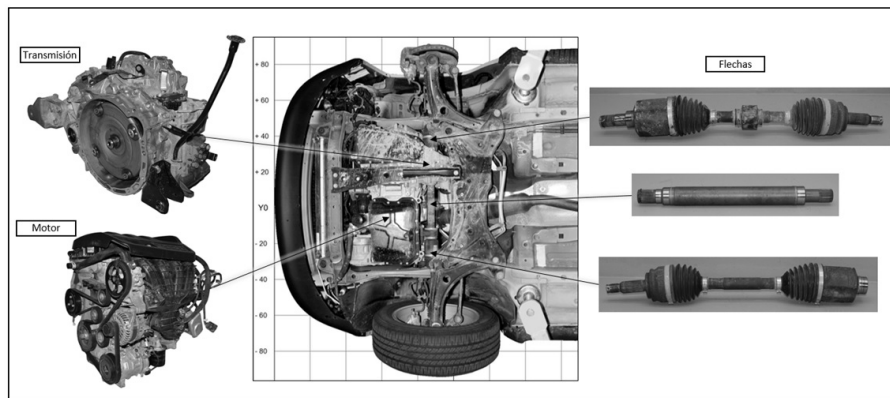


Figura 16: Esquema de motor, transmisión y flechas

Se calculó de nuevo la corrección de peso para la transmisión DAV comparando la lista de partes de dos vehículos similares, únicamente con diferente transmisión, y el resultado es 63.9 lb. Para confirmar este resultado, se pesaron en la planta de ensamble dos vehículos similares con diferente transmisión, teniendo cuidado de que estos vehículos se pesaran inmediatamente después de salir de la línea de ensamble, para que sus niveles de combustible y fluidos fueran iguales, y para garantizar que no estuvieran mojados. La diferencia de peso que se obtuvo fue de 64.5 lb, muy similar a lo obtenido en el estudio.

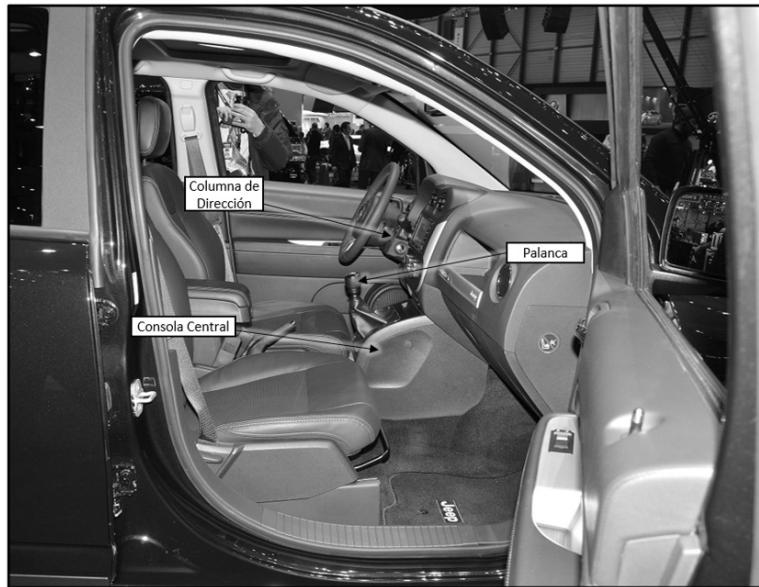


Figura 17: Esquema de interior

El siguiente paso es analizar la causa de este error. Se rastreó en el sistema al ingeniero que hizo este cálculo y la fecha, y se determinó que este ingeniero tenía poco tiempo de haber entrado al grupo de pesos en el momento del cálculo.

Al cuestionar al ingeniero se encontró que el procedimiento no era lo suficientemente claro para el caso específico de las transmisiones, por lo que se tendrá que agregar una sección al procedimiento que describa específicamente cómo calcular el peso de una transmisión opcional, y una nota en la sección de factores de corrección que haga referencia a ésta.

También de la entrevista con el ingeniero que hizo el cálculo se encontró que la actividad de revisar todos los pesos de equipos opcionales toma demasiado tiempo, ya que prácticamente se tiene que volver a calcular cada uno, y es por eso que varios de estos valores no se han revisado en mucho tiempo, inclusive desde que se hicieron los primeros análisis para el vehículo. En este punto se propone desarrollar un software que automatice parte del cálculo, para que esta actividad tome menos tiempo y así los ingenieros puedan realizarla con más frecuencia, otra medida que puede ayudar en este punto es precisamente este análisis mediante diseño de experimentos para encontrar los pesos incorrectos y poder concentrarse en calcular y confirmar únicamente los que muestren alguna inconsistencia.

11.2 Rieles de Carga Cromados

También para los rieles de carga cromados (MWG) se investigó el origen del peso actual, dado que en el análisis se obtuvo una reducción muy drástica del valor de peso (10.22 a 0 lb), y se encontró que el cálculo se hizo correctamente, es decir que se están agregando y quitando las partes correctas, e inclusive se cuenta con datos de partes que fueron pesadas físicamente en la planta, y confirman que efectivamente los rieles cromados pesan 10.22 lb, sin embargo, una revisión en el sistema de configuración del vehículo arrojó que éste incluye rieles de carga negros como equipo de serie, por lo que el peso de los rieles cromados opcionales debería ser despreciable o cero.

Se realizó una entrevista con el ingeniero que hizo el cálculo para determinar la causa raíz de este error, y se encontró que inicialmente, cuando el vehículo fue lanzado a producción, no contaba con rieles de serie, tanto los rieles negros como los cromados eran opcionales, y durante el ciclo de producción se publicó un boletín informativo en el que se especificaba el cambio de los rieles negros de opcionales a estándar. Este boletín fue recibido por el ingeniero, y las acciones que tomó fueron borrar los rieles negros de la lista de equipos opcionales en el sistema de pesos y agregar el peso de éstos al peso base del vehículo. Éstas acciones son correctas, pero no suficientes, ya que también se debió recalcular el peso de los rieles cromados.

Se analizó el procedimiento para este tipo de cambios y se encuentra que no está especificado este paso, por lo cual se tiene que agregar.

11.3 Llantas Opcionales

Para las llantas opcionales (TTU) también se encontró una diferencia considerable de peso (-10.4 a -12.2 lb, en donde los valores son negativos dado que el peso de las llantas opcionales es menor al de las llantas estándar) aunque no tan grande como en el caso de la transmisión o los rieles.

Se analizó cómo se realizó el cálculo del peso de TTU y se encontró que este cálculo sólo estaba considerando el peso de las llantas de rodaje, y no consideraba la llanta de refacción, que también cambia cuando se eligen las llantas opcionales. En la entrevista con el ingeniero responsable se encontró que al momento de realizar el cálculo, es decir, poco antes de que se lanzara el vehículo a producción, las dos llantas de refacción tenían el mismo peso en el sistema, por lo cual el cálculo era correcto, sin embargo, aproximadamente un mes después el peso de la llanta de refacción opcional fue actualizado en el sistema por el ingeniero de llantas, pero no hubo ninguna notificación al grupo de pesos, por lo que el cálculo no se actualizó.

Para evitar este tipo de situación en el futuro, se propone una notificación automática semanal desde el sistema de pesos de partes que contenga las modifi-

caciones que se realizaron durante la semana, para que los ingenieros de pesos puedan analizar la lista y determinar si se necesita actualizar alguno de los cálculos. También se propone el conectar el sistema de pesos de partes con el sistema de pesos vehiculares, para que las actualizaciones se comuniquen en forma directa y los cálculos se actualicen automáticamente, sin embargo ésta última propuesta podría tomar mucho tiempo para ser aprobada e implementada.

Después de confirmar el valor de peso de ambas llantas de refacción pesando partes físicamente en las instalaciones del proveedor, se realizó el cálculo de peso para TTU tomando en cuenta el valor actualizado de la llanta de refacción y se obtuvo un valor de -12.0 lb, muy cercano a lo obtenido en el estudio.

En el Anexo B se incluyen imágenes de los 3 equipos opcionales mencionados en esta sección.

11.4 Análisis con Valores Actualizados

Finalmente con los valores de peso corregidos para estos tres equipos opcionales, se calculó de nuevo el peso base para cada vehículo de la muestra (ecuación 2) y se realizó de nuevo el análisis estadístico de toda la muestra. El resultado se presenta en la figura 18, la desviación estándar bajó a 9.1 lb, y la media se incrementó a 3102.3 lb, valor que es muy cercano al obtenido al pesar los 10 vehículos en la planta de ensamble (3103 lb). También se observa que la distribución de datos tiene una mejora respecto a la distribución inicial, y si se analiza la caja y bigotes de la figura 18 se observa una caja más pequeña con bigotes más simétricos.

11.5 Limitaciones de la Metodología

Esta metodología demostró ser aplicable al problema en cuestión, sin embargo existen algunas limitaciones que pueden evitar que se obtengan resultados satisfactorios.

Una de estas limitaciones es el tamaño de la muestra, en este análisis se tenía una muestra de 73 vehículos pesados, es posible que si la muestra es considerablemente inferior a este número no se obtengan buenos resultados. También los factores de ruido, como son el nivel de combustible y el agua en el vehículo, podrían ocasionar que los resultados no sean determinantes si es que estos factores de ruido aparecieran en mayor medida y en la mayoría de los vehículos pesados. Finalmente observamos que los resultados del análisis necesitan ser investigados e interpretados para poder determinar si efectivamente existe algún error en el peso de los equipos opcionales, sin esta interpretación, los resultados no se deben considerar concluyentes.

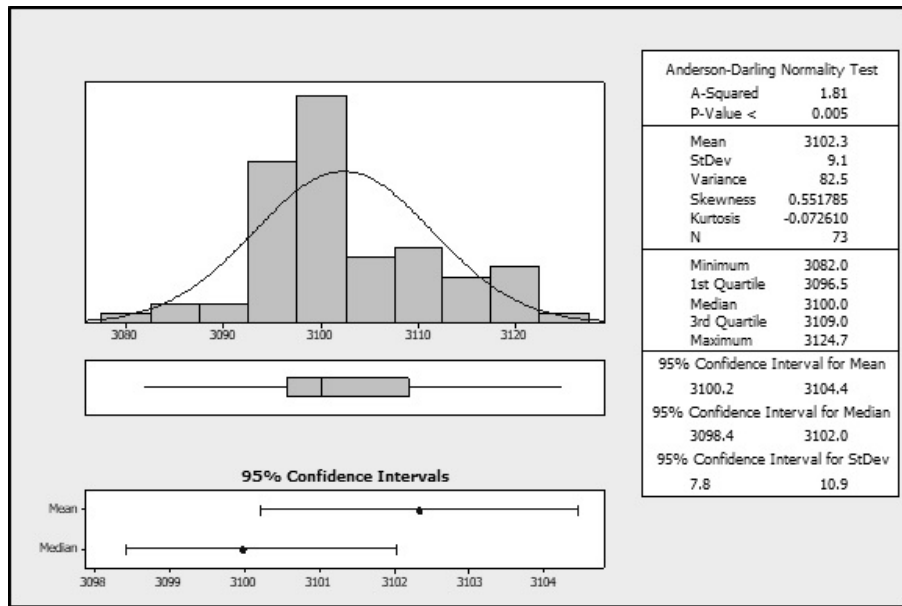


Figura 18: Distribución final

11.6 Regresión Multivariable

Los resultados que arroja la regresión en la ecuación no son muy similares a los del diseño de experimentos, por ejemplo, para DAV la ecuación muestra 71.10, cuando el diseño de experimentos arrojó 63.44, para MWG la ecuación muestra -16.03 y el diseño de experimentos arrojó 0, y para TTU la regresión no pudo evaluarlo y el diseño de experimentos arrojó -12.2. Esta diferencia en los resultados se debe a que en la regresión no se pudieron evaluar todos los equipos opcionales, y por lo tanto, el peso de estas opciones se tiene que repartir entre las opciones que sí se evaluaron para ajustar la ecuación al resultado requerido.

Por lo anterior, se concluye que la regresión multivariable no aporta suficiente información para determinar si existen errores en los pesos de opciones. Es posible que en una muestra en la que todas las opciones aparezcan muchas veces, esta pueda ser una herramienta útil.

12 Conclusiones

El estudio permitió identificar 3 valores de peso de equipos opcionales que eran incorrectos y además se obtuvo un estimado de esos valores que era mucho más cercano al valor confirmado.

Al obtener valores correctos para esos 3 equipos pesando partes físicamente y usarlos en el análisis estadístico se obtuvo una media de 3102.3 lb, un valor muy cercano al que se registró al pesar los 10 vehículos en la planta, y la desviación estándar también se redujo a 9.1 lb, además de que la distribución de los datos mejoró con respecto a la distribución inicial. En la figura 19 se comparan las distribuciones inicial y final, así como el valor obtenido al pesar los 10 vehículos.

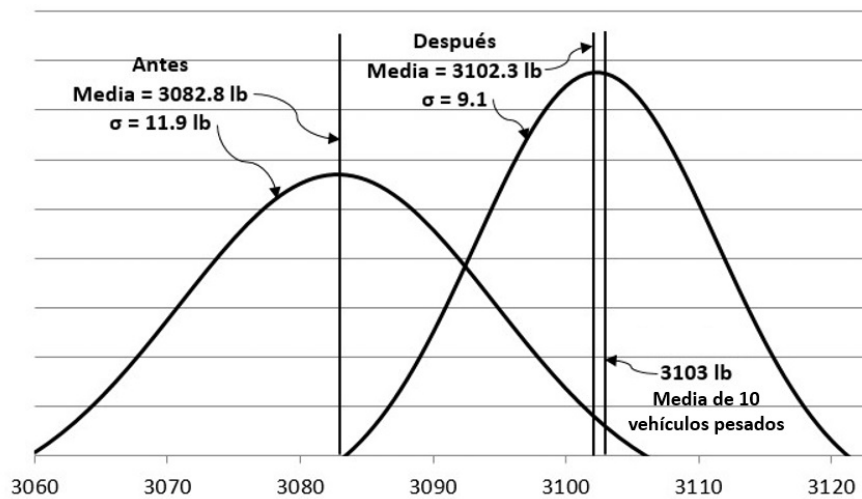


Figura 19: Comparación de distribución inicial y final

El resultado confirma la hipótesis del trabajo, dado que se encontró que tres de las correcciones de peso de equipos opcionales eran incorrectas.

Mediante el uso de esta herramienta de análisis se logran identificar valores incorrectos de peso, para así poder destinar los recursos a confirmar únicamente los pesos de esos equipos y no gastar esos recursos confirmando los pesos de todos los equipos opcionales.

Ésta herramienta se puede utilizar en procesos similares, en donde se dude de las correcciones aplicadas para normalizar los valores de un análisis estadístico, y de esta forma, detectar inconsistencias y emitir mejores estimaciones.

El proceso utilizado en este caso, se implementó como una mejor práctica para detectar inconsistencias en las correcciones que influyen en la variabilidad del análisis estadístico de peso base dentro del grupo de Ingeniería de Pesos Vehiculares en FCA. El formato interno de implementación del proyecto se muestra en el Anexo A.

13 Sugerencias para Trabajos Futuros

Tomando el mismo proceso de análisis de pesos vehiculares, se sabe que hay otros factores que afectan la variabilidad en la muestra, como el nivel de combustible al pesar el vehículo y si el vehículo estaba mojado o cubierto de nieve cuando se pesó. Por lo tanto, el siguiente paso sería enfocarse en alguno de estos factores para reducir aún más la variabilidad en este proceso.


Un enfoque diferente que se puede dar a este mismo problema es el de la “Minería de Datos”. Teniendo información disponible del peso y la configuración de cada vehículo, se puede diseñar un sistema que busque patrones para generar información útil, por ejemplo, el peso de cierto equipo opcional se podría determinar si se pesan cierto número de vehículos con y sin dicho equipo, pero para esto se necesita analizar y procesar mucha información. Una herramienta de reconocimiento de patrones como el “T method” también se puede aplicar a este problema, ya que nos ayudan a identificar cuáles factores son los que influyen más en cierto resultado.

Bibliografía

- 40 cfr § 86.1803-01.* (2019). U.S. Government Publishing Office. Retrieved 2019-07-01, from <https://www.govinfo.gov/app/details/CFR-2019-title40-vol21/CFR-2019-title40-vol21-sec86-1803-01>
- Alternative fuels data center.* (2013). U.S. Department of Energy. Retrieved 2013-09-01, from <https://afdc.energy.gov/data/widgets/10562>
- Análisis de regresión múltiple.* (2016). Universidad de Alicante. Retrieved 2020-9-18, from <https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/8143/1/Regresion%20MUTIPLE.pdf>
- Bolon, K. (2017). *Ghg standards for light duty vehicles.* U.S. Environmental Protection Agency. Retrieved 2017-05-02, from <https://www.epa.gov/sites/production/files/2017-06/documents/spe-auto-epcon-2017-epa-2017-05-02.pdf>
- Cafe public information center.* (2019). U.S. National Highway Traffic Safety Administration. Retrieved 2019-10-11, from https://one.nhtsa.gov/caffe_pic/CAFE.PIC_home.htm
- Clean air act vehicle and engine enforcement case resolutions.* (2018). U.S. Environmental Protection Agency. Retrieved 2019-12-19, from <https://www.epa.gov/enforcement/clean-air-act-vehicle-and-engine-enforcement-case-resolutions>
- Co2 passenger car standards curves.* (2017). United States Environmental Protection Agency. Retrieved 2019-11-10, from <https://19january2017snapshot.epa.gov/sites/production/files/2017-01/documents/420r17001.pdf>
- Corporate average fuel economy cafe standards.* (2014). U.S. Department of Transportation. Retrieved 2014-08-11, from <https://www.transportation.gov/mission/sustainability/corporate-average-fuel-economy-cafe-standards>
- Diseño de experimentos: Modelos con varios factores.* (2017). Universidad Autónoma de Madrid. Retrieved 2020-9-18, from <http://verso.mat.uam.es/~joser.berrendero/cursos/adatos/ad2-tema2-12.pdf>
- Epa: Greenhouse gases threaten public health and the environment.* (2009). U.S. Environmental Protection Agency. Retrieved 2009-12-07, from https://archive.epa.gov/epapages/newsroom_archive/newsreleases/08d11a451131bca585257685005bf252.html
- Fiat chrysler automobiles n.v. annual report and form 20-f for the year*

- ended december 31, 2019.* (2019). Fiat Chrysler Automobiles N.V. Retrieved 2019-12-31, from https://www.fcagroup.com/en-US/investors/financial_regulatory/financial_reports/files/FCA_NV_2019_Annual_Report.pdf
- Footprint diagram.* (2016). Energy Institute Blog, UC Berkeley. Retrieved 2020-04-25, from <https://energyathaas.wordpress.com/2016/01/25/new-cafe-standards-the-good-the-bad-and-the-ugly/>
- How vehicles are tested.* (2018). U.S. Environmental Protection Agency. Retrieved 2018-09-10, from https://www.fueleconomy.gov/feg/how_tested.shtml
- Hyundai and kia clean air act settlement.* (2018). U.S. Environmental Protection Agency. Retrieved 2017-02-09, from <https://www.epa.gov/enforcement/hyundai-and-kia-clean-air-act-settlement>
- Manufacturer footprint and standards for model year 2017.* (2019). United States Environmental Protection Agency. Retrieved 2019-11-15, from <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/P100W5C2.PDF?Dockey=P100W5C2.PDF>
- Pizdek, T. (2018). *The six sigma handbook*. McGraw-Hill Education.
- Regulations for greenhouse gas emissions from passenger cars and trucks.* (2019). U.S. Environmental Protection Agency. Retrieved 2019-09-19, from <https://www.epa.gov/regulations-emissions-vehicles-and-engines/regulations-greenhouse-gas-emissions-passenger-cars-and#regulations>
- Six sigma: 3.4 defects per million.* (2014). Canadian Metalworking. Retrieved 2020-9-18, from <https://www.canadianmetalworking.com/canadianmetalworking/article/measurement/approaching-perfection>
- Vehicle fuel efficiency cafe requirements by year.* (2013). U.S. Department of Energy. Retrieved 2020-05-12, from <https://afdc.energy.gov/data/widgets/10562>
- Wu, Y. (2000). *Taguchi methods for robust design*. American Society of Mechanical Engineers.

14 Anexo A: Hoja de Implementación del Proyecto



Title: Production Weight Audit Optimization
Leader: Jesús Alfredo Martínez Ojeda

Number: [Redacted]
MBB: [Redacted]

Type: L_OV

Identify System (picture / sketch):

Weight of vehicles obtained at the plant have to be corrected in order to make statistical analysis and validate estimated weight of each model. This correction includes removing optional equipment weight, which's accuracy depends on the part weights reported by each design/release engineer. Unaccuracy in part weights leads to high variability in vehicle corrected weights. This project's purpose is to reduce that variability assuming that the option weights can be improved.

Background / Issue / Scope:

In Scope:

- Optional Eq. Weights
- 2015 MK TE74 ECN

Out of Scope:

- Fuel Weight Correction
- Water or snow

Constraints:

- Logical values for each option

Ideal Function / P-Diagram / Noise Strategy / Control Factors:

Corrected Base Weight = Weight From Scales + Correction to Equipment Full Tank

Optional
Correction to -
Equipment
Weight

Control Factors

- DAV - CVT Transmission Weight Δ
- GXR - Keyless Entry Weight Δ
- HAA - Air Conditioning Weight Δ
- JPD - Power Windows Weight Δ
- JPH - Power Locks Weight Δ
- MW6 - Black Roof Rails Weight Δ
- TTU - P215/60R17 BSW Tires Weight Δ
- WFP - 17x6.5 Black Al Wheels Weight Δ

System

Base Weight Correction

↑

Output Response

Corrected Base Weight

Noise Factors

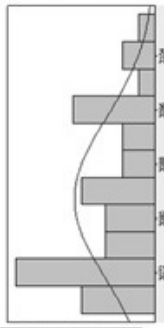
Fuel Amount on Vehicle

Water or Snow on Vehicle

↑

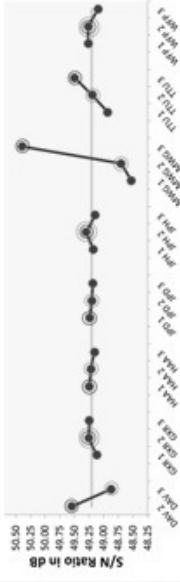
Failure Modes

High Variability



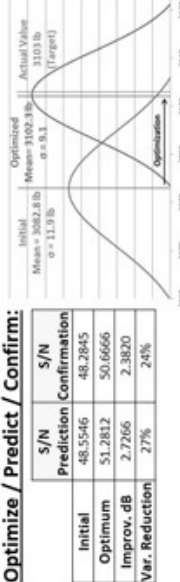
Data Analysis: Response Tables for S/N and Beta:

After 8 Iterations Factorial Effects: S/N Ratio Initial Value Optimal



Optimize / Predict / Confirm:

	S/N	S/N
Initial	48.5546	48.2845
Prediction	51.2812	50.6666
Optimum	2.7266	2.3820
Improv. dB	27%	24%



Project Benefits and Implementation:

Benefit Type	Metric Description	Units	Target	Before Project	After Project
Performance	Weight audit Mean Shift from target	lb	<= +/-10	-20	-0.7
Performance	Weight audit standard deviation (lb)	lb	<10	11.9	9.1
Best practice	Process to analyze option weight accuracy				
Engineering efficiency	Rework hours due to inaccuracy	hr	0	8	0

Implementation

Generate a process for weight estimation (DFSS approach, template)

Make it best practice for future vehicle models

15 Anexo B: Fotografías de los Equipos Opcionales



Figura 20: Transmisión de serie



Figura 21: Transmisión opcional



Figura 22: Llanta de serie



Figura 23: Llanta opcional



Figura 24: Rieles de carga cromados

16 Anexo C: Tabla de Valores y Gráfica de S/N para 8 Iteraciones

Iteración	Prueba	DAV	GXR	HAA	JPD	JPH	MWG	TTU	WFP
1	1		0.98	21.92	4.78	1.98	10.12	-10.5	-2.46
	2	78.32	0.99	22.15	4.83	2	10.22	-10.4	-2.44
	3	77.54	1	22.37	4.87	2.02	10.32	-10.3	-2.42
2	1		0.98	21.92	4.78	1.98	10.12	-10.5	-2.46
	2	78.32	0.99	22.15	4.83	2	9.9156	-10.708	-2.44
	3	70.488	1	22.37	4.87	2.02	9.8134	-10.812	-2.42
3	1		0.98	21.92	4.78	1.98	9.8134	-10.812	-2.46
	2	78.32	0.99	22.15	4.83	2	9.609	-11.02	-2.44
	3	66.572	1	22.37	4.87	2.02	9.5068	-11.124	-2.42
4	1		0.98	21.92	4.78	1.98	9.5068	-11.124	-2.46
	2	78.32	0.99	22.15	4.83	2	9.3024	-11.332	-2.44
	3	62.656	1	22.37	4.87	2.02	9.2002	-11.436	-2.42
5	1		0.98	21.92	4.78	1.98	9.2002	-11.436	-2.46
	2	62.656	0.99	22.15	4.83	2	8.9958	-11.644	-2.44
	3	63.4392	1	22.37	4.87	2.02	8.8936	-11.748	-2.42
6	1		0.98	21.92	4.78	1.98	8.8936	-11.436	-2.46
	2	62.656	0.99	22.15	4.83	2	5	-11.644	-2.44
	3	63.4392	1	22.37	4.87	2.02	3	-11.748	-2.42
7	1		0.98	21.92	4.78	1.98	8.8936	-11.436	-2.46
	2	62.656	0.99	22.15	4.83	2	5	-11.644	-2.44
	3	63.4392	1	22.37	4.87	2.02	0	-11.748	-2.42
8	1		0.98	21.92	4.78	1.98	-0.01	-11.436	-2.46
	2	62.656	0.99	22.15	4.83	2	0	-12.2	-2.44
	3	63.4392	1	22.37	4.87	2.02	0.01	-12.3	-2.42

Tabla 24: Valores utilizados en las iteraciones 1 a 8

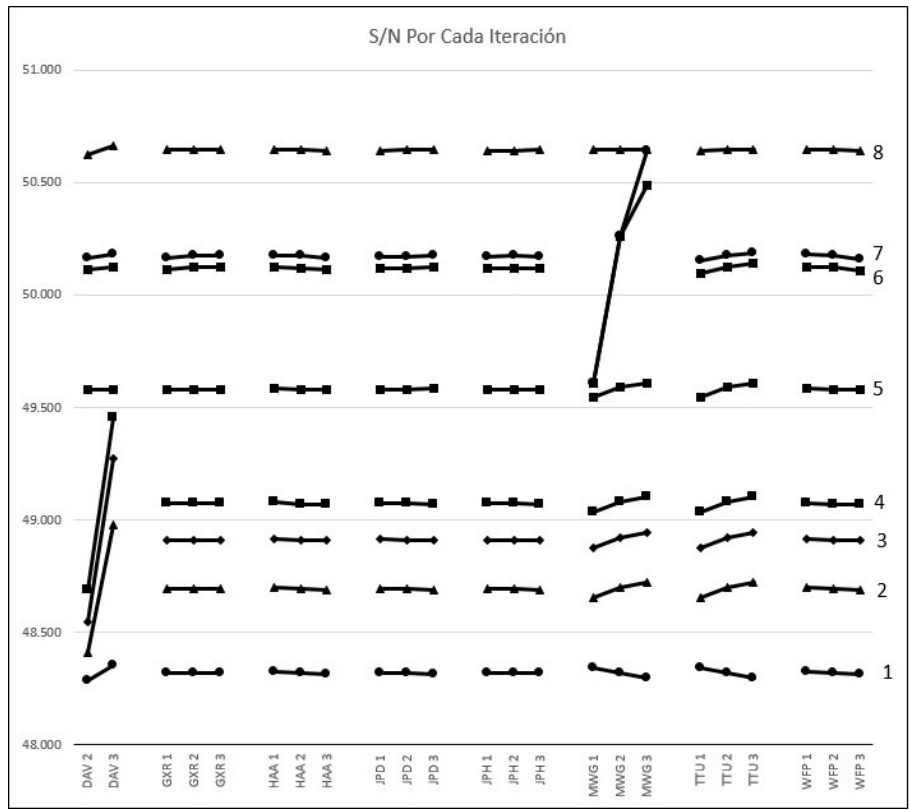


Figura 25: S/N para las iteraciones 1 a 8