

## IMPLEMENTACIÓN DE TESTER PARA PRUEBA DE CARGA DE MOTORES DE ARRANQUE DE SERVICIO PESADO

### TESTER IMPLEMENTATION FOR LOAD TEST HEAVY DUTY STARTER MOTORS

Palos-Gómez R.<sup>1,3, \*</sup>, Neri-Guzmán J.C.<sup>2</sup>, Mora-Lizcano J.M.<sup>3</sup>, García-Ulín M.E.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> CIATEQ A.C. Centro Público de Investigación de Querétaro. Av. Manantiales No.23-A Parque Industrial Bernardo Quintana, CP 76246. Campus San Luis Potosí, CP 78395;

<sup>2</sup> Universidad Politécnica de San Luis Potosí. CP 78363

<sup>3</sup> BorgWarner PDS. CP 78395

<sup>4</sup> División Académica de Ingeniería y Arquitectura DAIA. CP 86690  
rpalos@ borgwarner.com

#### RESUMEN

La industria automotriz es una de las más competitivas a nivel internacional en la cual se distinguen la innovación, las prácticas de clase mundial y el desarrollo tecnológico constantes. En México representa el 20 % de la producción manufacturera y el país es actualmente el séptimo productor más importante del mundo (2020).

Esta investigación aborda el caso de la empresa BorgWarner PDS San Luis Potosí, México, proveedora internacional para fabricantes de equipo original (OEM's), para mostrar que es posible

instalar un laboratorio propio que permita realizar pruebas de caracterización, desempeño, durabilidad y validación, que anteriormente se realizaban en Estados Unidos, lo que representa un caso de éxito de transferencia tecnológica y le permite a la planta ser más independiente y consolidar ventajas competitivas y de liderazgo internacional con base en su personal e infraestructura propia.

El artículo describe el proceso de implementación de un tester de carga para motores de arranque de rango medio y pesado, con el objeto de optimizar el proceso de análisis de characteristics

eléctricas y mecánicas y realizar pruebas de caracterización, desempeño, durabilidad, así como validaciones y simulaciones de productos.

La instalación del laboratorio logró una reducción de costos por identificación temprana de fallas, reducción en los tiempos de respuesta a clientes, ahorros por reducción de scrap, reducción en los tiempos de implementación de acciones correctivas, lo que generó ahorros anuales superiores a los 700 000 USD. Asimismo, los resultados e indicadores obtenidos en el laboratorio local son tan eficientes como los de su contraparte en USA

**Palabras clave:** BorgWarner PDS; Industria automotriz; Laboratorio de validación; Transferencia tecnológica

## **ABSTRACT**

Automotive industry is one of the most competitive worldwide, where innovation, world-class practices and technological

development are a constant. In Mexico, represents 20 % of manufacturing production, and is currently the 7th most important world's automotive producer (2020).

This research shows the case of BorgWarner PDS San Luis Potosí, México plant, worldwide supplier for Original Equipment Manufacturers (OEM's), in order to show that is possible to implement an own-self laboratory, that allows to perform characterization, performance, durability and validation tests, that used to be done in the United States. That represents a success case in regards of technology transfer, and allows to the plant be more independent, based on its personnel and own infrastructure.

The present article describes the implementation process of a load tester for medium and heavy-duty starter motors, with the purpose of optimize the analysis process of electric and mechanic

characteristics, and to be able to perform characterization, performance, durability tests, as well as validations and simulations of the products.

Laboratory implementation achieved a cost reduction due to early failures identification, decrease in time to respond to customers, savings due to scrap reduction, time reduction in corrective action's implementation, which generated savings higher than 700 000 USD. Likewise, indicators and results obtained in the local lab were as efficient as in the USA's laboratory.

**Keywords** Automotive industry; BorgWarner PDS; Technology transfer; Validation laboratory.

## INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la cantidad de vehículos en circulación se ha incrementado exponencialmente y se observa una gran variedad de marcas,

tipos, aplicaciones y tamaño de los vehículos. Los clientes se han vuelto más exigentes, y requieren un tiempo de respuesta inmediata por parte de sus proveedores para mantener la competitividad de las empresas. La necesidad de adaptar productos actuales y desarrollar nuevas tecnologías para mejorar el desempeño del vehículo en cualquier clima, condición de trabajo, altitud, operaciones difíciles, entre otras; representa un elemento clave para mantener e incrementar un liderazgo global.

BorgWarner, siendo un socio comercial de confianza para los fabricantes de equipo original (OEM's) líderes a nivel mundial, cuya cobertura incluye aplicaciones ligeras, así como vehículos de rango mediano y pesado, agricultura, aplicaciones fuera de carretera, construcción, minería, y servicio postventa, es una empresa internacional líder en tecnologías para sistemas de

combustión, híbridos y eléctricos, que busca en todas sus áreas y plantas industriales mantener un sólido posicionamiento alrededor del mundo.

La planta de manufactura de BorgWarner en San Luis Potosí, produce más de 2.7 millones de unidades anualmente, incluyendo motores de arranque, alternadores y sus componentes. Tiene la capacidad para probar todas y cada una de las partes que produce, de acuerdo con sus características de diseño; tanto mecánicas como eléctricas, a fin de asegurar el mejor desempeño de los productos en los vehículos de los diferentes clientes. Sin embargo, para realizar una caracterización específica, creando condiciones particulares de operación, tales como número de arranques, temperatura, humedad, voltaje, corriente aplicada, tiempo de prueba, durabilidad, seleccionar un motor de combustión en específico, etc.; se envían las muestras al laboratorio de

ingeniería localizado en Indiana, USA; donde se procesan requerimientos de diferentes plantas de BorgWarner, como Estados Unidos, México, Brasil, y eventualmente de otras regiones. La prioridad en las pruebas y en el uso de los equipos es otorgada considerando la capacidad del laboratorio, el nivel de urgencia del cliente, nuevos lanzamientos, etc. En algunas ocasiones el tiempo de respuesta puede tomar un tiempo considerable, lo cual genera costos adicionales como gasto en envío de piezas y demoras en la implementación de acciones correctivas y/o mejoras en el proceso, las cuales se derivan de los resultados obtenidos en alguna prueba específica realizada en el laboratorio.

Por esta razón, la planta de BorgWarner San Luis Potosí bajo principios de responsabilidad y liderazgo local, decidió llevar a cabo una iniciativa para implementar un laboratorio de pruebas, con el propósito de mejorar los tiempos de

respuesta hacia los clientes externos e internos, y complementar el alcance del laboratorio de garantías. Como resultado de esta implementación, la planta obtuvo ahorros significativos, derivados de tiempos de respuesta más rápidos en la implementación de acciones preventivas y correctivas, además de la eliminación de costos de envío de piezas para pruebas de ingeniería y validación de unidades. Otra ventaja significativa es la comunicación más eficiente entre el laboratorio de validación y la planta de manufactura, y el 100 % de disponibilidad del laboratorio para los requerimientos de SLP, tanto para la producción actual como para los nuevos proyectos.

Los productos eléctricos rotativos que se manufacturan en la planta de BorgWarner PDS San Luis Potosí incluyen motores de arranque y alternadores para servicio ligero, mediano y servicio pesado. Estos componentes son diseñados en su mayoría en los centros de investigación,

desarrollo y pruebas de ingeniería de Estados Unidos, considerando todos los requerimientos tecnológicos, de desempeño y de durabilidad establecidos por los diferentes clientes alrededor del mundo, con una visión de consumo eficiente de energía por medio de productos de alta eficiencia.

La planta de manufactura ubicada en San Luis Potosí cuenta con más de 100 equipos de prueba, únicamente para evaluar características eléctricas y mecánicas tanto de motores de arranque y alternadores, como sus correspondientes subensambles; estos equipos evalúan la totalidad del material que se fabrica en todas las celdas de producción, en las diferentes etapas de los diferentes procesos de manufactura. Adicionalmente, la planta cuenta con los equipos destinados a realizar pruebas específicas bajo condiciones controladas, como pueden ser temperatura, presión, dureza, resistencia mecánica, etc., estos

equipos son un soporte auxiliar en las validaciones y en el mismo proceso de manufactura. Para personalizar las pruebas y para realizar pruebas de vida, se seleccionan determinadas muestras de acuerdo con un programa establecido de validaciones (el cual ya se encuentra definido dentro del Plan de Control de Proceso) y se envían al centro de ingeniería en Estados Unidos, el cual analiza muestras provenientes de diversas plantas de manufactura de la división, tales como México y Brasil. Dependiendo del calendario ya definido y de las prioridades que pudieran indicarse en el orden de las pruebas (las cuales pueden modificarse si existiera algún reclamo de cliente o el análisis urgente de material para nuevos lanzamientos de producto), éstas pueden tomar varios días únicamente para ser programadas, adicional es el tiempo del envío y transporte de piezas. Al concluir las pruebas las piezas son retornadas si son

requeridas. Es importante considerar que la evaluación de algunos parámetros puede tomar semanas por la naturaleza de las propias características eléctricas, por ejemplo, el número de ciclos que un motor de arranque trabaja continuamente antes de presentar alguna falla, el cual, en algunos modelos puede llegar hasta 500 000 ciclos de arranque, que son efectuados en al menos cuatro semanas de operación continua.

Casi la totalidad de las pruebas eléctricas y funcionales para validaciones de producto, tales como caracterización, durabilidad, desempeño, pruebas de vida, etc., son realizadas en el centro de ingeniería ubicado en las instalaciones de Indiana, USA. Cabe destacar que el 100 % de los productos que son manufacturados en la planta de San Luis Potosí, es probado funcionalmente para asegurar que cumplan con las características eléctricas y mecánicas que indica el diseño. Sin embargo, para realizar

validaciones y simulaciones de los productos, personalizando condiciones de operación, se determinó que debían de enviarse las muestras al laboratorio localizado en USA, ya que en este centro de ingeniería únicamente se realizan pruebas y caracterizaciones (no se manufacturan los productos)

Actualmente, la planta de BorgWarner PDS San Luis Potosí no cuenta con un laboratorio exclusivo para realizar pruebas de caracterización, desempeño y durabilidad, teniendo que enviar a analizar los productos al laboratorio ubicado en el centro de tecnología ubicado en Indiana, USA. Todas las celdas de manufactura tienen los probadores requeridos de acuerdo con las especificaciones de producto y de diseño. No obstante, estos equipos se encuentran operando la mayor parte del tiempo cubriendo los requerimientos y las demandas de los clientes, por lo que es muy complicado disponer de tiempo para realizar alguna

caracterización o probar con distintos parámetros para evaluar determinadas condiciones, tanto eléctricas como mecánicas.

El tiempo dedicado a las pruebas eléctricas y funcionales para validaciones de producto, desde que se genera una orden en sistema, hasta que se recibe el resultado de Estados Unidos, provoca tiempos muertos y costos de implementación de acciones correctivas, incluyendo la reposición de piezas, cuando el cliente requiere el retorno de la misma después de terminado el análisis.

Por medio de la implementación del laboratorio de validación en la planta de manufactura ubicada en San Luis Potosí, se pretende evaluar en tiempo real algunas de las características eléctricas, mecánicas y de desempeño que son críticas para la óptima operación tanto de motores de arranque como de alternadores de servicio ligero, mediano y pesado. De esta forma se podrán tomar en

menor tiempo decisiones que impacten a las celdas de manufactura y a la planeación de materiales y programación de la producción, lo cual representará un ahorro significativo para la organización, ya que los tiempos muertos por estos conceptos se verán reducidos significativamente. Además, se podrá proporcionar respuestas en menor tiempo a los clientes, y demostrar amplia cobertura y capacidad de análisis para los nuevos proyectos de la planta de BorgWarner SLP.

Otra de las ventajas derivadas de la implementación del laboratorio de validaciones, es que se podrán realizar análisis a distintos parámetros de operación, lo que permitirá a la planta de manufactura de SLP tener influencia en algunas especificaciones de diseño, al generar una simbiosis más eficiente entre las áreas de diseño, producto y manufactura, ya que anteriormente la responsabilidad de diseño recaía

únicamente en el área de ingeniería de USA, y la responsabilidad de manufactura correspondía a su contraparte en México. Además, se complementará el análisis en el proceso de garantías, ya que la planta tendrá -además del laboratorio actual de garantías-, la administración del laboratorio de validaciones y simulación, disminuyendo los tiempos de respuesta, adicionalmente el análisis será efectuado por el mismo equipo de SLP, quien realizará el análisis tanto mecánico como eléctrico de las unidades que son reportadas como garantías por los diferentes clientes alrededor del mundo, sin la necesidad de tener que enviar las piezas al laboratorio ubicado en USA si se requiriera evaluar algún parámetro adicional.

Cabe mencionar, que a pesar de que con la implementación del laboratorio de validaciones y simulación se integrarán diversos equipos, los cuales evaluarán características eléctricas, mecánicas, así

como de desempeño y durabilidad de todas las familias de productos que actualmente produce la planta de SLP, este artículo se enfoca únicamente en el tester de carga que evaluará motores de arranque para servicio pesado.

## **METODOLOGÍA**

Esta investigación expone el caso de estudio de la empresa BorgWarner PDS en San Luis Potosí para la implementación de un tester de carga para motores de arranque de rango medio y pesado, con el objetivo de optimizar el proceso de análisis de características eléctrico-mecánicas de los motores de arranque de servicio pesado manufacturados en esta planta, que coadyuve a consolidar un laboratorio de validación. A fin de mantener una estandarización se utilizó como guía la norma ISO 17025, que contempla los requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración.

El estudio permite comprobar que con la implementación del probador eléctrico (tester) para pruebas de carga en motores de arranque relacionados con el servicio mediano y pesado, es posible reducir el tiempo y costo de realización de las pruebas, así como la evaluación de características eléctricas para de esta forma mejorar la atención al cliente.

La instrumentación del tester contempló tres aspectos específicos:

1. Implementar el probador eléctrico (tester) para realizar pruebas de carga en motores de arranque relacionados con el servicio pesado en el laboratorio de SLP.
2. Documentar los estándares de operación y verificación de las pruebas para las características eléctricas en motores de arranque para servicio pesado a través de los instructivos de trabajo y de las normas correspondientes.
3. Demostrar que los análisis de repetibilidad y reproducibilidad del equipo son similares a los que ya se encuentran

en operación en el laboratorio de investigación y desarrollo en USA.

Los equipos instalados en el laboratorio se analizaron en tres áreas clave, considerando las características de diseño, así como el funcionamiento de los componentes, tanto de forma individual como siendo parte del sistema eléctrico, y tomando en cuenta las especificaciones y características de los productos que son manufacturados por la planta de BorgWarner PDS SLP, de acuerdo al manual de aplicaciones de motores de arranque y alternadores (Fuente: Delco Remy Heavy Duty Systems Applications Manual).

**Caracterización:** Verifica la funcionalidad básica de la unidad bajo una prueba y proporciona una mejor comprensión de las características de los subcomponentes que pudieran afectar el rendimiento.

**Desempeño:** Evaluación de generación de corriente (para el caso de alternadores) o

torque (caso de motores de arranque) de la unidad bajo ciertas condiciones.

**Durabilidad:** Evaluar la vida útil de los componentes dentro del ensamble para analizar tanto la confiabilidad como la garantía.

Además, los equipos instalados en el laboratorio pueden ser utilizados por el área de ingeniería de manufactura, de producto o aplicaciones, para detectar problemas on-site (en sitio), y poder verificar además la calidad de componentes que suministran los proveedores, lo cual genera una reducción de costos por el menor tiempo de respuesta.

Un equipo especializado fue formado para evaluar las diferentes alternativas y así adquirir el mejor equipo para la evaluación de cada característica definida. Ingenieros de prueba del centro técnico en Indiana y de SLP, así como analistas de garantías e ingenieros de producto y de aplicaciones estudiaron los equipos existentes en el

centro de ingeniería de USA – considerando que este laboratorio pudiera tener una saturación de requerimientos y por ende, falta de capacidad para realizar la validación en los cambios de manufactura, cambios en diseño, auditorías de producto y análisis aleatorio de controles de producción.

Una vez congelado el diseño de los equipos y emitida la orden de compra correspondiente, los tiempos de entrega variaron entre 24 y 36 semanas, fue necesario realizar pruebas de forma directa en las instalaciones del proveedor. Enseguida, los equipos se enviaron al centro de ingeniería en Indiana, donde se realizaron pruebas de validación idénticas y paralelas con los equipos que se encuentran en esa localidad. Para finalizar, fueron enviados a la planta de manufactura de San Luis Potosí, donde por tercera vez se examinó la repetibilidad y reproducibilidad de las mediciones, además de la exactitud en las lecturas.

Los resultados del tester de carga para servicio pesado se muestran en la siguiente sección, en los cuales se analizó el motor de arranque de la familia 39 MT<sup>MR</sup> el cual tiene un torque estándar de 7.3 kW en su versión de 12 V, y es utilizado para arrancar motores diésel hasta de 15 L.

La instalación de los equipos para completar el laboratorio de validación comenzó en el último trimestre del 2018, para concluir a mediados del año 2020 y se realizó en tres etapas. El tester de carga para motores de arranque, objeto de este estudio, el cual se encuentra dentro de la categoría de análisis de la evaluación de desempeño, estuvo incluido dentro del primer bloque de equipos instalados en el laboratorio.

El tester seleccionado, corresponde al ST-64G2, el cual cuenta con las características especificadas en **Tabla 1**.

**Tabla 1.** Datos técnicos del tester ST64G2.  
 Fuente: (Ltd, 2020)

| Parámetro                          | Límites                        |
|------------------------------------|--------------------------------|
| Corriente motor de arranque        | Hasta 1500 ó 3000 A            |
| Voltaje                            | 12 & 24 V (32 V opcional)      |
| Velocidad de carga de arranque     | 0 -11,000 RPM*                 |
| Torque motor de arranque           | Hasta 200+ Nm*                 |
| Corriente del solenoide            | Hasta 120 A ó 240 A (opcional) |
| Eficiencia del motor de arranque   | 0 - 100 %                      |
| Potencia salida motor de arranque  | Hasta 10 kW                    |
| Potencia entrada motor de arranque | Hasta 30 kW                    |
| Corriente de rizo                  | 0 - 200 A                      |

\*Radio piñón / engrane determina el torque y la velocidad de arranque máximos

Para realizar el análisis y comparativo de ambos equipos, tanto el de ITCA (Indiana Technical Center and Analysis) como el del equipo instalado en el laboratorio de pruebas de San Luis Potosí, se tomaron las siguientes consideraciones:

1. La repetibilidad de los equipos de USA (ya en funciones) y de México (equipo liberado) pudo ser comparada de

una sola vez. Para esta prueba, 10 motores de arranque fueron probados tres veces en cada equipo, con el propósito de calcular la repetibilidad de este. Sin embargo, diferente cantidad de motores de arranque pueden ser probados en cada tester. Por ejemplo, dos testers pueden ser evaluados con 10 arrancadores probados tres veces, o 20 motores y probarlos dos veces.

2. Adicional a los resultados de repetibilidad de cada evento, se evaluó OCV (Open Circuit Voltage) y SCR (Simulated Crank Resistance), esto permitió determinar si el equipo fue calibrado de manera apropiada para entregar el correcto OCV y resistencia de arranque (SCR) durante la prueba. Si cualquiera de los dos presenta una variación excesiva respecto del valor requerido, la repetibilidad del equipo tenderá a decrecer. Una tendencia de OCV o SCR indica un problema potencial

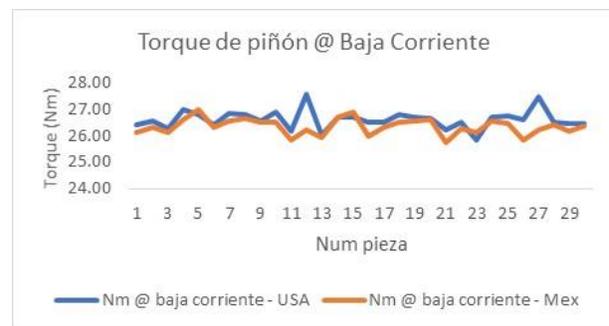
con el desempeño del equipo, el cual debe de repararse.

3. Una causa potencial de una tendencia es debido a que los motores de arranque interrumpen la prueba durante el estudio de repetibilidad. De forma general, durante un estudio de repetibilidad el orden en el que las piezas son probadas puede ser aleatorio, sin embargo, para un mejor seguimiento y análisis, los motores de arranque utilizados para el estudio fueron probados en el mismo orden.

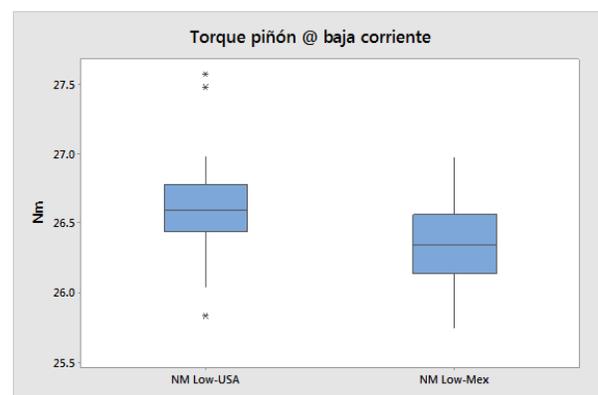
Para determinar los métodos de prueba y los requerimientos de las características eléctricas de los motores de arranque de corriente directa, los cuales son instalados en motores de combustión, se utilizó como base la norma ISO 8856: 2014. En el caso de las aplicaciones para los motores de arranque, las cual contemplan los aros dentados dependiendo de los motores de combustión interna, se utilizó la norma SAE J1735\_199712.

## RESULTADOS

Se analizó el torque generado por el motor de arranque a baja corriente: 750 A (Figuras 1 y 2) y la repetibilidad es similar, al igual que el promedio en la comparación de ambos equipos, lo cual nos indica la alta confiabilidad tanto del nuevo equipo instalado en SLP como el que ya se encuentra establecido en USA.

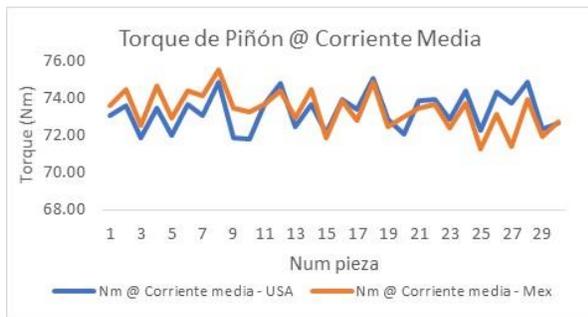


**Figura 1.** Torque de piñón a baja corriente – Motor 39MT probado en Lab de USA vs Lab Mex

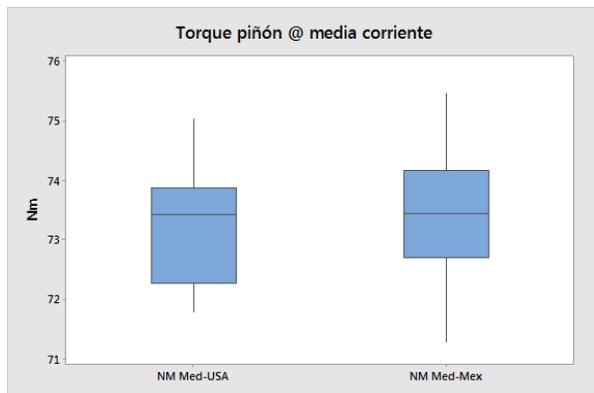


**Figura 2.** Diagrama de caja torque piñón a baja corriente – Motor 39MT probado en Lab de USA vs Lab Mex

Además, se realizó la evaluación de la misma característica a corriente media: 1500 A (**Figuras 3 y 4**), y el promedio del torque (Nm) fue casi idéntico en ambos equipos, con una variación de 0.07 Nm, en cuanto a repetibilidad, el equipo instalado en México mostró un mejor comportamiento.

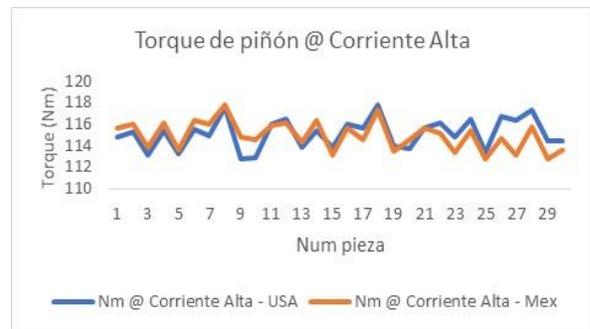


**Figura 3.** Torque de piñón a corriente media – Motor 39MT probado en Lab de USA vs Lab Mex

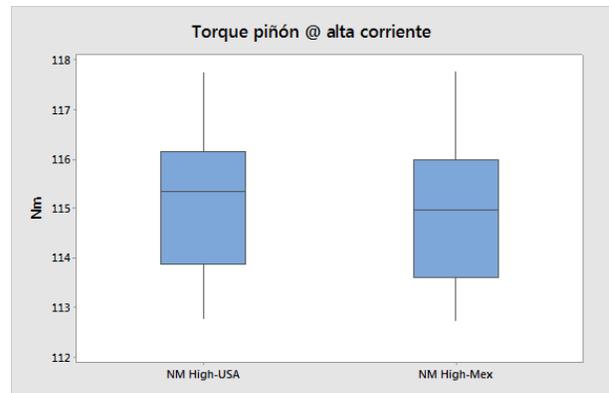


**Figura 4.** Diagrama de caja torque piñón a corriente media – Motor 39MT probado en Lab de USA vs Lab Mex

Así mismo, se evaluó esta característica a corriente alta: 2100 A (**Figuras 5 y 6**) y en un comportamiento similar, tanto el promedio como la repetibilidad fue óptima, demostrando que a una corriente elevada, la confiabilidad de los equipos se mantiene de la misma forma.

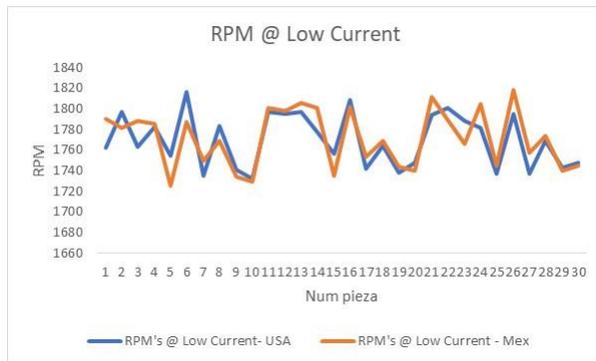


**Figura 5.** Torque de piñón a corriente alta – Motor 39MT probado en Lab de USA vs Lab Mex

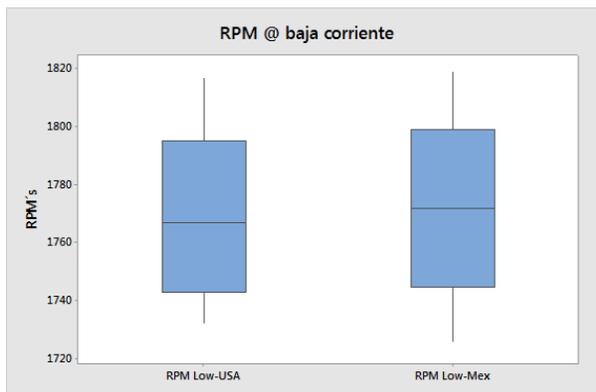


**Figura 6.** Diagrama de caja torque piñón a corriente alta – Motor 39MT probado en Lab de USA vs Lab Mex

Por su parte, las revoluciones por minuto (RPM, **Figuras 7 a 12**), fueron evaluadas con los mismos parámetros de corriente (750, 1500 y 2100 A). En las figuras siete y ocho se puede observar el comparativo a baja corriente, y el promedio en las evaluaciones en ambos equipos es muy similar, teniendo una variación menor a 2 RPM

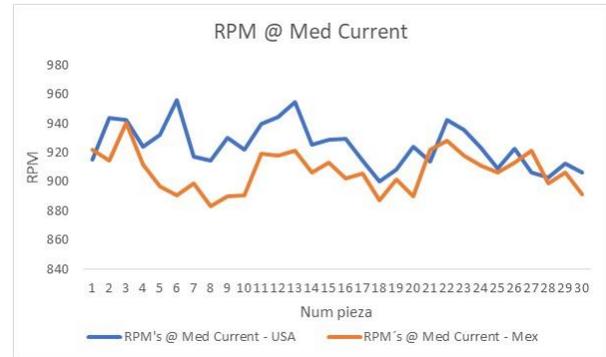


**Figura 7.** RPM a baja corriente – Motor 39MT probado en Lab de USA vs Lab Mex

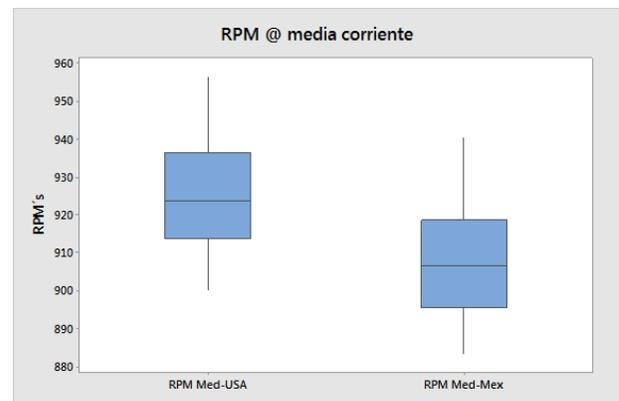


**Figura 8.** Diagrama de caja RPM a baja corriente – Motor 39MT probado en Lab de USA vs Lab Mex

La evaluación de las RPM a 1500 A mostró resultados similares, la variación en RPM fue ligeramente mayor, debido sobre todo a que a mayor corriente las RPM tienden a decrecer.

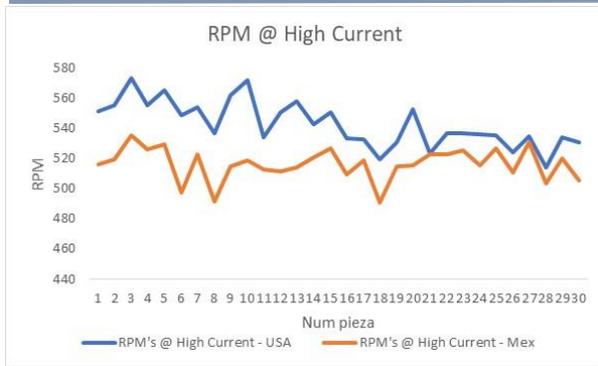


**Figura 9.** RPM a corriente media – Motor 39MT probado en Lab de USA vs Lab Mex

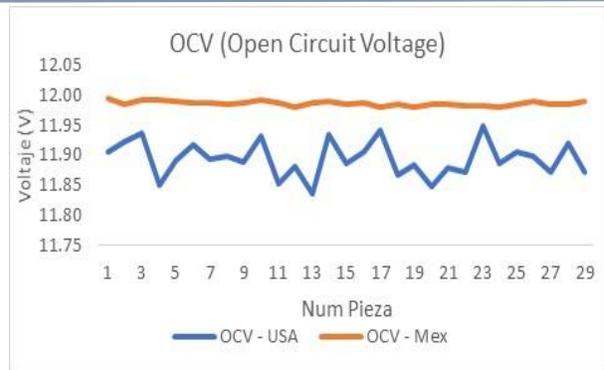


**Figura 10.** Diagrama de caja RPM a corriente media – Motor 39MT probado en Lab de USA vs Lab Mex

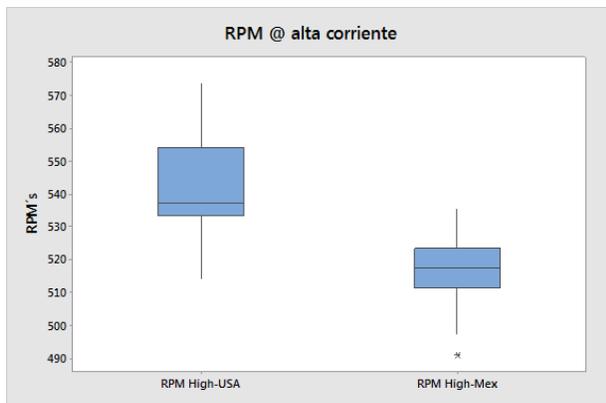
Al analizar esta característica en alta corriente, se mostró también la confiabilidad de ambos equipos, manteniendo resultados similares.



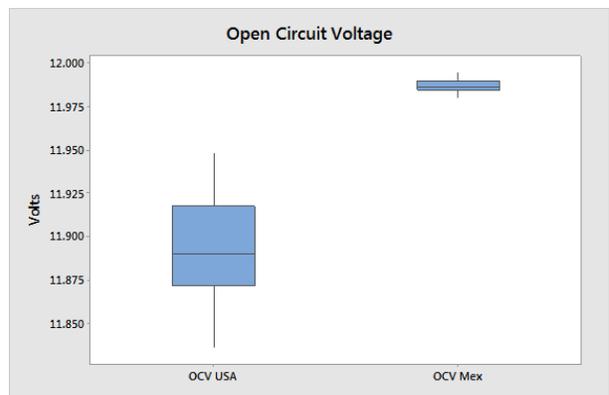
**Figura 11.** RPM a corriente alta – Motor 39MT probado en Lab de USA vs Lab Mex



**Figura 13.** OCV (Open Circuit Voltage) – Motor 39MT probado en Lab de USA vs Lab Mex



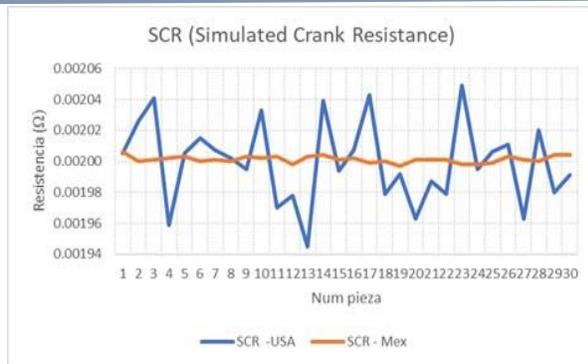
**Figura 12.** Diagrama de caja RPM a alta corriente – Motor 39MT probado en Lab de USA vs Lab Mex



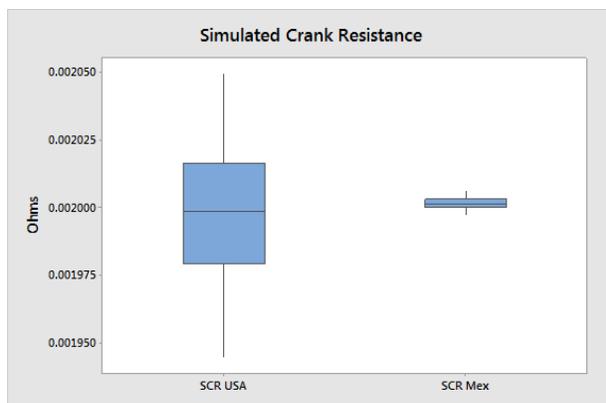
**Figura 14.** Diagrama de caja OCV (Open Circuit Voltage) – Motor 39MT probado en Lab de USA vs Lab Mex

Otra de las características evaluadas fue el voltaje de circuito abierto (OCV-por sus siglas en inglés, **figuras 13 y 14**) y en esta característica se observó un mejor comportamiento estadístico en el equipo instalado en México.

Adicional, en la evaluación de la resistencia de arranque simulado (SCR-por sus siglas en inglés, **figuras 15 y 16**), se observó también un mejor comportamiento en el tester instalado en México.



**Figura 15.** SCR (Simulated Crank Resistance) – Motor 39MT probado en Lab de USA vs Lab Mex



**Figura 16.** Diagrama de caja SCR (Simulated Crank Resistance) – Motor 39MT probado en Lab de USA vs Lab Mex

Como se puede observar, desde un punto de vista estadístico el equipo instalado en México presenta una estabilidad más significativa, sobre todo en las características de OCV y SCR; es importante considerar que los equipos que se encuentran en el laboratorio de USA, tienen ya años en funcionamiento y los

que se instalaron en San Luis Potosí son nuevos, lo que incluye además algunas mejoras tecnológicas y generacionales que se han hecho a los equipos por parte del proveedor.

## DISCUSIÓN

Una vez que el laboratorio de pruebas y simulación fue implementado y validado, se observó que el comportamiento estadístico de los nuevos equipos instalados en México (SLP) cumple con los requerimientos para ser equiparables en confiabilidad con sus equivalentes en el laboratorio de USA, incluso, en las características eléctricas del tester de carga para servicio pesado se observó que las características eléctricas OCV (Open Circuit Voltage) y SCR (Simulated Crank Resistance) presentaron un mejor comportamiento estadístico. Es importante considerar que los equipos del centro técnico en USA ya tienen años en

operación, a diferencia de los instalados en SLP, que son de reciente fabricación por parte del proveedor; aun así, los equipos son considerados con alta confiabilidad en los análisis y en la precisión de los resultados.

## CONCLUSIONES

El laboratorio de validación de la planta de SLP y en específico el probador eléctrico (tester) para motores de arranque de servicio pesado, fue implementado con éxito en la planta de BorgWarner PDS. Además, se cumplieron los objetivos planteados en cuanto a especificaciones y pruebas, se obtuvo la repetibilidad y reproducibilidad en los equipos, de tal forma que los laboratorios pueden ser equiparables. Esto permite al laboratorio de SLP atender requerimientos de la planta de manufactura tanto en proyectos actuales como en validaciones de los nuevos proyectos y permitió al laboratorio

de USA incrementar su disponibilidad para atender una mayor cantidad de solicitudes de otras localidades.

Es posible caracterizar pruebas dependiendo de las condiciones de operación y de los diferentes parámetros mecánicos y eléctricos que pudieran tener las diferentes aplicaciones de los clientes, de tal forma, que el tiempo de reacción y de respuesta a los diferentes requerimientos nos permite dar un mejor direccionamiento a los reclamos y/o solicitudes actuales y será pieza clave para los nuevos proyectos en el futuro, lo cual se ve reflejado en una percepción favorable de los clientes. Ahora es posible realizar mayor cantidad de análisis y caracterizaciones en menor cantidad de tiempo, dependiendo del grado de complejidad del análisis y de lo que se busque analizar, ya que ha permitido incluso realizar evaluaciones comparativas (benchmarking) con algunos productos similares.

Por último es importante mencionar que producto de la implementación del laboratorio y el tester de carga para motores de arranque de rango medio y pesado, se logró optimizar el proceso de análisis de características eléctrico-mecánicas de los motores de arranque, logrando un ahorro generado por una pronta detección de algunas garantías, en promedio 30 % en siete posibles modos de falla, tanto de motores de arranque como de alternadores, representando un ahorro para la planta de SLP de \$662 000 USD anuales. En particular, el tester de prueba de carga de motores de arranque de servicio pesado, representó un ahorro de \$238 000 USD. Asimismo, el ahorro representado por cuestiones de scrap fue de \$35 000 USD. La implementación del laboratorio permite procesar una mayor cantidad de validaciones y pruebas de caracterización en menor tiempo, de manera que representa una mejora en los tiempos de respuesta de las áreas de

ingeniería de manufactura y de producto, lo cual, al mismo tiempo, impacta de forma positiva tanto en planeación de materiales como en programación de la producción, ya que se pueden realizar ajustes, modificaciones o incluso requerimientos a proveedores, mejorando el tiempo de reacción de toda la cadena de suministro. Es de la misma importancia mencionar que así como se registran beneficios en la planta de San Luis Potosí, los impactos también se reflejan en la planta de Estados Unidos, al dejar de realizar pruebas para esta sede.

## REFERENCIAS

- [1] NB/ISO/IEC 17025 (2018). Tercera edición: 2018-03-29. Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración.
- [2] BorgWarner, R. I. (2010, November). Delco Remy Heavy Duty Systems Application Manual. Section 2. Starter Applications Manual. Indiana, United States.
- [3] BorgWarner, R. I. (2015, April). Delco Remy Heavy Duty Systems

Application Manual. Section 1.  
Alternator Applications Manual.  
Indiana: United States.

- [4] D&V Electronics. (2020). Starter tester equipment. ST-64G2

<https://www.dvelectronics.com/products/starter-test-systems/st-64g2/>

- [5] International Standard ISO 8856 (2014). Third edition: 2014-01-15. Road vehicles – Electrical performance of starters motors – test methods and general requirements.

- [6] SAE International. J1375\_199712. 1997-12-01. Starter motor application considerations.